T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENTSEL ALANLARDA YAĞMUR HASADI POTANSİYELİ VE PEYZAJDA KULLANIMI: İSTANBUL BÜYÜKÇEKMECE İLÇESİ ÖRNEĞİ

Ceren TOYRAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı

Peyzaj Planlama Programı

Danışman

Prof. Dr. Mustafa VAR

Temmuz, 2022

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENTSEL ALANLARDA YAĞMUR HASADI POTANSİYELİ VE PEYZAJDA KULLANIMI: İSTANBUL BÜYÜKÇEKMECE İLÇESİ ÖRNEĞİ

Ceren TOYRAN tarafından hazırlanan tez çalışması 20.07.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, Peyzaj Planlama Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mustafa VAR
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Mustafa VAR, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Mehmet Doruk ÖZÜGÜL, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Hande Sanem ÇINAR, Üye
İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa _____

Danışmanım Prof. Dr. Mustafa VAR sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Kentsel Alanlarda Yağmur Hasadı Potansiyeli ve Peyzajda Kullanımı: İstanbul Büyükçekmece İlçesi Örneği başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ceren TOYRAN

İmza

Aileme...

TEŞEKKÜR

Tez çalışma sürecimin her aşamasında bilgi birikimleriyle desteklerini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Mustafa Var'a, her zaman bu yolda beni destekleyerek hep yanımda olan sevgili aileme ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii
KISALTMA LİSTESİ viii
ŞEKİL LİSTESİ ix
TABLO LİSTESİ xi
ÖZET xii
ABSTRACT xiv
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 10
1.3 Hipotez 11
1.4 Yöntem 11
2 SU KAYNAKLARININ DURUMU, ÖNEMİ VE YAĞMUR SUYU HASADI 14
2.1 Dünyada Su Kaynaklarının Durumu 14
2.2 Türkiye'de Su Kaynaklarının Durumu 20
2.3 Kentte ve Kentsel Peyzajda Suyun Önemi 25
2.4 Yağmur Suyu Hasadı 30
2.5 Yağmur Hasadının Kent Ekosistemi İçin Önemi 32
2.6 Yağmur Suyu Hasat Sistemi Bileşenleri 34
2.6.1 Toplama Sistemleri 34
2.6.2 Taşıma Sistemleri 36
2.6.3 Filtreleme Teknikleri 37
2.6.4 Depolama Tankları 39
2.7 Yağmur Hasadı Uygulamasında Dikkat Edilmesi Gerekenler 40
2.8 Yağmur Hasadı Yöntemleri 41
2.8.1 Çatı Yüzeyinden Hasat Yöntemi 41
2.8.2 Yüzey Akış Hasadı Yöntemi 45
2.8.3 İnfiltrasyon Hendekleri 48
2.8.4 İnfiltrasyon Havuzları 50
2.8.5 Bitkili Hendekler (Bitkili Kanallar) 52
2.8.6 Yağmur Bahçeleri 55
2.9 Yağmur Hasadını Peyzajda Kullanma Yöntemleri 58

2.10 Yağmur Hasadının Avantajları 59
2.11 Yağmur Hasadı Uygulama Yerinin Uygunluk Kriterleri 60
2.12 Yağmur Hasadı Ülke Teşvik ve Mevzuatları 61
2.13 Dünyadaki ve Türkiye'deki Yağmur Suyu Hasadı Örnekleri 66
2.13.1 Dünyadaki Yağmur Suyu Hasadı Örnekleri.....66
2.13.2 Türkiye'deki Yağmur Suyu Hasadı Örnekleri.....74
3 BÜYÜKÇEKMECE 77
3.1 Konum ve İdari Yapı.....77
3.2 Yükselti.....78
3.3 Eğim 80
3.4 Hidroloji.....83
3.5 Hidrojeoloji 85
3.6 Toprak Yapısı 88
3.7 İklim 90
3.7.1 Yağış.....90
3.7.2 Sıcaklık.....91
3.7.3 Evapotranspirasyon.....91
3.8 Arazi Kullanım 92
3.9 Su Kirliliği 94
4 BULGULAR VE TARTIŞMA 96
4.1 Bulgular.....96
4.2 Tartışma 115
5 SONUÇ VE ÖNERİLER 118
KAYNAKÇA 122
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 136

SİMGE LİSTESİ

°C	Derece Santigrat
L	Litre
m	Metre
m^2	Metrekare
m^3	Metreküp
mm	Milimetre
pH	Potansiyel Hidrojen

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
BASIX	Bina Sürdürülebilirlik Endeksi
BEDZED	Beddington'da Çevre Dostu Konut Geliştirme (Beddington Zero Energy Development)
BM	Birleşmiş Milletler
BRIICS	Brezilya, Rusya, Hindistan, Endonezya, Çin, Güney Afrika
DSİ	Devlet Su İşleri
ET	Evapotranspirasyon
GIS	Geographic Information Systems
IPCC	Hükûmetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change)
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği
PSI	İnçkare Başına Libre (Basınç Birimi)
PVC	Polivinil Klorür
RoW	Dünyanın Geri Kalanı
SÇD	Su Çerçeve Direktifi
SDG 6	Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UV	Ultraviyole

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Yeryüzünde Suyun Dağılımı 15
Şekil 2.2 Dünyada Fiziksel Su Stresi Seviyesi 16
Şekil 2.3 Kıtalara Göre Yıllık Kişi Başına Düşen Su Miktarı 17
Şekil 2.4 Küresel Ölçekte Su kullanım Alanları 2020-2050 18
Şekil 2.5 Sektörlere Göre Dünya Su Talebi Senaryosu 2000 ve 2050 18
Şekil 2.6 Kaynağına Göre Çekilen Su 20
Şekil 2.7 Sektörlere Göre Su kullanım Miktarı (2010-2020) 22
Şekil 2.8 Kentleşmeden Doğan Etkiler 27
Şekil 2.9 Kentleşmenin Yüzey Akışına Etkisi 28
Şekil 2.10 Konut Ölçeğinde Yağmur Hasadı Sistemi 31
Şekil 2.11 Doğal Su Döngüsü 33
Şekil 2.12 Çatı Yüzeyinden Depo Alanına Taşıma Sistemi 37
Şekil 2.13 Konut Çatısından Yağmur Hasadı Sistemi 42
Şekil 2.14 Düz Çatıdan Taşıma Sistemi 44
Şekil 2.15 Eğimli Çatıdan Taşıma Sistemi 44
Şekil 2.16 Yüzey Akışından Yağmur Hasadı Sistem Tasarımı 46
Şekil 2.17 Su Geçirgen ve Geçirgen Olmayan Asfaltlar Arasındaki Fark 47
Şekil 2.18 İnfiltrasyon Hendekleri 49
Şekil 2.19 İnfiltrasyon Havuzları 51
Şekil 2.20 İnfiltrasyon Havza Kesiti 52
Şekil 2.21 Bitkili Su Hendeği 53
Şekil 2.22 Washington'da Bitkili Hendek 54
Şekil 2.23 Yağmur Bahçesi Kesiti 55
Şekil 2.24 Londra Müzesi 66
Şekil 2.25 Londra Müzesi Çatı Alanı 67
Şekil 2.26 BedZED Projesi Konutları 68
Şekil 2.27 BedZED Projesi Çatı Yağmur Suyu Toplama Alanı 68
Şekil 2.28 Singapur Kent Haritası Rezervuar Planı 69
Şekil 2.29 Postdamer Platz 70
Şekil 2.30 Postdamer Platz Yağmur Suyu Yönetim Sistemi 70
Şekil 2.31 Eva Lanxmer Yerleşim Bölgesi 71

Şekil 2.32 Melbourne Fitzroy Garden 73
Şekil 2.33 Tanner Springs Parkı 74
Şekil 2.34 Borusan Oto İstinye Tesisleri.....75
Şekil 2.35 Siemens Gebze Tesisleri.....76
Şekil 2.36 İTÜ Yağmur Suyu Tutma Hendekleri 76
Şekil 3.1 Konum Haritası 78
Şekil 3.2 Yükselti Haritası.....79
Şekil 3.3 İlçenin Eğim Derecelerine Göre Kapladığı Alanların Yüzdesi.....81
Şekil 3.4 Eğim Haritası 82
Şekil 3.5 Hidroloji Haritası 84
Şekil 3.6 Hidrojeoloji Haritası.....86
Şekil 3.7 Büyük Toprak Grupları Haritası 89
Şekil 3.8 Aylara Göre 20 Yıllık Ortalama Yağış Verileri.....90
Şekil 3.9 Ortalama 20 Yıllık Aylara Göre Sıcaklık Verileri.....91
Şekil 3.10 Ortalama 20 Yıllık Aylara Göre Evapotranspirasyon Verileri 92
Şekil 3.11 Arazi Kullanımı yüzde grafiği.....92
Şekil 3.12 Arazi Kullanım Haritası.....93
Şekil 3.13 Su Kirliliği Haritası.....95
Şekil 4.1 Yerleşim Haritası.....97
Şekil 4.2 Kamusal Yeşil Alan Haritasının Bir Kısmı 98
Şekil 4.3 Büyükçekmece'nin Yağış ve Evapotranspirasyon Grafiği.....100
Şekil 4.4 Aylık Yağış ve Potansiyel Buharlaşma Terleme Değişim Grafiği.....102
Şekil 4.5 Çatılardan Yağmur Suyu Hasadı için Drenaj Ağı ve Topoğrafyaya Göre Yağmur Suyu Depolama Tankı Alanları 108
Şekil 4.6 Yağmur suyu depolama tankı alanları ve göl koruma kuşakları.....109
Şekil 4.7 Yeşil Alan ve Eğime Göre Tank Alanı 111
Şekil 4.8 Yüzeylerden Yağmur Suyu Hasadı İçin Uygun Yer Seçimi 114

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Çatı Katsayısı Tablosu 13
Tablo 2.1 Su Kaynakları Potansiyeli.....21
Tablo 2.2 Toplama Alanları, Malzemeleri ve Özellikleri 35
Tablo 2.3 Arıtma Teknikleri.....38
Tablo 2.4 Çatı Tiplerinin Özellikleri.....43
Tablo 2.5 Çatı Tipleri Drenaj Katsayıları 44
Tablo 3.1 Eğim Yüzdelerine Göre Arazi Sınıflandırması.....80
Tablo 4.1 Aylara Göre Yağmur Hasadı Verimi 99
Tablo 4.2 Yıllık Yağmur Hasadı Verimi 100
Tablo 4.3 Yıllık Yeşil Alan Sulama İhtiyacı.....101
Tablo 4.4 İlçede Mahallelere Göre Tank Boyutlarının Hesaplanması 103
Tablo 4.5 İzmir ve Rize'de Yağmur Suyu Verimi Karşılaştırması 116

ÖZET

Kentsel Alanlarda Yağmur Hasadı Potansiyeli ve Peyzajda Kullanımı: İstanbul Büyükçekmece İlçesi Örneği

Ceren TOYRAN

Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Mustafa VAR

Küresel iklim değişikliği, çoğunlukla insan faaliyetlerinin atmosferde yarattığı etkilerden kaynaklanmakta, büyük problemlere yol açmakta ve boyutları giderek artmaktadır. Bu durum kuraklığa, olumsuz hava koşullarına, okyanus ve deniz seviyelerinin yükselmesine, buzulların erimesine neden olmaktadır. Bunlar, ekosistemler üzerinde yoğun bir baskı meydana getirerek tüm canlı yaşamını etkilemektedir. İklim değişikliğinin bir diğer sonucu su kıtlığıdır. Kentleşme ile birlikte artan yapılaşma ve nüfus, suya olan talebi artıran diğer faktörlerdir. Yaşamın devamlılığı için vazgeçilmez olan su üzerindeki tehdit, bizleri mevcut suları daha dikkatli kullanmaya yönlendirmektedir. Yağmur suları, akarsu, baraj ve yeraltı sularını beslemesi dışında, deniz sularına, kanalizasyona karışmakta, buharlaşmakta ya da toprak su tutma kapasitesinin üzerine çıktığında, su fazlalığı taşkın ve sellere neden olmaktadır. Son yıllarda ülkeler yağmur suyunu depolamak ve verimli olarak kullanmak için yağmur hasadı yöntemine başvurmaktadır. Böylece hem su kaynakları üzerindeki baskının azalması sağlanmakta hem de yağmur suyunun verimli kullanımı sayesinde sel ve taşkın gibi olumsuz etkiler azaltılmaktadır. Çalışmada Büyükçekmece'deki binaların çatılarından toplanabilecek yağış suları ile ilçedeki kamusal yeşil alanların sulama

ihtiyacının ne kadarının karşılanacağı hesaplanmıştır. İlçede yağmur hasadı yapılması için uygun binaların çatı alanları yerleşim haritası kullanılarak AutoCAD programında 4.995.914 m^2 olarak ölçülmüştür. Büyükçekmece'de bulunan kamusal yeşil alanların (parklar, meydanlar, kıyı şeridi, yol kenarları) kapladığı alan 669.223 m^2 olarak hesaplanmıştır. Bölgenin 20 yıllık (2001-2020) iklimsel verileri de hesaplamalara katılarak, çatılardan yağmur hasadı yapılma potansiyeli 2.266.146 m^3 olarak bulunmuştur. İlçede bulunan kamusal peyzaj alanlarının sulanmasında kullanılabilecek su miktarı ise her gün sulama yapıldığı takdirde 471.802 m^3 olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre yağmur hasadı yöntemiyle depolanabilecek yağmur suyu (2.266.146 m^3), kamusal yeşil alanların sulanma ihtiyacının (471.802 m^3) % 100'ünü karşılayabilecektir. Tankların hacimleri yöntem kısmındaki formüllere göre bulunmuştur. Tank boyutları her mahallenin toplayabileceği su potansiyeline göre hesaplanmıştır. Yağmur hasadının uygulanacağı uygun yerin belirlenmesi için çeşitli analizler (topoğrafya, hidroloji, hidrojeoloji, toprak, iklim, arazi kullanım ve su kirliliği) yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Su kıtlığı, yağmur hasadı, Büyükçekmece

ABSTRACT

Rain Harvesting Potential in Urban Areas and Its Use in Landscape: Case Study of Buyukcekmece District, Istanbul

Ceren TOYRAN

Department of Urban and Regional Planning

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa VAR

Global climate change is mostly caused by effects of human activities on the atmosphere, causing major problems and increasing in size. As a result, it causes drought, adverse weather conditions, rising ocean and sea, melting of glaciers. These impacts put an intense pressure on ecosystems and affect living things. Another consequence of climate change is water scarcity. With urbanization, increasing construction and population are other factors that increase demand for water. Threat on water, which is indispensable for the continuity of life, leads us to use the existing waters more carefully. Apart from supplying rainwater, streams, dams and groundwater, rainwater mixes with seawater, sewers, evaporates or when the soil exceeds its water holding capacity, excess water causes floods. In recent years, countries have resorted to rain harvesting method to store rainwater and to use rainwater efficiently. Thus, both pressure on water is reduced and negative effects such as floods and overflows are reduced through efficient use of rainwater. In this study, it was calculated how much of the rainwater that can be collected from the roofs of the buildings in Buyukcekmece will be met the irrigation need of the public green spaces in Buyukcekmece. The roof areas of the buildings suitable for rain harvesting in the district were

measured as 4.995.914 m^2 in the AutoCAD program using the settlement map. The area covered by the public green spaces in Buyukcekmece were calculated as 669.223 m^2. Climatic data of the region for 20 years (2001-2020) were also included in the calculations, the potential of rain harvesting from the roofs was found to be 2.266.146 m^3. The amount of water that can be used for irrigation in the public landscape areas in the region was calculated as 471.802 m^3, if irrigation is done every day. According to calculations, rainwater can be stored by rain harvesting method will be meet 100% of the irrigation needs of public green spaces. Volumes of the tanks are calculated according to formulas in the method section. Volumes were calculated according to water potential that each neighborhood can collect. Various analyzes (topography, hydrology, hydrogeology, soil, climate, land use and water pollution) were carried out to determine appropriate place where rain harvesting will be applied.

Keywords: Water scarcity, rain harvesting, Buyukcekmece

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Su, yeryüzündeki tüm canlıların yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmek için ihtiyaç duyduğu temel yaşam kaynağıdır. Yeryüzünde bulunan su kaynaklarının sadece % 2,5'u tatlı su kaynaklarıdır. Ancak bu suyun çoğu buzul formda ya da derin jeolojik tabakalarda yeraltı suyu olarak bulunmaktadır. Bundan dolayı ulaşılabilir su % 0,10 oranında göl, nehir, dere ve rezervuarlar gibi su kaynaklarından elde edilebilmektedir [1].

Yeryüzünde su sürekli bir döngü halindedir. Güneş enerjisi ile su buharlaşır, oluşan su buharı yoğunlaşarak bulutları oluşturmaktadır. Rüzgâr, bulutları harekete geçirerek su buharını dağıtmakta ve bulutlar da nemi, taşıyamayacak duruma gelerek yağış olarak serbest bırakmaktadır. Yağış suları zamanla yeraltı sularına, nehir, göl ve akarsulara ulaşır. Yılda yaklaşık 400 milyar litre su, bu döngüye katılır ve bir müdahale olmazsa tükenmeyecek bir kaynaktır. Ancak günümüzde kentsel, tarımsal ve endüstriyel üretim gibi insan etkisi ile bu kaynaklara müdahale edilmektedir [2].

Dünyada iklim değişikliği, güneş değişkenliği, aerosol ve sera gazları emisyonunun artışı gibi beşeri ve diğer doğal değişimlere bir karşılık olarak yaşanmaktadır. Yaşanan iklim değişikliğinin sonucu olarak da atmosferik su buharı konsantrasyonlarında, bulutlarda, yağış rejimi, yüzey akışı ve akarsu akışında değişimler olumsuz yönde gelişmektedir [3].

IPCC'nin 5. raporunda iklim değişikliğinin insan kaynaklı olduğu diğer geçmiş raporlarına göre daha net bir şekilde ifade edilmiştir. 1951 ve 2010 yılları arasındaki sıcaklıktaki artışın kesin olarak insan kaynaklı olduğu belirtilmiştir [4].

İklim değişikliği su kaynakları üzerinde baskı yaratmaktadır. Küresel ısınmanın en büyük sebebi güneş enerjisinin sıkışmasına sebep olan sera gazları emisyonları ve karbondioksit oranının artmasıdır. Artan sıcaklık ile birlikte buzullar erimekte ve

bunun sonucunda da kar ve buzul alanlarının güneş ışınlarını uzaya tekrar yansıtması durumu azalarak, dünyada sıcaklığın artması durumu gerçekleşmektedir. Eriyen buzul ve kar tabakaları okyanus suyuna karışarak tatlı su kütleleri kaybedilmektedir. Su döngüsü üzerinde de önemli etkileri olan iklim değişikliği, su buharı seviyelerinin atmosferde artmasına neden olmakta ve bunun sonucunda da bazı bölgelerde düzensiz ve yoğun yağış, sel gibi durumlar yaşanırken bazı bölgelerde ise şiddetli kuraklık durumu yaşanmaktadır [5].

IPCC 6. raporuna göre iklim değişikliği etkilerini daha da artıracak ve emisyonlar azaltılmadıkça da 2100 yılına gelindiğinde ve sonrasında deniz seviyeleri geçmiş yıllara göre 10 kat daha hızlı yükselecektir. Ayrıca emisyonlar azaltılmadıkça, buz kütlelerinin 1/3'ünden fazlası kaybedilecek ve dolayısıyla canlıların erişebileceği tatlı su kaynakları da tehlike altına girecektir. Arktik buzul kütleleri düzenli olarak her on yılda % 13 küçülmekte, küresel ısınma 2°C'ye ulaşırsa da bazı yazlar tamamen erime tehlikesi bulunmaktadır [6].

Tüm dünyayı etkisi altına alan iklim değişikliğinin sonucunda su kıtlığı giderek artmakta ve ciddi sorunlara yol açmaktadır. Su kıtlığı günümüzde bazı bölgelerde yoğun bir şekilde yaşanırken, su yönünden zengin ülkelerinde yakın gelecekte bu tehlikeyi yaşaması kaçınılmazdır.

DSİ'nin su potansiyeli hesaplarına göre 2020 yılında ülkemizde, kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı 1346 m^3'tür [7]. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın 6. Çevre durumu raporuna göre 2030'da Türkiye'de nüfus 100 milyona ulaşacak ve kişi başına düşen su miktarının 1120 m^3'e düşeceği ve Türkiye'nin su sıkıntısı yaşayan ülkeler arasında yer alacağı öngörülmektedir [8].

Dünya nüfusunun büyük çoğunluğu kentlerde yaşamaktadır. Sürekli artan nüfus ve iklim değişikliği gibi etkilere karşı kentler, kırılgan sistemler haline gelmiştir. İklim değişikliğinin kentte yarattığı olumsuz etkiyi azaltmak için kentleri dirençli hale getirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Sağlıklı bir kent yapısı için yapı alanı ve açık-yeşil alan dengesinin sağlandığı, yeşil altyapı sisteminin kentin planlanırken bir parçası olması ve sürdürülebilir yağmur suyu yönetimini de içermesi gerekmektedir [9].

Kentsel alanlarda bulunan yeşil alanlar, kentleşme ile artan betonlaşma için tahrip edilerek yok edilmekte ve geçirimsiz yüzey alanları da artmaktadır. Kentler yağış aldığında yeşil alan eksikliğinden dolayı evapotranspirasyon ile su döngüsü ve toprak ile yağmur sularının yeraltı sularını beslemesi gibi önemli etkiler gerçekleşememektedir. Geçirimsiz alanlar ise yeşil alanlara göre yağış suyunun daha hızlı hareket etmesine ve yoğun yağışlarda yağmur suyu, yer altına sızamadığından yüzey akışının artarak sel ve taşkınlara sebep olmasına neden olmaktadır. Bu durum da kent hayatını olumsuz etkilemekte, yağmur suyu atık sulara karışmakta ve tam olarak yağmur suyundan verimli bir şekilde yararlanılamamaktadır [10].

Kentsel alanlarda sürdürülebilir bir şekilde yağmur suyu yönetiminin sağlanması tekniklerinden birisi yağmur suyu hasadı yöntemidir. Yağmur suyu hasadı yöntemiyle verimli bir şekilde yağmur suyu korunumu sağlanarak kent ekosisteminde su kaynağı olarak büyük bir potansiyel sağlanacak ve doğal kaynakların üzerinde olumlu bir etki oluşacaktır.

Kent ekosisteminde iklim değişiklinin oluşturduğu olumsuz etkileri azaltmasının yanı sıra su döngüsüne katılması, havayı temizleme, mikroklima etkisi oluşturma, toprak verimliliğini artırma, rekreasyonal faydalar gibi birçok etkiye sahip olan yeşil alanlar da [11], canlı yaşamını sürdürmek için suya ihtiyaç duymaktadır. Yağmur suyu hasadı yöntemiyle su korunumu sağlanırken kentsel peyzaj alanlarının bakımının ve korunumunun da sürdürülmesine önemli katkı sağlanacaktır.

Su hasadı teknikleri, toprak erozyonu ve sedimantasyonu azaltma, toprakta su depolanmasını ve toprak verimliliğini artırma aracı olarak uzun yıllardır kullanılmaktadır [12].

Bu bölümde konut ölçeğinden kent ölçeğine yağmur hasadı planlaması üzerine literatür çalışmasına yer verilerek, günümüzde birçok ülkede örnekleri bulunan yağmur hasadı çalışmaları incelenmiş, ele alınan başlıklar ve detaylar üzerinden literatür özeti verilmiştir. Örnek çalışmalardan ve tanımlardan da yola çıkarak çalışma bölgesi Büyükçekmece ilçesi üzerine entegre edilme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Mohammed vd. (2007), çalışmasında ekili bir alan için gereken sulama suyu miktarının, aylara göre yağmur suyu hasadı yöntemi ile ne kadarının karşılanıp karşılanamadığını incelemiştir. 305 m^2'lik bir çatı alanına sahip toplama alanında yağmur suyu toplanmış ve 135 m^2'lik ekili alanda toplanan suyun ne kadar ihtiyacı karşıladığını tespit etmiştir. İki yıl için, aylara, su talebine ve yağmur hasadına göre yapılan çalışmada, ilk yıl haziran dan kasım ayına kadar yağmur hasadı talep edilen suyu karşılayamamış ancak ikinci yıl su fazlalığı depolandığı için kurak dönemde yağmur hasadı talebini karşılamıştır [13].

Appan (1999), yapmış olduğu çalışmada, kentlerde yüzeye düşen yağışların kirlilik seviyesinden kaynaklı kalitesiz olduğuna dikkat çekmiştir. Kirliliğe neden olan faktörlerin kontrol edilmesi gerektiği ve uzun süre yağış almayan dönemin ardından ilk yıkama ile suyun yönlendirilmesi ve daha sonra havuzlarda toplanması gerektiğini vurgulamıştır. Kent alanlarında yağmur suyunun çatılardan ve yüzeylerden toplanabileceğini, kullanım alanına göre filtrelenmesine, ihtiyaç duyulmayan taleplerde filtrelenmeden kullanılabileceğinden söz etmiştir. İşlenmemiş su ile içilebilir suyun ayrımı için çift modlu bir ayrıştırma sistemi dâhil edilerek bu sistemle su tasarrufu sağlanabileceğini de belirtmiştir [14].

Herrmann ve Schmida (2000), çalışmalarında 10 yıldan fazla yağış verilerini kullanarak hidrolojik tabanlı yağış akış model simülasyonu, RWIN adlı programı kullanmışlardır. Çatıda oluşan kayıplar da buharlaşma modeliyle elde edilmiştir. Bir binadaki 150 m^2'lik çatıdan toplanan yağmur suyu 6 m^3'lük tanklarda depolanarak günlük 160 L'lik su kullanımıyla % 98 verim sağlanmakta olduğunu bulmuşlardır. Başka bir binada ise 320 m^2'lik çatıdan toplanan yağmur suyu ile 14 m^3 tank kullanılmış ve sadece lavabo kullanımı için günlük 480 L su kullanıldığını bularak, buradaki verimin de % 91 olduğunu elde etmişlerdir [15].

Waterfall (2006), yapmış olduğu çalışmada yağmur hasadının peyzaj sulamada potansiyel kullanımı üzerinde durmuştur. Çalışmanın içeriğini, yağmur hasadı sisteminin bileşenleri, basit yağmur hasadı sistemlerinin tasarımı, inşası ve karmaşık yapılı yağmur hasadı sistemleri oluşturmaktadır. Yağmur hasadının yapıldığı alanda kullanılacak bitkilerin sürdürülebilir bir peyzaj için ne kadar suya

ihtiyacı olduğunu etkileyen önemli faktörleri ele almış ve kurak alanlarda yerli ve daha az suya ihtiyaç duyan kurakçıl bitkiler olmasıyla birlikte daha verimli su tasarrufu sağlanabileceğini vurgulamıştır. Peyzaj alanlarında yağmur hasadı potansiyelini değerlendirmek için çeşitli yöntemlerden söz etmiştir [16].

Seymour (2005)'un çalışmasında Amerika'nın Georgia eyaletinde yağmur suyunun toplanması ve peyzaj alanlarında kullanım potansiyeli üzerinde durulmuştur. Çalışmada iki yöntemle yağmur suyu kullanımı ele alınmıştır. Yağmur suyunun bir sarnıç, tank ya da bir toplama alanında depolanarak peyzaj alanının, sulama sistemleri aracılığıyla sulanmasının sağlanması ya da bir yağmur bahçesi, biyolojik tutma alanlarının kullanılması yöntemleri ele alınmıştır. Peyzaj sulama suyu temini için geçirimsiz yüzeylerden yağmur hasadı yöntemi ve yağmur bahçelerinin, su kalitesini iyileştirmek ve peyzaj sulamasında içme suyuna olan ihtiyacı azaltmak için iki önemli su korunumu stratejisi olduğunu belirtmiştir [17].

Doyle (2008), çalışmasında Rwanda kentini ele alarak çatılardan yağmur hasadı yönteminde suyun depolara ulaşmadan önce uzun kurak dönemlerde kirlenen çatı ve boruların temizlenmesi için ilk yıkama boru sistemini kullanmanın depolama, verimlilik ve güvenilirlik davranışlarını etkileyip etkilemediğini ve suyun kalitesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma alanında yapılan depolama, güvenilirlik ve verim davranışı simülasyon modeli ve değer matrisini oluşturmuştur. Doyle, uyguladığı ilk yıkama boru sistemiyle çatılardan yağmur suyu toplamanın temiz ve kaliteli su sağlayabileceğini belirtmiştir [18].

Parsons vd. (2010) çalışmalarında Birleşik Krallık'ta yağmur hasadı sisteminin uygulanmasının önündeki engelleri öğrenmek için büyük, orta ve küçük ölçekli binalara anket göndermişlerdir. Kurumsal ve düzenleyici boşluklar, ekonomik ve finansal kısıtlamalar, teşvik eksikliği, bilgi eksikliği ve evi yapanların yaklaşımları yağmur hasat sistemlerinin kurulmasındaki olası engeller olarak belirlenmiştir. On yıl ara ile yapılmış olan anketlere göre, 10 yıl önceki mali engellerin 10 yıl sonra da önemli bir engel olmaya devam ettiği bulunmuştur [19].

Alamailes vd. (2014), ABD'nin Güneybatı Çölü bölgesinde yaptıkları çalışmada, yağış ve evapotranspirasyon verilerine ulaşmışlardır. Su akışını toplayan havzalardan, çevredeki toprakta depolanarak kullanılan pasif yağmur suyu

yakalama peyzajını elde etmişlerdir. Toprak içi bir çöküntü olarak sızdırma hendeklerini, yağmur suyu toplama alanları olarak belirlemişlerdir. Sızdırma hendeklerinin kenarlarından, tabanından sızdırma yapabilen bir tasarıma sahip olduğunu depolanan suyun toprak nemi olarak çevresindeki topraklara sızdığını, bitki örtüsünün, topraktaki nemden su aldığını ve fazla suyun da yeraltı suyunu doldurmak için toprağın alt katmanlarından sızdığına değinmişlerdir [20].

Abel Vieira vd. (2014) çalışmalarında yağmur hasat sisteminin faydalarına rağmen yüksek enerji tüketimi gibi olumsuz etkilerinin olduğu üzerine inceleme yapmışlardır. Çalışmalarında yağmur hasadı sistemleri için rapor edilmiş enerji tüketimi ile ilgili verilerin gözden geçirilmesine ve yağmur hasadı sistemlerinin enerji performansının geliştirilmesine ilişkin stratejileri ele almayı amaç belirlemişlerdir. Yapılan araştırmalar sonucunda, yağmur hasadı sistemleri ile geleneksel su dağıtım sistemlerini karşılaştırdıklarında, yağmur hasadı sistemlerinin 3 kat daha fazla enerji tüketme eğiliminde olduğu ancak optimize edilmiş yağmur hasadı sistemlerinin enerji kullanımının, geleneksel yöntemlerle daha kıyaslanabilir olduğunu gözlemlemişlerdir [21].

Gurung ve Sharma (2014)'nın çalışmasında çatılardan toplanan yağmur suyunun merkezileştirilmiş ortak tanklarda depolanıp, pompa sistemi yardımıyla da evlere geri verilebileceği belirtilmiştir. Konut düzeni, yoğunluğu ve bulunduğu topoğrafyaya bağlı olarak yağmur suyunun toplanma potansiyeli, toplanan suyun depolama kapasitesinin tahmini, arıtma ve dağıtım sistemleri tasarlanmış ve maliyetlendirilmiştir. Çalışmada düz bir topoğrafyada bulunan 4 ile 576 arasında değişen konutlar, merkezi depolama ve arıtma sistemi olarak ele alınmış, tasarlanmış ve maliyeti hesaplanmıştır [22].

Ahmed vd. (2014) çalışmalarında kentsel alanlardaki dayanıklılığı artırmak için yağmur hasadı potansiyelini incelemişlerdir. Coventry Üniversitesi üzerinden konu ele alınmıştır. Binaların çatılarından toplamda yağmur hasadıyla elde edilebilecek potansiyel incelenmiş, Coventry Üniversitesi'nde yıllık yaklaşık 97.000 m^3 su tüketildiği ve yağmur hasadıyla 24.000 m^3 su elde edilebileceği bunun da Coventry Üniversitesi'nin yıllık su tüketiminin yaklaşık % 25'ini karşılayabileceği sonucuna ulaşılmıştır [23].

Angril vd. (2017), Barcelona'da bir üniversite kampüsünde 7 farklı kentsel yüzeyden toplanabilecek su miktarı ve suyun kalitesi üzerine yaptıkları çalışmada; yaya yolları, araç yolları ve otoparklar olmak üzere üç işlevsel alanı yüzey malzemelerine göre 7 tipe, yüzey malzemeleri ise beton, asfalt ve prekast beton levhalar olarak 3'e ayırmışlardır. Her yüzeyin akış katsayısı belirlenmiş ve numunelerin su kalitesini etkileyen faktörler incelenmiş, yağış yoğunluğu, yüzey kaplaması ve suyu tutma oranı temel parametreler olarak ele alınmıştır. Asfalt bulundurduğu partikül madde ve aşınmadan dolayı daha düşük kalitedeyken, beton en iyi kaliteye sahip malzeme olarak bulunmuştur. Alınan örneklerde su kalitesinin içme suyu için uygun olmadığından arıtılmasının gerektiği belirtilmiştir. Pürüzsüz yüzeylerde kirletici maddelerin tutulmasının önlenebildiğini ve asfalt yüzeylerin en kötü su kalitesi sonucunu verdiğine değinilmiştir [24].

Soydan ve Benliay (2016), çalışmalarında Antalya ilinde bulunan Mustafa Uysal Parkı'nda su kaynaklarında yaşanan azalmaya karşı alternatif olarak yağmur hasadı potansiyelinin değerlendirilmesi üzerinde durmuşlardır. Antalya ilindeki buharlaşma miktarının tüm yıldaki yağmur suyunun % 81'i kadar olduğunu bulmuşlardır. Bölgede toplanabilen yağmur suyu miktarı belirlendikten sonra ihtiyaç duyulan sulama suyu miktarını hesaplamışlardır. Bunun için peyzaj alanının büyüklüğü, aylık yağış şiddeti ve bitki örtüsü bilgilerini kullanmışlardır. Yapılan analizler sonucunda Mustafa Uysal Parkı'nda yağmur suyu hasadı yöntemiyle, suya olan talebin yıllık % 20,8'inin karşılandığı sonucuna ulaşmışlardır [25].

Lupia vd. (2017), çalışmalarında Roma kentsel bölgesinde meyve ve sebze bahçesini sulamak için gereken sulama suyunun, bina çatılarından yağmur suyunun toplanıp, depolanarak kullanılması yoluyla karşılanabilir olduğunu bulmuşlar, ekili alanların ihtiyacı olan sulama suyu miktarını belirlemek için bölgenin iklim verilerini elde etmişlerdir. Ekili alanların boyutuna bir sınırlama getirilerek konutlara yakın 2000 m^2'den küçük ekili alanlar belirlenmiştir. Kentte bulunan binaların çatı alanları uydu görüntüleme sisteminden çıkarılmıştır. Her bir bina çatısı en yakın ekili alanla ilişkilendirilmiştir. Çatılardan yağmur hasadının, binaların yakınlarında bulunan ekili alanların yüksek sulama verimliliği

ile sulama ihtiyacının 1/3'ü kadarını karşılayabileceğine, çalışma alanının önemli ölçüde su tasarrufu potansiyeline sahip olduğu bilgisine ulaşmışlardır [26].

Ebhomien ve Obarisiagbon (2016), çalışmalarında çatılardan yağmur hasadı yönteminde optimum verim için mimari müdahaleler üzerinde durmuşlardır. Çalışma Nijerya'nın Benin Üniversitesi Ugbowo Kampüsü'nde yapılmıştır. Bina kullanıcılarının yağmur hasadı çatı optimizasyonu için ihtiyaç duyduğu mimari müdahaleleri öğrenmek için anket çalışması yapmışlardır. Yağmur hasadı sisteminde, estetik çekicilik ve yağmur suyunun mevsimselliği açısından mimari müdahalelere ihtiyaç duyulduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çatılardan yağmur hasadı sisteminde, en optimize mimari çatı tasarımı için bina üzerinde bulunan iniş boruları ve çatı oluklarının estetik açıdan geliştirilmesi gerektiği ve çatının biçimi için en verimli tasarımların kelebek ve şemsiye çatılar olması gerektiğini belirtmişlerdir [27].

Chandra vd. (2018), çalışmalarında Sri Lanka Wayamba Üniversitesi'nde bir peyzaj projesinde yağmur suyunun kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır. Çalışmada 7,3 dönümlük peyzaj projesinde aylık su talebinin yaklaşık 701 m^3 olduğunu tespit etmişlerdir. Projede 6000 m^2 çatı alanı ile aylık minimum 718 m^3 yağmur suyu sağlayan bir yağmur hasadı sistemi önerilmiştir. Aylık 17 m^3 lük bir fazla su toplanacağı için su talebinin fazlasıyla karşılanabileceğini ve önerilen proje ile maliyetin ortalama 7,2 yılda geri kazandırılacağı bulunmuştur [28].

Saeedi ve Goodarzi (2020), çalışmalarında İran Malayer Üniversitesi'nde kampüste bulunan peyzaj alanlarının sulanma ihtiyaçlarının yağmur hasadı ile ne kadarının karşılanabileceği üzerinde durmuşlardır. Bölgenin çeşitli verilerini toplamışlardır. Kampüste geçirimsiz yüzey alanları ölçülmüştür. Çatılardan 10927, araç yollarından 17204, yürüyüş yollarından ise 1392 m^3 yağmur suyu toplanabileceğini tahmin etmişlerdir. Çalışmada yeşil alanlar henüz tam olarak gelişmediğinden, günlük ve atık su miktarı hakkında gerekli veriler olmadığından peyzaj alanlarının sulanması için gerekli su miktarının tahmin edilemeyeceğini belirtmişlerdir [29].

Ranasinghe ve Dissanayeke (2018), çalışmalarını Sri lanka'nın nemli bölgesi Colombo'da gerçekleştirmişlerdir. Kentlerde geçirimsiz yüzeyler ve gelişmemiş

kentsel altyapıdan kaynaklı taşkınların yağmur suyu hasadı yöntemiyle yönetilmesi üzerinde durmuşlardır. Yağış verileri, konut sayıları ve çatı malzemeleri ele alınmıştır. Konutlarda en çok kullanılan çatı malzemelerinin % 58 asbest, % 10 kiremit ve % 24 beton olduğunu belirtmişlerdir. Geri kalan dayanıksız çatı malzemeleri ile kaplı olan binalar çalışmaya dâhil edilmemiştir. Çatılara ulaşan yağışın, buharlaşma, ilk yıkamayla kirleticileri uzaklaştırma, sızdıran oluklar gibi durumlardan dolayı % 20'sini su kaybı olarak hesaba katmamışlardır [30].

Hofman vd. (2019), çalışmalarında Avrupa ve Hollanda'da yağmur suyu kalitesi hakkında bilinenleri, hasat edilebilecek yağmur suyu miktarını, içme suyu talebini ve yağmur suyu hasadı sistemlerinin, maliyetleri, ekonomik faydaları ve çevresel etkilerini araştırmak üzere bu çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Yapılan araştırmalar sonucunda, yağmur suyunun kalitesinin, güvenli içme suyu elde etmeye uygun olması için mikrobiyolojik olarak güçlü bir arıtma gerektirdiğini ancak merkezi olmayan arıtma sistemlerinin su kalitesinin analizi için m^3 başına yüksek maliyet gerektirdiği dolayısıyla güvenli suyu garanti edemeyeceği sonucuna varmışlardır. Kentte yağmur hasadıyla toplanan suyun, içme suyu talebinin % 50'sini karşıladığını ve Hollanda'da yağmur hasadı yöntemiyle içme suyu elde etmenin ekonomik olarak uygun olmadığı sonucuna varmışlardır [31].

Khudhair vd. (2020) çalışmalarında Anbar ilinin Al-Muhammadi Vadisi'nde yağmur hasadı yapımı için en uygun bölge seçiminde 6 kriteri analiz etmişlerdir. Konumun belirlenmesinde eğim, toprak yapısı, bitki örtüsü, drenaj yoğunluğu, akış derinliği ve yol uzaklığı gibi 6 kriter ele alınmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre oluşturulan haritada bölgelerin uygun, orta ve uygun değil şeklinde sınıflandırmasını yapmışlardır. Çalışma sonucunda yağmur hasadının yapılacağı potansiyel baraj yerleri belirlenmiştir [32].

Loper ve Stoughton (2019) çalışmalarında Amerika'da yağmur hasadı yapılabilecek bölgelerin stratejik olarak belirlenmesinde yol gösterici olması için ArcGIS programını kullanarak iki harita oluşturmuştur. İlk hazırladıkları haritada herhangi bir kullanım için yağmur hasadı potansiyeli belirlenmiş, ikinci haritada ise sulama için Amerika'da yağmur hasadı potansiyeli olan bölgeler belirlenmiştir.

Kurumların yağmur hasadı sistemlerini haritada belirlenen uygun alanlara yerleştirmesi gerektiğini belirtmişlerdir [33].

1.2 Tezin Amacı

Küresel ölçekte nüfusun hızla artmasıyla birlikte plansız kentleşme artmaktadır. Hızlı ve plansız kentleşmenin de bir sonucu olarak yeterince yeşil alanı olmayan kentlerde, geçirimsiz betonlaşmış yüzeyler karşımıza çıkmaktadır. Artan geçirimsiz yüzeyler su döngüsünü olumsuz yönde etkileyerek su kaynakları üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Ayrıca artan nüfus ile birlikte de suya olan talep artmaktadır ve dünyanın bazı yerlerinde su kıtlığı önemli bir sorun oluşturmaktadır. Ülkemiz de gelecekte su sıkıntısı yaşayacak ülkeler arasında olarak gösterilmektedir. Bu durumda yağmur suyunun değerlendirilmesi, talebin karşılanmasına yardımcı olacak çok önemli bir kaynak olarak görülmektedir. "Kentsel alanlarda yağmur hasadı potansiyeli ve peyzajda kullanımı-Büyükçekmece İlçesi örneği" başlıklı bu tez çalışmasında yağmur suyu yönetim tekniklerinden biri olan yağmur hasadı tekniği ele alınmıştır. Yağmur suyunun kentin kamusal yeşil alanlarında yapılacak sulamada yeterli olup olmadığının ortaya konulması, bu konuda farkındalığın yaratılması ve diğer kentlere örnek olunması tezin asıl amacını oluşturmaktadır. Bu amaçlarımız detaylandırıldığında;

İlk olarak küresel ve Türkiye ölçeğinde, suyun yaşamın devamlılığı için önemini ve su rezervlerinin durumunu ortaya koymak,

Kentleşmenin su döngüsü üzerindeki etkisi ve kent alanlarında bulunan peyzaj alanlarında yağmur suyunun önemini vurgulamak,

Ülkemizde ve dünyada yağmur suyu hasadı ile ilgili izlenen politikalar ve yapılmış uygulamaları incelemek,

Yağmur hasadının bileşenleri ve hasat tekniklerinin neler olduğunu araştırmak

ve bunların ışığında;

Büyükçekmece ilçesinde yapılacak yağmur hasadı çalışmasında, yıllık ne kadar yağmur suyu depolama potansiyelinin olduğunu, depolanabilecek bu su ile gerekli sulama ihtiyacının ne kadarının karşılanacağını, yağmur hasadı sisteminin

uygulanacağı yerin belirlenmesi için alanın analizinin yapılması ve uygun yer seçimine karar verilmesi şeklinde özetlenebilir.

1.3 Hipotez

Tez kapsamında "Kentsel alanlarda geçirimsiz yüzeylerin artmasından dolayı yağmur suyu değerlendirilemeden uzaklaşmaktadır."

"Artan nüfus ile birlikte suya olan talep hızla artmaktadır. Planlama anlayışı böyle devam ettiği sürece pek çok ülkede ve ülkemizde su kıtlığı yaşanabilecektir." Bu problemin çözümünde diğer yöntemlere ek en önemli yöntem olarak yağmur hasadının yer aldığı hipotezler ortaya atılarak ve bu hipotezlere bağlı kalınarak tezde belli sorulara yanıt aranmıştır.

Kentleşmenin su döngüsü üzerindeki etkisi,

Yağmur suyunun kentsel peyzajda kullanım potansiyeli,

Yoğun kentleşme, iklim değişikliği ve artan nüfusun su kaynakları üzerinde yarattığı baskı için alternatif yöntem olan yağmur hasadı tekniklerinin neler olduğu,

Yağmur suyu hasat sisteminde yer belirleme kriterleri, sorularına yanıt aranmıştır.

1.4 Yöntem

Çalışmada Büyükçekmece'de bulunan bina çatılarından hasat edilebilecek yağmur suyu ile ilçedeki kamusal yeşil alanların sulama ihtiyacının ne kadarının karşılanarak, ne kadar su tasarrufu sağlanacağının hesaplanması için; Büyükçekmece İmar ve Şehircilik Müdürlüğü'nden alınan yerleşim haritasından ilçedeki yağmur suyu hasadının yapılmasına uygun bulunan binaların çatı alanları, AutoCAD programı kullanılarak hesaplanmıştır. Kamusal yeşil alanların ne kadar suya ihtiyaç duyduğunu hesaplamak için harita üzerinden kamusal yeşil alanların kapladığı alan (park, meydan, refüjler, yol kenarları) ölçülmüştür. İstanbul Meteoroloji 1. Bölge Müdürlüğü'nden 20 yıllık (2001-2020) iklim verileri elde edilmiştir. Büyükçekmece ilçesinin 2001-2012 yılları arası iklimsel verileri bulunmadığından ilçeye en yakın ölçüm istasyonu olan Florya istasyonunun

verilerine ulaşılmıştır. 2012'den 2020'ye kadar iklimsel veriler Büyükçekmece'de yapılan ölçümlerden alınmıştır. Ayrıca ilçede yağmur suyu hasadının yapılmasında uygun alanların belirlenmesi için çeşitli analizler yapılmıştır. İlçenin topoğrafik haritası ArcGIS programında dem verileri aracılığıyla hazırlanmış, drenajı belirlemek için hidroloji haritası çıkarılmıştır. Ayrıca ilçenin hidrojeoloji, toprak, arazi kullanış ve su kirliliği haritaları da ArcGIS programı kullanılarak hazırlanmıştır.

Hesaplamalar aşağıda verilen formüllere bağlı kalınarak yapılmıştır.

Yağmur suyu verimi için DIN1989 tarafından belirlenen (1.1) eşitliği kullanılmıştır [34]:

Yağmur suyu verimi (L):
Yağmur toplama alanı (m^2)* x yıllık yağış miktarı(mm)** x çatı katsayısı*** x filtre etkinlik katsayısı**** [34] (1.1)

Uygun tank boyutu hesaplamak için İngiliz standartları BS, (2009)'de belirtilen (1.2) eşitliği kullanılmıştır:

Uygun Tank Boyutu Hesaplama Yöntemi:
Yıllık Yağış miktarı (mm) x Çatı Alanı (m^2) x çatı katsayısı x filtre etkinlik katsayısı x 0.05 [35] (1.2)

Tank boyutu genel kurala göre, yıllık yağmur suyu veriminin % 5'i olmalıdır, Bu nedenle bir yıllık yağmur suyu arzının % 5'ini hesaplamak için 0,05 katsayısı uygulanır [35].

*Yağmur suyu toplama alanı: Binaların çatı alanıdır.

**Yağış miktarı: Meteoroloji 1. Bölge Müdürlüğü tarafından belirlenen toplam yıllık yağış miktarıdır.

***Çatı katsayısı: Alman standartları DIN1989'da 0.8 olarak belirtilmiştir. Çatıya düşen yağmur suyunun bir kısmının yağmur hasadı sisteminde kullanılamayacağını ifade etmektedir. Çatı tiplerinin özelliklerine göre farklı değerler aldığı Tablo 1.1'de gösterilmiştir [36].

****Filtre etkinlik katsayısı: Alman standartları DIN1989'da 0.9 olarak belirtilen katsayıdır. Çatıdan elde edilen yağmur suyundan katı maddelerin uzaklaştırılması için yağmur suyunun geçirildiği filtrelerin verimlilik katsayısıdır. Katı maddelerin filtrelenmesiyle yağmur suyunun bir kısmının filtreden geçemeyeceğini ifade etmektedir [37].

Tablo 1.1 Çatı katsayısı tablosu [36]

Çatı Tipi	Çatı katsayısı
Galvanizli demir sac	0.90
Asbest Levhalar	0.80
Kiremit	0.75
Beton	0.70

Yeşil alan sulama suyu ihtiyacının hesaplanması için Büyükçekmece Belediyesi'nden alınan verilere ve bölgenin su bilançosu verilerine göre Büyükçekmece ilçesinde yeşil alan sulama dönemi 20 yıllık bir ortalama ele alındığında 15 Nisan'da başlayıp 15 Eylül'de bitmektedir. Beş ay boyunca yapılan sulamada ortalama olarak m^2 başına 4,7 L sulama suyu gerekmektedir. Yeşil alanların ihtiyacı olan sulama suyu miktarı, haftanın her günü, haftada 4 kez ve haftada üç kez sulama olarak ayrı ayrı ele alınmıştır. Toplam yeşil alan miktarı ile sulanacak gün sayısı ve m^2 başına ortalama sulama suyu miktarı olan 4,7 L ile çarpılarak hesaplama yapılmıştır.

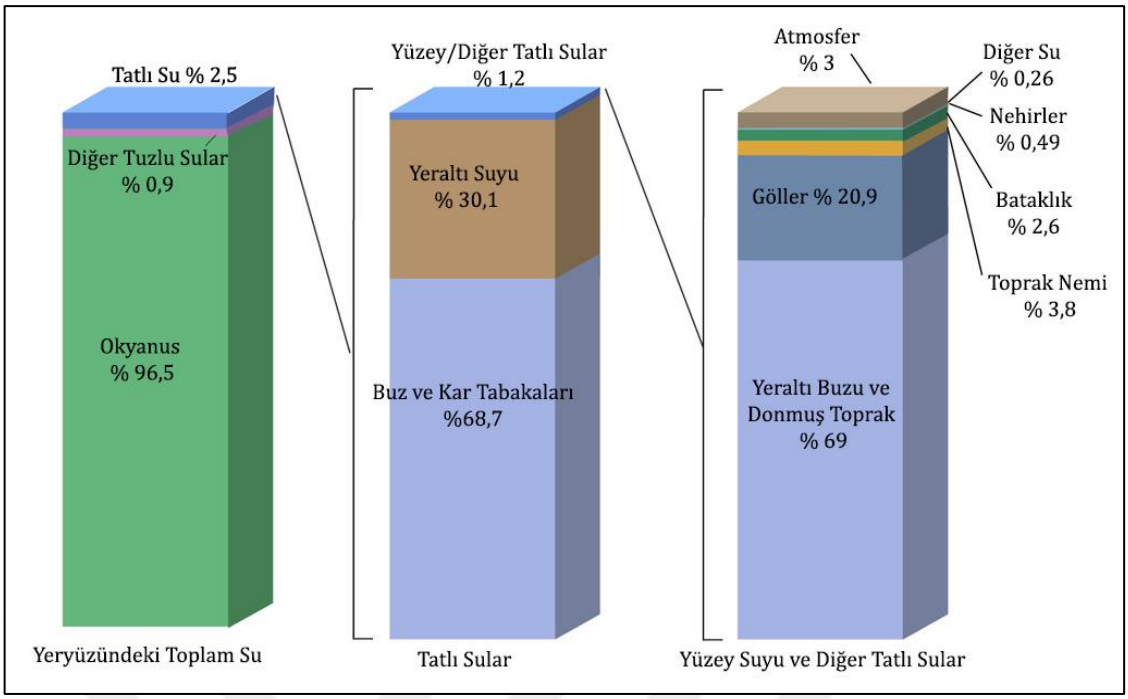
2
SU KAYNAKLARININ DURUMU, ÖNEMİ VE YAĞMUR SUYU HASADI

2.1 Dünyada Su Kaynaklarının Durumu

Yeryüzünde suyun kökeni birkaç milyon yıl öncesine dayanmaktadır. Yer kabuğunda meydana gelen volkanik patlamalar, magmadan dışarı uçucu gazlar çıkarmıştır. Su da bu gazlardan birisi olarak çıkmıştır. Okyanus, göl, akarsuların, diğer yüzey suları ve yeraltı sularının o zaman oluştuğu tahmin edilmektedir. Bu su kütleleri döngüye girerek günümüze kadar gelmişlerdir. Su, dünyada buhar, buzul, yeraltı suyu, toprak suyu, yüzey suyu olarak bulunmaktadır. Yeryüzündeki tüm canlılarda su bulunmaktadır [38].

Tarih boyunca da yerleşim alanları su kıyılarına kurulmuştur. Büyük medeniyetler incelendiğinde yerleşimlerini su kıyılarına inşa ettikleri görülmektedir.

Dünya yüzeyinin % 71'i sulardan oluşmaktadır. Dünyada su kaynakları tatlı ve tuzlu sular olmak üzere ikiye ayrılır. Yerkürede bulunan suyun % 97,5'u tuzlu sulardan oluşmaktadır. Tuzlu suların % 96,5'unu okyanus ve % 0,9'unu diğer tuzlu sular oluşturmaktadır. Geri kalan % 2,5'u ise tatlı sulardan oluşmaktadır (Şekil 2.1), [1]. Canlı yaşamının devamlılığı için tatlı suya ihtiyaç duyulmaktadır. Dünyadaki tatlı suyu buzullar, kar tabakaları, yeraltı suyu, toprak nemi, bataklık, donmuş toprak, nehir ve göller oluşturmaktadır [39]. Yeryüzünde su kaynaklarının dağılımı Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Yeryüzünde suyun dağılımı [40]

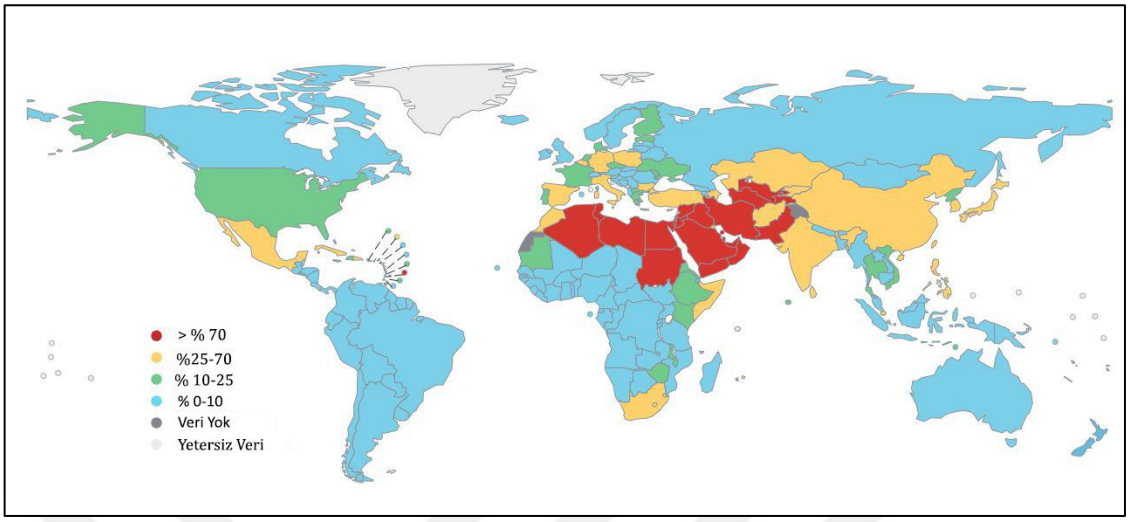
Dünyadaki suyun % 1'i su buharı halindedir. Su buharı yerkürede çok az miktarda bulunmasına rağmen sera gazıdır ve dünyayı dolaşırken beraberinde suyun katı halden ya da sıvı halden buhar hale dönüşürken açığa çıkardığı gizli ısıyı taşıdığından dolayı sera etkisi ile iklim değişikliği için önemli tehdit unsurudur [41].

Tatlı su yenilenebilir bir kaynaktır. Ancak nüfus artışı ve iklim değişikliğine bağlı olarak sürekli azalmaktadır [42].

BM verilerine göre yeryüzünde su kaynaklarının en bol (% 36) bulunduğu kıta Asya kıtasıdır. Asya kıtasını sırasıyla, Güney Amerika (%26), Kuzey Amerika (% 15), Afrika (% 11), Avrupa (% 8) ve Avustralya (% 5) izlemektedir [43]. Ancak nüfus arttıkça kaynak kullanımı da arttığı için bazı kıtalarda kişi başına düşen su miktarı çok düşüktür.

"Küresel su kullanımı son 100 yılda 6 kat artmıştır. Dünya çapında su kullanımı 1980'lerden beri her yıl % 1 artmaktadır." Su kullanımının her geçen yıl istikrarlı bir şekilde artmasının nedeni gelişmekte olan ülkelerde ve yükselen ekonomilerde artan talep ile nüfus artışı, sosyo-ekonomik gelişme ve artan tüketim kalıplarının bütünü ile ilişkilidir [44]. Nüfus ve iklim değişikliği ile suya olan talep arttıkça fiziksel su stresi seviyesinin artması beklenen bir durumdur (Şekil 2.2). Dünyadaki

bazı ana akiferler giderek artış gösteren su stresi altına girmiş ve en büyük yeraltı su kaynaklarının % 30'u tükenmektedir [45].



Şekil 2.2 Dünyada fiziksel su stresi seviyesi [46]

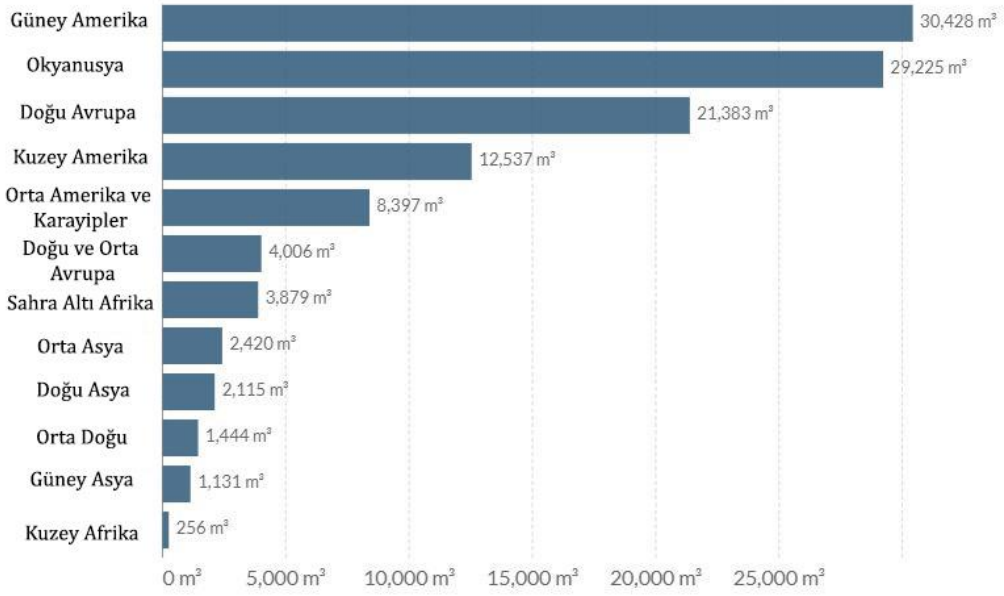
Son 20 yılda dünyada, yüzeyde ve yeraltında bulunan toplam su, her yıl 1 cm erimektedir. Kullanılabilir tatlı suyun sadece % 0,5 olması ve her geçen yıl azalması su stresi seviyesini artırmaktadır [47].

Dünya genelinde 4 milyar insanın yani dünya nüfusunun 2/3'ü her yıl en az bir ay su kıtlığı yaşamaktadır. İki milyardan fazla insan yetersiz su kaynağına sahip ülkelerde yaşamaktadır. Ekonomik olarak yetersiz altyapıdan kaynaklı 1,6 milyar insan suya ulaşım sağlayamamaktadır. Dünya nüfusunun yarısının 2025'e kadar su kıtlığıyla yüzleşeceği beklenmektedir. Yoğun su kıtlığı olan yerlerde yaşayan nüfus 2030 yılına kadar göç etmek zorunda kalacaktır. Her 4 çocuktan biri 2040 yılına kadar yüksek su kıtlığına maruz kalan bölgelerde yaşayacaktır [48]. Günümüzde her 9 kişiden 1'inin evinin yakınında temiz suya erişimi yoktur. Dünyadaki nüfusun % 60'ı, su kaynaklarının talep edilen suyu karşılayamadığı veya karşılayamayacağı bölgelerde yaşamaktadır [49].

Günümüzde, yeryüzünde % 57 olan kent nüfusunun 2050 yılında % 69'a çıkacağı tahmin edilmektedir [50]. Nüfus artışı ile beraber 5 milyar insanın su sıkıntısı çeken bölgelerde yaşayacağı beklenmektedir [47].

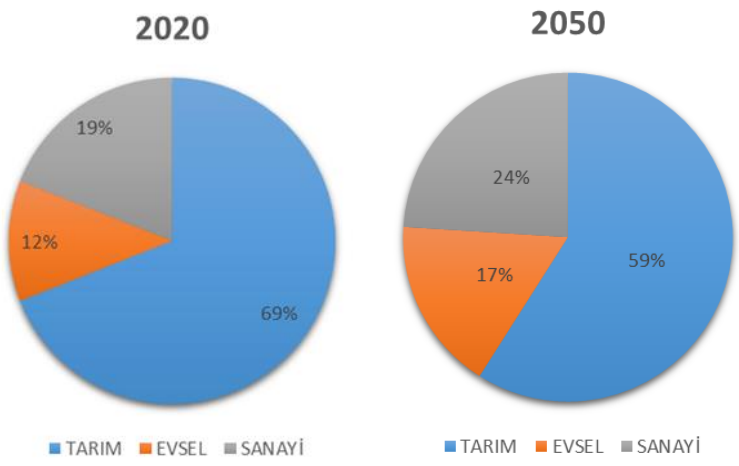
Yeni politik kararlar alınmadığı sürece 2050 yılına kadar var olan tatlı su miktarı daha da azalacak ve nüfusun % 40'ından fazlası özellikle Kuzey ve Güney Afrika

ile Kuzey ve Güney Asya'da şiddetli su kıtlığı olan nehir havzalarında yaşayanların daha fazla etkileneceği beklenmektedir. Artan talep karşısında, yeraltı sularının da azalmasıyla tarım ve kentsel su kaynakları için tehdit unsuru oluşacaktır [51]. Şekil 2.3'de kıtalara göre yıllık kişi başına düşen su miktarları verilmiştir.



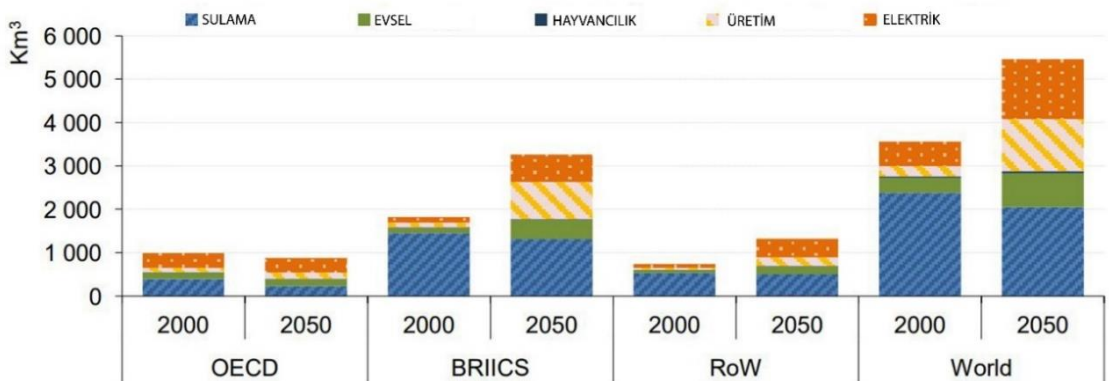
Şekil 2.3 Kıtalara göre yıllık kişi başına düşen su miktarı [52]

Küresel ölçekte tatlı su kullanımının % 69'unu tarım (sulama, hayvancılık ve su ürünleri yetiştiriciliği) amacıyla kullanımı oluşturmaktadır. Sanayide kullanımı elektrik ve enerji de dâhil % 19'unu oluştururken geriye kalan % 12'sini de belediyenin evlere, toplu kullanım alanlarına ve işyerlerine sağladığı su oluşturmaktadır [45]. Tarım için su kaynağından alınan su, dünya genelinde yeraltı suyunun azalmasının birincil etkenidir [53]. Şekil 2.4'de dünyada su kullanım alanlarının 2020 ve 2050 yıllarındaki dağılımları verilmiştir. 2050 yılında tarım için çekilen su miktarının % 10 azalarak % 59'a düşeceği, sanayi ve evsel kullanım oranlarının da artacağı tahmin edilmektedir [54].



Şekil 2.4 Küresel ölçekte su kullanım alanları 2020-2050 [45], [54]

Yeryüzüne düşen yağış miktarı yılda ortalama 110.000 km^{3}'tür. Bu yağışın % 56'sı ormanlar ve doğal peyzajlardan, % 5'i tarım alanlarından buharlaşmaktadır. Yağışın geriye kalan kısmı yüzey akışına ve yeraltı suyuna dönüşmektedir. Su kaynaklarından su çekilerek tarım, ev, iş yerleri, endüstri ve yapay sulak alanlarda kullanılmaktadır. Tarımda sulama ve hayvancılık, belediyede evsel kullanım, endüstride üretim için su çekilmektedir [53]. Şekil 2.5'de 2000 ve 2050 yıllarında sektörlere göre su talebi senaryosu verilmiştir. Tüm dünya için 2000 ve 2050 yılları karşılaştırıldığında; 2050 yılında su kullanımının, tarım sektöründe azaldığı, evsel, elektrik ve üretim sektörlerinde ise arttığı görülmektedir.



Şekil 2.5 Sektörlere göre dünya su talebi senaryosu 2000 ve 2050 [55]

NOT:

OECD: OECD ülkeleri

BRIICS: Brezilya, Rusya, Hindistan, Endonezya, Çin, Güney Afrika

RoW: Dünyanın geri kalanı

World: Dünya

Suyun yaşamsal faaliyetler için hayati öneme sahip olmasının yanında, ülkelerin ekonomik gelişme düzeylerinde de büyük bir öneme sahip olması, su kıtlığına karşı farklı alternatif yöntemler aranması ve ülkelerin küresel düzeyde politikalar uygulamasına yol açmaktadır [56].

Su kaynaklarının farklı sektörlerde plansız kullanımı ve öneminin yeterince anlaşılmamasının nedeni su için alınan politik kararlar ve yanlış yönetimidir. Gün geçtikçe ve güvenli suya ulaşım oranı azaldıkça su, toplum için temel değerleri açısından önemli bir yere gelmiştir. Suyun değeri üzerine "Değer Gelişiminin Yol Haritası" konulu panelde su sosyo-kültürel, ekonomik ve çevresel ölçeklerde küresel olarak ortak bir uzlaşmayla ele alınmıştır [56].

SDG 6 raporuna göre sürdürülebilir su sistemlerinin desteklenmesi için "Herkes için su ve sıhhi koşulların erişilebilirliği ve sürdürülebilir yönetiminin güvence altına alınması" hedefi belirlenmiştir [57].

Yaşanılan su kıtlığına karşı ülkeler bir araya gelerek çeşitli önlem kararları almışlardır. Su kaynakları için pek çok zirve düzenlenmektedir. Bu zirvelerden "Birinci Dünya Su Forumu" 1997 yılında Fas'ın Marakeş şehrinde gerçekleştirilmiştir. Bu forumda suyun ticari bir kaynak olamayacağı, su sanitasyonu, ekosistemin korunması ve suyun verimli kullanılması gibi öncelikler belirlenmiştir [58].

Bu zirvelerden beşincisi 2009 yılında ülkemizde "Beşinci Dünya Su Forumu" olarak gerçekleştirilmiştir. Bu forumun ana teması da "Farklılıkların Suda Yakınlaşması" olmuştur. Ana tema 6 farklı başlıkla incelenmiştir. Bunlar: Küresel değişimler ve risk yönetimi, insani kalkınmanın ve bin yıllık kalkınma hedeflerinin geliştirilmesi, su kaynaklarının yönetimi ve korunması, idare ve yönetimi, finansman ve eğitim, bilgi ve kapasite geliştirme başlıklarıdır [59]. Dokuzuncu zirve 2022'de Senegal'in başkenti Dakar'da yapılacaktır. Bu forumun teması "Barış ve Kalkınma için Su Güvenliği" olacaktır. Herkes için su ve sanitasyon hedef konusudur [60].

2.2 Türkiye'de Su Kaynaklarının Durumu

"Ülkemiz 25 akarsu havzasından oluşmaktadır. Türkiye'de akarsuların çoğu burada doğup burada denize dökülmektedir" [7].

TÜİK verilerine göre, 2020 yılında Türkiye'de bulunan su kaynaklarından toplamda 18,2 milyar m^3 farklı amaçlarla kullanılmak üzere su çekilmiştir. Çekilen suyun % 56'sı denizden, % 22.5'u yeraltı suları ve % 21.5'u ise yüzey suları olmak üzere toplamda % 44'ü tatlı sulardan sağlanmıştır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Kaynağına göre çekilen su [61]

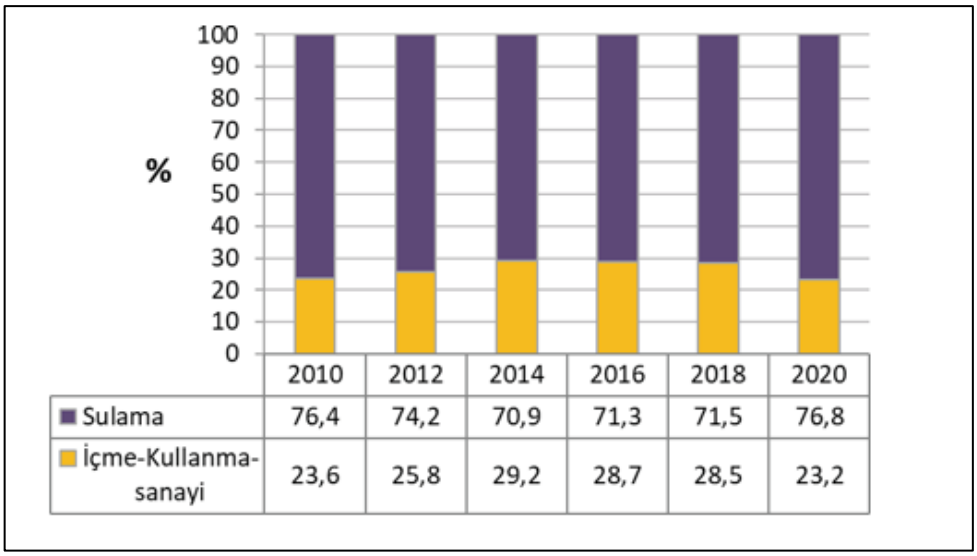
Ülkemizde 2020 verilerine göre yıllık ortalama yağış 574 mm'dir. Bir yılda aldığı toplam yağış miktarı ise 450 milyar m^3'tür. Farklı sektörlere göre suyun kullanımı ise tarım için yıllık 44 milyar m^3, yıllık içme, kullanma ve sanayi suyu toplamı ise 13 milyar m^3'tür. Yüzey ve yeraltı sularının kullanılabilirlik potansiyeli 112 milyar m^3 iken kullanılan toplam su miktarı 57 milyar m^3'tür (Tablo 2.1), [7].

Dünyada 1 yılda kişi başı su kullanım miktarı 1000 m^3'ün altında olan ülkeler su fakiri; kişi başı 1000-3000 m^3 arasında su kullanımı olan ülkeler su kısıtı/stresi çeken ülkeler; kişi başına 10.000 m^3 üstü su düşen ülkeler ise su zengini ülkeler olarak nitelendirilmiştir [62]. Ülkemizde kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı, "2000 yılında 1652 m^3, 2009 yılında 1544 m^3, 2020'de ise 1346 m^3 olmuştur" [7]. Dolayısıyla ülkemizde kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1000-3000 m^3 bandında olduğu için ülkemiz su kısıtı/stresi çeken ülkelerdendir.

Türkiye'de 2030 yılına kadar ekonominin gelişmesi, kentleşme ve artan nüfus ile birlikte kişi başına düşen su miktarının 1120 m^3 olması beklenmektedir [63]. Şekil 2.7'de Türkiye'de sektörlere göre su kullanımı yıllara göre yüzde olarak ele alınmıştır.

Tablo 2.1 Su kaynakları potansiyeli [7]

SU KAYNAKLARI POTANSİYELİ		
Yıllık ortalama yağış	574	mm/yıl
Türkiye'nin Yüzölçümü	783.577	km^2
Yıllık Yağış Miktarı	450	milyar m^3
Yüzey Suyu		
Yıllık yüzey akışı	186	milyar m^3
Kullanılabilir yüzey suyu	94	milyar m^3
Yeraltı Suyu		
Yıllık çekilebilir su miktarı	18	milyar m^3
Toplam kullanılabilir su (net)	112	milyar m^3
Gelişme Durumu		
Sulama suyu	44 milyar m^3	
İçme-kullanma ve sanayi suyu	13 milyar m^3	
Toplam kullanılan su	57 milyar m^3	



	2010	2012	2014	2016	2018	2020
Sulama	76,4	74,2	70,9	71,3	71,5	76,8
İçme-Kullanma-sanayi	23,6	25,8	29,2	28,7	28,5	23,2

Şekil 2.7 Sektörlere göre su kullanım miktarı (2010-2020) [64]

Tarım sektörü dünyada olduğu gibi Türkiye'de de en çok su kullanılan sektördür. 2003 yılı verilerine göre Türkiye'de tarımda sulama için kullanılan su miktarı 29,6 milyar m^3 iken, 2020 yılında tarım sektörü için kullanılan su miktarı 44 milyar m^3 olmuştur ve bu miktarın 2030 yılında 72 milyar m^3 olacağı tahmin edilmektedir [7], [62].

Türkiye su kısıtı olan bir ülke olduğundan ve şu an su kıtlığı etkileri tam olarak hissedilmese de önlemler alınmadığı sürece gelecekte önemli bir gündem olması kaçınılmazdır. Sürdürülebilir kullanım teknikleri konusunda ülkemizin su kaynaklarının korunumu ve kullanımı için yönetim ve planlama politikaları mevcuttur.

Türkiye'nin su politikası, farklı sektörlerin talebini karşılayabilmek, ülkenin farklı yerlerindeki sosyal ve ekonomik gelişme farklılıklarını yok ederek herkese eşit su sağlayabilmek, güvenli su ve gıda ihtiyacını sağlamak, enerjide dışa bağımlılığı azaltmak gibi başlıklar altında ele alınmıştır [63].

Türkiye'nin önemli adımlarından bir tanesi Avrupa Birliği tarafından su kaynaklarının korunması ve yönetilmesi konusunda izlediği su politikalarının anayasası olarak kabul edilen ve uluslararası entegre havza yönetimi olan 23 Ekim 2000 tarihli Su Çerçeve Direktifini (SÇD) ülkemize uyarlamak olmuştur [65].

Su kaynaklarının korunumu ve yönetimi için DSİ ve Su Yönetimi Genel Müdürlüğü başta gelmektedir. DSİ, 6200 sayılı kanun ile Türkiye'deki bütün su kaynaklarının yönetimi, planlanması için yetkili kılınmıştır. Su Yönetimi Genel Müdürlüğü "Havza Koruma Eylem Planları ve Nehir Havzası Yönetim Planları"nı hazırlamakla sorumludur [63].

Türkiye'de su yönetimiyle ilgili doğrudan ilişkili Çevre kanunu, 6200 sayılı DSİ kanunu ve Yeraltı suları kanunları mevcuttur [62].

Atık su arıtma ve su kirliliği kontrolü ile ilgili uyulması gereken kurallar, 1988 yılında çıkan ve 2004 yılında revize edilen Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde ele alınmıştır [62].

DSİ su kaynakları korunumu, planlaması ve yönetimi üzerine günümüze kadar birçok yasa ve yönetmelikte yetkili olmuştur. Bunların dışında su ile ilgili "Su Kanunu," "Su Havzalarının Korunması ve Yönetim Planlarının Hazırlanması Hakkında Yönetmelik," "Atıksuyun Geri Kazanımı Yönetmeliği" gibi su alanında AB mevzuatına uyum kapsamında çalışmalar gerçekleştirilmiştir [66].

Tarım ve Orman Bakanlığının (2013-2016) "İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi" konulu projesinde Türkiye'de bulunan yeraltı ve yüzey sularının havza bazında iklim değişikliği etkisini tespit etme ve iklim değişikliğine uyum faaliyetlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır [66].

Strateji ve Bütçe Bakanlığı'nın, Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği Özel İhtisas Komisyonu raporunda, su kaynakları ile ilgili alınan politika ve tedbirlerde yüzey ve yeraltı su kaynaklarının korunması, su kirliliğinin önlenmesi ve suyun sürdürülebilir kullanımı kapsamında plan yapılması üzerine önemli çalışmalar yapılmıştır [67].

On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) raporunun 697. maddesinde kentsel altyapı ile ilgili alınan politika ve tedbirlerin su kaynaklarını koruma, geliştirme ve sürdürülebilir bir şekilde kullanımının sağlanması için yapılan plan ve stratejilerin havza bazında bir bütün olarak ele alınacağına değinilmiştir [68].

Tarım ve Orman Bakanlığı Ulusal Su Planı kapsamında 2023 yılı vizyonu olarak Türkiye'de su kaynaklarımızın koruma, kullanma ve verimli şekilde sürdürülebilir

yönetimi için bir hedef belirlenmesini katılımcı ve bütüncül bir yaklaşım hedefiyle hazırlamıştır [69].

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı "Atıksu Toplama ve Uzaklaştırma" Yönetmeliği kapsamında, atıksu yönetimi konusunda, halk sağlığının ve çevrenin korunması, sistemin sürdürülebilir olarak planlanması, tasarımı ve işletilmesine dair usul ve esasların düzenlenmesi amaçlanmıştır [70].

Su kaynakları üzerindeki baskının azaltılması için çeşitli yöntemlerden biri olan yağmur suyunun değerlendirilmesi kapsamında suyun sürdürülebilir olarak kullanımı için pek çok yöntem vardır. Bu yöntemlerden birisi de yağmur suyu yönetimi uygulanarak yağmur suyunun kullanıma kazandırılması ile mümkün olabilmektedir

Türkiye'de yağmur suyu yönetimi çerçevesinde çeşitli politika ve uygulamalar yapılmaktadır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından hazırlanan "Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri" hakkında yönetmelik, sistemin planlama, tasarım, projelendirme, işletme ve bakımı hakkında usul ve esasları kapsamaktadır.
Ayrıca raporun Ek 1 listesinde yağmur hasadı sistemi ele alınmıştır. Sistemin planı, tasarımı ve bileşenleri konu olmuştur [71].
Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021 yılında "Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği'nde Değişiklik Yapılmasına" Dair Yönetmelik'te 2000 m^2'den büyük parsel üzerine yapılan binalarda çatılardan yağmur hasadı yapılarak, zemin altında bir depoda suyun depolanarak, ev içi kullanımda ve bahçe sulamada kullanılmasını zorunlu kılma yönünde bir düzenleme yapmıştır [72].

Su kaynaklarımız her ne kadar su döngüsü ile yenilenebilir olsa da artan nüfus, kentleşme ve iklim değişikliği gibi unsurlar su kaynaklarımızın tükenmesine neden olmaktadır. Bunun yanı sıra değerli bir su kaynağı olan yağmur suyu kentsel alanlarda değerlendirilemeden buharlaşarak ya da atık suya karışarak uzaklaşmaktadır. Diğer yandan kentleşme baskısıyla da yüzey akışına geçerek ve kimi zaman sel ve taşkın gibi dünya genelinde ciddi hasarlara yol açarak yağmur suyunun yönetimi konusunda eksiklikler olduğu görülmektedir. Bu nedenle dünya ülkelerinde yağmur suyu yönetimi ile ilgili çeşitli politikalar uygulanmakta ve su

kıtlığı karşısında yağmur suyundan faydalanılabilinmesi için yağmur hasadı tekniği ile ilgili uygulamalar yapılmaktadır.

2.3 Kentte ve Kentsel Peyzajda Suyun Önemi

Kentler üzerine kuruldukları doğal çevre bileşenlerine göre değişiklik göstermektedir. Jeolojik yapı ve jeomorfolojik özellikler, iklim koşulları, hidrografya, toprak ve bitki örtüsü gibi doğal çevre bileşenleri, kentte yaşayanların sosyal, kültürel ve ekonomik faaliyetlerini etkilemekte ve yerleşimin geleceğini oluşturmaktadır [73].

Deniz, göl, akarsu gibi hidrografik koşulların elverişli olduğu alanlar kent yerleşimlerinin dağılışı ve yayılışındaki önemli unsurlardandır. Su rezervleri kentin sosyo-ekonomik açıdan gelişimi için önemlidir [74].

Su, kent ekosistemine canlıların içme ve kullanımının yanı sıra mikroklima etkisi yaratması, rekreasyon alanı oluşturması, kentin flora ve faunasını koruması, gürültünün kontrolünün sağlanması, sirkülasyon açısından bir sınırlama sağlayarak mekân oluşturması, görsel ve estetik olarak da katkı sunması açısından önemli bir kaynaktır [75].

Günümüzde su, içme, kullanma, sulama amaçlı kullanılmasının yanı sıra enerji üretiminde, sanayide, madencilikte, turizm ve balıkçılık gibi birçok alanda da kullanılmaktadır. Ayrıca yaşamımızda büyük bir öneme sahiptir [74].

Kentsel yerleşimler veya tarım için arazi yüzeylerinin değiştirilmesi gibi diğer müdahaleler, sızma, akış ve evapo-transpirasyon oranlarındaki değişiklikler yoluyla, hidrolojik döngüyü ciddi şekilde değiştirebilmektedir [76].

Kırdan kente göçün artmasıyla, kentsel alanlarda nüfus artmakta bununla beraber kaçınılmaz bir sonuç olan kentsel büyüme gerçekleşmektedir. Kentleşme ile nüfus artışı, sanayileşme, gelişen teknoloji ve kentsel altyapıdaki sorunlardan kaynaklı su kirliliği artmaktadır. Ayrıca artan nüfus ile birlikte suya talep artmakta ve su kaynakları üzerinde baskı yoğunlaşmaktadır.

Kentsel büyüme, betonlaşmanın artmasına, yeşil alanların azalmasına, geçirimsiz alanların artmasına, kentlerin plansız yerleşiminin akarsuların akış sistemini değiştirmesine ve bunun sonucunda da kentte sel ve taşkın gibi birçok olumsuz

durumun ortaya çıkmasına neden olmakta ve bu durum da potansiyel su kullanımını olumsuz yönde etkilemektedir (Şekil 2.8), [77].

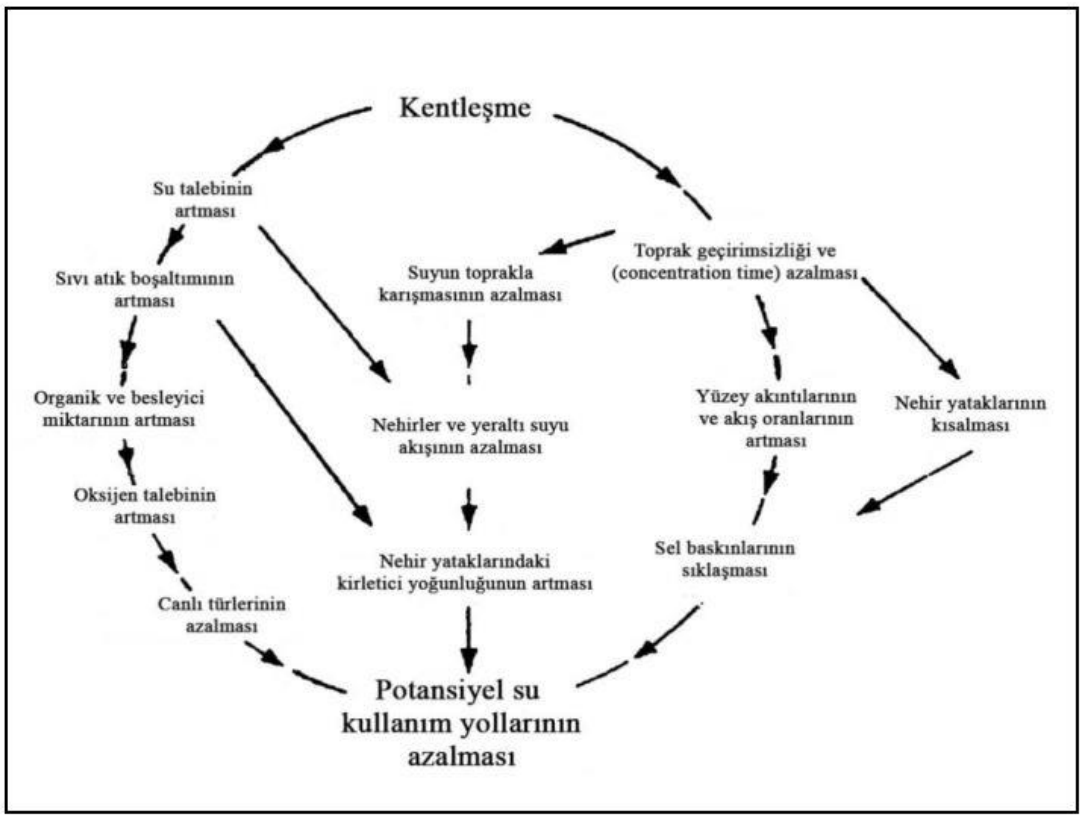
Dünya genelinde artan kentleşme sonucu ulaşım aksları, çatı yüzeyleri gibi yapıların artmasıyla birlikte geçirimsiz yüzeyler de artmış ve drenaj sistemleri geliştirilmiş, toprak sıkıştırma ve tıraşlama yapılmıştır. Bunların sonucunda da akıntılar, nehir koridoru erozyonu artmış, potansiyel taban suyu ise azalmıştır [78].

Sürdürülebilir drenaj sistemleri için akıntı suyunun kirli atık su akıntısına karışmasını önlemek, kanalizasyon sistemine endüstriyel atıkların karışmasından kaçınmak, suda atık taşınmasını azaltmak gibi önerilerde bulunulması önemlidir [78].

Sel ve taşkınlar nedeniyle yağmur suları yeraltı suyunu besleyemeden, değerlendirilemeden uzaklaştırılmakta ve bir kısmı da yeraltı sularına, akarsulara ve barajlara karışarak değerlendirilebilmektedir.

Su kaynaklarının korunarak sürdürülebilir bir şekilde kullanılması hem kent yaşamı hem de küresel ölçekte büyük bir önem arz etmektedir. Bu nedenle kentlerde su tasarrufu sağlayacak önlemler alınması gerekmektedir. Bunun için akarsu, göl, yeraltı sularının korunması ve temiz tutulması, kanalizasyon sularının da arıtma tesislerinde arıtılarak sulama gibi amaçlarla kullanılması gerekmektedir [74].

Yağmur hasadı yöntemi ile yağmur suyundan verimli bir şekilde yararlanılması, kentsel alanlardan geçen akarsu yataklarının temizlenmesi ve taşkın riskine karşı ıslah edilmesi kent yaşantısına yağmur suyu yönetimi konusunda önemli etkiler sağlamaktadır.



Şekil 2.8 Kentleşmeden doğan etkiler [78]

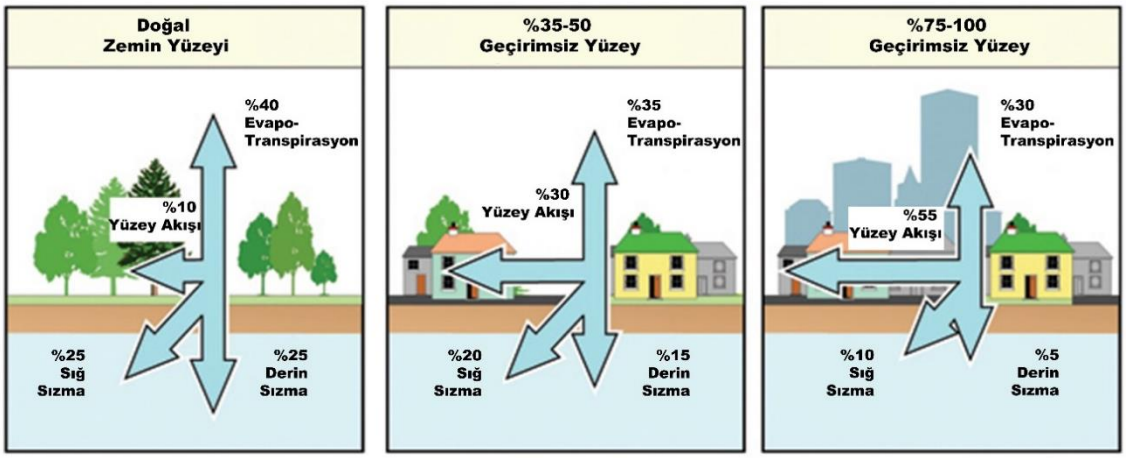
Kentsel alanlarda yaşayan insanlar kentteki yoğun yapılaşma, yaşamsal stresler, hızlı yaşamak, yoğun nüfus gibi baskılardan kaçabilmek için zaman zaman doğaya sığınmaya ihtiyaç duymaktadır.

Dünyada kentleşmenin artmasıyla birlikte kent dokusunun yapılarla sıkışıp büyüyerek, doğal çevreden uzaklaşmasından dolayı kent içinde peyzaj alanları büyük bir öneme sahip olmuştur. Bu durum bir kentin planlanmasında, yeşil dokunun artırılması ihtiyacını gözler önüne sermektedir [79].

Kentte bulunan yeşil alanlar, dinlenme, eğlenme ve spor gibi rekreasyonel aktivitelere olanak sağlarken, sosyalleşmeyi de sağlayarak suç oranlarını düşürmekte, ruh ve beden sağlığını olumlu yönde etkilemektedir. Ekolojik olarak, oksijen sağlama, karbondioksiti tutma, kirli havayı temizleme, tozları tutma, gölge temin etme, güneş ışınlarını absorbe etme, mikroklima oluşturma, nem kontrolü, rüzgâr kontrolü gibi iklim kontrolü sağlama, erozyonu önleme, gürültüyü azaltma işlevlerinin yanında yüzeysel drenajı düzenleme gibi çok önemli işlevlere sahiptir [80].

Kentlerdeki geçirimsiz yüzeylerin yoğunluğundan ve altyapı yetersizliğinden dolayı meydana gelen sel, taşkın ve erozyon da yeşil alanlarının varlığıyla engellenebilmektedir. Yeşil alanlarda bulunan toprak, fazla suyu absorbe etmekte ve bitkiler de toprağı tutucu etkiye sahip olduğundan erozyona engel olmaktadır. Ayrıca yeşil alanlar, kente ekolojik ve biyolojik çeşitlilik açısından katkı sağlamaktadır [81].

Kentleşmeyle artan geçirimsiz yüzeyler suyun doğal döngüsünü olumsuz yönde etkilemektedir. Kırsal alanlarda yağmur suyunun yüzeysel akışa geçiş miktarı % 10 iken, kentlerde bu oran % 55'e ulaşmaktadır (Şekil 2.9). Kentsel alanlarda meydana gelen suyun doğal dengesinin bozulması çeşitli sorunlara neden olmaktadır. Yağmur suyunun yüzeysel akışa geçtiğinde kirletici maddelere maruz kalması, geçirimsiz yüzeylerden dolayı suyun yeraltı akiferlerine şarj edilememesi, sel ve taşkın riski gibi birçok sorun meydana gelmektedir. Bunun için kentsel alanlarda yağmur suyunun sürdürülebilir bütüncül yaklaşımlarla yönetilmesi gerekmektedir [82].



Şekil 2.9 Kentleşmenin yüzey akışına etkisi [83]

Peyzajın kentsel dokuya sağladığı bütün bu katkılardan dolayı doğal dengenin korunması ve sürdürülebilirliği için plan kararları alınırken kent ve peyzajın bir bütün olarak düşünülmesi gerekmektedir.

Kentsel peyzajda yeşil alanların varlığını sürdürebilmesi için iklim başta olmak üzere diğer doğal koşullara da bağlı olarak genellikle büyük oranda suya ihtiyaç duyulmaktadır. Toprağa nem sağlayabilecek en iyi kaynak yağış sularıdır [84].

Su, peyzaj alanlarında yeşil alanların sürdürülebilirliğinin sağlanmasında önemli bir kaynak olmasının yanında bir tasarım öğesi olarak da peyzajın önemli bir parçasıdır.

Günümüzde kentsel alanlarda, yaşanan kuraklık, artan su talebi ve su kıtlığına paralel olarak yağışlar yetersiz kalmakta ve peyzajda su öğesinin kullanımı ve yeşil alanlarda sağlıklı bir şekilde sulama yapılması mümkün olamamaktadır.

Kentte peyzajın devamlılığının sağlanması için su kıtlığına karşı uygulanabilecek farklı sürdürülebilir su tasarrufu sistemleri bulunmaktadır. Bunlar arasında en önemlilerinden bir tanesi de bu tezde ele alınan yağmur hasadı yöntemidir.

Yağmur hasadı ile yağmur suları toplanarak depolandıktan sonra peyzaj alanlarında bu yağış sularının kullanılması ve böylece kent ekolojisine büyük bir katkı sağlayan peyzaj alanlarının sürdürülebilir şekilde korunarak devamlılığının sağlanması hedeflenmiştir.

Sulama için kullanılan yağmur suyunun uğradığı su döngüsü aşamasında havadaki toz partikülleri birçok mineral ve bitki besini içermektedir. Şimşek çaktığında azot ve oksijenin birleşmesi bitkiler için doğrudan alınabilir azotu oluşturmaktadır. Ayrıca yağmur suyunun içerisindeki tuz miktarı çok düşük olduğundan yağmur suyu çok iyi bir çözücüdür. Çeşme suyu içerisindeki klor, topraktaki faydalı bakterileri yok etmekte ve toprakta birikerek bitkiler için toksik etki yapmaktadır. Yağmur suyu, toprakta biriken tuzu yıkayarak sağlıklı kök gelişimi için uygun ortam oluşmasına yardımcı olmaktadır [85].

Tüm bunların yanında kentteki peyzaj alanlarında bulunan bitkilerin verimli bir şekilde gelişebilmesi için bulunduğu bölgenin doğal koşullarına uygun yerel bitkiler olarak tercih edilmesi gerekmektedir.

2.4 Yağmur Suyu Hasadı

Yağmur suyu hasadı yöntemi, mevcut su tedarik sisteminin su talebini karşılamak için yetersiz kaldığı durumlarda, yüzey ve yeraltı sularını tamamlayabilecek bir kaynak sistemidir. Yağmur hasadı, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerinde yarattığı baskı için alınan bir önlemdir [86].

Mengü ve Akkuzu (2008), yağmur hasadını "Yağış sularından maksimum fayda sağlayacak strateji geliştirmeyi amaçlayan su hasadı yöntemi, yağmur sularının ve yüzey akışa geçen suların toplanıp biriktirilmesi, bitkisel ve hayvansal üretim için gerekli olan suyun temini ile evsel tüketim için gerekli suyun sağlanması" olarak tanımlamıştır [87].

Yağmur suyu hasadı, yüzeylere düşen yağışların toplanıp, kontrol edilerek gerek filtrelenerek içilebilir olan ve gerekse filtrelenmeden ev içinde ve ev dışında kullanılarak su tasarrufu sağlayan önemli doğal bir kaynaktır.

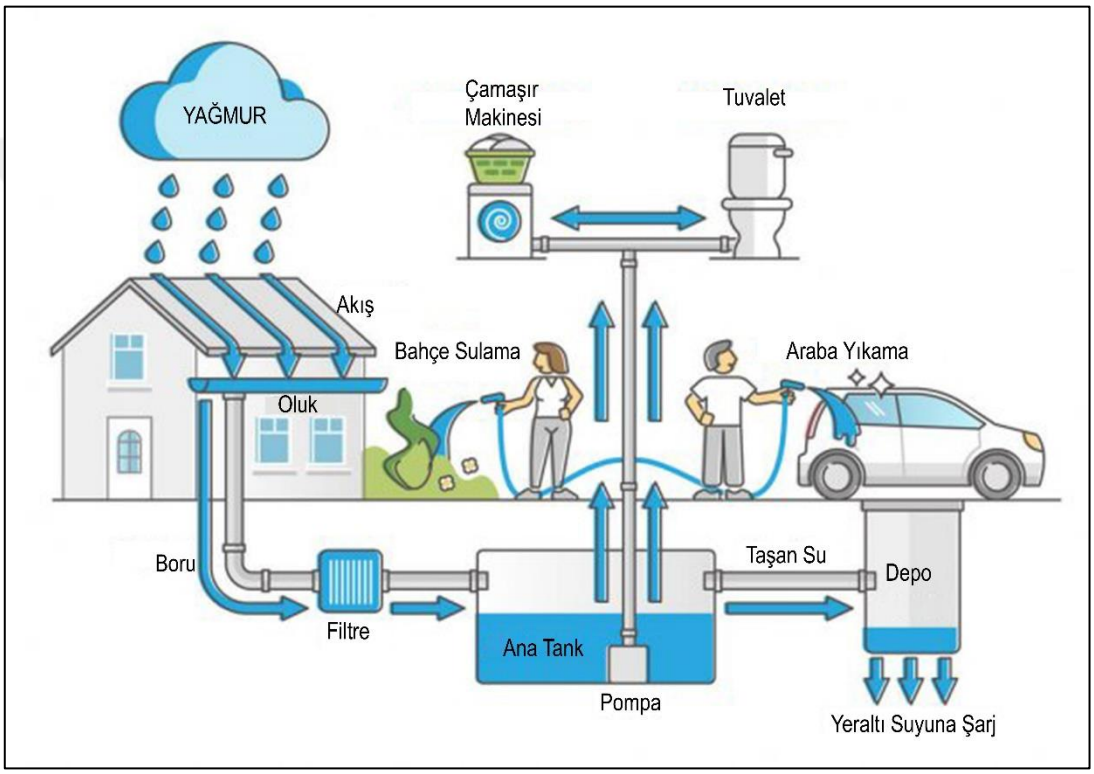
İçilebilir olarak toplanan su yemeklerde, banyo kullanımında, bulaşık yıkamada, yüzme havuzunda ve içme suyu olarak kullanılırken, içilemeyen su ise tuvalet yıkamada, bahçe sulamada, yer yüzeylerinin yıkanmasında ve suyun arıtılmaya ihtiyaç duyulmadığı alanlarda kullanılabilmektedir. Yağmur hasadından elde edilen suyun hacmi bölgeden bölgeye, iklime ve mevsimlere göre değişiklik göstermektedir [13].

Yağmur suyu hasadı yöntemi "Dünyanın en zengin ve en fakir toplumları ile en kurak ve en yağışlı topraklarında kullanılan, esnek ve çeşitli koşullara uyarlanabilen bir yöntemdir" [88].

Yağmur suyu hasadı, taşkın ve sel gibi yoğun yüzey akışlarını azaltması sayesinde, çok katlı binalarda ve yoğun nüfuslu kentlerde drenaj sorununu çözen önemli bir yöntemdir [15].

Yağmur suyu, yağmur hasadı gibi yöntemlerle toplanarak değerlendirilmedikçe kanalizasyon suları gibi atık sulara, toprağa ve yüzey sularına karışır, fazlası altyapının gelişmediği yerlerde yüzey akışına geçerek taşkınlara neden olurken bir kısmı da buharlaşarak yok olmaktadır [89].

Çeşitli yağmur hasadı yöntemleri vardır. Bunlardan bazıları direk kullanım için su kaynağı oluştururken ya da doğrudan alıcı ortama şarj edilirken, bazıları da aşırı yağışlarda yağış suyunun taşkın ve sel gibi durumlara yol açmasına engel olabilecek yöntemlerdir. Tarımsal sulama amacıyla yağmur suyu hasadında yağış, kanallar aracılığıyla kuyu ve havuzlarda depolanabilmektedir. Konut ölçeğinde ise konutların çatılarından toplanan yağmur suyu depolanarak arıtıldıktan sonra ev içi ve dışında içme, kullanma suyu olarak değerlendirilebilmektedir (Şekil 2.10), [90].



Şekil 2.10 Konut ölçeğinde yağmur hasadı sistemi [91]

Kent ölçeğinde de kamu binaları, havalimanı, alışveriş merkezi gibi büyük çatılara sahip alanların çatılarından, otoyollardan, kaldırım, otopark gibi alanlardan yağmur hasadı yapılabilmektedir. Bu alanlardan yapılan yağmur hasadı ile kentsel peyzaj alanlarının sulanması, ticari amaçlı kullanım, araba yıkama, kent içinde oluşturulan rekreasyon alanlarında kullanılan dekoratif amaçlı birçok su elemanı için de toplanan yağmur suları kullanılabilmektedir [92].

Yağmur suyunun pH değeri neredeyse nötr bir değere sahiptir. Tuz, mineraller ve diğer beşeri kirleticileri içermemektedir. Bitkiler hasat edilen yağmur suyu ile

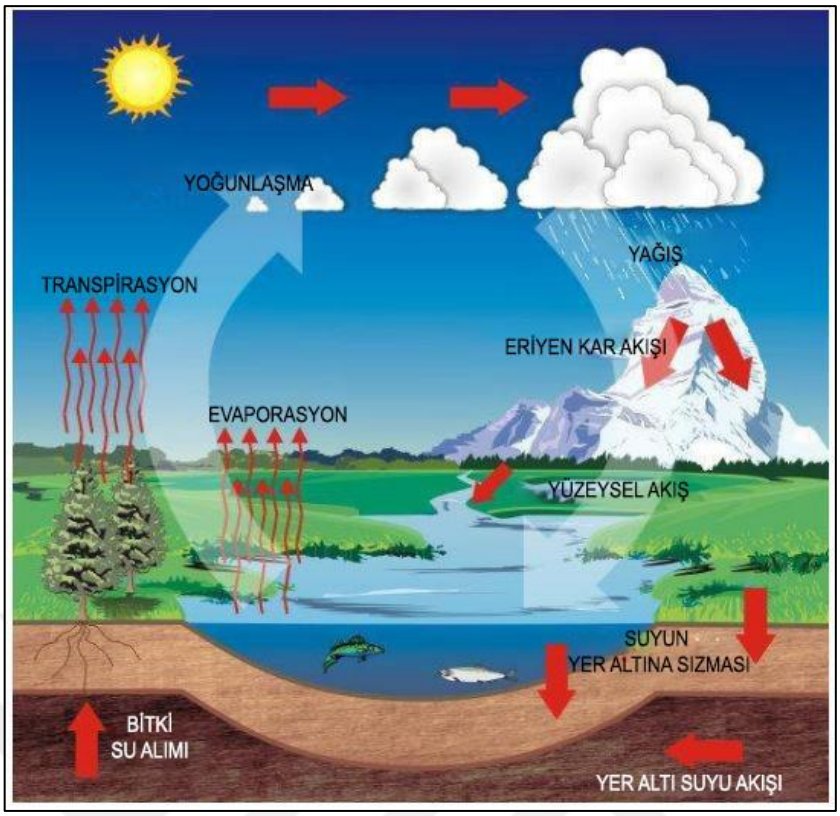
sulanabilmektedir. Depolama ve sulama aletlerinin suyun sertliğinden dolayı aşınmaması için ve kireçten arındırılması için su depolama alanına taşınmadan önce işlem uygulanırsa malzemeler daha uzun ömürlü olacak ve içme suyu olarak kullananlar tarafından tat ve temizlik açısından daha fazla tercih edilecektir [93].

Yağmur suyu hasadı park, okul, otopark, ticari alanlar ve site gibi büyük ölçekli kent alanlarında yapılarak, kentte bulunan yeşil alanların sulanmasında kullanılabilmektedir.

Şehir içinde su yolları ile depolara dağıtılan yağmur suyu toplanarak bahçe, park ve sokaktaki yeşil alanların yeraltı suyu ile sulanması yerine yağmur hasadı yöntemiyle doldurulan tanklar tarafından sulanması sağlanmaktadır [94].

2.5 Yağmur Hasadının Kent Ekosistemi İçin Önemi

Yağmur suyu hasadı su döngüsünün devamlılığının sağlanmasına da katkı sağlamaktadır. Yağmur suyu bitkiler için toprağa nem sağlamakta, yer altına sızarak yeraltı sularını beslemekte, evaporasyon ve transpirasyonla suyun atmosfere geri dönüşünü sağlamaktadır. Toprak, taş, bitki örtüsü gibi doğal kaynaklar sel ve yüzeysel akış hızını azaltarak, alıcı suya ulaşan yağmur suyunun kalitesini artırmaktadır. Kentsel alanda peyzajı geliştirerek su döngüsüne önemli katkı sağlayabilmektedir (Şekil 2.11). Yağmur hasadı ile kentsel peyzaj alanlarının, su döngüsü gibi doğal süreçlere katılması sağlanmaktadır [95].



Şekil 2.11 Doğal su döngüsü [95]

Sürdürülebilir yağmur suyu sistemlerinin kent ekosistemine sağladığı çeşitli faydaları mevcuttur. Bu faydalar [9], [96]:

- Yağış suyunu tutarak suyun doğal akışa uygun bir şekilde su kaynaklarına ulaşmasını sağlamak,
- Sellerin şiddeti ve sıklığını azaltmak,
- Akışa geçen kirleticileri azaltmak, su kalitesini artırmak,
- Yeraltı ve yerüstü su kaynaklarını beslemek,
- Kent ekosistemine hava kalitesini iyileştirme gibi önemli katkılar sunan yeşil alanların, sürdürülebilir yağış suyu yöntem sistemleri ile gelişimini desteklemek,
- Flora ve faunayı korumasının yanı sıra biyoçeşitliliği desteklemek,
- Şebeke suyuna göre daha az enerji harcayarak enerji korunumunu sağlamak,
- Göl, nehir ve akarsularda doğal akış rejimini desteklemek,
- Toprak nemi ve yeraltı suyu seviyesini artırmak,

- Kentte yaşayanlara kent yapıları arasında su ve yeşil alanlar aracılığıyla daha olumlu etkiler sağlamaktır.

2.6 Yağmur Suyu Hasat Sistemi Bileşenleri

Yağmur suyu hasat sistemi yağmur suyunu toplama, taşıma, arıtma ve depolama bileşenlerinden oluşmaktadır.



2.6.1 Toplama Sistemleri

Yağmur suyu hasat sistemlerinde, çeşitli toplama alanlarından yağmur suyu toplanabilmektedir. Yağmur suyu hasat sisteminde toplama alanları, yağmur suyunun doğrudan ulaştığı ve yağmur suyu hasat sistemindeki diğer bileşenlere yönlendirildiği kısımdır. Toplanan yağmur suyu borularla taşınarak, depolara ulaşmakta veya doğrudan toplandığı alanda da depolanabilmektedir. Çatı yüzeyleri, asfalt, kaldırım, park, otopark, avlu, oyun alanları ve büyük açık alanlar gibi yüzeyler yağmur suyunu toplamak için sayılabilecek yüzeylerdir [12].

Yağmur suyu toplama alanlarında uygun yüzey kaplamaları kullanılması da suyun toplanılabilecek maksimum düzeyde olmasına, suyun kalitesine ve verimine etki edebilecek önemli faktörlerdir [97]. Ayrıca geçirimsiz yüzeylerde toplanabilecek yağmur suları kent içinde taşkın kontrolünün sağlanmasına katkı sağlayabilecek önemli bir yöntemdir.

Geçirimli yüzeylerde de yağmur hasadı yöntemleri kullanılabilmektedir. Örneğin, yağmur bahçeleri, bitkili hendekler, sızma hendekleri gibi birçok alanda hem yağmur suyu toplanmakta hem de toprağa ve yeraltı suyuna gerekli yağmur suyu taşınabilmektedir. Tablo 2.2'de farklı toplama alanlarının farklı malzemelere göre özellikleri belirtilmiştir [98].

Seymour (2005)'a göre toplama alanları geçirimsiz yüzeyler veya yeşil alanlarla geçirimsiz yüzeylerin bir karışımı olabilmektedir. Çıplak topraklı alanların,

akıntıya karışacak tortulardan dolayı iyi bir yağmur suyu toplama alanı olmadığına değinmiştir.

Tablo 2.2 Toplama alanları, malzemeleri ve özellikleri [98]

Yüzey Tipi	Malzeme	Özellik
Asfaltlanmış Yüzey		
Düz Çatı	Beton, çimento levhalar, çimento astarlı tuğlalar	Güvenilir ve temiz su toplama alanı, çok az miktarda kirletici madde, yağmur hasadı için maksimum verimli malzeme
Eğimli Çatı	Galvanizli demir levha, mangalore fayans, kayrak taşı ve fiber levhalar	Güvenilir ve temiz su toplama alanı, çok az miktarda kirletici madde, yağmur hasadı için maksimum verimli malzeme
Filtreli Çatı Yüzeyi	Polietilen levhalarla kaplı sazdan çatılar	Su toplamayı iyileştirici
Araba yolu, Yaya yolu, Kaldırım, Avlu	Beton ve fayans	Yeterli kalitede ve miktarda su toplama, alanın bakımına bağlıdır.
Otoyol ve Otopark	Asfalt, beton, tuğla ve taş	Yağ filtresi ve diğer filtre cihazlarıyla kullanılabilir
Asfaltsız Yüzey		
Oyun alanları, Parklar, Büyük açık alanlar, Bahçeler	Toprak çim alan ya da bitki örtüsü	Önemli miktarda su toplanabilir
Oyun Alanları, Avlular	Sert ve paketlenmiş toprak	Bitkili alana göre su toplama daha verimli

2.6.2 Taşıma Sistemleri

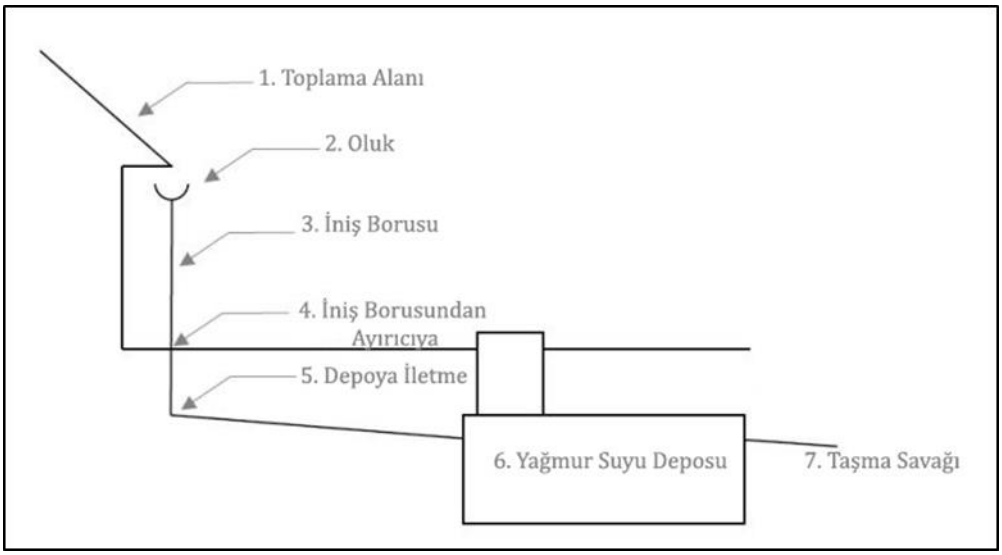
Yağmur suyu hasat sistemlerinde yağmur suyu toplandıktan sonra taşıma sistemleri aracılığıyla ihtiyaca göre filtrelenerek ya da filtrelenmeden depolama araçlarına iletilerek bu alanlarda depolanmaktadır.

Çatılardan yağmur hasadı sisteminde oluklar ve iniş boruları taşıma bileşenleridir. Çatıdaki oluklar genelde bir ya da daha fazla iniş borusuna bağlı olarak bulunmaktadır. Bu bileşenler yağmur suyunu çatı yüzeyinden depolama alanlarına iletmektedir (Şekil 2.12).

Şiddetli yağış alan bölgelerde, daha az yağış alan bölgelere göre olukların geniş olmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Olukların kural olarak en az 12,7 cm genişliğinde olması tavsiye edilmektedir [99].

Oluklar dikdörtgen ya da yarı dairesel olabilmektedir. Galvanizli demir sac, PVC gibi malzemeler kullanılmaktadır. Olukların yoğun yağışlı dönemlerde suyu taşıyabilmesi, düşme, kırılma gibi bir problem yaşanmaması için destekle sabitlenmesi gerekmektedir. İniş boruları da galvanizli demir sac ve PVC olabilmektedir [100].

Yağmur suyu uzun kurak dönemlerden sonra çatıdaki kirletici maddeleri taşıdığından dolayı temiz suya bir süre sonra ulaşılabilmektedir. Bu kirletici maddelerin boruda birikerek tıkanıklık yapmasının engellenmesi için de en yaygın yöntemlerden bir tanesi aşağı boru kanadıdır. Bu kanat ile yağmur suyunun ilk kirletici maddeleri içerdiği halinin uzaklaştırılması mümkündür. Su temizlendikten sonra depoya yönlendirilen iniş borusu ile ilk akan kirli suyu taşıyan boru arasındaki kapak açılmakta ve temiz su depoya yönlendirilmektedir. Bu yöntemde aradaki borunun açılması manueldir. Alternatif olarak otomatik sistemi de mevcuttur [101].



Şekil 2.12 Çatı yüzeyinden depo alanına taşıma sistemi [102]

Çatılardan yağmur hasadı dışında başka bir yöntem olan yüzeylerden yağmur hasadı tekniğinde de taşıma sistemi, yağmur suyunu toplama alanından depo alanına iletebilmek için gerekli bir araçtır. Geçirimsiz bir yüzeyde toplanan yağış suyunu depoya iletmek için yine taşıma sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Yer yüzeylerinden yapılan yağmur hasadı tekniğinde de çatıdan yapılan yağmur hasadında olduğu gibi borular kullanılabilmekte ya da açık kanallarla depolama alanlarına yönlendirilebilmektedir [103].

Yüzeylerden toplanan yağmur suyu toprak bir yüzeyde ya da geçirimli bir yüzeyde toplanıyorsa drenaj boruları ile iletimi sağlanabilmektedir. Yeraltı suyuna sızabilmekte ya da yer altında bulunan depolara borularla ulaştırılabilmektedir [104].

2.6.3 Filtreleme Teknikleri

Yağmur suyunun filtrelenmesi ihtiyaca göre gerçekleştirilebilmektedir. Örneğin sulama yapılacak bir alanda filtreye ihtiyaç yokken, içme suyu gibi ihtiyaçlarda filtrelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Filtreleme, yağmur suyuna karışabilecek büyük ya da küçük dokulu kirleticilerin büyük çoğunluğunun sudan ayrıştırılmasını sağlayan önemli bir teknolojik işlemdir. Filtre sisteminin periyodik bakımlarının da kolayca gerçekleştirilebilmesi için mümkün olduğunca erişilebilir yerlere yapılması gerekmektedir [12].

Kaba filtreler ağ boyutu olarak derecelendirilirken daha ince filtreler mikron boyutu olarak derecelendirilmektedir. Filtre üzerinde biriken partikül madde miktarına göre temizleme yapılması gerekmektedir. Paslanmaz çelik ve sentetik ağ gibi kaba filtreleme araçları en yaygın kullanılan ve ucuz malzemelerdir. Bu kaba filtre aletleri depolama tankına ulaşmadan iniş borusundan kirleticileri uzaklaştıracak şekilde yerleştirilmektedir. Çoğunlukla kullanılan diğer filtreleme cihazları çakıl, kum ve ince filtrelerdir. İnce filtreler yoğun yağışlarda yetersiz kalmaktadır. Yoğun olarak kullanılan ince filtrelerde tortu birikmesi meydana gelmesi durumunda bakteriler için beslenme alanı haline gelme olasılığı vardır ve suyun iletimini engelleyen tıkanma durumu da olabileceğinden dolayı düzenli bakıma ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer malzemeler dışında da kâğıt, polipropilen ve aşındırıcı olmayan metal malzemeler kullanılarak yapılabilmektedir. Bazı filtreler için önerilen bir basınç vardır. Bazılarının 30 PSI'den düşük ya da 70 PSI'den yüksek olmaması gerekmektedir [105], [106]. Yağmur hasadı yöntemiyle toplanan sular depolanmadan önce kullanım amacına göre filtrelenebilmektedir. Çeşitli amaçlara göre farklı arıtma teknikleri vardır (Tablo 2.3).

Tablo 2.3 Arıtma teknikleri [92]

Metot	Yer	Hedef
Kaba Filtre	Oluklarda	Kaba katı maddeler (yaprak vb.)
Çöktürme	Toplama tankında	Çökebilen katı maddeler
filtrasyon	Muslukta, ayrı bir tankta veya pompajdan sonra	Askıda maddeler vb.
Dezenfeksiyon	Kullanımdan önce, toplama tankında veya muslukta	Mikroorganizmalar

2.6.4 Depolama Tankları

Toplama alanlarından toplanan yağmur suları depolama tanklarına yönlendirilerek gerekli zamanlarda kullanılabilmektedir. Depo alanları farklı malzeme ve özelliklere sahip olabilmekte ve yer altına ya da yer üstüne inşa edilebilmektedir. Tankın boyutu ve hangi malzemeden oluştuğu kullanım amacına göre farklılık gösterebilmektedir [107].

Depolama alanları betonarme, fiberglas veya paslanmaz çelik gibi malzemelerden yapılabilmektedir [108].

Depolama alanının boyutu birçok farklı faktöre bağlıdır. Bunlar: Bölgenin aldığı yağış miktarı, nüfusa göre suya olan talep, yağmursuz geçen kurak günlerin uzunluğu, toplama alanı, estetik, kişisel tercih ve bütçeye göre belirlenmektedir [93].

Depolama tanklarının yosun oluşumunun engellenmesi için opak olması gerekmektedir. İçilebilir sistemlerin asla toksik madde içermemesine, hijyenik olmasına, sivrisinek üremesini önlemek için üzerinin kapatılmasına, hava deliklerinin kontrol edilmesine, toplama alanına yakın olmasına, suyun taşınma mesafesi kısa olacak şekilde yerleştirilmesine ve mümkün olduğunca güneş ışığına maruz kalmamasına ihtiyaç duyulmaktadır [93].

Eğer yağmur suyu toprak bir zeminde depolanacaksa, suyun yer altına sızarak uzaklaşmaması için toprağın geçirgenliğinin azaltılması ya da geçirimsiz özellikte toprak kullanılması gerekmektedir. Ayrıca toprakta bitki örtüsü azaltılır, ihtiyaca göre eğiminin de artırılarak çökelti oluşturulması yağmur suyunu depolamak için gereklidir [104].

Yağmur suyu hasadı, “Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında 30105 Sayılı Yönetmelik” Ek 1 listesinde yer almaktadır. Bu yönetmeliğe göre depolama alanları [71]:

- Depolama tanklarının iç veya dış ortamda bulunduğu sistemler
- Depolama tanklarının tek başına ya da birbiriyle bağlantılı olarak toplu halde uygulandığı sistemler

- Depolama tanklarının yer altında kısmi gömülü ya da yer üstünde bulunduğu sistemler
- Birçok alana su yönlendiren ortak tankların bulunduğu sistemlerdir.

2.7 Yağmur Hasadı Uygulamasında Dikkat Edilmesi Gerekenler

"Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında 30105 Sayılı Yönetmelik" Ek 1 listesine göre yağmur suyu hasadı siteminde dikkat edilmesi gerekenler

- Toplama alanının mümkün olduğunca kirlenmeye maruz kalmayan alanlardan seçilmesi gerekmektedir.
- Yer yüzeyleri ve trafik olan alanlar, daha fazla yağmur suyu toplama alanı sağlamakta ve su ihtiyacının fazla olduğu yerler için daha uygun toplama alanlarıdır. Ancak bu alanlar daha fazla kirletici barındırabilecekleri için kullanılmadan önce risk değerlendirme analizi yapılması gerekmektedir.
- Toplama alanı olarak en uygun alanlar sert malzemeli çatılardır.
- Depolama alanında kirleticilerin birikimini engellemek için toplanan su sisteme girmeden önce filtrasyon yapılması gerekmektedir.
- Depolama tankının, kullanılacağı alandaki talep edilen su miktarı, yağış miktarı ve toplama alanına bağlı olarak boyutlandırılması gerekmektedir.
- Büyük depo hacimleri yüzeysel akışın veya kanal debilerinin azaltıldığı sistemler için uygundur.
- Tankların yaşam alanları gibi toplu kullanım alanlarına yerleştirilmesi durumunda su sızıntısı riskine karşı bent, ek drenaj veya drenaj pompaları gibi ek malzemelerin sisteme entegre edilmesi gerekmektedir.
- Şiddetli yağışlarda taşkın ve sel gibi durumlara karşı suyun fazlasını tahliye etmek için depolama tanklarına bir taşma savağı teşkil edilebilmektedir. Yer üstünde yapılan tanklarda taşma savağının önüne ızgara konulması gerekmektedir.

2.8 Yağmur Hasadı Yöntemleri

Yağmur suyu hasadının çeşitli yöntemleri vardır. Bunlar [109], [110], [111], [112]:

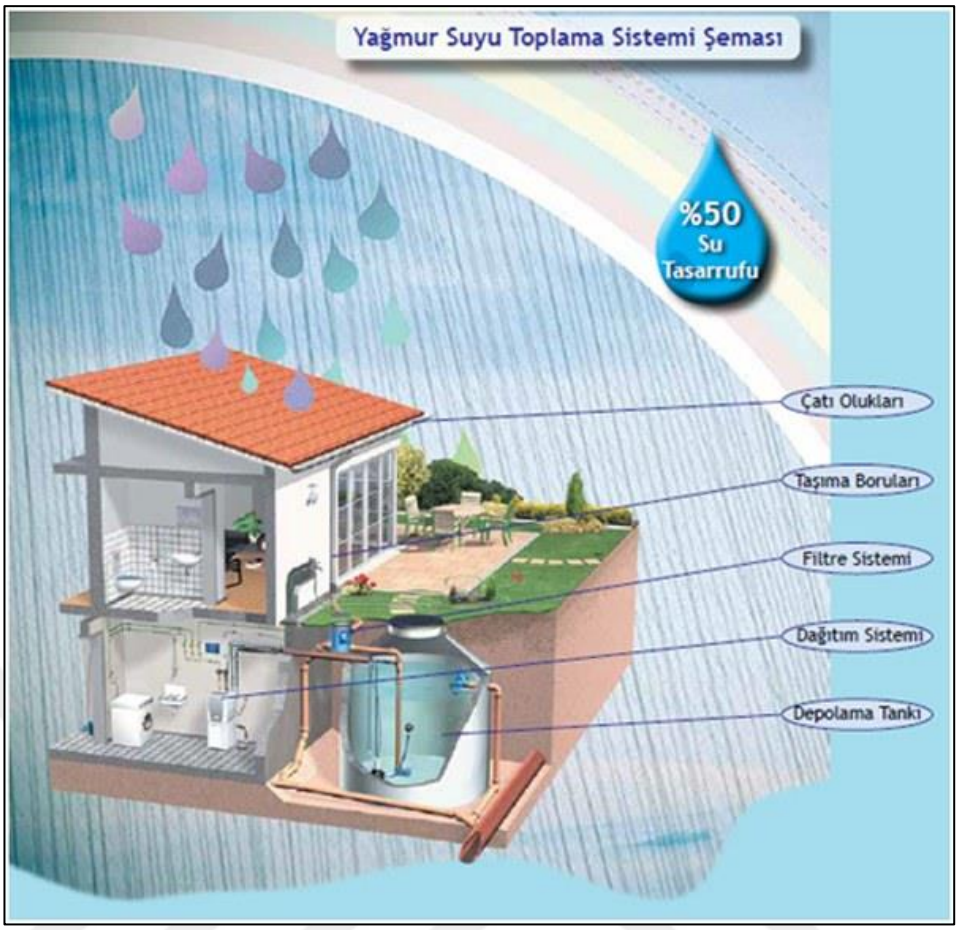
- Çatı Yüzeyinden Yağmur Suyu Hasadı
- Yüzey Akış Hasadı
- İnfiltrasyon Hendekleri
- İnfiltrasyon Havuzları
- Bitkili Hendekler
- Yağmur Bahçeleri

2.8.1 Çatı Yüzeyinden Hasat Yöntemi

Bu yöntem, yağmur suyu hasadı için su toplama alanının daha temiz olması ve yağmur suyunun daha kolay toplanabildiğinden dolayı yaygın olarak tercih edilen en verimli yöntemdir. Çatılardan toplanan yağmur suyu açık alanlardaki yer yüzeyinden toplanan yağmur suyundan daha kalitelidir [113].

Çatı yüzeyine düşen yağış suları, çatılarda bulunan sistem bileşenleriyle (yağmur toplama alanı (çatı), çatı olukları, toplama borusu, filtreler, ilk sifon aparatı ve depo), toplanan su yer üstünde ya da yer altında bulunan tanklara taşınarak gerekli yerlerde kullanılmak üzere depolanmaktadır (Şekil 2.13).

Konut ölçeğinde yapılan yağmur hasadı yöntemlerinde çatıdan toplanan yağmur suyu, tank sisteminde depolanmasının yanı sıra bahçeye yapılan yağmur bahçelerine veya bitki dolu hendeklere yönlendirilerek de depolanabilir. Şekil 2.13'de bir konutun çatısından yapılan yağmur suyu hasadı örneği verilmiştir.



Şekil 2.13 Konut çatısından yağmur hasadı sistemi [85]

Çatılardan yağmur suyu hasadı yönteminde, Çatıda kullanılan malzemeden, çatının boyutuna, çatının kaplama ile döşenmiş ya da yeşil çatı olmasına, eğimine ve konumuna kadar birçok faktör yağmur suyunun verimli olarak toplanmasını etkileyen unsurlardır.

Çatı yüzeyinde kullanılan malzeme yağmur hasadının kalitesini etkileyen önemli faktörlerdendir. Örneğin bambudan yapılmış bir çatı, yağmur suyu hasadı için en düşük verimliliğe sahip çatı olmaktadır, bundan dolayı bambu yerine galvaniz, oluklu demir, alüminyum, çimento gibi diğer materyallerin tercih edilmesi gerekmektedir [104].

Kil ve kiremit gibi dokulu ya da geçirimli malzemeden yapılmış çatılar, metal gibi daha pürüzsüz malzemeden yapılmış çatılara göre daha fazla yağmur suyu muhafaza etmektedir. Toplama alanında kullanılan malzeme, az miktarda toksin maddelerin süzülme tipini ve potansiyelini kontrol etmektedir. Örneğin ahşap,

asfalt ve katranlı kiremit malzemelerle kaplı çatılardan yapılan yağmur hasadı ile toplanan su sadece sulama için kullanılabilmektedir [97].

Tablo 2.4'de çatılarda kullanılan malzeme türüne göre çatılardan yağmur suyu verimlilikleri değerlendirilmiştir. Buna göre en verimli çatı malzemesi galvanizli demir levhalarken, en verimsiz çatı malzemesi ise saman gibi organik malzemelerdir.

Tablo 2.4 Çatı tiplerinin özellikleri [114]

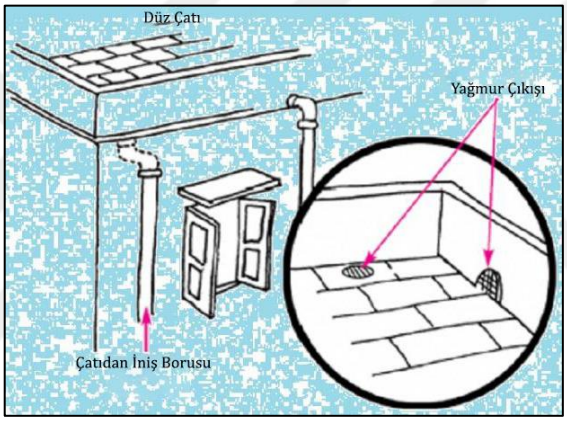
Çatı Türü	Akış Katsayısı	Açıklama
Galvanizli Demir Levhalar	>0,9	İyi kalitede su, Yüzey pürüzsüz ve yüksek sıcaklıklar bakterileri sterilize etmektedir.
Kiremit (pürüzsüz)	0,6 – 0,9	Pürüzsüz kiremitten iyi kalitede su, Pürüzlü kiremit humuslu toprak barındırabilir, Kiremit eklemlerinde kirlenme olabilir.
Organik (samanla örtülmüş)	0,2	Düşük kaliteli su (> 200 FC/100 ml), Küçük ilk yıkama etkisi, Çözünmüş organik maddeye bağlı kolayca filtre
Asbest levhaları	0,8 – 0,9	Yeni levhalar kaliteli su verir, Yutma yoluyla kanserojen etkilere dair kanıtların olmaması, Biraz gözenekli bu nedenle akış katsayısı düşebilir, Daha eski çatılar sığınak görevi işleyip yosunları barındırır.

Tablo 2.5'de çatıların eğim ve malzeme türüne göre toplanan sudan ne kadarının değerlendirilebileceği verileri bulunmaktadır. Eğimli çatılarda toplanan yağış sularının % 90'ından, eğimli ve kiremit çatılarda toplanan yağış suyunun % 80'inden ve çakıl tabakalı düz çatılarda da % 80'inden verim alınabilmektedir.

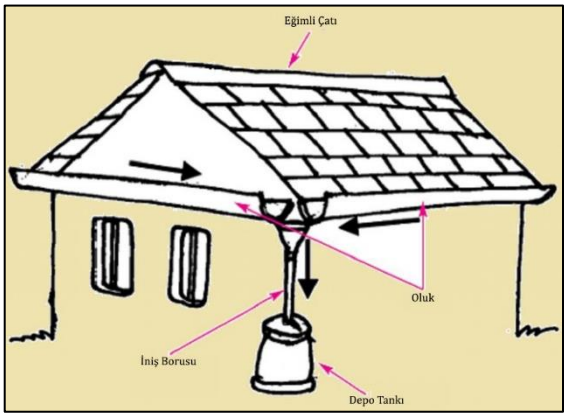
Tablo 2.5 Çatı tipleri drenaj katsayıları [115]

Çatı tipi	Drenaj katsayısı
Eğimli çatı	0.9
Eğimli kiremit çatı	0.8
Çakıl tabakalı düz çatı	0.8

Düz ve eğimli çatılardan yapılan yağmur suyu hasadı yöntemlerinin sistem bileşenleri Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'de verilmiştir.



Şekil 2.14 Düz çatıdan taşıma sistemi [116]



Şekil 2.15 Eğimli çatıdan taşıma sistemi [116]

Yağmur suyu veriminin hesaplanmasında yöntem kısmında verildiği gibi çatılardan yağmur suyu verimi (1.1) eşitliği ile tank boyutu ise (1.2) eşitliği ile elde edilmektedir.

Çatıdan Yağmur Suyu Hasadı Hesap Yöntemi:

Yağmur suyu verimi (L):
Yağmur toplama alanı (m^2) x yağış miktarı(mm) x çatı katsayısı x filtre etkinlik katsayısı [34] (1.1)

Uygun Tank Boyutu Hesaplama Yöntemi:
Yıllık Yağış miktarı (mm) x Çatı Alanı (m^2) x çatı katsayısı x filtre etkinlik katsayısı x 0.05 [35] (1.2)

Yağmur toplama alanı: Blokların çatı alanıdır.

Yağış miktarı: Meteoroloji 1. Bölge Müdürlüğü tarafından belirlenen toplam yıllık yağış miktarıdır.

Çatı katsayısı: Alman standartları tarafından DIN1989'da 0,8 olarak belirtilen katsayıdır. Çatıya düşen bütün yağmurun geri dönüştürülemeyeceğini ifade etmektedir.

Filtre etkinlik katsayısı: Alman standartları tarafından DIN1989'da belirtilen katsayıdır (0,9). Çatıdan elde edilen yağmur suyunun, görünen katı maddelerden ayrıştırılması için geçirilen ilk filtrenin verimlilik katsayısıdır. Suyun bir miktarının buradan geçemeyeceği hesaplanarak verilen bir katsayıdır [37].

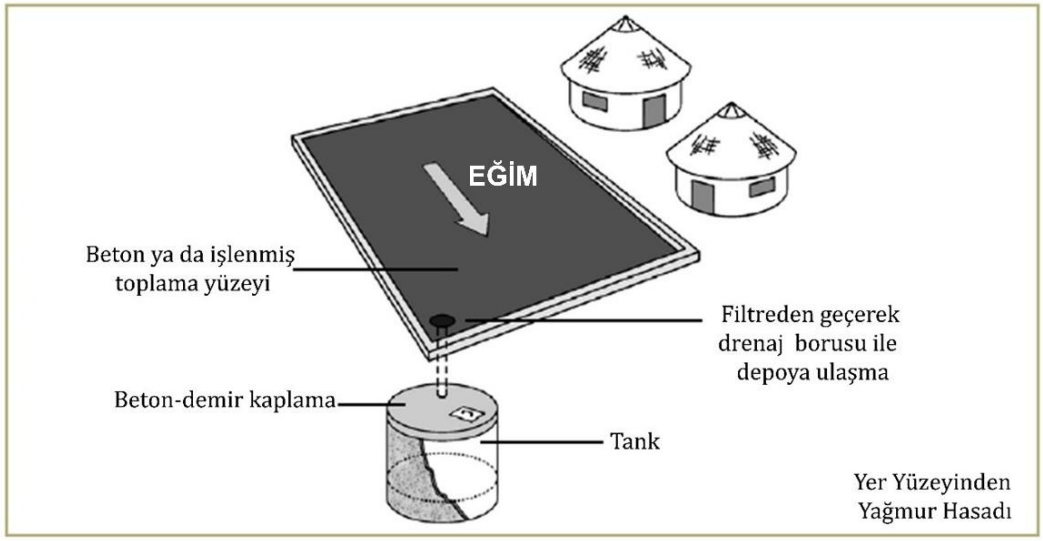
Tank Boyutu: Tank boyutu genel kurala göre, yıllık yağmur suyu veriminin % 5'i olmalıdır, Bu nedenle bir yıllık yağmur suyu arzının %5'ini hesaplamak için 0,05 katsayısı uygulanır [35].

"Herhangi bir çatı için akış katsayısı, bir yüzeyden elde edilen su hacminin yüzeye düşen yağış hacmine oranıdır" [117].

2.8.2 Yüzey Akış Hasadı Yöntemi

Zemin yüzeylerine düşen yağışlar yönlendirici borular aracılığıyla taşınmakta ve yer altında ya da yer üstünde bulunan tanklarda veya havza ve kanallarda depolanarak kullanılabilmektedir. Yer yüzeyinde bulunan asfalt, kaldırım, otopark ve toprak gibi birçok alanda yüzey akış hasadı yöntemi uygulanabilmektedir (Şekil 2.16). Zeminden toplanabilecek su miktarı, yağış miktarı, havza, yüzey akışı özellikleri ve alana bağlı olarak değişmektedir [118].

Açık alanlardaki yer yüzeylerinden toplanan yağmur suyu çatılardan toplanan suya göre kirli olma riski daha fazla olduğundan dolayı arıtılmadan yeşil alanların sulanmasında ya da ev içinde sifon suyu olarak kullanılabilmektedir. Bu su ayrıca filtrelendikten sonra yeraltı suyunu beslemek için de kullanılabilmektedir [113]. Çatıdan yağmur suyu toplama teknikleri ile karşılaştırıldığında, yer toplama teknikleri daha geniş bir yüzey alanından su toplanmasına olanak sağlamaktadır. Yüzey yağmur hasadında, baraj gibi depolama alanlarında toplanan yağmur suyunun dere ve akarsular vasıtasıyla taşınarak yönlendirilmesi ile kurak mevsimlerde depolanan yağmur suyu su talebini karşılayabilmektedir [101].



Şekil 2.16 Yüzey akışından yağmur hasadı sistem tasarımı [119]

Toprak yüzeylerden toplanacak su miktarını artırmak için bitki örtüsünün tamamen temizlenmesi erozyon riskini artıracağından çim gibi yoğun bitki kullanımı erozyon riskini azaltırken yüzey akışını da artırmaktadır [101].

Yağmur suyu depolama alanına doğru eğimin artırılması depolanabilecek yağmur suyu potansiyelini artırmaktadır ancak yüksek eğim erozyon riskini artıracağından kontrol altında tutulması gerekmektedir [101].

Suyu topladıktan sonra depolama da yapılabilen toprak zeminlerin suyu sızdırmaması için sıkıştırılması ya da o yapıda bir toprak olması gerekmektedir. Greyder, silindir gibi araçlarla düzleştirme ve sıkıştırma işlemleri yapılabilmektedir. Kimyasal olarak ise sodyum ve silikon gibi maddeler toprağı

sıkıştırabilmektedir. Ancak sodyum tuz oranını artıracağından içme ve sulama suyu için uygun değildir [101].

Yüzeylerden yağmur hasadı yöntemi, yer yüzeylerinde su geçirgen kaplamalar kullanılarak da gerçekleştirilebilmektedir.

2.8.2.1 Su Geçirgen Kaplamalar

Kentleşmenin artmasıyla yeşil alanların büyük bir kısmı geçirimsiz yüzeylerle yer değiştirmiştir. Bu durum su döngüsünün bozulmasına, su kaynaklarının kirliliğine, sel ve taşkınlarda artışa, infiltrasyon ve evapotranspirasyonda azalmaya neden olmaktadır. Geçirimsiz yüzeylerde aşırı yağışla beraber meydana gelen taşkın ve sel sorunlarına çözüm olarak geçirgen kaplamalar tercih edilebilmektedir. Araç ve yaya yollarında, araba parklarında, açık kamusal alanlarda ve buna benzer birçok geçirimsiz yüzeye sahip alanda bu yöntem uygulanabilmektedir.

Kentlerde bulunan yoğun betonlaşmış alana sahip mevcut yollarla karşılaştırıldığında gözenekli/geçirimli asfalt kaplama yüzeye sahip yollar yüzey akışın alt tabakalara ulaşarak yeraltı suyuna sızmasına olanak sağlamaktadır (Şekil 2.17). Ayrıca bu geçirimli kaplamalar; Kentsel ısı adası etkisini hafifletebilmekte, yoğun yağışlarda meydana gelen aşırı yüzey akışlarını ve şehrin drenaj sisteminde oluşan baskıyı, araç gürültülerini, konfor ve güvenliğini azaltabilmektedir. Geçirimli asfalt kaplamalar kent ekolojisine sağlayacağı olumlu katkılardan dolayı tercih edilmektedir [111].



Şekil 2.17 Su geçirgen ve geçirgen olmayan asfaltlar arasındaki fark [120]

Su geçirgen kaplamalar, geçirimli asfalt kaplama, yerde geçirimli beton kaplama, granüler malzeme içeren kaplamalar ve geçirgen kaldırım taşları olarak sınıflandırılabilmektedir. Bu kaplama çeşitleri yer altına sızdırılmada aynı sisteme sahiptir.

Geçirimli kaplamalar, yüzeyin yapısına ve malzemesine göre gözenekli ve geçirgen kaplamalar olarak sınıflandırılabilmektedir. Gözenekli beton ya da asfalttan oluşan gözenekli kaplamaların; sızma kalitesi yüksektir, yüzeyinde çim veya çakıl kullanılabilmektedir. Geçirgen kaplamalar ise beton bloklardan oluşmaktadır [121]. Gözenekli ve geçirgen kaplamaların yüzey akışını % 42 oranında azalttığı gözlemlenmiştir [82].

2.8.3 İnfiltrasyon Hendekleri

İnfiltrasyon hendekleri granül taşla doldurulmuş dikdörtgen hendeklerdir. Yağmur suyu akışı için geçici yer altı depolama alanı oluşturmaktadır. Granüler filtre, daha ince tortuyu yakalayarak toprağın orijinal geçirgenliğini sürdürmektedir. İnfiltrasyon hendekleri genelde uzun, hafif geniş ve sığ ölçülerdedir. İnfiltrasyon hendekleri etrafındaki geçirimsiz yüzeylerden gelen suyu toplayarak suyun infiltre olmasına ve suyun toprağın altından ve kenarlarından çevredeki topraklara sızmasına izin vermektedir. İnfiltrasyon hendekleri, kaba çakıllar ile doldurulmuş sığ çukurlardır (Şekil 2.18). İnfiltrasyon hendeklerinde bulunan kaba çakıl taşları alttaki topraktan daha fazla sızdırma özelliğiyle yağmur suyunun bu çukur alanda bulunan toprağın içine süzülmesini kolaylaştırmaktadır. Alana suyu sızdıran bitki örtüsü dikilebilmekte, yeraltı suyunu besleyebilmekte ve sonra tekrar kullanılabilmektedir [110], [122]. Yağmur suyunun yüzeylerden toplandıktan sonra bu hendeklere ulaşımı yüzey akışı ile ya da boru sistemleriyle sağlanabilmektedir.

Kentleşme ile artan geçirimsiz yüzeylerin neden olduğu yüzey akışı infiltrasyon hendekleri sayesinde yeraltı suyuna ve toprağa sızdırılmaktadır. Kentsel drenaj sorununu büyük ölçüde azaltmaya yardımcı olmaktadır [122].

İnfiltrasyon hendeklerinin amacı yapıldığı alanda yüzey akış miktarını azaltmak, yağmur suyunun yer altına sızmasını sağlayarak yeraltı suyunu beslemek ve yeraltı suyuna ulaşmadan önce sistemdeki filtreleme yöntemiyle partikül maddeleri uzaklaştırmaktır [123].



Şekil 2.18 İnfiltrasyon hendekleri [124]

Yağmur suyu infiltrasyon hendeğine ulaşmadan önce ön arıtma tesislerinden geçerek arıtılmakta, daha sonra hendeğe iletilerek taşların arasında depolanmakta ve birkaç gün içinde toprağa sızmaktadır. Yağmur suyunda kalan kirletici maddeler toprakta tutulmakta ve temiz su topraktan yer altına süzülmektedir [124]. Tortu yükünün yüksek olduğu durumlarda etkili bir ön arıtma sistemi tasarlanmazsa iyi bir şekilde arıtılamamaktadır. Ön arıtma sisteminin olmadığı hendeklerin yapılması için en uygun yerler partikül seviyelerinin düşük olduğu otoparklar veya otoyollar gibi geçirimsiz yüzeylerin yanıdır. Daha büyük bir sürdürülebilir drenaj arıtma treninin parçası olarak en iyi şekilde çalışabilmektedir [125].

İnfiltrasyon hendekleri aynı zamanda oyun alanlarında, kamusal açık alanlarda ve rekreasyonel alanlarda kullanılabilmektedir. “Peyzaj alanlarıyla etkin bir şekilde bütünleşebilmekte ve minimum arazi kullanımı gerektirecek şekilde tasarlanabilmektedir” [125].

Yağmur suyunun yeraltı suyunu beslemesi amacıyla sızdırılması amaçlanan infiltrasyon hendeklerinin, kentsel alanlarda uygulanması mümkündür. Ancak yer altında bulunan altyapı tesislerine herhangi bir engel teşkil etmemesi için kent alanlarında yapılacak bölgede altyapı tesisleri analiz edilerek infiltrasyon hendeklerinin uygun yerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca infiltrasyon hendeklerinde önemli bir bileşen olan toprağın, yer altına suyun kolay sızabilmesi için geçirimli yapıda olması gerekmektedir. Bazı kirli topraklardan sızıntı yapılması da yeraltı suyunu kirletecek bir faktör olacağından toprak analizi yapılarak ve gerekli arıtma önlemleri de alınarak sistemin kurulması gerekmektedir [126].

2.8.4 İnfiltrasyon Havuzları

İnfiltrasyon hendeklerinin bir benzeri olan infiltrasyon havuzları, infiltrasyon hendeklerinden farklı olarak herhangi bir şey ile doldurulmamış, bitki örtüsüyle kaplı açık tesislerdir. Yeraltı suyunun beslenmesi için yüksek geçirgenliğe sahip topraklarda yapılır. Yağmur suyu, geçirgen olmayan yüzeylerden daha düşük kottaki bu havuzlara ulaşmaktadır (Şekil 2.19). Burada toplanan su, toprağa sızarak bitkiler tarafından kullanılabilmekte ya da bir yüzey akiferinde tutularak yeniden kullanım için dışarıya pompalanabilmektedir [110].



Şekil 2.19 İnfiltrasyon havuzları [127]

Toprak profilinin yapısal karakteristiği, toprak yüzeyinin sahip olduğu durum ve toprağın başlangıçta içerdiği nem miktarı yağmur suyunun sızma hızını etkileyen faktörlerdir [128].

Yağmur suyu infiltrasyonu sel ve taşkınları önleyen, kirliliği kontrol eden, suyun kalitesini artıran önemli bir alternatif yöntemdir [82].

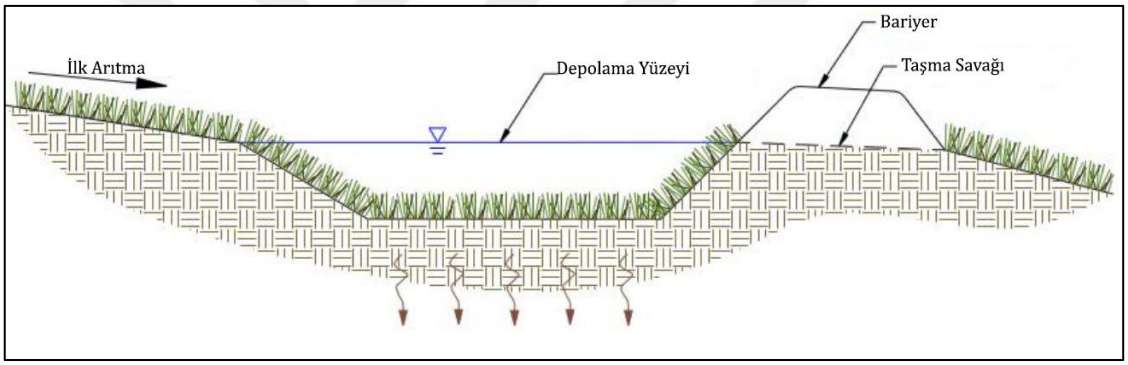
Bu havuzlar suyun yer altına sızarken tortuların ve partikül maddelerin toprak yüzeyinde kalmasına izin vererek bir filtre görevi görmekte ve temiz suyun toprağa ve yeraltı suyuna sızmasını sağlamaktadır. Bu sayede yüzey akışı ile oluşan taşkın riskini azaltmaktadır ve yağmur suyuna karışan kirleticileri de uzaklaştırmaktadır. Havzanın altındaki topraktan yer altına su sızdırılacağı için jeoteknik raporla kapsamlı bir şekilde ele alınması ve erozyon riskine karşı da bölgeye göre su isteyen toprağı tutucu bitkiler dikilmesi gerekmektedir [129].

Depolama, arazi yüzeyinde geçici olarak göllenmeye izin veren peyzaj alanları aracılığıyla sağlanmakta ve depolanan suyun toprağa sızmasına izin verilmektedir (125).

“İnfiltrasyon havuzları, aynı zamanda genellikle drenajı az olan ve yüzey akışını azaltmak ve kirliliği gidermek için işlenmiş topraklara, bitki örtüsüne ve filtrelemeye dayanan sığ peyzajlı çöküntülerin “biyo-tutma alanları” olarak da işlev görebilmektedir.” Tortu yükleri, yağlar ve ağır metalleri filtrelemek için infiltrasyon havuzlarında ön arıtma sistemleri kullanılması gerekli olabilmektedir [125].

İnfiltrasyon havuzları; oyun alanları, rekreasyon alanları ve açık kamusal alanlarda kullanılabilmekte, bu alanlarda ağaç ve çalı gibi çeşitli bitkilendirmeler yapılabilmekte ve bu havuzlar toprağın nem oranını da artırmaktadır. Şiddetli yağış almadığı dönemlerde kurudur ve farklı aktiviteler için de bir alan olarak kullanılabilmektedir [125]. Şekil 2.20’de infiltrasyon havza kesiti verilmiştir.

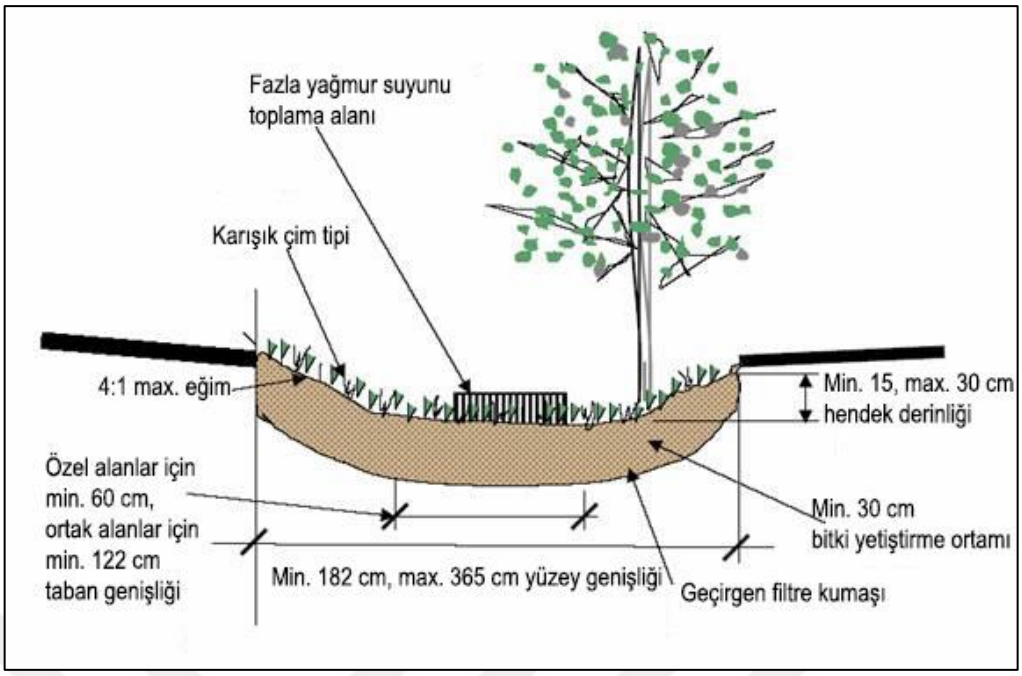
Bitki örtüsü açısından yağmur bahçeleri kadar gösterişli değillerdir.



Şekil 2.20 İnfiltrasyon havza kesiti [130]

2.8.5 Bitkili Hendekler (Bitkili Kanallar)

Bitkili hendekler aşırı yüzey akış suyunu azaltmak, iletmek ve kirleticileri arıtmak için tasarlanmış sığ ve açık kanallardır. Kaldırım kenarında yağış sularının taşındığı olukların yapmış olduğu görevi daha fazla alan kaplayarak yerine getiren bitkili hendekler, yüzey akışına geçen fazla yağış sularını daha iyi yönetmektedir. Yüzey akışı bitkili hendek boyunca ilerlerken bitkiler akışı yavaşlatır ve suyu süzerek toprağa sızmasına yardımcı olmaktadır. Bitkili hendekler yağmur suyunu toprağa sızdırsa da birincil amacı suyu taşımaktır. Bütün bu faydalarının yanı sıra sadece bir peyzaj alanı gibi görülebilmektedir [131], (Şekil 2.21).



Şekil 2.21 Bitkili su hendeği [132]

Kurak mevsimlerde bitkili hendekler kurudur. Yağmurlu havalarda yüzey akışı bu alanlara ulaştıktan sonra hendekte yavaşça akmaktadır. Bitki örtüsü ile yüzey akışında bulunan yağlı kalıntılar ve organik maddeler yüzeyde biriktirilmekte ve yağmur suyu filtrelenmektedir [133].

Yağış yüzeyden sızma, buharlaşma ve transpirasyon yollarıyla hendekten uzaklaşmaktadır. Hendeklerin kirleticileri uzaklaştırma potansiyellerini artırmak için yağış sırasında kuru kalacak şekilde tasarlanması gerekmektedir [133].

Yüzey akış hızını yavaşlatmak, infiltrasyonu artırmak, sediment ve kirleticileri uzaklaştırmak ve bitkilere uygun sulama suyu sağlamak için tasarlanmıştır. Bu kanallarda toplanan yağmur suyu, doğrudan alınarak çeşitli amaçlarla kullanılabilir veya toprağa ve yeraltı sularına sızabilmektedir [110].

Geçirgenlik seviyesi düşük olan kentsel alanlarda kullanılabilecek iyileştirici yeşil yaklaşımlardan biri olan bu hendeklerde bulunan bitkiler ile su arklarında sudaki kirleticilerin uzaklaştırılması, suyun beklediği süreye, arkta bulunan bitkilerin tipine ve yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir [134].

Bitkili hendekler sadece yağmur suyunu absorbe etmez ayrıca yağmur suyundan gelen kirleticilerin kontrolünü sağlayan bitki kökleriyle yağmur suyunu arıtmaktadır [111].

Bitkili hendekler yağmur suyunu otoyol ve yollar boyunca taşımakta ve arıtmaktadır. Ayrıca kentsel yerleşim alanlarında da bulunabilmektedir (Şekil 2.22).

Bu hendeklerde bulunan otların sert yapraklı, topaklanmayan formda, alanı yoğun olarak kaplayan ve durgun suya dayanıklı olması gerekmektedir [135].

Bitkili hendeklerin eğimi optimum fayda için % 1-4 arasında olması gerekmektedir. % 5'den fazla ise erozyon ve akış hızı potansiyelini azaltmak için hendeklerin kontrol altında tutulması gerekmektedir [131].

Bitkili hendek alanına gelen yüzey akışı, tasarım ve inşaat standartlarına uygun bir su kalitesi menholü ile öncelikle ön arıtmadan geçerek sisteme girmektedir. Yapılan yerin bağlı olduğu yönetimin onaylamış olduğu başka bir yöntem ile de diğer arıtma ve filtre cihazları sistemleri de kullanılabilmektedir. Tüm akışlarda suyun sistemden çıkışı da sağlanmaktadır [136].



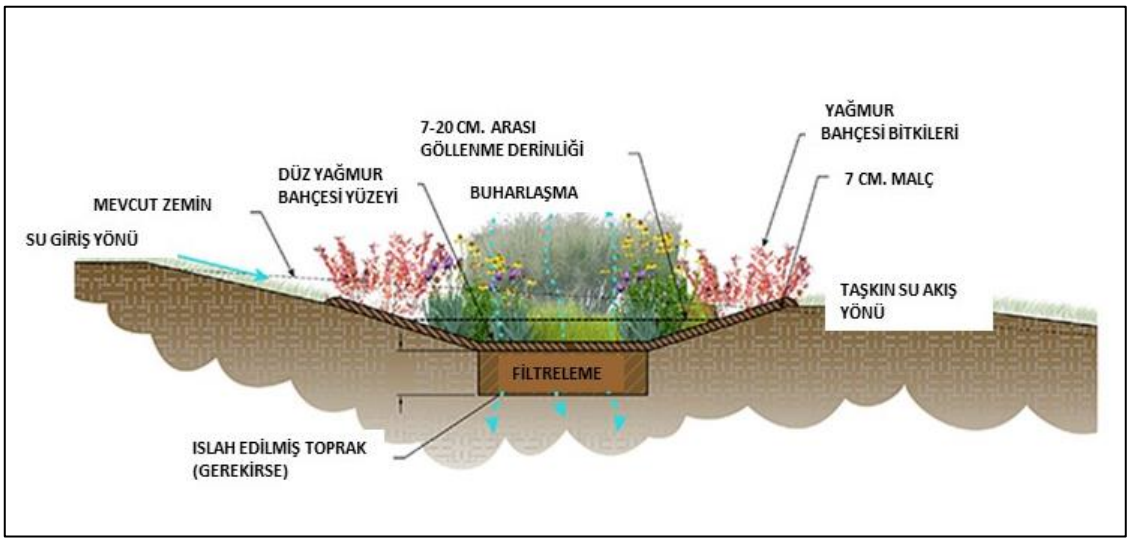
Şekil 2.22 Washington'da bitkili hendek [136]

2.8.6 Yağmur Bahçeleri

Yağmur bahçeleri kentsel peyzaj alanlarında su yönetimine katkı sağlayan önemli yağmur suyu yönetim sistemlerinden bir tanesidir. Üzerinde bulundurduğu bölgeye özgü bitki örtüsü ile fazla suyu absorbe edebilen çöküntü alanlarıdır. Bu alanlar kentte artan geçirimsiz yüzeylerden taşınan yağmur suyunun yönlendirilmesi için kullanılmaktadır. Yoğun yağışlı havalarda yüzey akışının atık suya karışması ya da değerlendirilemeden uzaklaşması yağmur bahçeleri ile önlenerek yüzey akışının toprağa süzülmesi sağlanmaktadır [137].

Yağmur bahçeleri çatılardan, kaldırımlardan, yaya veya araba yollarından, park alanlarından ve diğer çeşitli su toplama alanlarından toplanılan yağmur sularının çöküntü peyzaj alanları olan yağmur bahçelerine yönlendirilmesiyle ya da doğrudan bu alanlara düşen yağışların toplanarak toprağa sızdırıldığı sistemlerdir.

Su kaynakları üzerindeki baskıyı azaltma ve maliyet açısından uygun olması ve aynı zamanda da flora, fauna gibi canlı yaşamına habitat sağlamasından dolayı oldukça önemli yağmur suyu yönetim sistemidir. Yağmur bahçeleri, doğal sistem tasarımlarındaki kirleticileri uzaklaştırma sistemini taklit eden mekanizmalardır [138], (Şekil 2.23).



Şekil 2.23 Yağmur bahçesi kesiti [139]

Yağmur bahçelerinde bulunan bitkilerin kök sistemleri yağmur suyunu tutarak topraktan yeraltı suyuna sızmasını sağlamaktadır. Yağmur bahçelerinde bulunduğu bölgeye özgü çalı, bodur ağaç ve çok yıllık renkli çiçekli bitkiler kullanılarak önemli ekolojik ve görsel etki sağlanabilmektedir [140]. Çim alanlardan daha az bakım isteyen yağmur bahçeleri doğal peyzaj özellikleri taşımaktadır. Bir yağmur bahçesinin bileşenleri olan bitkiler, toprak ve malç, kirletici maddeleri, akış suyundan uzaklaştırmak için fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerden geçirmektedir. Birçok kirletici toprak tarafından yağmur suyu süzüldükten sonra parçalanmaktadır. Peyzaj alanlarını sulaması için yağmur bahçelerine sulama sisteminin entegre edilmesi önemli bir fayda sağlamaktadır. Yağış suyunun yağmur bahçelerinde toplanarak, depolanması, peyzajda yağmur suyundan yararlanmanın tek yöntemidir [141].

Yağmur bahçelerinin amacı, kentsel alanlarda yoğun yapılaşmadan kaynaklı artan geçirimsiz yüzeylerden akan suyun, yağmur bahçelerine yönlendirilmesi ve sel ve taşkın riskini kontrol altına alarak toprak tarafından absorbe edilmesini sağlamaktır [142].

Şiddetli bir yağışta bitkilerin kökleri hareket ederek toprağı parçalamakta böylece alt tabakalarına suyun sızmasını kolaylaştırmakta ve sistemin tıkanmasını önlemektedir. Bitkiler kökleriyle kirleticileri tutarak filtreleme görevi görmektedir [143]. Ayrıca bitki köklerinin derin olması da suyun yer altına sızmasına yardımcıdır.

Yağmur bahçelerinde birçok farklı toprak çeşidi kullanılabilmektedir. Yağmur bahçeleri, çeşitli şekillerde ve iklimlerde konut bahçesi, yol ve park alanları gibi yerlere farklı ölçeklerde yapılabilmektedir [77].

Yağmur bahçeleri her ne kadar su korunumu sağlasa ve su maliyetini düşürse de bir yağmur bahçesi uygulamanın maliyeti, “büyüklüğü, toprak koşulları, konumu, tasarımı, uygulama süresi, kullanılan malzeme ve bitkilere” göre belirlenmektedir. Yapımından sonra da düzenli olarak bakıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için de ayrı bir maliyeti bulunmaktadır [144].

Yağmur bahçelerinin avantajları:

- Yağmur bahçeleri yağışlarla birlikte taşınan sediment ve diğer kirletici maddeleri toprak ve bitkiler sayesinde filtrelemesi ve daha sonra bitki ve toprağın bu atıkları doğal süreç boyunca absorbe etmesi ile birlikte kirliliği kontrol etmektedir [145].
- Bir yağmur bahçesi bölgedeki taşkınları azaltırken, su kalitesini de iyileştirir ve aynı zamanda yeraltı suyunu da beslemektedir [145].
- Yağmur bahçelerinde bulunan bitkiler yaban hayatı için yiyecek ve yaşama alanı sağlamaktadır [145].
- Peyzaj alanlarında sulama ihtiyacını karşılarken su kullanımı üzerindeki baskıyı azaltır, su korunumu sağlar ve su maliyetini de azaltmaktadır [145].
- Atmosferdeki buharlaşmanın % 15'ini oluşturan evapotranspirasyonu artırarak su döngüsüne katkıda bulunmaktadır [77].
- Kentsel alanlarda, yağmur bahçelerinin üzerinde bulunan bitki örtüsü sayesinde estetik açıdan çekicilik yaratmaktadır [77].
- Gürültü kontrolü sağlamaktadır [144].
- Karbon emilimini azaltarak iklim kontrolü sağlarken hava kalitesini de iyileştirmektedir [144].
- Küçük ölçekli kentsel ev bahçeciliğini ve gıda üretimini teşvik etmekte ve artırmaktadır [23].

Yağmur bahçesi için en ideal toprak, su tutmayan ve kil oranı düşük olan topraktır. Topraktaki kil oranının yüksek olması durumunda toprak iyi drenaj yapamadığından dolayı toprakta göllenme olur ve bitki iyi gelişemez. Kil oranı yüksek bir toprağın, % 60 elenmiş kum ve % 40 gübre içeren toprak karışımıyla değiştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca toprağın yeterince verimli olmadığı düşünüldüğünde doğal gübre eklenebilmektedir [146].

Bitkilerin yağmur bahçesinin yapılacağı bölgenin koşullarına (iklim, topoğrafya, bakı) adapte olabilecek ya da doğal türlerden seçilmesi bitkilerin sağlıklı bir şekilde gelişimini desteklemektedir. Yağmur bahçeleri yağmur suyunun toplanarak yavaş yavaş toprağa sızdırma sistemine sahip olduğundan dolayı kullanılacak bitkilerin doymuş toprağa dayanıklı olması gerekmektedir. Ayrıca belli dönemlerde kurak olduğundan dolayı bu bitkilerin kuraklığa da dayanıklı olması gerekmektedir [147].

Yağmur bahçelerinde kullanılacak bitkilerin, az bakım isteyen ve estetik açıdan çekici olabilecek, yıl boyu renkli kalacak şekilde tercih edilmesi gerekmektedir. Çim gibi çok fazla su tüketen bitkilerin tercih edilmemesi gerekmektedir [146].

2.9 Yağmur Hasadını Peyzajda Kullanma Yöntemleri

Peyzaj alanlarında yağmur hasadı potansiyelini değerlendirmek için çeşitli yöntemlerden söz edilmiştir. Bu yöntemler [16]:

- Yağmur suyunu peyzaj alanlarına yönlendirmek için küçük setler ve drenajlar inşa etmek,
- Suyu çatının kenarından ekili bir alana damlama yöntemiyle yönlendirmek,
- Suyu hafif eğimli kaldırımlardan peyzaj alanlarına iletmek,
- Yağmur hasadı ile suyun, kanallar, bitkilendirilmiş havuzlar, hendeklerin tümünde toplanıp depolanarak peyzaj alanlarına yönlendirilmesi ile sulama yapmak,
- Bitki örtülü havuzlar ile suyu tutan, suyun yerin altına sızmasını sağlayan, bitkilere su ileten ve taşkınları azaltan peyzaj tutma alanları yapmak,
- Bir dizi tutma alanı inşa edilmesi ile fazla suyun yakınında bulunan tutma alanlarına taşınması şeklinde sistem tasarlamak,
- Geçirgen yüzeyler ile suyun toprağa sızmasını ve peyzaj alanlarının sulanmasını sağlamak,
- Peyzaj alanları yakınındaki yolların, kaldırımların ve parkların henüz yeni inşa ediliyorsa, peyzaj alanına doğru % 2 eğimli olacak şekilde yapılması ile yüzey akışını sulama için kullanmak,
- Ayrıca kaldırımlara yapılabilecek oyuk sistemleri de yağmur suyunu peyzaj alanlarına taşımak için bir yöntemdir.

2.10 Yağmur Hasadının Avantajları

Yağmur hasadının birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlar [33], [88], [148], [149], [150]:

- Yağmur suyu temiz ve ücretsiz bir su kaynağıdır.
- Su kıtlığı olan ve suya ihtiyaç duyulan her yerde ek bir su kaynağı olarak kullanılabilir.
- Kendi kendine yeterlidir ve su kaynaklarının korunmasını sağlar.
- Arıtılarak güvenli içme suyu sağlar.
- Bitkilendirmede ve peyzaj sulamasında kullanılır.
- Yağmur suyunun yüzeysel akışa geçmesini azaltır.
- Basit teknoloji ve kolay bir bakıma sahiptir.
- Kullanım maliyeti düşüktür.
- Yüzey ve yeraltı sularına olan talebi azaltır.
- Fatura ve işletme maliyetleri düşüktür.
- Basit ve esnek bir sistemdir. Halk, bakım ve işletme gibi konularda bilgilendirilebilir.
- Araziye, jeolojiye veya altyapı yönetim planlarına bağlı olmaksızın her yerde yapılabilir.
- Su, haneye doğrudan veya daha yakın konumlara ulaştırılabilir. Uzak bir yerden taşınmasının önüne geçerek zaman ve enerjiden de tasarruf sağlanır.
- Kentsel alanlarda yoğun yağışlarda drenaj, taşkın gibi altyapı sorunlarından kaynaklanan olumsuzlukları önleyerek yağmur suyunu, su kaynağı varlıklarına dönüştürerek yağmur suyu yönetimini de sağlar.
- Kentsel alanlarda yüzey akışının azalmasını ve yüzey sularının, su ile taşınabilecek kirletici maddelerden (gübre, böcek ilacı, tortu) daha az kirlenmesini sağlar.
- Su dağıtım şebekesinde yaşanacak herhangi bir aksaklıkta veya kuraklık döneminde ek su kaynağı sağlar.
- Yoğun yağış dönemlerinde sel kontrolü sağlar.
- Evsel kullanım için suya sınırlı erişimi olan haneler için ek kaynaktır.

- Yağmur suyu hasat sistemi için özel olarak inşa edilmemiş çatı alanı, otopark gibi sert zeminler ile yağmur suyu toplanarak kullanılması, barajlara ve borulu dağıtım sistemlerine göre çevrede daha az olumsuz etki yaratır.
- Yağmur hasadı sistemi ucuz ve sürdürülebilirdir. Yüksek kalitede su sunar ve depo alanlarına fazla gelen su, yeraltı suyunu beslemesi için bu alanlara yönlendirilebilmektedir.

2.11 Yağmur Hasadı Uygulama Yerinin Uygunluk Kriterleri

FAO (2003), yer seçimi için 6 kriter belirlemiştir. Bunlar: İklim, hidroloji, topoğrafya, arazi kullanımı, toprak ve sosyo-ekonomi kriterleridir.

Yağış Miktarı: Yağış miktarı yağmur hasat sistemleri için önemli bir yer belirleme faktörüdür. Bölgenin aldığı yıllık yağış miktarına ve yoğunluğuna [151] göre sistem ölçülerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ölçüye göre ve yağış miktarına göre potansiyel yağmur hasadı miktarının hesaplanmasına olanak sağlanır.

Yeterli Ölçüde Alan: Depolama alanı için uygun boşluk olmasına ihtiyaç vardır. Bu alanlar yer altına yapılacaksa altyapı tesisleri ya da herhangi bir başka engel tespit edildikten sonra uygun bir alan bulunması gerekmektedir [130].

Alanın Topoğrafyası: Sistemin uygulanacağı alanın topoğrafyasında maksimum suyun toplanabilmesi için alçak noktalar seçilmesi önemlidir. Ancak depolanan alandan kullanım alanlarına tekrar suyu pompalamak için de yukarı yönlü basınç gerektiğinden suyun depoya girişinde ve depodan gerekli alanlara yönlendirilmesinde uygun olan eğimli alanda bulunması tasarımda önemlidir. Mümkün olduğunca kullanılacak alana yakın olması gerekmektedir. Ayrıca şiddetli yağışlarda da suyun depodan taşmasını engellemek için suyun toplama alanlarına yönlendirilmesi gerekir [130],

Eğim aynı zamanda akışın hızını ve tortul madde taşınmasını etkilemektedir [152]. Çok eğimli alanlarda düzensiz akışlara ve erozyon gibi sorunlara neden olabilmektedir. Ayrıca inşaatının yüksek maliyetli olmasından dolayı da eğimin % 5'den küçük olması gerekmektedir [152], [153].

Arazi Kullanımı: Yağmur hasadı yönteminde, yağmur suyunun bitkisel alanlarda ya da nehir yatakları gibi yerlerde doğrudan toplanarak ayrı bir depolamaya ihtiyaç duyulmadığında, arazi kullanışı ve arazi değişimi etkili olmaktadır. Kentsel bir alanda yüzeysel akış miktarı geçirimsiz beton yüzeylerin fazla olmasından dolayı yeraltı suyuna sızamaz ve toplama alanlarında taşma olmasına neden olmaktadır. Geçirimli yüzeylerin ve bitkisel alanların olduğu yerler ise suyu tutacağından taşkın, erozyon riski ve su akış miktarı düşük olmaktadır. Bu durum arazi kullanış şeklinin havza akış modelini etkilediğini de göstermektedir [154], [77].

Toprak: Yağmur suyunun bitkisel alanda bir toprak yüzeyde tutulması toprağın geçirimli bir yüzey olmasından dolayı yağmur hasadının yapılacağı en uygun yerlerden bir tanesidir [152]. Yağmur hasadı için yer belirleme konusunda da belirleyici faktörlerdendir [155]. Toprağın su tutma kapasitesi yağmur hasadı için çok önemlidir [156]. Bir toprağın dokusal sınıfı kil, kum ve silt ile belirlenir. Kil yoğunluklu topraklar, kumlu topraklara göre daha fazla su tuttuğundan dolayı yağmur hasadı için killi toprak iyi bir seçenektir [157]. Toprak derinliği su toplama miktarını artırmak için önemli bir değerdir. Derin topraklar daha fazla su tutar ayrıca bitkiler için önemli yapı maddelerini de içermektedir [153].

Havza Analizi: Havza sınırları ve suyun akış yönlerinin belirlenmesi depo alanlarından taşan suyun yönlendirilmesi için yağmur hasat sisteminin kurulacağı alanın belirlenmesi için önemli faktörlerdir. Düşük akış gerçekleşen akarsular geçirimli ve sızdırma oranı fazla akarsulardır. Yüksek miktarda akış gerçekleşen akarsular ise daha az geçirimlidir [157].

2.12 Yağmur Hasadı Ülke Teşvik ve Mevzuatları

İngiltere'de 2009'da yağmur suyu hasat sistemleri ile ilgili İngiliz Standart Endüstri'si tarafından BS 8515:2009 uygulama kuralları belirlenmiştir. Daha sonra 2018'de BS 8515:2009 yerine BS EN 16941-1:2018 yürürlüğe girmiştir. Bu standart, yağmur suyu hasat sistemlerinin içilebilir olmayan yağmur suyu için tasarım, kurulum, test, bakım, risk yönetimi ve sistem tedarikçilerine öneri gibi kurulumu ile ilgili standartlar ve suyun kalitesini etkileyen uygulama kurallarıdır [158].

Yağmur hasat sisteminde, işletmelerin sistemi uyguladığı dönem için % 100 sermaye payı talep etmesine olanak tanımıştır. Tüm ekipman maliyetini vergiye tâbi kârlara karşı ayarlayan Gelişmiş Sermaye Ödeneği Nitelikli Su Teknolojisi listesine dâhil edilmiştir [159].

Almanya'da "DIN 1989" standardına göre içilebilir olmayan yağmur suyu hasat sistemleri için planlama, yürütme, işletim ve bakımı gibi uygulama kuralları belirlenmiştir [160].

Almanya yağmur suyu hasat sisteminin uygulandığı her bina için hükümet tarafından su kullanım faturalarında indirim ve vergi teşviki uygulanmıştır. Yağmur suyu hasat sistemi mevzuatları konusunda da birçok ülkeye öncülük etmiştir [160], [161].

Japonya'da 2014 yılında yağmur suyu kullanımının geliştirilme yasası hükümet tarafından kabul edilmiştir. Bu yasaya göre ulusal hükümet yağmur suyu hasat sistemi konusunda kullanıcılara mali destek sağlamaktadır [162]. 1980'den beri hükümet sel oluşumu ve su kıtlığına karşı, yağmur hasadı için teşvik edici finansal destek sağlamaktadır. Bu finansal destek sayesinde kentte 2012 yılında 1990 yılına göre 10 kat daha fazla yağmur suyu hasat sisteminin kurulduğu kayda geçmiştir [163].

Japonya'da birçok belediye yağmur suyunun depolanması ve filtrelenmesi durumlarında destek vermektedir. 1000 L'den az yağmur suyu depolama tankı kurmak isteyen kullanıcılara depo maliyetinin yarısını tahsis etmektedir [162].

Hindistan, su stres seviyesi yüksek olan ülkeler arasında bulunmaktadır (Şekil 2.2). Hükümet su kaynakları üzerindeki baskıyı azaltmak için 1000 m^2'den büyük inşaat alanına, 100 m^2'den büyük çatı alanına sahip binalarda ve altyapısı uygun çoğu eyaletinde yağmur suyu hasadını zorunlu kılmıştır [37].

Chennai'de çatı alanının boyutuna bakılmaksızın 3 katlı tüm binalarda, New Delhi'de çatı alanı 100 m^2, arsa alanı 1000 m^2'nin üzerinde olan parseller için yağmur hasadı zorunludur. Tamil Nadu'da da hem kamu hem de özel tüm binalarda, Rajasthan'da 500 m^2'nin üzerindeki tüm alanlarda, Bombay'da 1000 m^2 ve daha büyük arsanın üzerinde bulunan tüm binalarda yağmur suyu hasadı zorunlu hale getirilmiştir [158].

New Delhi'de yağmur suyu hasat sistem çukurlarının kazılması için maliyetin yarısını karşılamaktadır. Ayrıca sistemi uygulayan derneklere de teşvik desteği vermektedir. İndore'de sistemi uygulayan binalarda ilk yıl emlak vergisi alınmamaktadır. Kerela hükümeti 2007 yılında yapılan 6000 yağmur suyu hasat sisteminin inşaatına destek vermiştir [98].

Amerika, Arizona Tucson'da 2010 yılından itibaren yeşil alan sulamasının % 50'sinin yağmur suyu hasadıyla yapılması zorunlu kılınmıştır. Tucson bu uygulamayı yapan ilk şehir olmuştur. Bu sistemin uygulanmasında depo sistemlerinin yanı sıra yağmur suyu toplayan sedde ve konturlu yamaçların da kullanılmasına izin verilmektedir. Portland'da yönetmeliğe göre yağmur hasadı lavabo, bahçe sulama, araba yıkama gibi içilebilir olmayan amaçlarla kullanılabilir ancak aile konutlarında başvuru süreci sonucunda içme suyu olarak da kullanılabilmekte ve sadece çatılardan toplanabilmektedir. Albuquerque-Bernalillo İlçesi, 2008 yılında yeni yapılan konutlar için yağmur suyu hasat sisteminin kurulması üzerine yeni kurallar belirlemiştir. Yaklaşık olarak 236 m^2'nin üzerinde olan tüm konutlar için sarnıç ve pompa şartı vardır. Daha küçük binalarda sarnıç tank ve yağmur suyu toplama havzaları kullanılabilmektedir [164]. San Diego şehrinde 236 m^2'nin üzerindeki her konut ve ticari yapıda yağmur suyu hasat sistemi yapılması düzenlemesi getirilmiştir. Bunların dışında farklı eyaletlerin de yağmur hasadı ile su toplanması konusunda düzenlemeleri mevcuttur.

Teksas'ta bulunan Hays şehrinde yağmur hasadı yapılması için sistemin uygulanmasında 100 dolarlık indirim ile teşvik sağlanmaktadır. Tek su kaynağı yağmur suyu olan konutlara da emlak vergisi muafiyeti sağlanmaktadır. Austin şehrinde yağmur suyu depolama tankları için yönetim indirimli teşvik sağlamaktadır. Önceden onaylanmış bir yağmur sistemi kurulumunda da indirim sağlanmaktadır. Peyzaj sulama için depolama alanı kuran ticari ya da endüstriyel kurumlar sulama sayacından muaf tutulmaktadır [93].

Philadelphia'da yağmur suyu toplamak için dönüm başına 100 bin dolara kadar indirim sağlarken, Sacramento'da ev sahiplerinin yapmış olduğu yağmur

bahçelerinin kurulum ve malzemesi ücretlerinin yarısını karşılama indirimi alınabilmektedir [159].

San Diego'da yağmur suyu depolama tanklarının boyutlarına göre belirli miktarda indirim teşviki sağlanmaktadır [159].

Avustralya'da New South Wales'te yeni yapılan binalarda, bina sürdürülebilirliği (BASIX) kapsamında, konut geliştirme için bölgenin iklimine göre % 40'a kadar su azaltma hedefi karşılanmak zorundadır. BASIX kapsamında depolama tankı zorunlu değildir ancak su kullanımı ve taşan suyun yönlendirilmesi için alternatif su temini sağlayan ek bir depo alanı sağlanması gerekmektedir. Queensland'da 2015 yılında iki yerel yönetim hem konut hem de ticari binalarda yağmur suyu tank kullanımını zorunlu kılmıştır [165].

Güney Avustralya'da su kullanımını azaltmak için sivrisineklere karşı filtre ile korunan bir yağmur suyu deposu kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. Victoria eyaletinde depolama tankları minimum 50 m^2'lik toplama alanından su alarak minimum 2000 L su depolama kapasitesinde olmak ve binadaki tüm lavabolara bağlanmak zorundadır [165].

Avustralya standartlarına uygun bir yağmur suyu hasadında, su deposu 2000 L olursa ve depolanan su ev içine tekrar yönlendirilirse indirim hakkı verilmektedir. İndirime ilişkin son kararlar Avustralya hükümeti tarafından verilmektedir [166].

Sydney'de yağmur suyu hasat sistemlerinin uygulanmasında boyuta, tankın alındığı tarihe, lavaboda, çamaşır makinesine bağlanarak yağmur suyunun bu alanlarda kullanımına bağlı olarak indirim miktarı 800 ile 1500 dolar arasında değişmiştir. Ancak, bu uygulama 2009'da sona ermiştir [167], [168].

Queensland'da 3000 L ve üzerinde depo kapasitesine sahip olması koşuluyla yağmur suyu sistemlerine 1500 dolara kadar indirim sağlanmıştır. Ancak program 2008 yılında sona ermiştir [167].

Victoria eyaletinde sürdürülebilir yağmur yönetimi kapsamında yağmur hasadı için minimum sarnıç kapasitesi 1200 L ya da minimum yağmur varil boyutu 350 L olacak şekilde kullanıcılara indirim sağlamaktadır [169].

Türkiye'de ise yağmur hasadı ile ilgili Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yönetmelikler çıkarılmıştır. 30105 sayılı "Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri" Hakkında Yönetmelik ile sistemin kurulum, plan, tasarım ve yapım aşamaları ele alınmıştır. 2021 yılında "Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği'nde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik"de 2 bin m^2'den büyük parsel üzerine yapılan binalarda çatılardan yağmur hasadı yapılarak yağmur suyunun toplanması ve taşıma sistemi ile zemin altında bir depoda depolanarak, ev içi kullanımda ve bahçe sulamada kullanılması için sistemi zorunlu kılma yönünde bir düzenleme yapılmıştır.

Yağmur suyu hasadı, Yağmursuyu toplama, depolama ve deşarj sistemleri hakkında 30105 Sayılı Yönetmelik'de ele alınmıştır. Bu yönetmelikde bulunan kent planlaması ve altyapı planlamasına dair esaslar [71]:

- Yağmur suyu altyapı sistemlerinin uygulanacağı kent nüfusu, sosyo-ekonomik yapısı, sektörel dağılımı, yerleşme kimlikleri ve kademeleri faktörlerine bağlı olarak planlanır.
- Kentsel alanda yapılacak herhangi bir değişiklik, planlama durumunda kentsel altyapı tesisleri ile bir bütün olarak ele alınır.
- Kentteki ulaşım aksları ile teknik altyapı güzergâhları uygulama imar planında plan eki olarak verilir. Planlama içerisinde önerilmiş park, refüj, yaya ve bisiklet yolları, park şeritleri, yol kaplama cinsleri tanımlanır ve ilgili idareye planlama ile teslim edilir.
- Kentsel planlama ile altyapı planlaması mekân ilişkilerini kurgulayarak hazırlanır.
- Altyapı ağlarına ilişkin güzergâh planlamasında, sistemin kamunun ortak alana bırakılmış alanlarında inşa edilmesi gerekir.
- Teknik altyapı tesislerinin üstündeki yol, yaya kaldırımı, bisiklet yolu ve parklanma şeritlerinin kaplamalarının kolaylıkla sökülebilir ve tekrar kullanılabilir olmasına önem verilir.

- Yağmur suyu sistemleri; çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan sağlık ve güvenlik riskleri olmayacak, gürültü ve titreşimi en az olacak şekilde inşa edilmesi gerekmektedir.
- Yağmursuyu sistemlerinin planlanmasında, zemin durumu, jeolojik durum, kazı miktarı, taşkın durumları göz önünde tutularak ekonomik bir çözüm seçilir.

2.13 Dünyadaki ve Türkiye'deki Yağmur Suyu Hasadı Örnekleri

2.13.1 Dünyadaki Yağmur Suyu Hasadı Örnekleri

Londra Müzesi'nde 2011 yılında yağmur suyu hasat sistemi kurulmuştur. Yağmur suları çatısından ve yürüyüş yolundan toplanmaktadır (Şekil 2.24). Çatı alanı düz ve 850 m^2'lik büyük bir alana sahiptir (Şekil 2.25). Çatı yüzeyi ve yürüyüş yollarından toplanan yağmur suları filtrelendikten sonra binanın bodrumunda bulunan 25,000 L'lik depolama tankında depolanır. Burada toplanan yağış suları bar, restoran ve tiyatroda lavabo kullanımı için ayrıca yeşil çatıların ve bahçelerin sulanması için kullanılmaktadır. Sistemin takibi ve kullanılan yağmur suyu miktarı, müzenin bina yönetim sistemi aracılığıyla yapılmaktadır [170], [171].



Şekil 2.24 Londra müzesi [172]



Şekil 2.25 Londra müzesi çatı alanı [173]

İngiltere Beddington'da 2002 yılında yapılan BedZED (Beddington Zero Energy Development) projesinde sürdürülebilir bina standartları bir araya getirilmiştir (Şekil 2.26). Projede 82 konut 2500 m^2 üzerine inşa edilmiştir. Çok çeşitli çevre dostu, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve su verimliliği gibi birçok sürdürülebilir kullanımların bir arada kullanıldığı projede su yönetim stratejileri kapsamında yağmur hasat sistemi de ele alınmıştır (Şekil 2.27) [174], [175].

Hafif kavisli yeşil çatılardan toplanan yağmur suyu yer altında bulunan depolama tanklarına filtreden geçirilerek taşıma sistemiyle yönlendirilmektedir. Depolanan su projedeki bahçelerin sulanması, çamaşır yıkama, araba yıkama ve konut içlerindeki lavabolarda kullanılmak üzere gerekli yerlere yönlendirilmektedir. İçilebilir su kalitesindedir. Aynı zamanda proje alanındaki bölgesel yüzey akışı etkisini azaltarak izolasyon ve görsel açıdan da olumlu etki yaratmaktadır [174], [176].



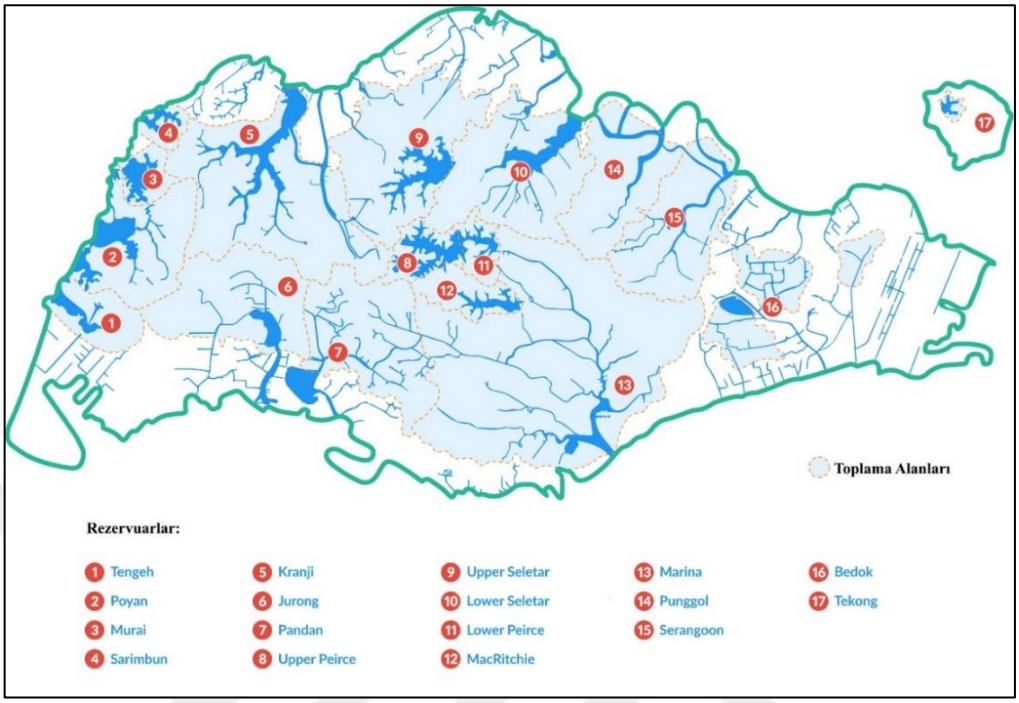
Şekil 2.26 BedZED projesi konutları [177]



Şekil 2.27 BedZED projesi çatı yağmur suyu toplama alanı [178]

Singapur'da 1986 yılında artan su talebi ile birlikte Seletar–Bedok su planı kurulmuştur (Şekil 2.28). Aşağı Seletar- Bedok planı yapıldığında kentteki toplam arazinin yaklaşık % 9'unu kaplamıştır. Günümüze kadar toplamda 17 su toplama ve depolama rezervuarı inşa edilmiştir. Ülkenin 2/3'ü yağmur suyu toplama alanıdır. Yağmur suyu kapsamlı bir kanal ağı ve nehirlerde toplanarak içme suyu kalitesine kadar arıtılmadan önce kentte bulunan 17 tane rezervuardan birine kanalize edilmektedir. Ülkede yağmur suyu toplama alanlarının kapladığı yerin büyüklüğünden dolayı kentsel ölçekte içilebilir yağmur suyu toplayabilen birkaç ülkeden birisidir. Bu planın kurulduğu alan yüksek bina ve endüstri alanlarının merkezinde bulunduğundan yoğun kirliliğe maruz kalmış, bunun için alanda su kalitesi kontrolü sağlanmıştır. Bu rezervuarlara iletilen sular yağmur suyu ve

kullanılmış suyun toplama alanında toplanmasıyla kanalize edilmektedir [179], [180], [181].



Şekil 2.28 Singapur kent haritası rezervuar planı [181]

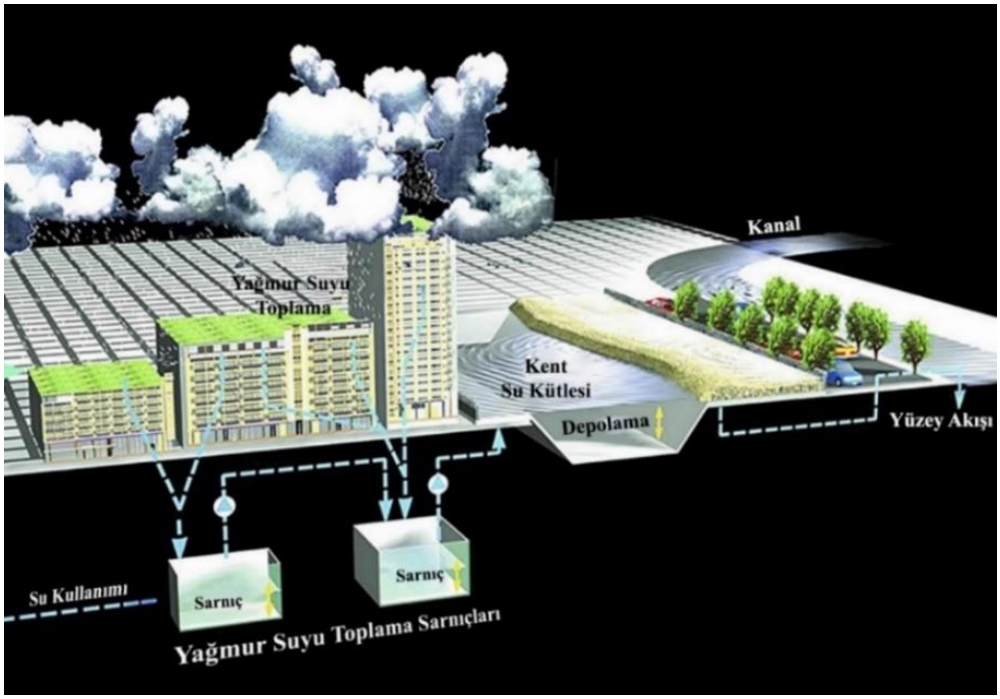
Almanya Berlin'deki Postdamer Platz (Şekil 2.29), 1998 yılında 13,000 m^2'lik bir alan üzerine drenaj ağındaki baskıyı azaltmak için kurulmuştur. Büyük ölçekli bir bölgede yağmur suyunun hasat edilerek kullanılması, estetik ve işlevsel bir peyzaj alanı oluşturulması ve kentte su yönetiminin sağlanması üzerine bir örnektir (Şekil 2.30). Projenin amacı yağmur suyunun düştüğü yerde tutularak kullanımının sağlanmasıdır. Postdamer Platz'da bulunan yeşil ve diğer tüm çatılar yıl boyunca yağış sularını toplamaktadır. Çatıların % 60'ı yani 30.000 m^2'si yeşil çatıdır. Bu durum yaz sıcaklığında 2°C'lik bir sıcaklık azaltma etkisi yaratarak enerji tasarrufu sağlamaktadır. Daha sonra bu alanlarda toplanan su bina altlarında bulunan depolama alanlarına ulaşmakta ve tekrar kullanılmak üzere bina içleri, bahçe ve yeşil çatıların sulanması ve yangın sistemleri gibi alanlara yönlendirilmektedir. Fazla su ise kent alanında su manzarası yaratan havuz ve kanallara kanalize edilmektedir. Postdamer Platz'da toplanan fazla su kanallara ya da havuzlara ulaşmadan önce geçtiği yollarda peyzaj alanlarında bulunan bitki toplulukları

aracılığıyla herhangi bir kimyasal filtreleme yöntemine ihtiyaç duyulmadan filtrelenmekte ve suyun kalitesini artırmaktadır [182], [183].



Şekil 2.29 Postdamer platz [184]

- Projede 19 tane yeşil çatılı bina yer almaktadır. Bu alana düşen yıllık ortalama yağış miktarı 23.000 m^3'tür.
- Lavabo ve peyzaj sulama için yağmur suyunun toplanması,
- Fazla yağmur suyunun tutulmasını sağlayan yapay göl ve kanallar,
- 2.550 m^3'lük depolama alanı sağlayan 3 tane sarnıç bulunmaktadır [185].



Şekil 2.30 Postdamer platz yağmur suyu yönetim sistemi [184]

EVA-Lanxmeer, Hollanda Culemborg'da 1994'de başlamış ve 2009 yılında yapımı tamamlanmış, düşük enerji tüketimi temelinde sürdürülebilir malzemelerin kullanıldığı, su tasarrufu için yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımı da yapılan ekolojik olarak tasarlanmış bir yerleşim alanıdır (Şekil 2.31). Proje alanında konutların yanı sıra okul, ofis ve ortak kullanım alanları da mevcuttur. Dünya ve Avrupa'daki en büyük permakültür yerleşimidir. Alanda bulunan yaklaşık 250 konutun bulunduğu binaların çatısından yağmur suyu hasadı yapılarak su korunumu ve tasarrufu sağlanmaktadır. Çatılardan toplanan yağmur suları kapalı boru sistemi aracılığıyla alanda bulunan dört tane tutma havuzundan birine yönlendirilerek depolanmaktadır. Burada depolanan sular filtrelenerek içme suyu kalitesine ulaşmaktadır. Böylece hem kıyıdaki bitkiler hem de balıklara kaliteli bir yaşam ortamı sağlanmaktadır. Tutma havuzları büyük bir sızma havuzuna yönlendirilmekte, bu sızma havuzları da proje sınırının yakınındaki bir su yoluna akmaktadır [186], [187].

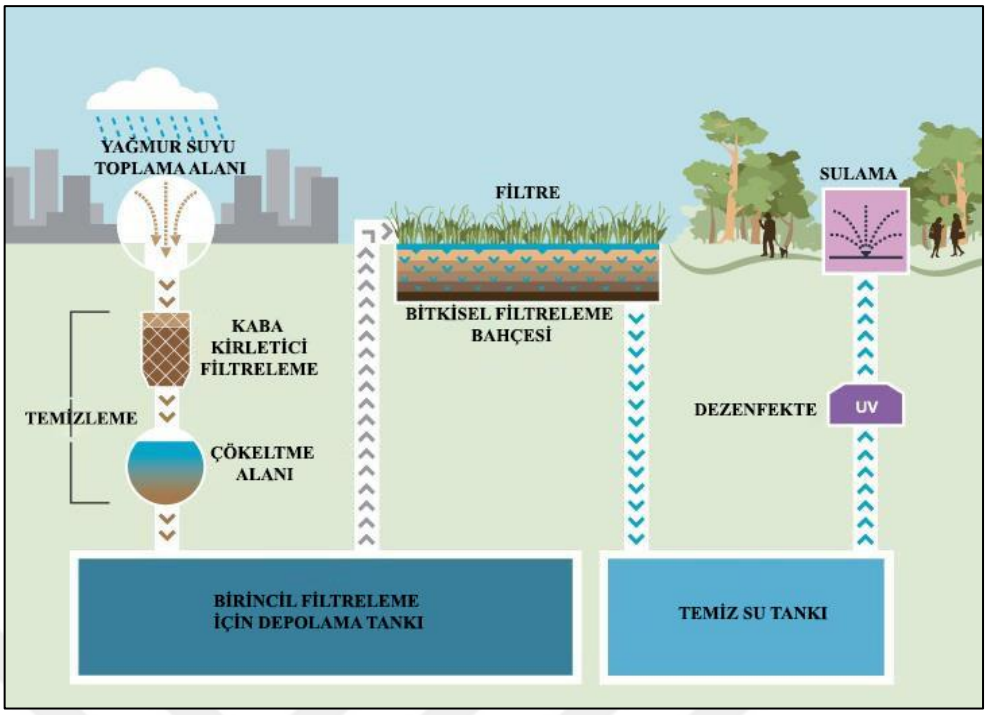


Şekil 2.31 Eva Lanxmer yerleşim bölgesi [188]

Brezilya 8,5 milyon km^2'lik yüzölçümüne sahiptir ve dünyadaki suyun % 18'ine, tatlı suyun ise % 15'ine sahiptir. Ancak ülke genelinde mevcut su eşit bir şekilde dağılmamıştır. Ülkedeki şehirlerin sadece % 28'i yeterli su kaynağına sahiptir. Brezilya'nın kurak bölgesinde 2003 yılında "içme suyu için bir milyon sarnıç"

projesi gerçekleştirilmiştir. Arazi yönetimi ve entegre su bağlamında yağmur suyu hasadının yaygınlaştırılması için bir örnektir. Bu projede çatılardan yağışlı dönemlerde kurak dönemler için yağmur suyu toplanarak depolanması amaçlanmıştır. Bir milyon evde gerçekleştirilen çalışmada 16 bin L kapasiteli depolama tankı kullanılmıştır. Programın amacı kırsalda kuraklıkla mücadele eden bir milyon haneye içme suyu, tarım için sulama ve hayvancılık için su sağlamaktır [189], [190].

Avustralya Melbourne'de bulunan Fitzroy Bahçeleri 26 hektarlık bir alan üzerinde kurulan, 1848 yılında halka açık koruma bölgesi olarak belirlenmiş bir park alanıdır. Fitzroy Bahçeleri'nde yapılan yağmur suyu hasat sisteminde seçilen depo alanı, havzanın en alçak noktasıdır. Yağmur suyu toplandıktan sonra arıtma süreci, çöp ve yapraklar gibi büyük kirleticileri ortadan kaldıran büyük bir filtreyle başlamakta ve ardından yağmur suyu, bir çökeltme odasına akmaktadır. Bu odada, ince kumlar ve yağlar gibi asılı kalan kirletici parçacıklar temizlendikten sonra odanın yanında, dört milyon litre kısmen arıtılmış suyu depolayabilen birincil depolama tankına ulaşmaktadır. Buradan su, bir biyofiltrasyon yatağının nitrojen ve fosfor gibi görünmez kirleticileri doğal olarak uzaklaştırdığı yüzeye pompalanmaktadır. Bir milyon litre arıtılmış yağmur suyu ikincil bir tankta depolanabilmekte ve sulama için kullanılabilmektedir. Son olarak, su Fitzroy Bahçeleri'ni sulama ağına pompalanmadan önce, kalan bakterileri öldürmek için Ultraviyole (UV) ışık tüplerinden geçirilmektedir. Fitzroy Bahçeleri'nin sulanması için yıllık 117 milyon litre sulama suyu harcanırken yapılan yağmur suyu hasadı sistemiyle her yıl 30 milyon litre su tasarrufu sağlanmaktadır (Şekil 2.32), [191].



Şekil 2.32 Melbourne Fitzroy garden [191]

Portland'da bulunan Tanner Springs Parkı'nda sürdürülebilir bir kent parkı tasarımı kapsamında geçirimsiz yüzeylerden ve çevresindeki sokaklardan yüzey akışıyla gelen yağış suları parktaki en alçak noktada sokağın bulunduğu seviyeden yaklaşık olarak 1.80 m daha aşağıda bulunan gölette toplanmaktadır. Toplanan su burada kimyasal yöntemler kullanılmadan doğal olarak filtrelenerek işlenmektedir. Göletin çevresi tarihi tren rayları ile çevrelenmiştir. Burası bir sanat duvarı olarak nitelendirilmektedir (Şekil 2.33), [187].



Şekil 2.33 Tanner Springs Parkı [187]

2.13.2 Türkiye'deki Yağmur Suyu Hasadı Örnekleri

İstanbul'da bulunan **Borusan Oto İstinye Tesisleri'nin** çatılarından yağmur suyu hasadı gerçekleştirilmektedir. Toplanan yağmur suları ayrı depolama tanklarında depolandıktan sonra lavabo, araba yıkama, yangın deposu, temizlik ve bahçe sulamada kullanılmaktadır. Kullanılan yağış suları daha sonra tekrar kullanılmak üzere biyolojik olarak arıtılarak % 95 oranında geri kazandırılmaktadır [192]. Yağmur suyu hasat sistemi ile atık su sistemi bağlantılıdır. Yağmur suları çatılardan toplandıktan sonra ilk olarak 1. ve 2. kum filtrelerinden geçmekte ve daha sonra atık su ile karışmaktadır. Atık su, yağmur suyu ile karıştırılmadan önce kötü koku sorununa yol açtığı için yağmur suyu ile karıştırılmaktadır (Şekil 2.34), [160].



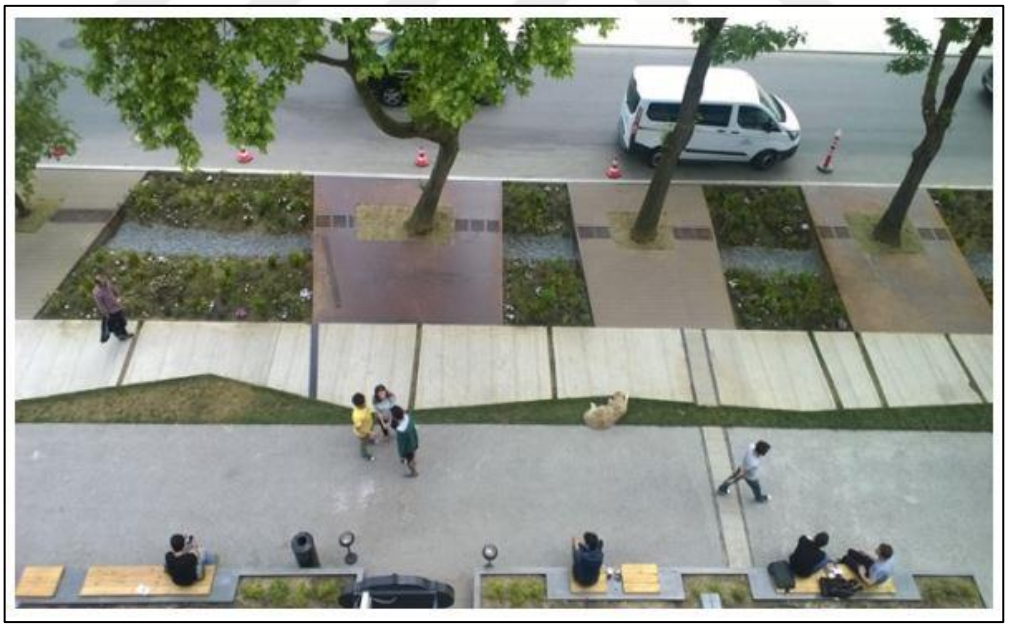
Şekil 2.34 Borusan Oto İstinye Tesisleri [192]

Siemens Gebze Tesisleri Türkiye'deki bir diğer örnek projedir. Yağmur hasat sistemini de içerisinde barındıran 35.000 m^2'lik yeşil binaları içeren projedir. Proje otoparkında delikli taşlar kullanılarak ve yeşil alan miktarı artırılarak yağmur suyunun toprağa sızdırılması ile birlikte yeraltı su kaynaklarını ve kalitesini artırmak amaçlanmıştır. Ayrıca bina içinde kullanılmak üzere de yağmur suyu depolarda depolanmaktadır. Sert zeminlere düşen yağış suları da peyzaj alanlarına oluk ve borular aracılığıyla yönlendirilmektedir. Peyzaj alanlarının su tüketimini azaltmak amacıyla da ithal yerine yerel bitkiler tercih edilmiştir. Sulama sistemi olarak da su verimliliğini sağlamak için sprinkler yerine damlama sulama yöntemine geçilmiştir. Peyzaj sulamasında şebeke suyu yerine toplanan yağmur suyu arıtılmadan kullanılmıştır. Bu şekilde % 50'lik bir su tasarrufu sağlanmıştır. Depolanan yağmur suyu peyzaj sulama dışında yangın suyu ve bina içi ve dışı diğer kullanımlara olanak sağlamaktadır (Şekil 2.35), [193].



Şekil 2.35 Siemens Gebze Tesisleri [193]

İTÜ Ayazağa Kampüsü'nde peyzaj tasarımında, yağmur suyu yönetimi kapsamında yürüyüş yollarının kenarlarında ve refüjlerde yağmur suyunu tutan yağmur hendekleri sistemleri uygulanmıştır (Şekil 2.36), [9].

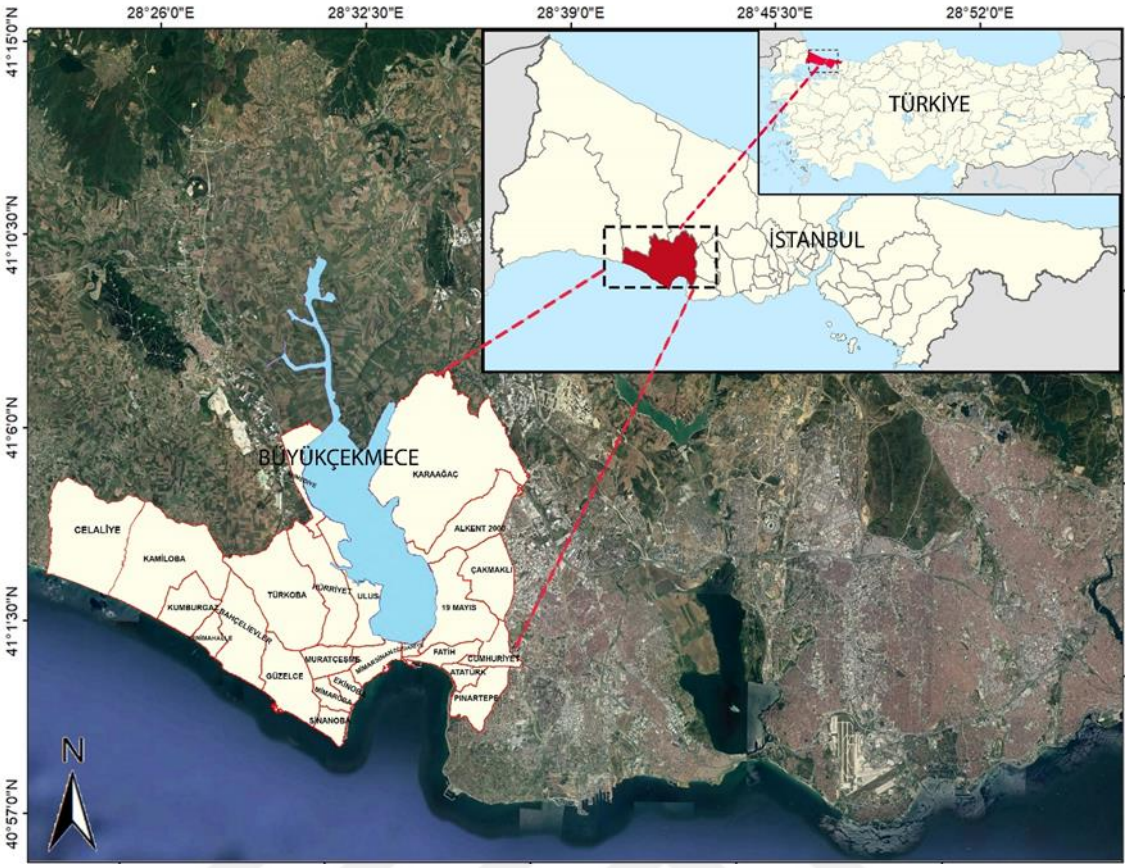


Şekil 2.36 İTÜ Yağmur suyu tutma hendekleri [9]

3
BÜYÜKÇEKMECE

3.1 Konum ve İdari Yapı

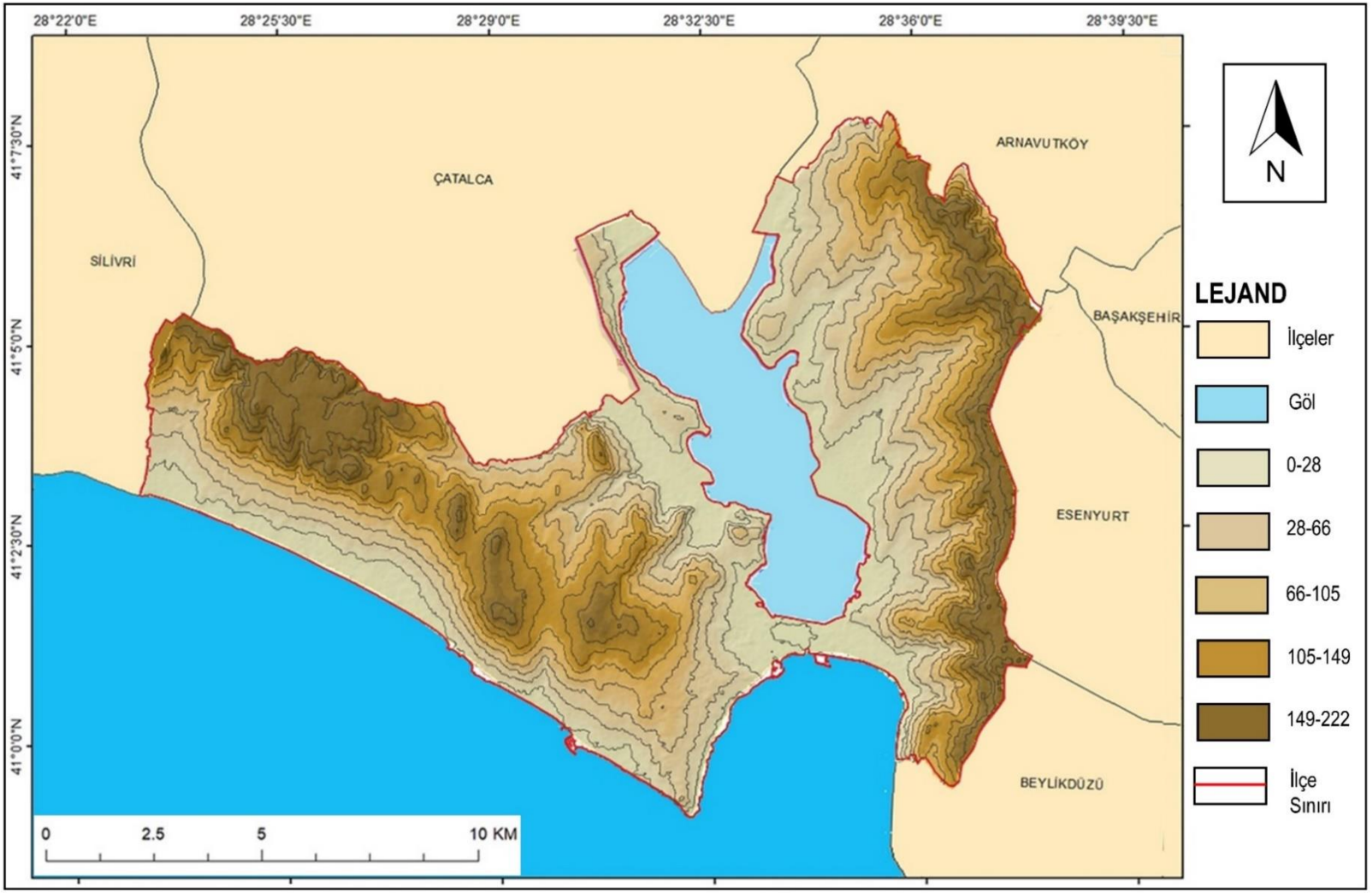
İstanbul-Büyükçekmece ilçesinin coğrafi konumu, 41°7' kuzey enlemleri ile 28°37' doğu boylamları arasında bulunmaktadır. İstanbul ilinin batı yakasında bulunan Büyükçekmece ilçesinin, Marmara Denizi'ne de kıyısı bulunmaktadır. İlçe 16.340 hektar genişliğinde bir alanı kaplamaktadır. İstanbul'un ise % 3'ünü kaplamaktadır [194]. İlçenin kuzeyinde Çatalca ve Arnavutköy ilçeleri, güneyinde Beylikdüzü ilçesi ve Marmara Denizi, doğusunda Esenyurt ilçesi, batısında ise Silivri ilçesi bulunmaktadır. İlçede Karaağaç, Alkent, Çakmaklı, 19 Mayıs, Dizdariye, Fatih, Atatürk, Cumhuriyet, Pınartepe, Mimarsinan, Ahmediye, Hürriyet, Muratçeşme, Ekinoba, Mimaroba, Sinanoba, Türkoba, Ulus, Güzelce, Bahçelievler, Yenimahalle, Kumburgaz, Kamiloba, Celaliye olmak üzere 24 mahalle bulunmaktadır (Şekil 3.1). İlçenin sınırlarında harita üzerinden yapılan ölçüme göre yaklaşık 460 bin m^2 orman mevcuttur [195]. İlçede iklim yapısı olarak Marmara geçiş rejimi hâkimdir. Marmara geçiş iklim rejiminde, yaz mevsimi az yağış almakta ve kurak geçmektedir. Kış mevsimi ise Balkanlar'dan gelen soğuk havanın etkisiyle nispeten soğuk ve yağışlı geçmektedir [196]. İstanbul 1. Bölge Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan verilere göre ilçenin ortalama bir yılda aldığı 638 mm yağışın % 12'si yazın, geriye kalan % 88'i ise kışın düşmektedir. 20 yıllık sıcaklık ortalaması ele alındığında bir yıldaki ortalama sıcaklık 15,09°C düzeyindedir. Rüzgâr hızı 8 yıl ortalaması alındığında aylık ortalama 2,93 m/s'dir. Hâkim rüzgâr yönü ise KKD yönlü Yıldız poyrazı rüzgârıdır [197], [198].



Şekil 3.1 Konum haritası [198], [199]

3.2 Yükselti

Şekil 3.2'de alanın yükselti miktarları 0 ile 222 m arasında 5 gruba ayrılmıştır. Büyükçekmece ilçesinde göl ve deniz çevreleri ilçedeki en alçak bölgelerdir. Bu alanlardaki yükselti 0 ile 28 m arasında değişmektedir. Ayrıca eğimin de çok az olduğu, az yükseltili alanlardır. Göl dalgalı düzlükler ile doğu ve batısına doğru eğimi artan tepeler arasında bulunmaktadır [200]. İlçenin en yüksek kotu ise 222 m'dir. En yüksek tepeler ilçenin en doğusu ile kuzey batısına ve batısında da yer yer dağılmış durumdadır.



Şekil 3.2 Yükselti haritası [201]

3.3 Eğim

Bir yerin eğim derecesi alanın topoğrafik yapısını analiz etmek için önemli bir faktördür. Eğim topoğrafik yapının anlaşılmasında temel yardımcıdır. Alanın sel, erozyon riski, bitki kullanımı, infiltrasyonu ve sulama yöntemi seçimini etkilemektedir. Eğimli bir alan erozyon, sel gibi durumlara neden olurken çok az eğimli alanlar ise drenaj sorunlarına neden olmaktadır [202]. Büyükçekmece ilçesinin eğim haritası incelendiğinde eğimin yükselti miktarlarına paralel geliştiği görülmektedir. Şekil 3.4'deki eğim haritasına göre eğim dereceleri 6 sınıfa ayrılmıştır. En yüksek eğim derecesi 31,9'dur. En az eğim derecesi ise 0'dır. Göl ve deniz çevresi en az eğime sahip, deniz seviyesinde sıfır derecelik düzlük alanlardır. Eğimin arttığı alanlar ilçenin doğu ve batısındaki vadi yamaçları ve Büyükçekmece lagününün doğu yamaçlarıdır. İlçenin batı, kuzeybatı ve güneybatısı en yüksek eğim derecelerine sahip alanlardır.

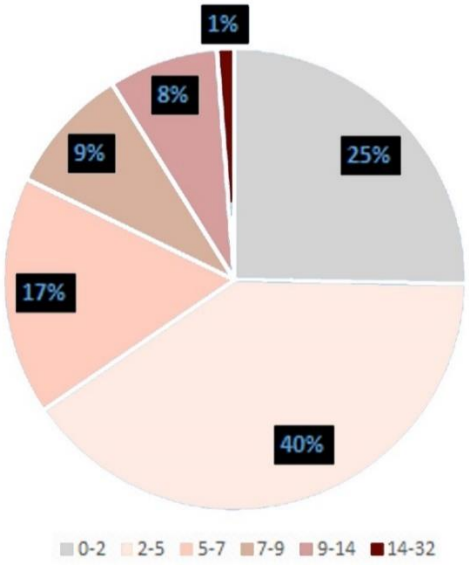
Tablo 3.1'e göre eğim yüzdelerinin arazi sınıflandırması yapılmıştır. Tablo 3.1'de eğim sınıflandırması yüzde cinsinden ele alınmıştır. Alandaki en yoğun eğim derecesi 32 derecedir. Yüzdeye çevrildiğinde en eğimli alanlar % 62 olmaktadır. Dolayısıyla % 62'lik eğimin karşılığı çok sarp eğimli alanlardır. Ancak Şekil 3.3'e göre bu alanlar ilçenin sadece % 1'inde bulunmaktadır. İlçede en fazla alanı % 40'lık miktar ile 2-5 derecelik eğimli alanlar kaplamaktadır. Bu alanın karşılığı da hafif ve orta eğimli alanlardır.

Tablo 3.1 Eğim yüzdelerine göre arazi sınıflandırması [202]

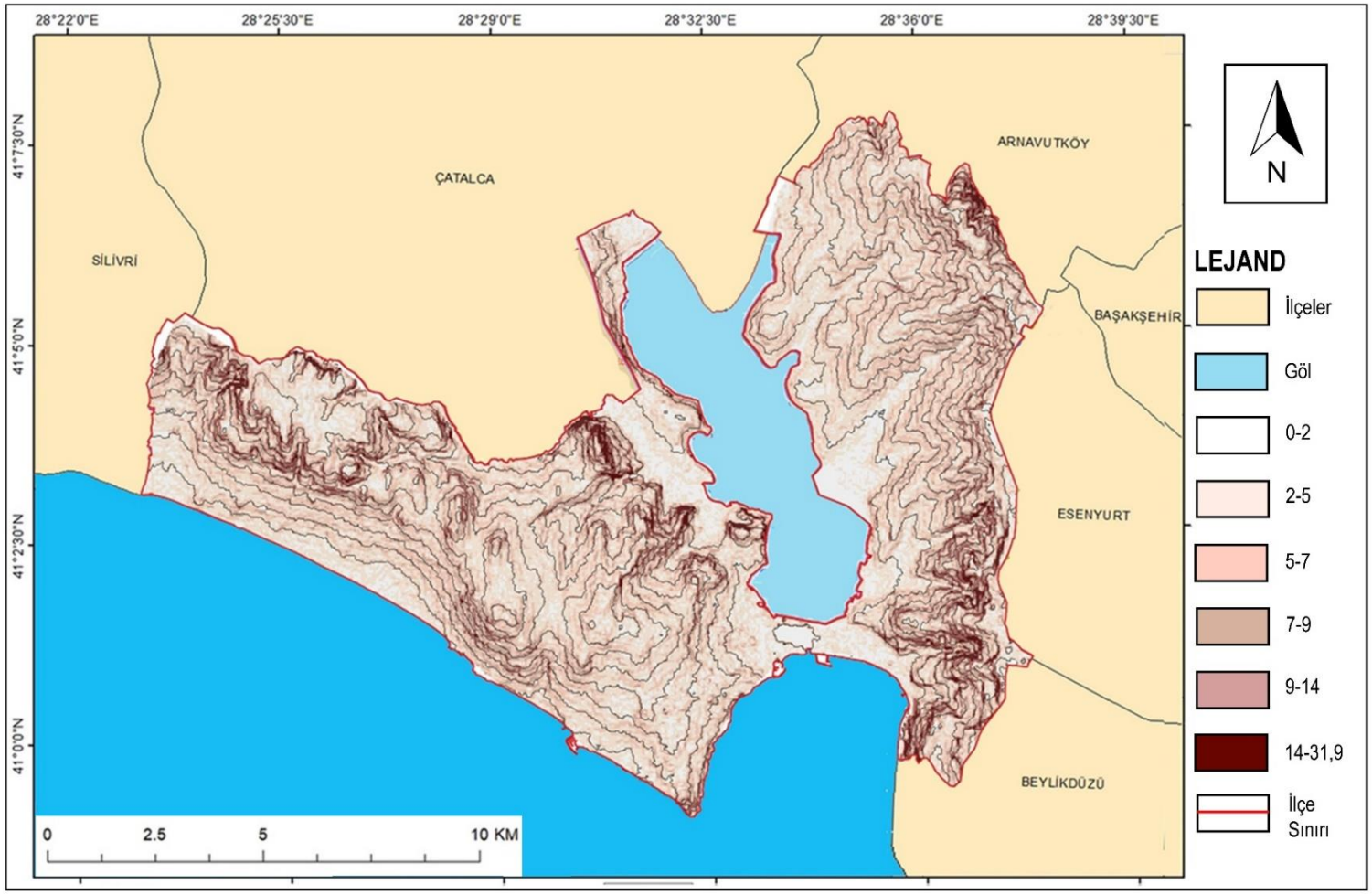
ANLAMI	EĞİM YÜZDESİ
Düz düze yakın	0-2
Hafif eğimli	3-4
	5-6

Tablo 3.1 Eğim yüzdelerine göre arazi sınıflandırması (devamı)

Orta eğimli	7-8
	9-10
	11-12
Dik eğimli	13-14
	15-16
	17-18
	19-20
Çok dik eğimli	20-30
Sarp eğimli	30-45
Çok sarp eğimli	45+



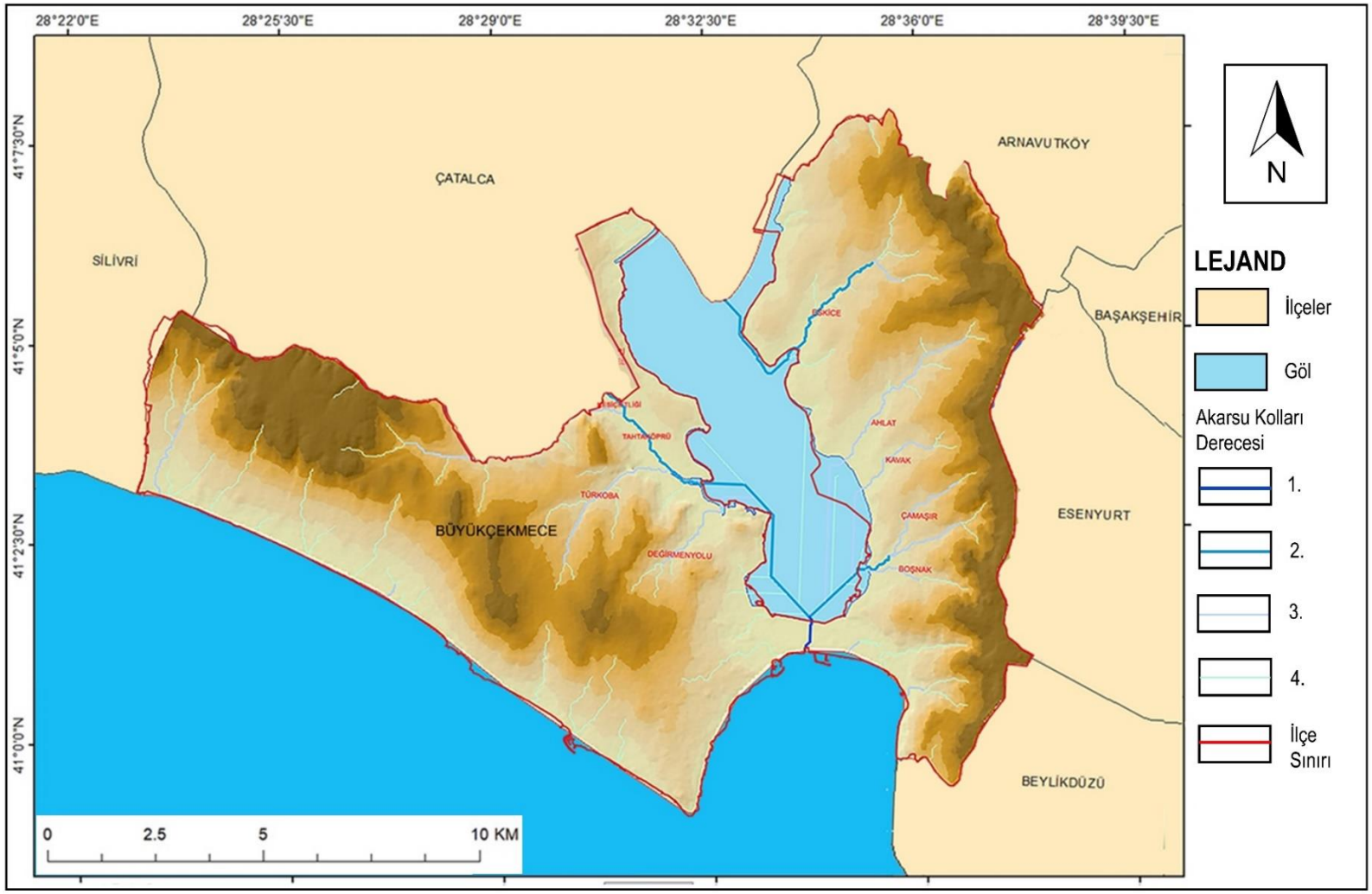
Şekil 3.3 İlçenin eğim derecelerine göre kapladığı alanların yüzdesi [201]



Şekil 3.4 Eğim haritası [201]

3.4 Hidroloji

Büyükçekmece ilçesi Büyükçekmece Gölü Havzası'nda bulunmaktadır. Göl, İstanbul'un batısında Terkos gölünden sonra ikinci büyük göldür. Marmara denizine bağlanan lagün oluşumlu hafif tuzlu doğal bir göl iken, 1989 yılında İSKİ tarafından içme suyu baraj gölü haline dönüştürülmüştür. İlçeye içme suyu sağlayan Büyükçekmece baraj gölü yaklaşık 27,5 km^2 alana sahiptir ve gölden çıkan akarsu kolları, havzayı beslemektedir [203]. Büyükçekmece gölünün kotu 6,68 m'dir. Havza içinde suları göle ulaştıran dereler ise "Beylikçayı Deresi, Çekmece Deresi, Hamza Deresi, Eskidere ve Orcunlu Dere, Kızılcaali deresi kolu, Karasu Deresi ve Akalan Deresi, Şeytan Deresi, Ayvalı Deresi, İnter Deresi, Tavşan Deresi, Delice Deresi Kolları, Tahtaköprü Deresi, Koy Deresi, Damlıdere ve Kesliçiftliği Deresi, Kiladine Deresi Kolu"dur [204]. İlçede bulunan akarsu kolları batı drenajını Tahtaköprü deresi, Keşliçiftliği, Türkoba, Değirmenyolu drenaj ağı oluşturmaktadır. Doğu drenaj ağını ise Boşnak, Çamaşır, Kavak, Ahlat, Eskice drenaj hattı oluşturmaktadır [205]. Büyükçekmece İlçesi'nin hidroloji haritası Şekil 3.5'de verilmiştir.



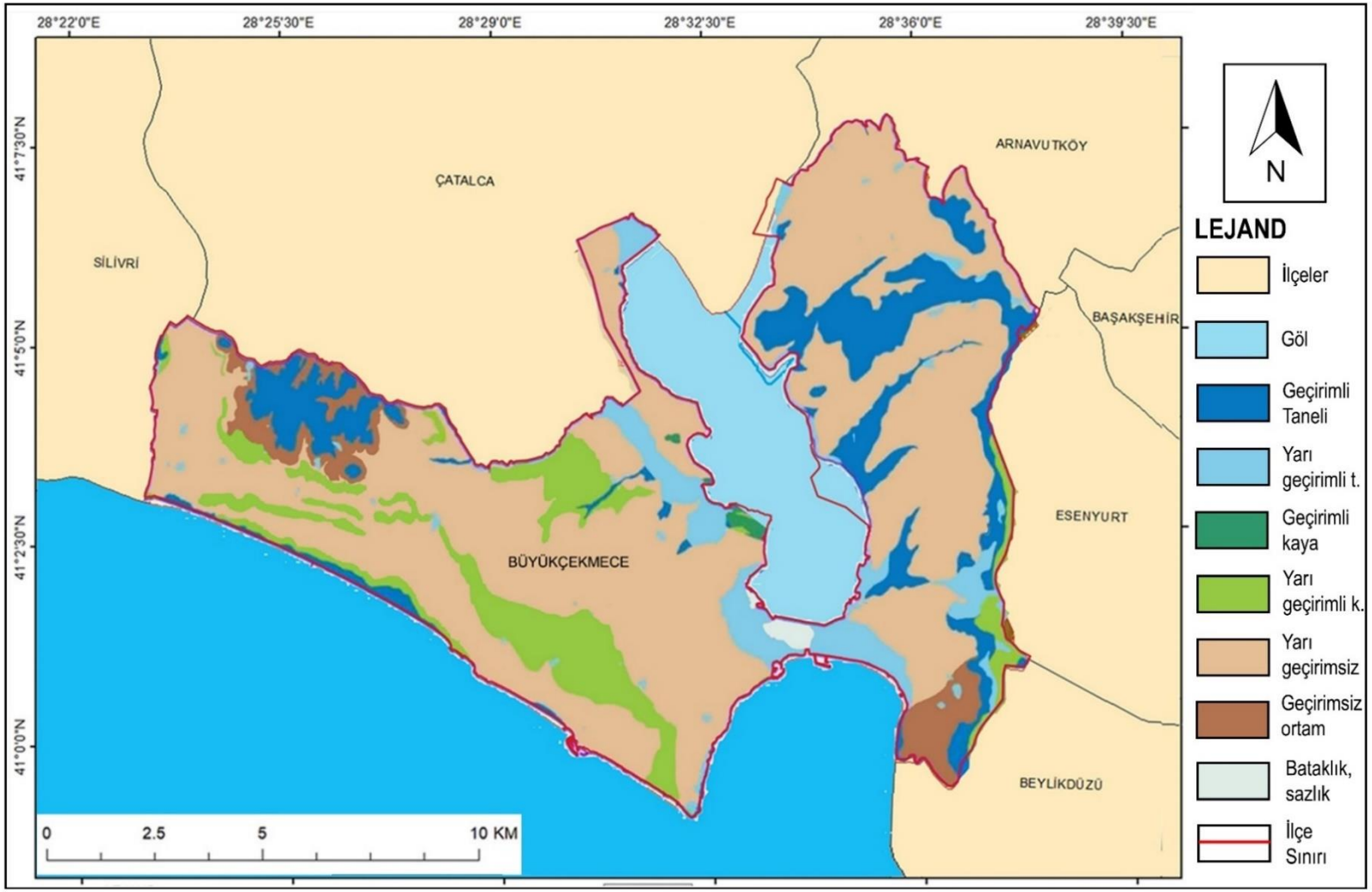
Şekil 3.5 Hidroloji haritası [201], [205]

3.5 Hidrojeloji

Hidrojeoloji, yeraltı suyu jeolojisi anlamına gelmektedir. Yeraltı suyunun hareketi, karakteri, kökeni ve yüzey suları ile etkileşimi hidrojeolojinin inceleme alanıdır [206]. Litolojik birimlerin yeraltı suyu geçirimlilik ve iletme kapasitesini içermektedir. Litolojik ortamdaki boşlukların boyutları ve boşluklar arasındaki ilişkinin derecesine göre ortam türleri yarı geçirimli ortam (gç), geçirimli ortam (Gç), geçirimsiz ortam (Gz) ve yarı geçirimsiz ortam (gz) olmak üzere 4 sınıfa ayrılmıştır. Ayrıca yarı geçirimli ortamlar kendi aralarında kaya (gçk) ve taneli (gçt) olarak, geçirimli ortamlar ise kaya (Gçk) ve taneli (Gçt) şeklinde alt sınıflara ayrılmıştır [207].

Yeraltı suları sadece boşluklu alanlarda depolanabilmektedir. Boşluklu bir tabaka da su kolaylıkla sızmıyorsa geçirimsiz tabakadır. Geçirimli tabakalar suyun kolayca sızabildiği tabakalardır. Yeraltı suyu rezervuar ortamlarının gözenek boşluklarının birbiri ile ilişkili olmasıyla kanalcıklar oluşmaktadır. Yeraltı suyunun hareketi bu kanallar ile gerçekleşmektedir [208].

Şekil 3.6'ya göre Büyükçekmece ilçesi hidrojeolojik ortamlar açısından incelendiğinde, ilçede yarı geçirimsiz ortamlar kapladıkları alan bakımından ilk sıradadır. Yarı geçirimsiz ortamları sırasıyla geçirimli taneli ortamlar, yarı geçirimli kaya ortam, yarı geçirimli taneli ortam ve geçirimsiz ortamlar izlemektedir.



Şekil 3.6 Hidrojeoloji haritası [207]

İlçedeki en geniş alanı kaplayan yarı geçirimsiz ortam hidrojeolojisi, yarı açık-dolgulu, gözenekleri çoğunlukla ilişkisiz ve küçük çaplı, dar açıklıklı taneli ortam ile yarı dolgulu çatlaklı ya da çatlaksız kaya ortamlardır. Yeraltı suyu akışını sınırlayan ve yarı geçirimli ve geçirimli tabakların suyu depolamasına olanak tanıyan bir yeraltı sınırlayıcısı görevi görmektedir. Batısında yarı geçirimsiz ortamlardan sonra yarı geçirimli kaya ortamlar yoğunluktadır. Bu ortamlar da açık, yarı açık ve kısmen ilişkili genelde dar açıklıklı çatlaklı ve boşluklu kaya ortamdan oluşmaktadır. Bu ortamlarda yeraltı suyu fazla değildir ama düşük verimli olarak kısmen yeraltı suyu depolayabilmektedirler. Doğusunda ise ikinci olarak geçirimli taneli ortam yoğunluktadır. Bu ortamlar da açık ve gözenekleri geniş ve ilişkili taneli ortamlardır. Orta ve yüksek seviyede yeraltı suyu depolama kapasitesine sahiptirler.

Bir bölgede yeraltı suyu depolanabilmesi için o bölgede geçirimli ve yarı geçirimli ortam olması gerekliliğinin yanı sıra geçirimsiz ve yarı geçirimsiz ortamların o ortamları sınırlandırmasına ihtiyaç duyulmaktadır [207].

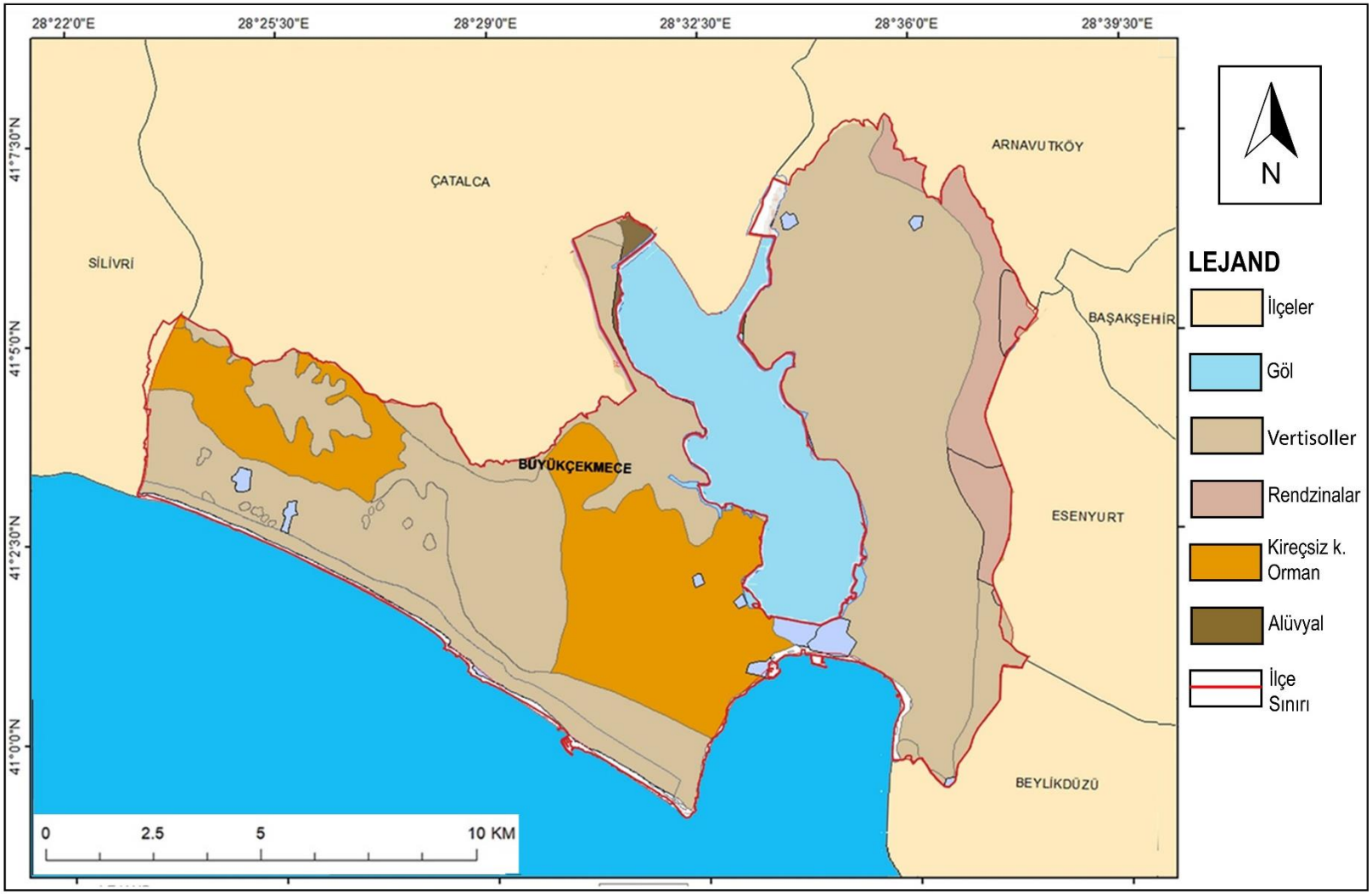
3.6 Toprak Yapısı

Şekil 3.7'ye göre Büyükçekmece ilçesinde yer alan büyük toprak grupları incelendiğinde ilçenin genelinde en fazla alanı vertisoller kaplarken, ilçenin batısının büyük bir kısmını da kireçsiz kahverengi topraklar kaplamaktadır. Doğusunda ise Arnavutköy ve Esenyurt sınırlarında rendzinalar bulunmaktadır.

Vertisoller kurak dönemlerde büzülen yağışlı dönemlerde ise genişleyen bir toprak tipidir. Bu toprak türü % 30 ya da daha fazla miktarda kil içermektedir. Ağır ya da çok ağır bünyelidir. Düşük organik madde içermektedir. Toprağın rengi koyu, yüzeyi çatlaklı ve ondüleli yapıdadır. Bazıları az eğimli alanlarda görülürken çoğunlukla çöküntülü alanlarda görülmektedirler. Killi yapıda olması ile ilgili olarak da geçirgenliği düşük bir topraktır. Genellikle çöküntülü alanlarda bulunan vertisoller yağışlı dönemlerde su altında kalmaktadır. Arazi drenajı kısıtlıdır [209], [210].

Kireçsiz kahverengi orman toprakları fazla verimli değildir. Toprağın üst katmanı koyu renklidir. Yaprak döken orman örtüsü altında oluşmaktadır [210], [211].

Rendzinaların en üst katman yapısında kireç taşı, tebeşir parçaları ve marn bulunmaktadır. Üst katman koyu renklidir, alt katman daha açık renkli kireçli geçiş katmanıdır ve en altta kireçli anakaya bulunmaktadır. Toprağın drenaj yapısı da iyidir [210].

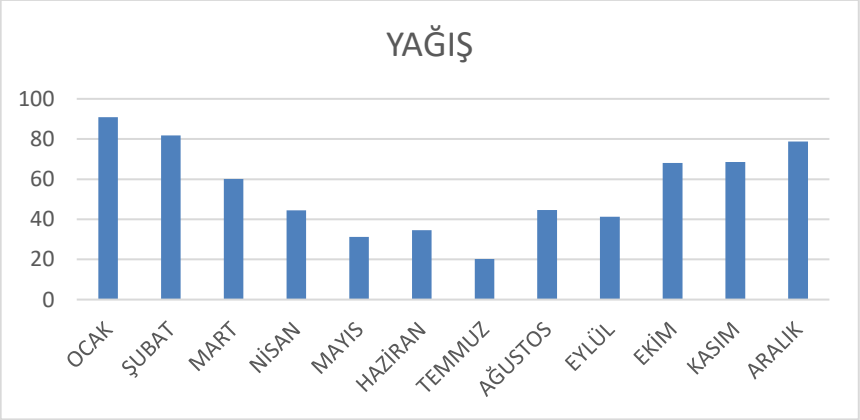


Şekil 3.7 Büyük toprak grupları haritası [212]

3.7 İklim

3.7.1 Yağış

Büyükçekmece ilçesinde Meteoroloji 1. Bölge Müdürlüğü'nden aylara göre 20 yıllık yağış verileri alınmıştır. Daha sonra yağış verilerinin aylara göre 20 yıllık (2001-2020) ortalamaları hesaplanmıştır. Şekil 3.8 incelendiğinde ilçedeki en yağışlı ayların kış mevsiminde olduğu görülmektedir. Toplam yağışların % 39'u kış mevsiminde gerçekleşmektedir. Yaz mevsimi ayları ise en düşük yağış miktarına sahip aylardır. Büyükçekmece'de en yüksek yağış miktarı ocak ayında ortalama 91 mm olarak düşmüştür. En düşük yağış miktarı ise temmuz ayında ortalama 20 mm olarak düşmüştür. Toplam yıllık yağış miktarı (20 yıllık ortalamaya göre) 638 mm'dir [197].

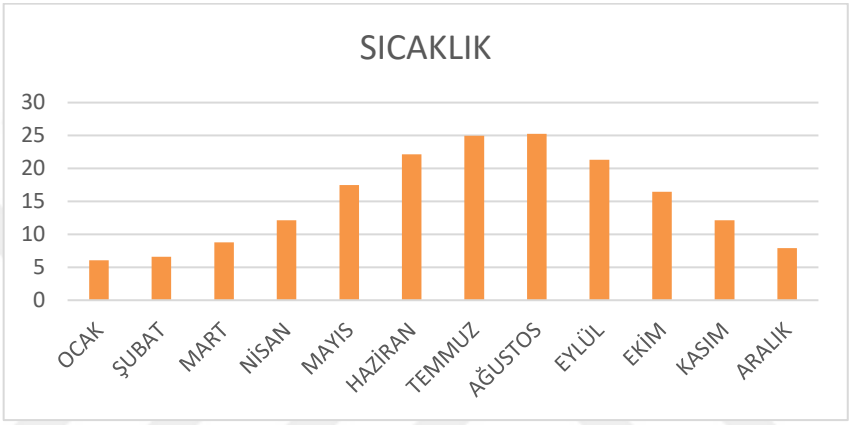


Şekil 3.8 Aylara göre 20 yıllık ortalama yağış verileri [197]

Ayrıca aylara göre yağışlı gün sayısı 30 yıllık ortalamaya göre aralık ayında ortalama 13,9 gündür. Aralık ayında ortalama 13,6 gün ile ocak ayı takip etmektedir. Karlı gün sayısı ise en fazla ocak ve şubat ayında ortalama 1,5 gün olarak ölçülmüştür. Yılda ortalama olarak toplam 4 gün kar yağışı olmaktadır [213].

3.7.2 Sıcaklık

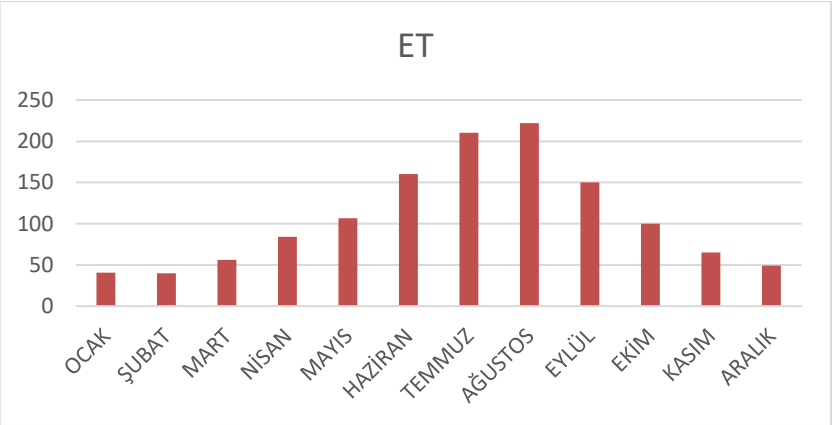
Büyükçekmece ilçesinde Meteoroloji 1. Bölge Müdürlüğü'nden alınan aylara göre 20 yıllık (2001-2020) sıcaklık verilerinin ortalaması hesaplanmıştır. Şekil 3.9'a göre Büyükçekmece ilçesinde sıcaklık değerleri yaz mevsiminde en yüksek °C'ye ulaşmaktadır. En düşük sıcaklık değerleri ise kış mevsiminde gerçekleşmektedir. İlçenin 20 yıllık ortalama değerleri baz alındığında en sıcak ayı ağustos ayıdır. Ağustos ayında ortalama sıcaklık 25°C olarak ölçülmüştür. En düşük ortalama sıcaklık ise ocak ayında 6°C olarak ölçülmüştür [197].



Şekil 3.9 Aylara göre 20 yıllık ortalama sıcaklık verileri [197]

3.7.3 Evapotranspirasyon

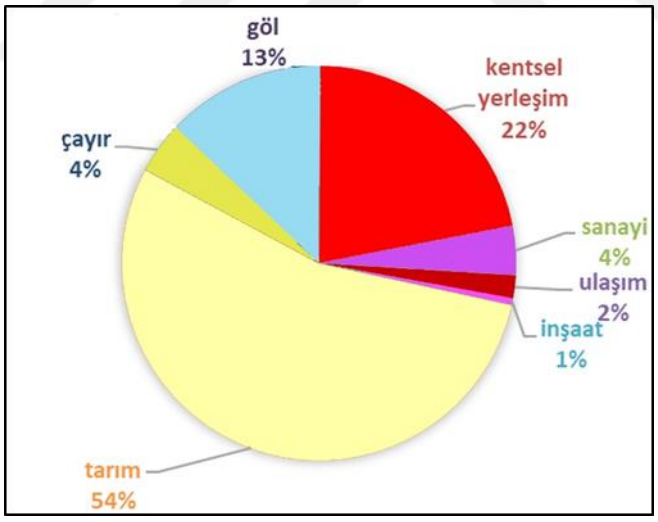
Büyükçekmece ilçesinin evapotranspirasyon verilerine ulaşılamadığı için Büyükçekmece'ye en yakın meteoroloji istasyonu olan Florya istasyonunda ölçülen evapotranspirasyon verileri kullanılmıştır. Meteoroloji 1. Bölge Müdürlüğü'nden alınan 20 yıllık (2001-2020) evapotranspirasyon verilerinin, aylara göre ortalaması hesaplanmıştır. Şekil 3.10'a göre Evapotranspirasyon miktarı yaz mevsiminde % 46 ile en yüksek miktara sahiptir. Ağustos ayında ortalamaya göre 222 mm olarak en yüksek miktara ulaşmıştır. Kış mevsimi ise en az evapotranspirasyon gerçekleşen mevsimdir. En az evapotranspirasyon miktarı 40 mm ile şubat ayında gerçekleşmiştir. Yirmi yılın ortalamasına bakıldığında yıllık toplam 1284 mm evapotranspirasyon gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 3.10 Aylara göre 20 yıllık ortalama evapotranspirasyon verileri [197]

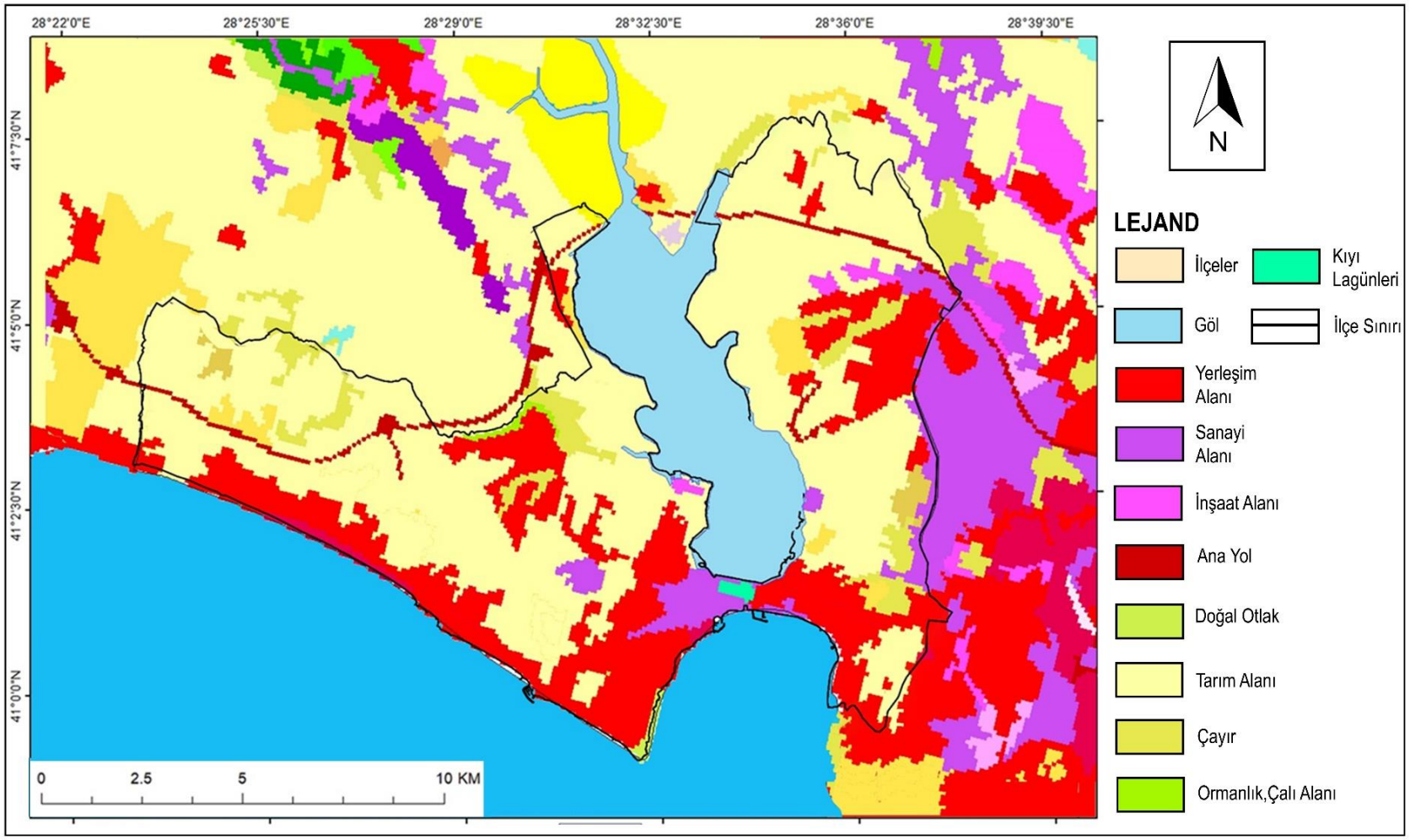
3.8 Arazi Kullanım

Büyükçekmece ilçesinde yapılan arazi kullanım analizine göre Şekil 3.11'de arazi kullanımının yüzdelere göre grafiği oluşturulmuştur. Grafiğe göre ilçenin % 54'ünü tarım alanları, % 22'sini yerleşim alanları, % 13'ünü Büyükçekmece Gölü, % 4'ünü sanayi, diğer % 4'ünü çayır alanları ve geri kalan % 3'ünü ulaşım ve inşaat alanlarının oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 3.11 Arazi kullanımı yüzde grafiği [214]

Büyükçekmece ilçesinin Şekil 3.12'de arazi kullanım analizine göre ilçenin geniş bir alanını tarım alanlarının kapladığı görülmektedir. 2018 yılına ait bu arazi kullanım haritasına göre ilçedeki ekilebilir tarım arazisi ilçenin yaklaşık olarak 9 bin 301 hektarlık alanını kaplamaktadır. Tarım alanlarını yerleşim alanları takip etmektedir. Yerleşim alanları da tüm ilçede 3 bin 735 hektarlık alan kaplamaktadır. Yerleşim alanlarını 686 hektar ile sanayi alanları takip etmektedir.



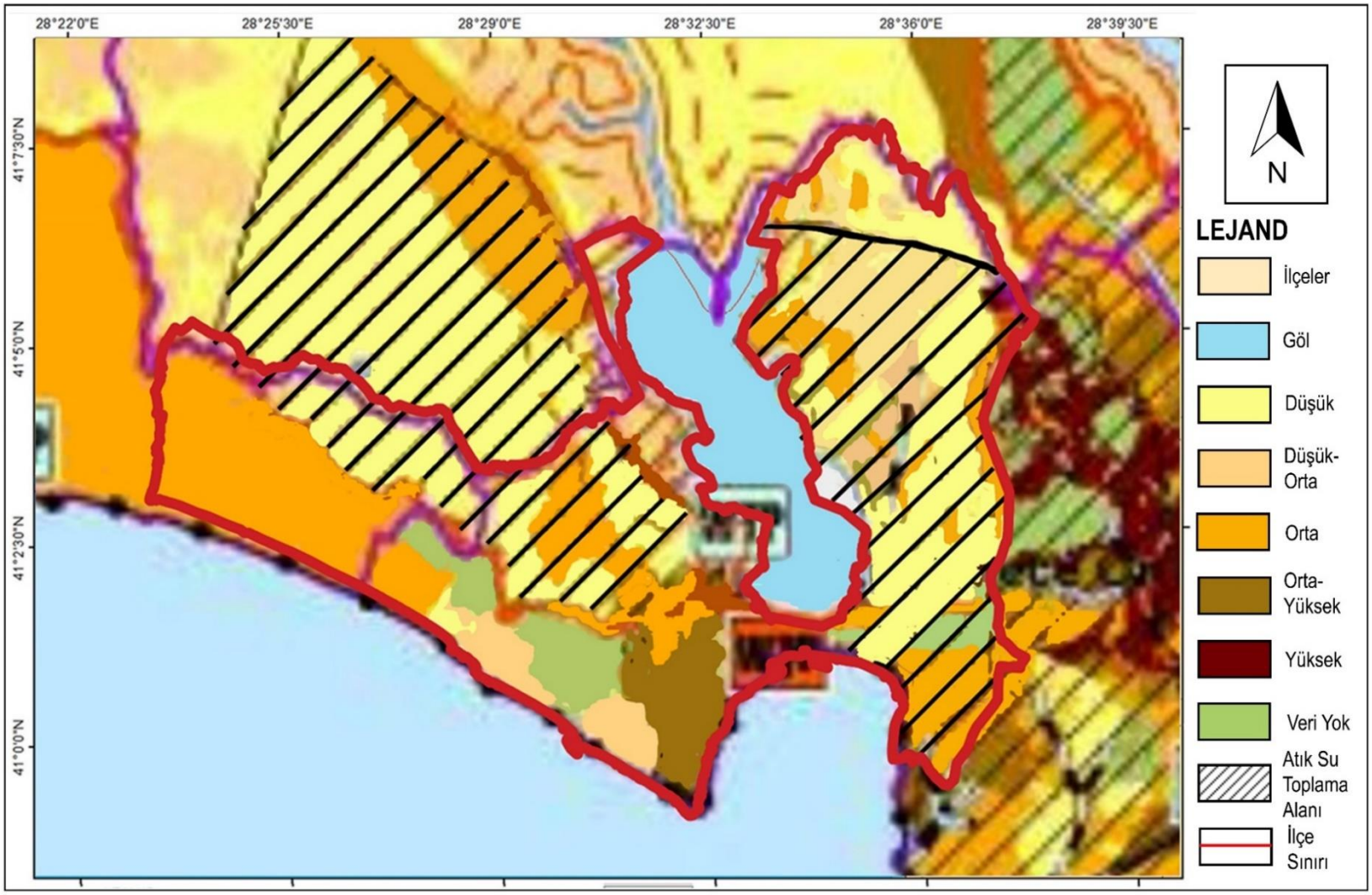
Şekil 3.12 Arazi kullanım haritası [214]

3.9 Su Kirliliği

Büyükçekmece'ye su sağlayan Büyükçekmece Gölü ve gölü besleyen drenaj ağının kirlenme sebebinde evsel, endüstriyel ve tarımsal kirleticiler ilk sırada yer almaktadır. Bu etkenlerin yanı sıra hava kirliliği, rüzgâr ve yağmur suları ile kara, yaya yolları ve diğer yüzeylerden kirleticilerin taşınması sayılabilmektedir. Şekil 3.13'de su kirliliği verileri kirlilik riski seviyesine göre belirtilmiştir. İlçede atık su toplama alanları geniş bir yer tutmaktadır. Atık su toplama alanlarının dışında orta ve düşük risk seviyelerinin de yoğunlukta olduğu görülmektedir [215].

Arazi kullanım haritasına göre ilçenin yarısından fazlasını kaplayan tarım alanları su kirliliği riskini artıran birincil etkenlerden bir tanesidir. Tarım alanlarında yetiştirilen ürünlerde, hastalık sorunlarına ve böceklere karşı mücadele amacıyla kullanılan pestisitler ve verimi artırmak için kullanılan kimyasal gübreler toprak kirliliğine neden olmasının yanı sıra yağmur suyunun yüzey akışa geçmesi ile yüzey sularına ulaşarak ya da yeraltı sularına sızarak su kirliliğine de neden olmaktadır [216].

Büyükçekmece için yapılan yağmur suyu 2001-2002 tarihli analizlere göre ortalama pH değeri 5,58 iken ağırlıklı ortalaması asidik sonucu vermiştir. Ayrıca benzer yerlerde yapılan çalışmalara göre asit yağmur göstergeleri, nitrat ve sülfat değerleri daha yüksektir. Nötr hale getiren kalsiyum değeri Akdeniz'deki diğer şehirlerle karşılaştırıldığında daha yüksek olmasına rağmen pH değeri düşüktür, yani asidiktir. Sülfat ve nitratın önemli bir ilişki içerisinde olması ilçede kükürt içeren evsel ısınma kaynakları ve endüstride kullanılan kömür ve petrol içeren yakıtların kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Otoyol kısmında ise araçların yaydığı emisyonlar nitrojen oksit oluşumuna yol açmaktadır [217].



Şekil 3.13 Su kirliliği haritası [215]

4
BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Bulgular

Büyükçekmece ilçesinde yapılması planlanan yağmur suyu hasadı çalışması için ilçede bulunan ve yağmur suyu hasadı yapılmasına uygun olan bina çatıları AutoCAD uygulaması ile ölçülmüştür. Yapılan ölçüme göre ilçedeki uygun bina çatıları 4 milyon 995 bin 914 m^2 olarak bulunmuştur. Kamuya ait park, yol kenarları, refüj, kıyı ve meydan gibi yerlerdeki yeşil alanlar da İstanbul Şehir Haritaları üzerinden ölçülmüştür. Yapılan ölçüme göre bu yeşil alanlar da 669 bin 223 m^2 olarak bulunmuştur. İstanbul Meteoroloji 1. Bölge Müdürlüğü'nden 2001-2020 yılları arasında 20 yılın iklim verilerine ulaşılmıştır. Bu 20 yıllık iklim verileri, yağmur suyu hasadı çalışmasında, hesaplamalarda kullanılması için 20 yıllık yağış verilerinin aylara göre ortalaması alınarak "yağmur suyu verimi" formülünde kullanılmıştır. Yağmur suyu verimi, yöntem kısmında da belirtildiği gibi çatı alanları, aylık yağış miktarı, çatı katsayıları ve filtre etkinlik katsayılarının çarpılması formülüne bağlı kalınarak hesaplanmaktadır (Tablo 4.1).

Tablo 4.2'de 20 yıllık ortalama yağış verisi ile toplam 1 yılda hasat edilebilecek "yağmur suyu verimi" formüle göre hesaplanmıştır. Yıllık yeşil alan sulama suyu ihtiyacı da su bilançosuna göre kuraklık yaşanan dönemlerde, yağışın yetersiz kaldığı dönemlerde yeşil alanların ihtiyaç duyacağı sulama suyunu bulmak için Tablo 4.3'de hesaplamalar yapılarak bulunmuştur. Bu hesaplamalar her gün sulama, haftada 4 kez ve haftada 3 kez sulama olacak şekilde farklı yönlerden de ele alınmıştır.

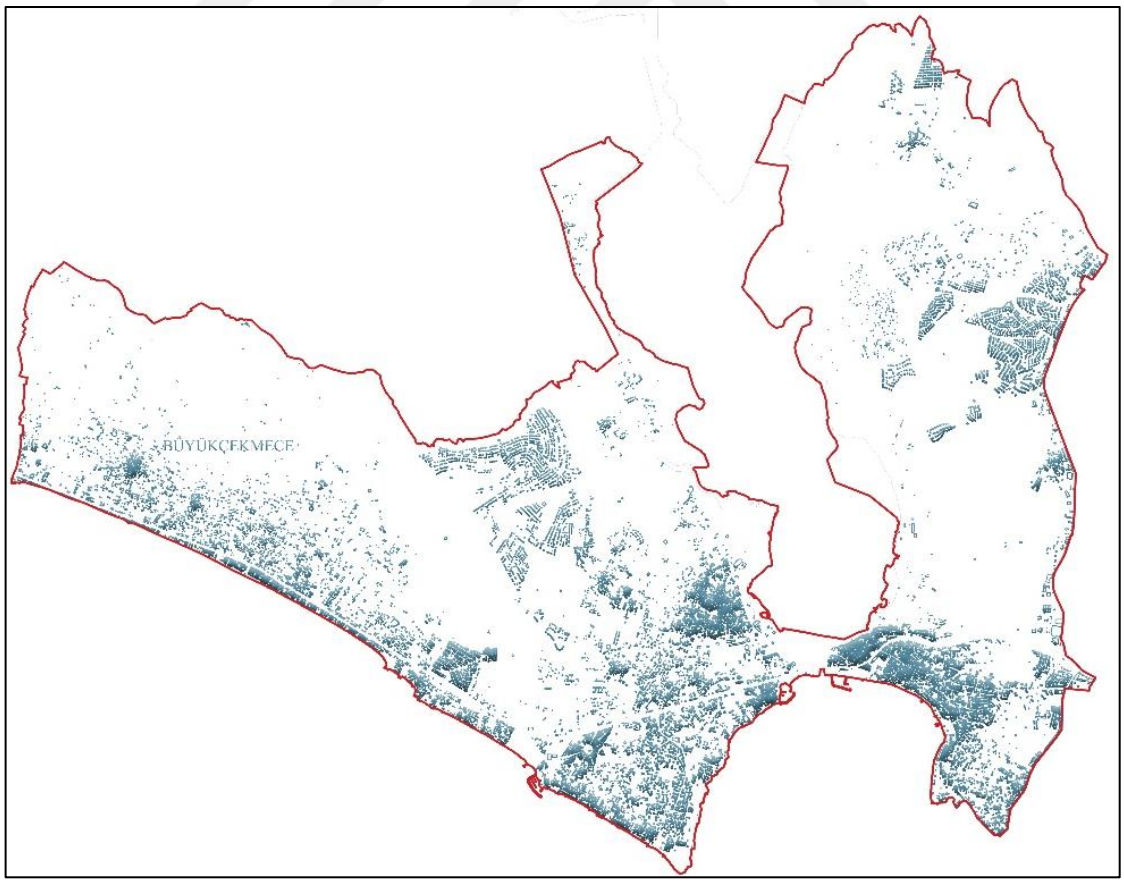
Yağmur suyu veriminin hesaplanmasında kullanılan çatı katsayısı değeri, çatının eğimine [218] ve çalışmanın yöntem kısmındaki Tablo 1.1'deki gibi çatıda kullanılan malzemenin tipine de bağlı olarak değişmektedir. Büyükçekmece ilçesindeki bina çatılarından yapılabilecek yağmur suyu hasadı çalışmasında, yağmur suyu verimi hesaplaması için farklı tiplerde çatı malzemeleri kullanıldığı dikkate alınarak çatı katsayısı olarak ortalama bir değer alınmıştır.

Çatı malzemesine göre sınıflandırıldığında, galvanizli demir saclar, % 90 ile maksimum su verimi sağlayabilecek çatı malzeme tipi iken, asbest levhalar % 80, kiremit çatılar % 75 ve betondan yapılan çatılar ise % 70'lik çatı katsayısına sahiptir [36].

Farklı çatı malzemelerine göre değişen çatı katsayılarının ortalaması alındığında % 78,75 olmaktadır. Bu da % 80'e yuvarlanmış ve tüm çatılarda yağmur suyunun ortalama bir değer olarak % 80'inden yararlanılabileceği varsayılmıştır.

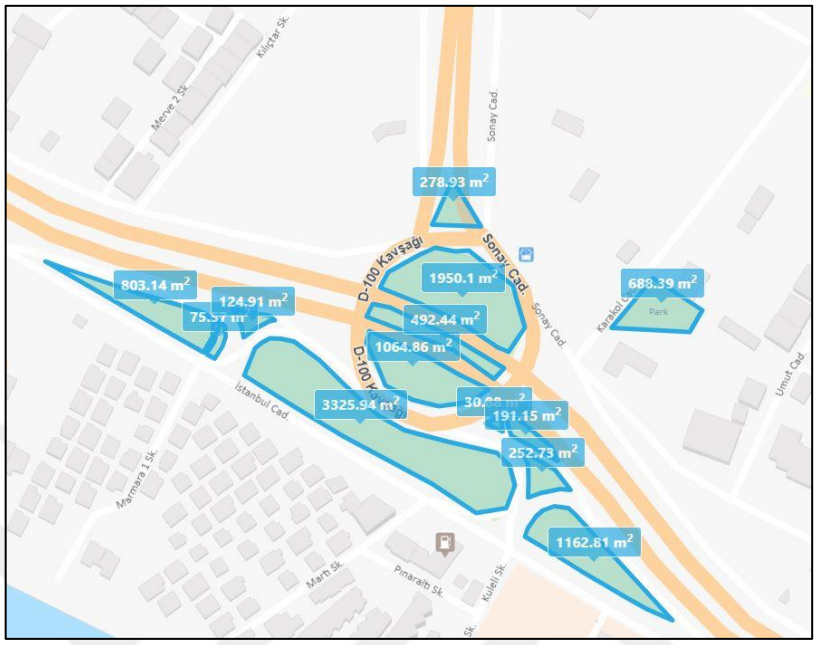
Filtre etkinlik katsayısı olarak ise uzun süre yaşanan kuraklık dönemlerinden sonraki ilk yağışlarda bulunan katı atık ve partikül maddeleri filtrelemek için fire verilen su miktarının % 10 olduğu hesaplanmıştır.

Şekil 4.1'de Büyükçekmece'nin yerleşim haritası verilmiştir. Büyükçekmece Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü'nden alınan yerleşim haritasından AutoCAD programında, yağmur hasadı sisteminin yapılmasına uygun binaların çatı alanları hesaplanmıştır.



Şekil 4.1 Yerleşim haritası [219]

Kamusal yeşil alanların da Şekil 4.2'de bir kısmı görülmektedir. Büyükçekmece'deki tüm park, refüj, yol kenarı ve meydan gibi kamuya ait yeşil alanlar İstanbul Şehir Haritası üzerinden hesaplanmıştır [220].



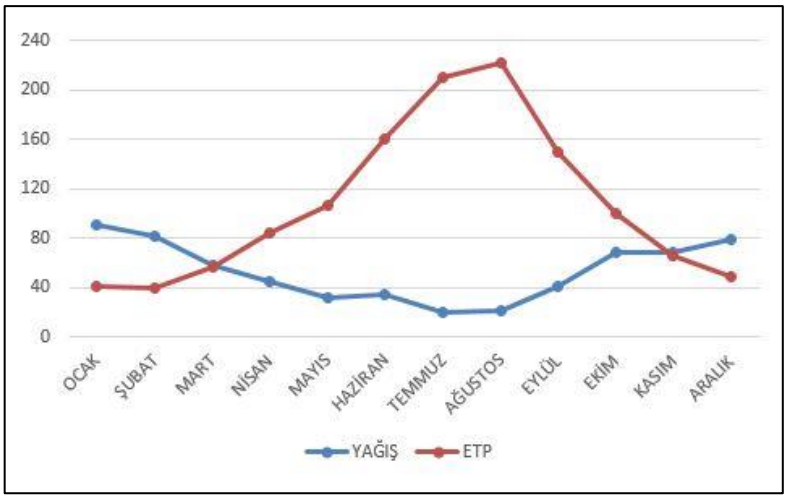
Şekil 4.2 Kamusal yeşil alan haritasının bir kısmı [220]

Şekil 4.3 ilçenin İstanbul Meteoroloji 1. Bölge Müdürlüğü'nden alınan 20 yıllık yağış ve evapotranspirasyon verilerinin ortalaması alınarak hazırlanmış grafiktir. Şekil 4.3'e göre en yağışlı aylar aralık, ocak ve şubat aylarıdır. Haziran, temmuz ve ağustos ayları ise düşük miktarda yağış almıştır. Ocak ayı 90 mm yağış ile en yağışlı ay iken, temmuz ayı 20 mm ile en düşük yağış miktarına sahiptir. Ağustos ayının da 222 mm ile en yüksek miktarda evapotranspirasyonun (bitki, toprak ve diğer yüzeylerden buharlaşma ile suyun atmosfere ulaşımı) gerçekleştiği ay olduğu görülmektedir. Dolayısıyla kış mevsiminde maksimum yağmur suyu verimi olduğu ve yaz mevsiminde de yeşil alanların suya en fazla ihtiyaç duydukları dönem olduğu görülmektedir.

Aylık yağmur suyu verimliliği Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Aylara göre 20 yıllık ortalama yağış miktarları ile çatı alanları, çatı katsayısı ve filtre etkinlik katsayısı çarpılarak hesaplanmıştır. 326 bin 612 m^3 ile ocak ayı en yüksek miktarda yağmur suyu verimliliğine sahip ay iken temmuz ayı en az yağmur suyu verimliliğine sahip aydır.

Tablo 4.1 Aylara göre yağmur hasadı verimi [198]

Aylar	**20 Yıllık Ortalama Yağış Miktarı[a] (mm)**	**Yağmur Suyu Verimi (AYLIK) (m^3)**
Ocak	90,8	326.612 m^3
Şubat	81,7	293.879 m^3
Mart	58,3	209.708 m^3
Nisan	44,4	159.709 m^3
Mayıs	31,2	112.228 m^3
Haziran	34,5	124.098 m^3
Temmuz	20,1	72.300 m^3
Ağustos	20,8	74.818 m^3
Eylül	41,2	148.198 m^3
Ekim	68,1	244.959 m^3
Kasım	68,5	246.398 m^3
Aralık	78,7	283.088 m^3



Şekil 4.3 Büyükçekmece'nin yağış ve evapotranspirasyon grafiği

Tablo 4.2'de 20 yıllık yağış verilerinin ortalamasına göre 1 yıllık olarak değerlendirildiğinde yağmur suyu verimliliğinin toplamda 2 milyon 266 bin 146 m^3 olacağı hesaplanmıştır.

Tablo 4.2 Yıllık Yağmur Hasadı Verimi [198]

Yağmur Suyu Verimliliği (yıllık)	Çatı Alanı (m^2)	20 Yıllık Ortalama Yağış Miktarı[a] (mm)	Çatı Katsayısı	Filtre Katsayısı
2.266.146 m^3	4.995.914	638	0.8	0.9

Tablo 4.3'de Büyükçekmece Belediyesi'nden alınan verilere ve su bilançosuna (Şekil 4.4) göre ilçede yeşil alan sulaması 20 yıl geneli ele alındığında, 1 yılda ortalama olarak 15 Nisan'dan 15 Eylül'e kadar toplamda 5 ay sürmektedir. 15 Nisan'dan 30'una kadar 3.5 L/m^2 sulama suyu kullanılmaktadır. Mayıs ayından eylül ayının başına kadar 5 L/m^2 ve eylül ayının 1'inden 15'ine kadar da 3.5 L/m^2 sulama suyuna ihtiyaç duyulmaktadır. Bir yılda sadece 5 ay sulamaya ihtiyaç

[a]Yöntem kısmında belirtilen formülde yağmur suyu verimi sonucu L cinsinden olduğu için yağış miktarı mm birimi ile ifade edilmiştir. Tablolarda da mm olarak verilmiştir. Ancak hesaplama sonuçları m^3 cinsinden yapıldığından dolayı m'ye dönüştürülerek hesaplanmıştır.

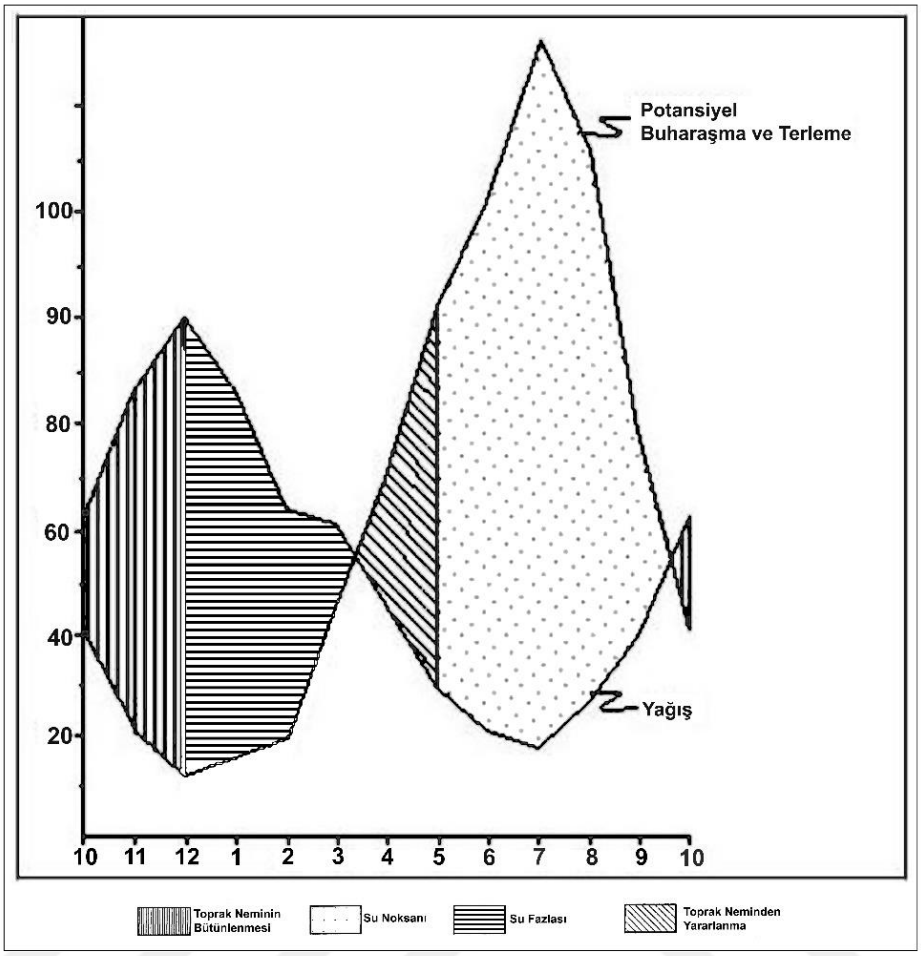
duyulduğundan dolayı toplam 5 ayda sulama suyu miktarı 1 m^2 başına ortalama 4.7 L/m^2 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.3'de yapılan hesaplamalarda her gün sulama, haftada 4 gün sulama ve haftada 3 gün sulamada ne kadar suya ihtiyaç duyulacağı ele alınmıştır. Yeşil alanların sulanması gereken gün, Büyükçekmece ilçesindeki yeşil alan miktarı ve 1 m^2 başına sulama suyu miktarları çarpılarak hesaplanmıştır. Bu tabloda kamuya ait yeşil alanların (park, meydan, halka açık bahçe, yol kenarı ve refüj) bir yılda ihtiyaç duyacağı sulama suyu miktarı ele alınmış ve hesaplanmıştır. Beş ay boyunca kamusal yeşil alanlarda her gün sulama yapılırsa 471 bin 802 m^3, haftada dört gün sulama yapılırsa 270 bin 499 m^3 ve haftada üç gün sulama yapılırsa 207 bin 592 m^3 sulama suyuna ihtiyaç vardır.

Tablo 4.3 Yıllık yeşil alan sulama ihtiyacı

5 Ay Her Gün (150 gün) Sulama İhtiyacı (m^3)	5 Ay Haftada 4 (86) Gün Sulama (m^3)	5 Ay Haftada 3 (66) Gün Sulama (m^3)	Yeşil Alan (m^2)	Toplam 5 Ayda m^2 Başına 1 Aylık Ortalama Sulama Suyu Miktarı (L/m^2)
471.802	270.499	207.592	669.223	4.7

Şekil 4.4'e göre toprak kış mevsiminde yeterli miktardaki yağışlarla birlikte suya doyacağından ve hatta su fazlası olacağından kışın sulama suyunun şebeke suyundan harcanmasına ihtiyaç duyulmamaktadır. Dolayısıyla da kışın belli bir miktarda toplanan yağmur suyu depolama tankının kapasitesi dolduğunda artık normal yüzeysel akışa geçecektir. Kış sonundan nisan ortasına kadar toprak depoladığı su fazlası ile ihtiyaç duyduğu su miktarını toprak neminden karşılayabilmektedir. Nisan ayının sonundan eylül ayının ortasına kadar da toprakta su noksanı olmaktadır. Bu zamanlarda yağmur suyu hasadı ile depolanan sular Büyükçekmece ilçesindeki yeşil alanların sulanmasında kullanılabilecektir.



Şekil 4.4 Aylık yağış ve potansiyel buharlaşma terleme değişim grafiği [196]

Tablo 4.4'de Büyükçekmece ilçesi mahallelere göre bölünerek her mahallede bulunan uygun binaların çatı alanları AutoCAD programı aracılığıyla hesaplanmıştır. Büyükçekmece'nin 20 yıllık yağış verilerinin ortalaması alınmış ve ilçede bulunan her mahallenin de yaklaşık olarak eşit miktarda 638 mm'lik (m^2 başına 638 kg'lık yıllık yağış) yağış aldığı varsayılmıştır. Çatı alanları, bir yıllık ortalama yağış miktarı, çatı katsayısı, filtre etkinlik katsayısının çarpımı sonucu elde edilen yağmur suyu veriminin % 5'inin alınması (0,05 ile çarpılması) sonucu depolama tanklarının kapasitesi bulunmaktadır. Bir yılda ne kadar yağmur suyu depolanabileceği ve depolama tankı boyutları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalara göre Büyükçekmece ilçesindeki mahallelerden en fazla çatı alanına sahip olan Türkoba Mahallesi, daha fazla yağmur suyu verimi elde etme potansiyeline sahip olduğu için mahalleler arasında en yüksek kapasitede yağmur suyu depolayabilecek mahalledir. Yağmur suyu verimi ile elde edilebilecek yağış sularının hepsinin depolanabilmesi için 7 bin 652 m^3'lük depolamaya ihtiyaç

duyulacaktır. Öte yandan Ahmediye Mahallesi ise en az çatı alanına sahip mahalle olduğundan en az depolama kapasitesine (11 bin 23 m^3) ihtiyaç duyulabilecek mahalledir.

Tablo 4.4 İlçede mahallelere göre tank boyutlarının hesaplanması

Mahalle Adı	Çatı Alanı (m^2)	20 Yıllık Ortalama Yağış Miktarı (mm)	Çatı Katsayısı	Filtre Katsayısı	Yıllık Yağmur Veriminin % 5'i	Depolama Tank Boyutu (m^3)
Alkent	337.431	638	0.8	0.9	0.05	7.652
Çakmaklı	95.552	638	0.8	0.9	0.05	2.167
Karaağaç	245.501	638	0.8	0.9	0.05	5.567
19.Mayıs	123.820	638	0.8	0.9	0.05	2.808
Dizdariye	87.169	638	0.8	0.9	0.05	1.977
Fatih	298.823	638	0.8	0.9	0.05	6.777
Cumhuriyet	242.928	638	0.8	0.9	0.05	5.509
Pınartepe	351.722	638	0.8	0.9	0.05	7.977
Atatürk	235.035	638	0.8	0.9	0.05	5.330

Tablo 4.4 İlçede mahallelere göre tank boyutlarının hesaplanması (devamı)

Türkoba	406.901	638	0.8	0.9	0.05	9.228
Güzelce	296.878	638	0.8	0.9	0.05	6.733
Bahçelievler	227.703	638	0.8	0.9	0.05	5.164
Hürriyet	209.775	638	0.8	0.9	0.05	4.757
Yenimahalle	80.670	638	0.8	0.9	0.05	1.829
Ahmediye	11.023	638	0.8	0.9	0.05	250
Ulus	197.918	638	0.8	0.9	0.05	4.488
Mimarsinan	182.857	638	0.8	0.9	0.05	4.147
Mimaroba	170.536	638	0.8	0.9	0.05	3.867
Ekinoba	124.116	638	0.8	0.9	0.05	2.814
Sinanoba	167.148	638	0.8	0.9	0.05	3.790
Kamiloba	253.999	638	0.8	0.9	0.05	5.760

Tablo 4.4 İlçede mahallelere göre tank boyutlarının hesaplanması (devamı)

Kumburgaz	176.517	638	0.8	0.9	0.05	4.003
Celaliye	226.219	638	0.8	0.9	0.05	5.130
Muratçeşme	227.703	638	0.8	0.9	0.05	5.164

Bir örnek mahalle olarak Muratçeşme Mahallesi'nde bulunan kamusal yeşil alanların 5 ay boyunca sulama suyu miktarı ortalama 1 ayda 2.005 m^3'tür. Potansiyel depolama tankı boyutu ise 5.164 m^3'tür. Eğer tank tamamen yağmur suyu ile dolarsa ihtiyacın % 100'ü karşılanabilecektir. Hürriyet Mahallesi'ndeki kamusal yeşil alanların ise 5 aylık sürede 1 aylık sulama suyu ihtiyacı ortalama 1.687 m^3'tür. Potansiyel tank boyutu ise 4.757 m^3'tür. Bu mahallede de ihtiyaç duyulan sulama suyu miktarı tankta depolanabilecek su miktarı ile karşılanabilecektir.

Fazla miktarda yağmur suyu verimine sahip mahallelerde daha büyük depolara ihtiyaç duyulacağından depolar mahallelerin farklı yerlerine yerleştirilebilecektir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın "Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmeliği"ne göre çok yüksek miktarda depolama alanına ihtiyaç duyulan yerlerde fazla suyu tahliye etmek için tanklara taşma savağı yapılması gerekmektedir. Taşma savağının mümkünse yeraltı suyuna veya doğrudan toprağa yönlendirilmesi ya da toplama sistemine deşarj edilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla taşma savağı ile normal akışa geçecek suyun da atık sulara karışmaması ve değerlendirilemeden uzaklaşmasını önlemek için diğer yağmur suyu hasat yöntemleri kullanılabilmektedir. Böylece hem kentsel alanda yağmur suyu yönetimi sağlanmış olacak hem de farklı alanlarda su tasarrufuna katkı sağlanmış olacaktır.

Şekil 4.5'de Earth Explorer'dan alınan dem verileri kullanılarak Büyükçekmece ilçesinin topoğrafik haritası ArcGIS programı aracılığıyla oluşturulmuştur. Buna göre ilçedeki en fazla eğim 31,9 derece olarak bulunmuştur. Hürriyet mahallesinin

kuzeybatısı, Celaliye ve Kamiloba mahallelerinin kuzeyi ve ilçenin güneydoğusunda eğim miktarı diğer alanlara göre fazladır. Eğimin en az olduğu, düzlük bölgeler ise göl çevresi ve denize kıyısı olan bölgelerdir.

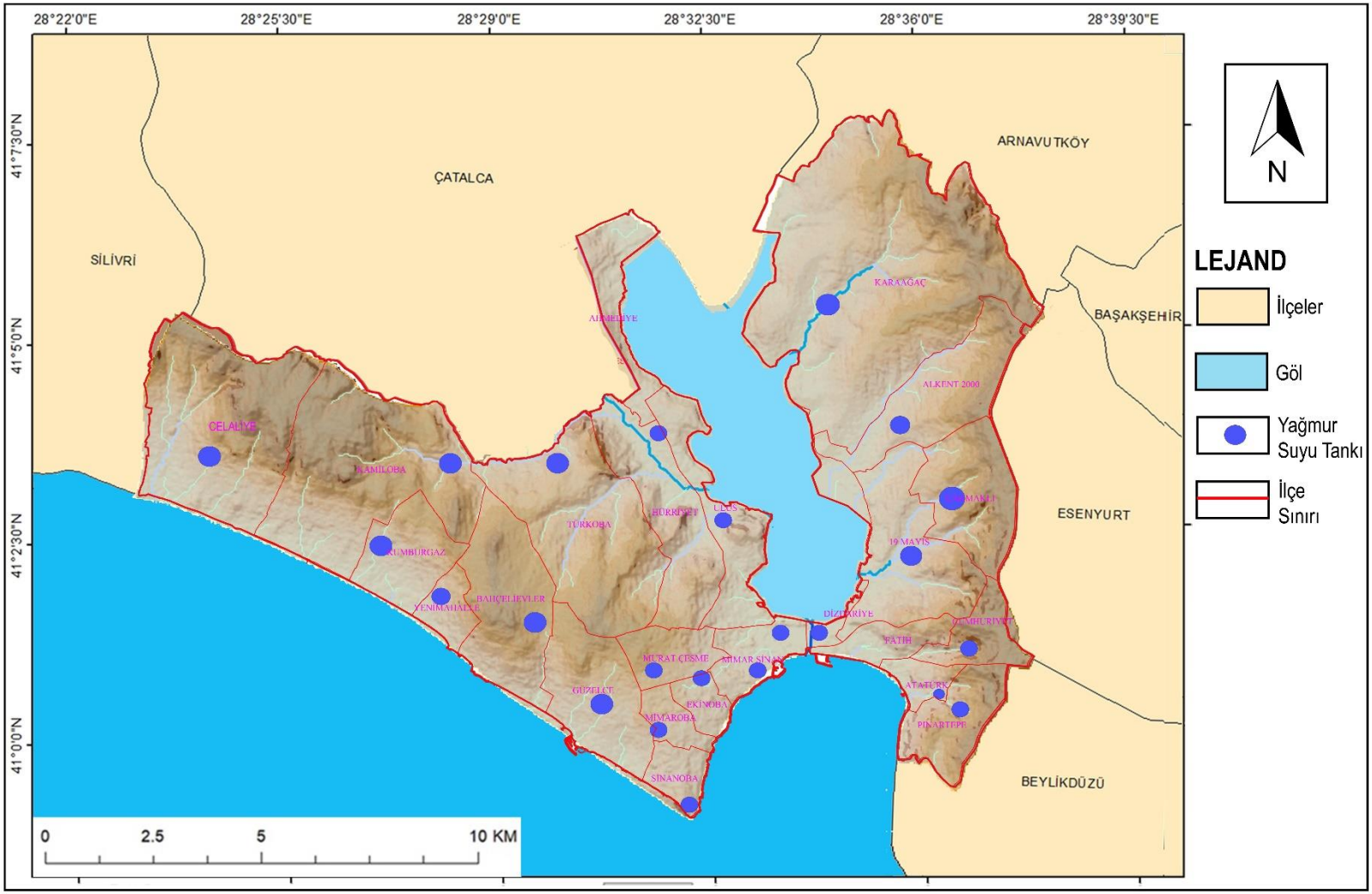
Topoğrafik haritanın yanı sıra ArcGIS programında bulunan Spatial Analyst Tools'dan Hydrology aracıyla dem verisinden hidroloji haritası oluşturularak ilçenin derecelerine göre drenaj ağı elde edilmiştir. Yağışlı dönemlerde yüzey suyunun akışı, eğime bağlı olarak eğim derecesi yüksek alandan düşük alana doğrudur ve bundan dolayı yağışlar yüzeysel akışa geçtiğinde akışlar eğim derecelerine bağlı olarak eğimin fazla olduğu noktadan az olduğu noktalara doğru olacaktır. Depolama tank yerleri belirlenirken her mahallenin yağmur suyu verimine göre farklı kapasitelerde tankların yerleştirilmesi uygun bulunmuştur.

Şekil 4.6'da Büyükçekmece ilçesinde bulunan Büyükçekmece Gölü'nün çevresindeki mutlak koruma, kısa mesafeli koruma ve orta mesafeli koruma kuşakları verilmiştir. Koruma kuşakları göl suyunun kalitesinin ve sürdürülebilir olarak kullanımının sağlanması için belirli mesafelerle sınırlandırılmıştır. Bu kuşaklar, İçme-Kullanma Suyu Havzalarının Korunmasına Dair Yönetmelik'e göre 0-300 m. mutlak koruma, mutlak koruma sınırından itibaren 700 m. genişlik kısa mesafeli koruma ve kısa mesafeli koruma sınırından itibaren 1000 m. genişlik ise orta mesafeli koruma kuşakları olarak belirlenmiştir. Uzun mesafe koruma kuşakları ise mutlak, kısa ve orta mesafeli koruma sınırlarının dışında kalan tüm göl havzasının bütünüdür [221]. Amaç içme kullanma havzasındaki göl suyunun kalitesinin korunması, çevresinden göl suyuna sızabilecek tehlikeli kimyasal ve kirletici maddelerin önlenmesi ve doğal afetlerin etkisinin hafifletilmesinin sağlanması gibi önlemlerdir [222]. Bu önlemler kapsamında mutlak koruma alanında mevcut yapılar dışında yeni yapılar yapılmamaktadır. Kısa mesafeli koruma alanında ihtiyaca göre bazı yapılara izin verilmektedir. Atık suyun deşarjının mutlak ve kısa mesafe koruma kuşaklarında yapılmaması bunun yerine, orta ve uzun mesafe kuşaklarında bulunan atık su altyapı tesisleri veya arıtma tesislerine yönlendirilerek uzaklaştırılması gibi önlemler alınmaktadır [221].

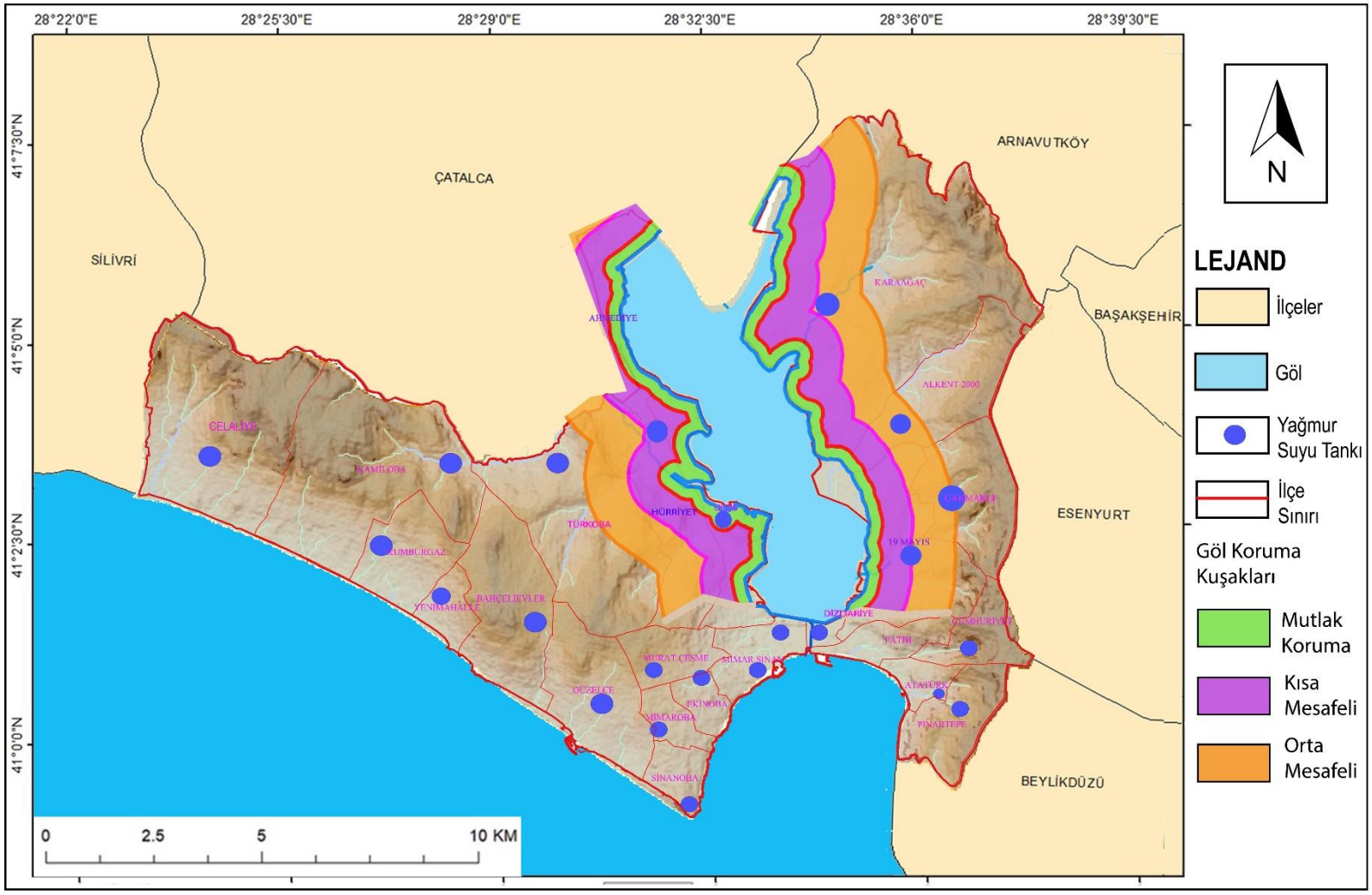
Büyükçekmece ilçesinde yapılan yağmur suyu hasadı çalışmasında çatı alanlarından toplanan yağmur suyunun, depolanabileceği tank alanlarından

bazıları havza koruma kuşakları sınırlarındadır. Ahmediye ve Ulus mahallelerinin bir kısmı mutlak koruma bir kısmı kısa mesafeli koruma kuşakları sınırı içerisinde, Hürriyet ve 19 Mayıs mahallelerinin bir kısmı kısa mesafeli koruma bir kısmı orta mesafeli koruma kuşakları sınırında ve Türkoba, Çakmaklı mahallelerinin bir kısmı da orta mesafeli koruma kuşakları alanı sınırları içerisindedir. Alkent ve Karaağaç mahalleleri ise mutlak koruma, kısa mesafeli koruma ve orta mesafeli koruma kuşakları sınırlarının içinde bulunmaktadır (Şekil 4.6).

Havzadaki Büyükçekmece Gölü'nü besleyen akarsu kolları, havza koruma kuşaklarında alınan önlemler ile korunarak göle kaliteli su sağlamaktadır. Koruma kuşaklarında yağış suları da bu drenaj ağı aracılığıyla göle ulaşmaktadır. Büyükçekmece ilçesinde ele aldığımız yağmur hasadı sisteminde çatılardan toplanan yağmur suyunun tanklarda depolanması ile yağmur suyu gerekli alanlarda direkt olarak değerlendirilebilecek ve yağmur suyunun kentsel alanlarda oluşturduğu bazı olumsuz durumlar önlenebilecektir. Alandaki geçirimsiz yüzeylerden kaynaklı yüzeysel akış artışı, akışın hızlanması, sel, taşkın ve erozyon riskinin engellenmesi sağlanabilecektir. Kamuya ait yeşil alanların da doğrudan sulanabileceği gibi bu alanlarda şebeke suyu kullanımının azaltılması ve tasarruf sağlanması hedeflenmiştir.



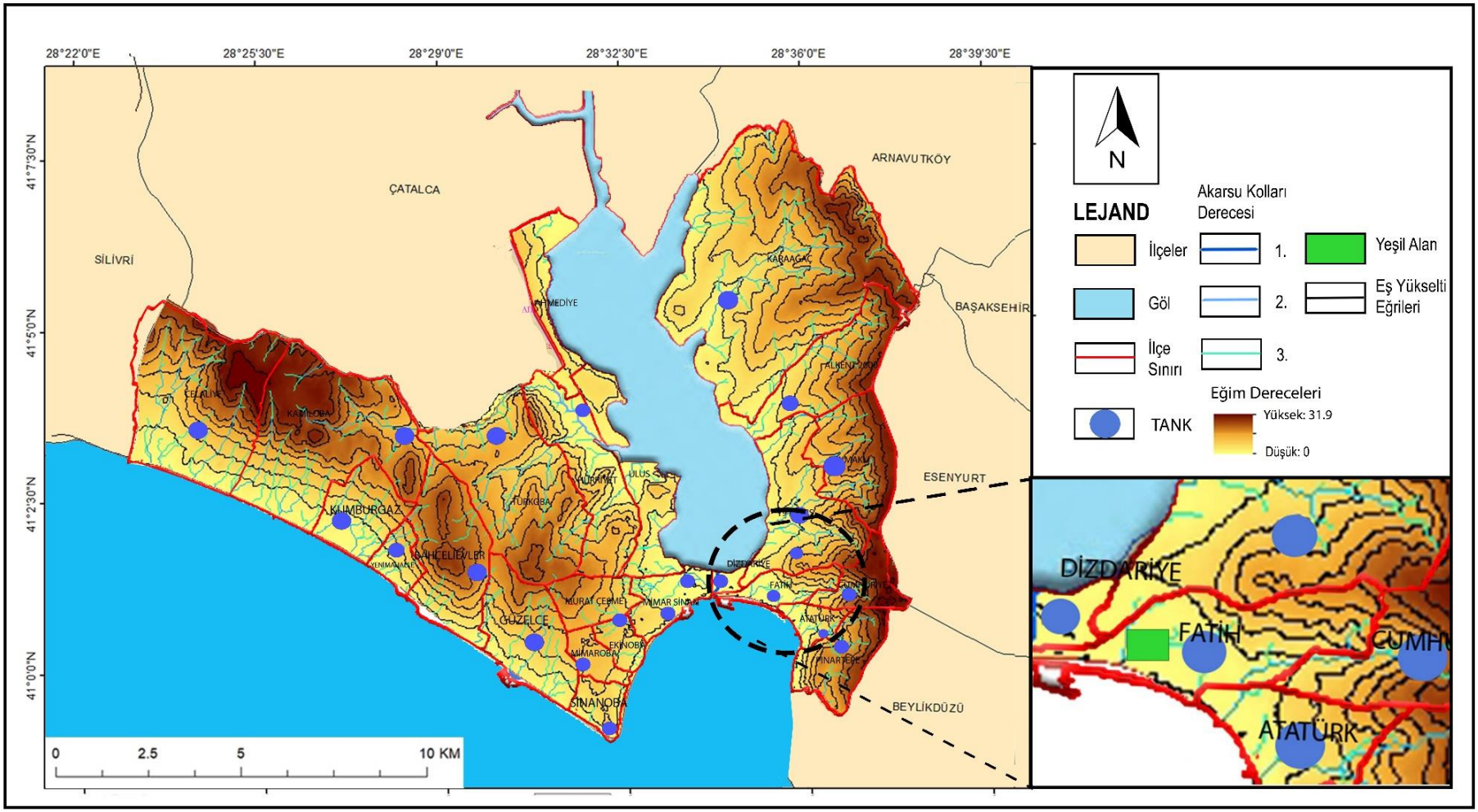
Şekil 4.5 Çatılardan yağmur suyu hasadı için drenaj ağı ve topoğrafyaya göre yağmur suyu depolama tankı alanları



Şekil 4.6 Yağmur suyu depolama tankı alanları ve göl koruma kuşakları

Büyükçekmece'deki mahallelerde depolama tankının yerleştirileceği uygun yerin belirlenmesinde en yüksek yararda olması ve eğimin bir avantaj olarak fazla eğimden az eğimli alana doğru akışın olduğu yönde, eğimin en alçak noktasına yerleştirilmesi gerekmektedir [22]. Ayrıca sulama yapılırken maliyeti azaltmak için sulanacak peyzaj alanlarına da yakın olması gerekmektedir [29]. Büyükçekmece ilçesinde alçak noktalar Şekil 4.7'deki [201] gibi eş yükselti eğrilerine göre aralıkları daha fazla olan alanlar, eğimin daha az olduğu yerlerdir. Tank yerinin belirlenmesinde sadece eğim kullanıldığı zaman maksimum su depolama potansiyeli sağlanacaktır ancak en alçak noktadan daha yüksek bir alanda olan yeşil alan sulanırken enerji kullanımı ve maliyet açısından olumsuzluk yaratacağından dolayı eğim dikkate alınırken park ve diğer kamusal yeşil alanların yakınına da yerleştirilmesinin dikkate alınması gerekmektedir. Şekil 4.7'de bir örnek olarak Fatih Mahallesi ele alınmıştır. Yeşil alanların bulunduğu bölge ve eğime göre tankların yerleştirilmesine uygun olabilecek alan belirlenmiştir. Fatih Mahallesi'nde yağmur suyu verimi ile elde edilen bütün yağmur suyundan faydalanmak için yaklaşık olarak 7 bin m^3 tank alanına ihtiyaç vardır. Bundan dolayı ihtiyaç duyulan depolama tankları bölünerek mahalledeki uygun noktalara yerleştirilmelidir. Aynı şekilde diğer mahallelere de birden çok tank gerekeceği gözlemlenmiştir.

Yeşil alanların sulama suyu ihtiyacı yalnızca beş aylık (15 Nisan-15 Eylül) bir süreç içerisinde gerçekleştiğinden dolayı kışın belli bir miktarda toplanan yağmur suyu, depolama tanklarının kapasitesi dolduğunda artık kentte yüzeysel akışa geçecektir. Depolama tanklarına taşma savağı eklenmesi ile fazla suyun drenaj sistemiyle yeraltı suyuna yönlendirilmesi ya da bitkili hendek, geçirimli yüzeyler, yağmur bahçeleri, infiltrasyon hendekleri gibi alanlarda kullanılmasının yanı sıra suyun diğer gerekli alanlarda depolanarak kullanılması ve kentte yağmur suyunun yüzey akışına geçerek sel ve taşkın sorunlarına yol açması önlenebilecektir.



Şekil 4.7 Yeşil alan ve eğime göre tank alanı

Çatılardan yağmur hasadı yöntemiyle depolama tanklarında yağmur suyunun depolanması dışında toprak yüzeyinde oluşturulan çöküntülerde ya da kanal gibi rezervuarlarda yağmur suyunun toplanarak depolanması ile de yağmur suyu hasadı yapılabilmektedir. Bu çalışmada Büyükçekmece ilçesi için yapılan analizlere göre uygun depolama alanları tespit edilmiştir.

Büyükçekmece ilçesinde yağmur suyunun geçirimsiz yüzeylerden akışı eğimin yüksek olduğu noktadan alçak noktasına doğru olacağından yağmur suyu hasadı yapılacak alanın düz ve düze yakın alanlardan seçilmesi gerekmektedir.

Büyükçekmece ilçesinde drenaj ağları derecelerine göre sınıflandırılmıştır. Yapılacak yağmur suyu hasadı yeri belirlenirken alandaki depolanan yağmur suyunun yeraltı suyuna yönlendirilmesi için ya da depolanan alandan taşan suyun yönlendirilmesi için akış yönü önemli bir faktör olduğundan göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

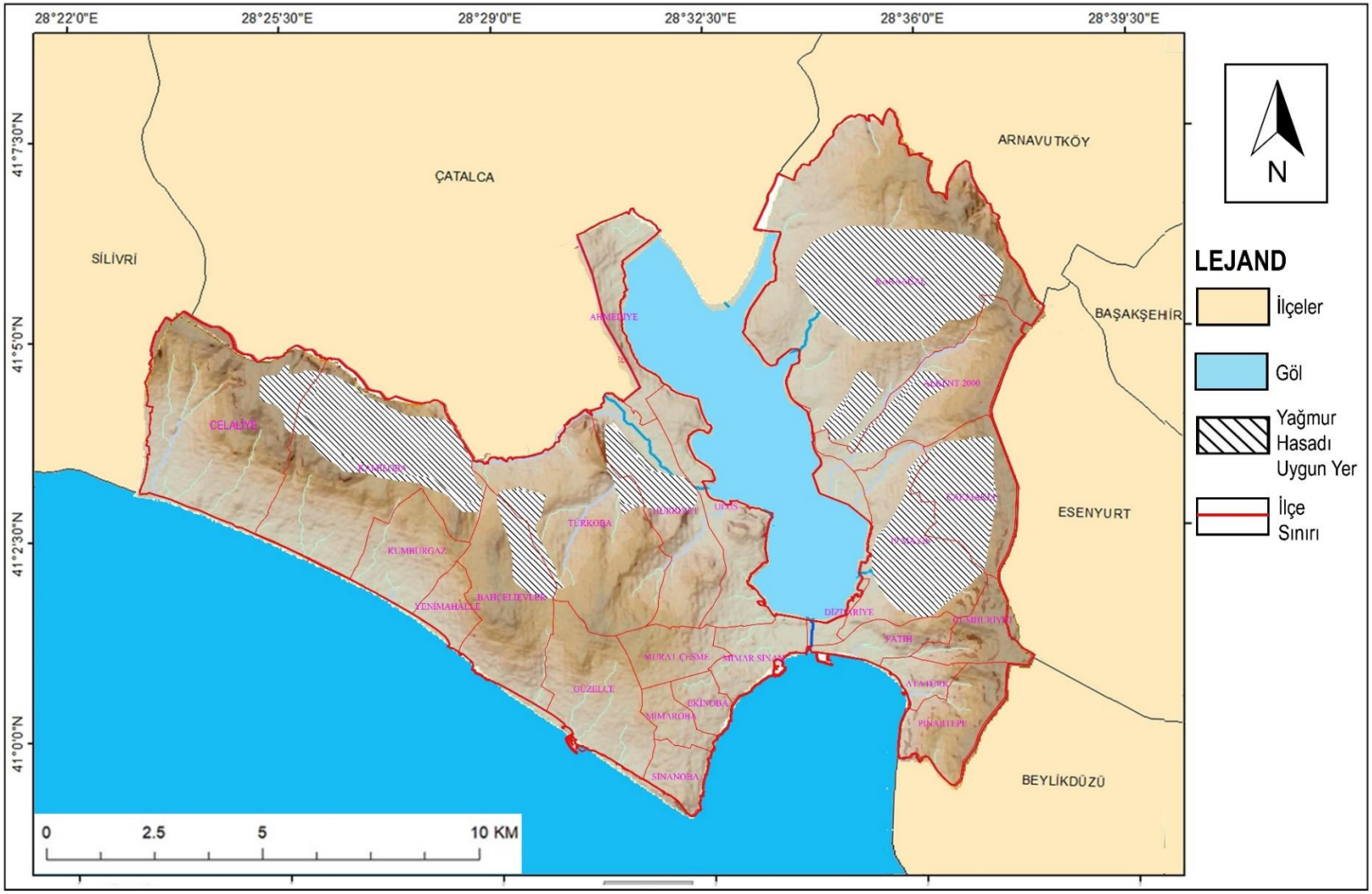
Büyükçekmece ilçesinde yapılan hidrojeoloji yani yeraltı suyu jeolojisinin analizine göre ilçede yarı geçirimsiz alanlar geniş bir yer kaplamaktadır. Yarı geçirimli ve geçirimli alanlar da yarı geçirimsiz alanların üzerinde ilçenin kuzeydoğusunda Karaağaç, Alkent, Çakmaklı ve 19 Mayıs mahalleleri ve gölün batısında Hürriyet, Kamiloba, Celaliye, Bahçelievler ve Güzelce mahallelerinde dağılmıştır. Geçirimli ve yarı geçirimli alanların yarı geçirimsiz alanlar üzerinde bulunması bu alanların suyu depolama kabiliyetine sahip olmasından dolayı yağmur suyu hasadı yapılması için uygun alanlardır.

Büyükçekmece ilçesinde bulunan büyük toprak grupları sınıflandırması incelendiğinde ilçede vertisoller geniş bir alanı kaplamaktadır. Gölün batısında yer yer kireçsiz kahverengi topraklar, ilçenin en doğusunda ise rendzinalar bulunmaktadır. Vertisoller içeriğinde kil bulundurduğundan dolayı vertisollerin bulunduğu alanlar suyu depolama özelliğine sahiptir. Yağmur suyunun toplanarak depolanabilmesine de uygun alanlardır. Ancak drenajı kısıtlı olduğu için ek bir iletim sağlayacak drenaj sistemine ihtiyaç duyulabilecektir. İlçenin doğusunda bulunan rendzinalar da drenaj açısından verimli topraklar olduğundan yağmur suyunu yeraltı suyuna sızdırma kabiliyeti yüksektir.

Büyükçekmece ilçesi arazi kullanım analizine göre tarım alanları, yerleşim alanları, sanayi alanları ve otoyollar büyük bir yer kaplamaktadır. Yağmur suyu hasadı nerede yapılıyorsa depolama alanının da o alana yakın olması gerekmektedir. Eğer bina çatılarından yapılacaksa uygun depolama alanları belirlenirken yağmur suyunu taşıma (iletim) sistemleri üzerindeki baskıyı azaltmak için bina alanlarına yakın alanlar tercih edilmesi gerekmektedir. Aynı şekilde yağmur suyunun kullanılacağı alana da yakın olması yine taşıma sistemleri üzerindeki baskıyı önleyebilecektir.

Yağmur suyu depolama alanlarının mümkün olduğunca kirletici yüklerinden uzak alanlara yerleştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Geniş bir alan kaplayan tarım alanları ilaç ve kimyasal gübre kullanımıyla toprak kirliliğinin yanı sıra yeraltı suyuna da sızmaktadır ve su kaynakları için olumsuz bir baskı yaratmaktadır. Bundan dolayı su ve toprak kirliliği riski yüksek olan bir tarım alanı üzerine yağmur hasat sistemleri yapılması uygun bulunmamaktadır. Yerleşim ve sanayi alanlarının da katı atıkların bulunduğu bölgede yağmur suyu ile karışarak su kirliliğine neden olma riski yüksektir. Yapılan su kirliliği analizine göre ilçenin kuzeyi ve kuzey batısı ile doğu bölümü yağmur suyu hasadı yapılabilecek uygun alanlardır.

Yapılan tüm analizler Şekil 4.8'de bir bütün olarak ele alınmış ve yağmur suyu hasadının yapılabileceği en uygun yerler, topoğrafya, hidroloji, hidrojeoloji, toprak, arazi kullanımı ve su kirliliği riski, alanlara göre analiz edilerek belirlenmiştir. Yer seçimi tüm verilere göre en uygun alanlar bir araya getirilerek belirlenmiştir.



Şekil 4.8 Yüzeylerden yağmur suyu hasadı için uygun yer seçimi

4.2 Tartışma

Kalıpcı vd. (2021), yaptıkları çalışmada, Giresun Üniversitesi Güre ve Debboy Kampüslerindeki toplam 44.017,918 m^2 olan bina çatılarından yıllık olarak toplamda 43.185 m^3 yağmur suyu hasadı yapılabileceğini tespit etmişlerdir. Bu yağmur suyunun tamamının yeşil alanların sulanmasında kullanılması durumunda yaklaşık 8.637.011,644 m^2 alanın sulama suyunu karşılayabileceği belirlenmiştir [223]. Yapılan çalışmada bu tez çalışmasının aksine yağmur suyu verimliliği ile toplamda ne kadar yeşil alan sulanabileceği hesaplanmıştır. Bu tez çalışmasında ise belli bir yeşil alanın ihtiyaç duyduğu su miktarı bulunmuş ve depolanan su ile talep edilen su miktarının ne kadarının karşılanacağı hesaplanmıştır.

Lupia vd. (2017)'nın yapmış oldukları yağmur hasadı ile ihtiyaç duyulan sulama suyu miktarının ne kadarının karşılanacağına ilişkin çalışmasında, Roma kentsel bölgesinde meyve ve sebze bahçesini sulamak için gereken sulama suyunun, bina çatılarından yağmur hasadı ile toplanıp, depolanarak kullanılması yoluyla karşılanabilir olduğunu bulmuşlardır. Kentte bulunan binaların çatı alanlarını uydu görüntüleme sisteminden çıkarmışlardır. Çatılardan yağmur hasadının, binaların yakınlarında bulunan ekili alanların yüksek sulama verimliliği ile sulama ihtiyacının 1/3'ü kadarını karşılayabileceği bulunmuştur [26]. Yapılan çalışma, bu tez çalışmasına benzer şekilde bir yeşil alanın sulama ihtiyacının, çatılardan yapılan yağmur hasadı ile ne kadarının karşılanacağı üzerine bir çalışmadır. Tez çalışmasında olduğu gibi sulama ihtiyacının tamamı değil yaklaşık % 33'ü karşılanmıştır. Ancak büyük oranda su tasarrufu sağlanabileceği bulunmuştur.

Hofman vd. (2019), çalışmalarında Avrupa ve Hollanda'da, hasat edilebilecek yağmur suyu miktarını, içme suyu talebini ve yağmur suyu hasadı sistemlerinin, maliyetleri, ekonomik faydaları ve çevresel etkilerini araştırmak üzere bu çalışmayı yapmışlardır. Yapılan araştırmalar sonucunda, yağmur suyunun kalitesinin, güvenli içme suyu elde etmeye uygun olması için mikrobiyolojik olarak güçlü bir arıtma gerektirdiğini ancak merkezi olmayan arıtma sistemlerinin su kalitesinin analizi için m^3 başına yüksek maliyet gerektirdiği dolayısıyla güvenli suyu garanti edemeyeceği sonucuna varmışlardır. Kentte yağmur hasadıyla

toplanan su, içme suyu talebinin % 50'sini karşılayabilmektedir [31]. Bu çalışmada Kalıpcı vd. ile Lupia vd.'nin çalışmalarından farklı olarak yağmur hasadı ile elde edilen yağmur suyunun sulama suyu olarak kullanılmasının aksine içme suyu olarak kullanılmasının üzerinde durulmuştur. Elde edilen yağış suyunun yetersiz kalması ve suyun arıtılma maliyetinin yüksek olmasından dolayı bu bölgede yağmur hasadının, içme suyu amacıyla kullanımı uygun bulunmamıştır.

Abel Vieira vd. (2014)'de çalışmalarında yağmur hasat sisteminin faydalarına rağmen yüksek enerji tüketimi gibi olumsuz etkilerinin olduğu üzerine inceleme yapmışlardır. Çalışmalarında yağmur hasadı sistemleri için rapor edilmiş enerji tüketimi ile ilgili verilerin gözden geçirilmesine ve yağmur hasadı sistemlerinin enerji performansının geliştirilmesine ilişkin stratejileri ele almayı amaç belirlemişlerdir. Yapılan araştırmalar sonucunda, yağmur hasadı sistemleri ile geleneksel su dağıtım sistemlerini karşılaştırdıklarında, yağmur hasadı sistemlerinin 3 kat daha fazla enerji tüketme eğiliminde olduğu ancak optimize edilmiş yağmur hasadı sistemlerinin enerji kullanımının, geleneksel yöntemlerle daha kıyaslanabilir olduğunu gözlemlemişlerdir [21]. Bu çalışmaya göre önemli bir su kaynağı olan yağmur sularının düşük enerji kullanımı ile değerlendirilebilmesi için sistemin optimize olarak uygulanması gerekmektedir.

İzmir ve Rize'de 100 m^2'lik bir alanda yağmur suyu verimliliği karşılaştırmasına göre (Tablo 4.5) yıllık aldıkları yağış miktarına paralel olarak Rize'de yağmur suyu verimliliği İzmir'den 114,68 m^3 daha fazladır [224].

Tablo 4.5 İzmir ve Rize'de yağmur suyu verimi karşılaştırması [224]

İller	Yıllık Yağış Miktarı (mm)	Alan	Yağmur Suyu Verimi (m^3) (Miktar×0,9×0,8)
İzmir	711,1	100 m^2	51,19
Rize	2303,7	100 m^2	165,87

Yağmur hasadı sistemleri ile ilgili birçok olumlu durumun yanı sıra sistemin uygulanmasında kısıtlayıcı faktörler de mevcuttur.

Bu kısıtlayıcı faktörler [225]:

Tahmin edilemeyen düzensiz yağış miktarı,

Sistemin ilk maliyetinin yüksek olması,

Sistemin düzenli periyotlarla sivrisinek, böcek ve kemirgen gibi zararlılara karşı bakımının yapılmasına ihtiyaç duyulması,

Bazı yoğun yağışlarda depo kapasitelerinin yetersiz kalmasıdır.

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Yağmur suyu hasadı, küresel iklim değişikliği ve nüfus ile orantılı olarak artan su talebi için su kaynakları üzerindeki baskıyı azaltabilecek alternatif bir yöntemdir. Ayrıca kentsel alanlarda yoğun yapılaşmadan kaynaklı geçirimsiz yüzeylerin, yoğun yağışlarda yüzeysel akışa neden olması ve beraberinde birçok probleme de yol açmasını önlemeye yardımcı olabilecek bir yöntemdir. Eski çağlara kadar uzanan tarihi ile de birçok ülkede uzun yıllardır önemli bir su kaynağı alternatifi olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada kentsel alanlarda yağmur suyu hasadı ile peyzaj alanlarının sulanması üzerinde durulmuştur. Kent ekosisteminin önemli bir parçası olan peyzaj alanlarının kentte birçok olumlu etkisi vardır. Çalışmada Büyükçekmece ilçesinin yağmur hasadı potansiyeli incelenerek kamusal yeşil alanların sulama ihtiyacının ne kadarının karşılanacağı hesaplanmıştır. Büyükçekmece'deki bina çatıları da yağmur hasadı için önemli bir potansiyel oluşturmaktadır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda Büyükçekmece ilçesindeki yağmur suyu hasadı yapılmasına uygun bulunan bina çatılarının toplam alanı 4 milyon 995 bin 914 m^2 olarak ölçülmüştür. Çatı katsayısı için toplanan yağmur suyunun çatı malzemesi, eğimi gibi birçok farklı etkene göre bir kısmı değerlendirilemeyeceğinden ortalama bir değer olarak % 80'inden faydalanılabileceği varsayılmıştır. Filtre etkinlik katsayısı için ise atıklar ve kirleticiler filtrelenirken % 10 oranında yağmur suyu uzaklaşacağı için % 90 olarak alınmıştır. Aylık olarak yapılan hesaplamalarda ocak ayında 326 bin 612 m^3 olarak tüm aylara göre maksimum yağmur suyu verimi olacağı bulunurken, en az yağmur suyu veriminin de temmuz ayında 72 bin 300 m^3 olacağı hesaplanmıştır. Büyükçekmece'de 1 yıllık yağmur suyu veriminin 2 milyon 266 bin 146 m^3 olduğu bulunmuştur.

Büyükçekmece ilçesi mahallelere bölünerek depolama tank alanı kapasiteleri hesaplanmıştır. Mahallelere göre bina çatı alanları ile çatı katsayısı, filtre katsayısı ve yıllık ortalama yağış verileri çarpılarak yıllık yağmur suyu verimi elde edilmiş

ve mahallelere göre yıllık yağmur suyu veriminin % 5'i alınarak depolama tankı kapasitesi hesaplanmıştır.

Büyükçekmece ilçesinde bulunan kamusal yeşil alanların (park, meydan, yol kenarları) ölçülerek toplamda 669 bin 223 m^2 alan kapladığı bulunmuştur. Yeşil alanlar su bilançosu grafiğine göre ve Büyükçekmece Belediyesi'nden alınan bilgilere göre yılda toplamda beş ay su noksanı olduğu için şebeke suyundan sulanmaya ihtiyaç duymaktadır. Nisan ayının 15'inden eylül ayının 15'ine kadar sulama takviyesi yapılması gerekmektedir. Kış aylarında yağış suları yeterli olmakta ve bir süre topraktaki nemden su ihtiyacı karşılanmaktadır. Beş ayda yeşil alanlar için 1 metrekare başına ortalama olarak 4.7 L su ihtiyacı olacağı hesaplanmıştır. Sulama suyu ihtiyacı duyulan bu beş aylık süreçte bitkilerin su ihtiyacı farklılık gösterebileceğinden dolayı sulama suyu ihtiyacı haftanın her günü, haftada 4 gün ve haftada 3 gün olacak şekilde ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre haftanın her günü yapılan sulama ile 471 bin 802 m^3 sulama suyuna ihtiyaç duyulacağı bulunmuştur. Yağmur hasadı ile kamusal yeşil alanların ihtiyaç duyduğu sulama miktarı % 100 karşılanabilecektir.

Büyükçekmece ilçesinde bulunan kamusal yeşil alanların her gün sulanacağı varsayıldığında, çatılardan yağmur suyu verimi olan 2 milyon 266 bin 146 m^3'den yeşil alan su ihtiyacı olan 471 bin 802 m^3 çıkarıldığında toplamda 1 milyon 794 bin m^3 fazla suyun depolanabileceği bulunmuştur. Depolanabilecek kapasitede olan bu yağış suyu depolama tankları dolduktan sonra taşma savağı ile yeraltı ve yerüstü suyu ve toprağa doğrudan ulaştırılabilecek drenaj ağı ile yönlendirileceği gibi ev içi kullanımlarda, araba yıkamada, özel bahçe sulamasında kullanılabilecektir.

Büyükçekmece ilçesinde bulunan toplam 120 bin 633 konut için ihtiyaç duyulan kullanım suyu yıllık yaklaşık olarak 21 milyon m^3 olarak hesaplanmıştır [194]. Hesaplamada bir konutta 4 kişilik bir ailenin günlük su kullanımı yaklaşık olarak 480 L olarak ele alınmıştır [226]. Depolanan fazla su ise her konuta yıllık olarak yaklaşık 14 bin 871 m^3 su sağlayabilecektir. Konut içi kullanım için ihtiyaç duyulan su miktarı ilçedeki çatılardan yapılabilecek yağmur hasadının yaklaşık olarak 9

katıdır. Yani yağmur hasadı ile konut içi talep edilen suyun 1/9'u karşılanabilecektir.

Çatıdan yapılan yağmur suyu hasadı çalışmasında depolama tank yerlerinin belirlenmesinde konumunun bina alanlarına ve yağmur suyunun kullanılacağı yeşil alana yakın olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca taşma savağından taşarak drenaj ağına bağlanıp diğer su yüzeylerine ulaşabilmesi için hidroloji durumuna göre ve diğer kriterlere uygun olması göz önünde tutularak yerleştirilmesi önerilmektedir.

Diğer yöntemlerin (Bitkili hendekler, yağmur bahçeleri, infiltrasyon hendekleri geçirimli yüzeyler ve kanallar) depolama alanlarının belirlenmesinde Büyükçekmece ilçesinin topoğrafya, hidroloji, hidrojeoloji, büyük toprak grupları, arazi kullanımı, su kirliliği, yağmur suyu ve diğer iklim analizleri yapılarak depolama alanı için en uygun yer kriterlerinin belirlenmesinde bu analizler bir bütün olarak düşünülmüştür. Yağmur hasadı yapılması için en uygun alanlar Kamiloba, Bahçelievler, Türkoba, Hürriyet, Alkent, Karaağaç, Çakmaklı ve 19 Mayıs mahallelerinin bazı bölümleri olarak belirlenmiştir.

Bir su kaynağı olarak yağmur suyunun kullanılması için önemli bir yöntem olan yağmur suyu hasat yöntemi bazı ülkelerde mevzuatlarla zorunlu hale getirilmiş, bazı ülkelerde ise çeşitli vergi indirimleri ve para destekleri ile teşvik edilmektedir. Ancak ülkemizde henüz çok bilinmeyen hatta çok az örneğiyle karşılaştığımız bir yöntemdir. Ülkemiz su kısıtı çeken ülkeler kategorisinde bulunmaktadır. Yaşanılan iklim değişikliğinin ve artan nüfusun da etkisiyle bu durum gün geçtikçe daha da hissedilir duruma gelmektedir. Yağmur suyunun atık sulara karışmasının önlenmesi ve değerlendirilemeden uzaklaşmasının ve özellikle kentsel alanlarda yaşanılan su baskını gibi sorunların önüne geçilmesi için yağmur suyu hasadı önemli bir kentsel yağmur suyu yönetim tekniğidir. Yağmur suyu hasadı için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 2021 yılında önemli bir yönetmelik çıkarılmıştır. Çıkarılan "Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği'nde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik"e göre 2 bin m^2 ve üzeri parsele yapılan binaların çatı yüzeylerinden yağmur suyu hasadı yapılarak, zemin altında bir depolama tankında depolanarak ev içi ve bahçe sulama amaçlarıyla kullanılması uygulaması

hazırlanmıştır. Bakanlığın bu şekilde yağmur suyu hasat yöntemini zorunlu kılması önemli bir adımdır.

Bir başka yönetmelik İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin 2018 yılında çıkardığı İstanbul İmar Yönetmeliğidir. Bu yönetmeliğe göre de 1000 m^2'nin üzerindeki parsellerde, binaları yüzey suyundan korumak, bahçe sulama, araba yıkama gibi amaçlarla çatı ve yüzeylerden toplanan yağmur suyunun yer altında bir sarnıçta depolanması sağlanacaktır. Aynı yönetmelikte yağmur suyunun da depolanacağı, kent ekosistemine önemli katkılar sağlayan birçok sürdürülebilir sistemin bir arada bulunduğu proje, kamu binaları da dâhil toplam inşaat alanı 60.000 m^2'nin üzerinde olmak üzere yeni yapılacak binalarda zorunlu kılınmıştır [227].

Bu yönetmeliklerde yağmur suyu depolama, bin ve 2 bin m^2'lik parseller ve daha büyük parsellerde zorunlu kılınmıştır. Bu durumda yeni yapılacak yağmur suyu depolanabilecek daha küçük inşaat alanlarındaki yağmur hasadı potansiyeli değerlendirilememekte ve kentsel alanlarda yağmur hasadı sisteminin daha yaygın olması engellenmektedir.

Su kaynakları üzerindeki baskıdan dolayı ülkemizin su sıkıntısı çeken ülkeler listesine gireceği tahmin edilmektedir. Ülkemiz için yağmur suyunun önemli bir kaynak olduğu ve tek damlasının bile çok değerli olduğu bilincine varılarak yağmur suyu hasadı konusunda daha detaylı düzenlemeler yapılması, teşvik edilmesi ve mevzuat uygulama gibi kararlar alınması gerekmektedir.

Bazı kentlerde su faturalarında indirim yapılmaktadır. Bunun yerine imkânlar dâhilinde konutlarda yağmur hasadı sistemlerinin uygulanmasının teşvik edilmesi sayesinde hem ekolojik hem de ekonomik katkılar sağlanacağı düşünülmektedir.

Kentsel alanlarda bulunan park ve yeşil alanlara yağmur hendekleri uygulanarak hem yeraltı suyunun beslenmesi hem de toplanan su ile çevredeki yeşil alanların sulanması da mümkün olacaktır.

Halkın sürekli azalan su kaynakları konusunda bilinçlendirilmesi ve yağmur hasadı gibi önlemlerin alınmasında farkındalıklarının artması için başta yerel yönetimler olmak üzere merkezi idarenin medya ve diğer organlarla halkı bilinçlendirmesi olumlu sonuçların alınmasına katkı sunabilecektir.

KAYNAKÇA

[1] MGM. "Hidrometeoroloji, Dünyada Su." (2021). https://mgm.gov.tr/genel/hidrometeoroloji.aspx?s=3 07.06.2021

[2] Bilim ve Aydınlanma, "Kapitalizmin Kıskacında Su Kaynakları", 2020, URL: https://bilimveaydinlanma.org/kapitalizmin-kiskacinda-su-kaynaklari/, 08.10.2021

[3] Nasa, "The Water Cycle and Climate Change," Nasa Earth Observatory, 2010, URL: https://earthobservatory.nasa.gov/features/Water/page3.php, 07.03.2022

[4] WWF, "IPCC 5. Değerlendirme Raporu Açıklandı," URL: https://www.wwf.org.tr/?2340/IPCC5degerlendirmeraporuaciklandi, 07.04.2022

[5] European Environment Agency, "Climate Change and Water — Warmer Oceans, Flooding and Droughts," 2021. URL: https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2018-content-list/articles/climate-change-and-water-2014, 08.04.2022

[6] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı "Ipcc Özel Raporları" 2019. URL: https://cygm.csb.gov.tr/ipcc-ozel-raporlari-haber-248919, 12.04.2022

[7] DSİ, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, "Toprak ve Su Kaynakları." URL: http://www.dsi. gov. tr/toprak-ve-su-kaynaklari, 05.01.2022

[8] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı "6. Türkiye Çevre Durum Raporu" Çed, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, 2020.

[9] Ç. Coşkun Hepcan, "Kentlerde İklim Değişikliği ile Mücadele için Yeşil Altyapı Çözümleri." İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi, İklim Değişikliği Alanında Ortak Çabaların Desteklenmesi Projesi (İklinIN), Ankara, 2019.

[10] D. Butler, ve J. W. Davies, "Urban Drainage", 2nd edition, Spon Press Taylor & Francis Group, London and New York, 2004.

[11] A. Gül, ve V. Küçük, "Kentsel Açık-Yeşil Alanlar ve Isparta Kenti Örneğinde İrdelenmesi." Turkish Journal of Forestry, 2(1), 27-48, 2001.

[12] A. Tanık, "Yağmur Suyu Toplama, Biriktirme ve Geri Kullanımı" Su Kaynakları ve Kentler Konferansı, Kahramanmaraş, 2017.

[13] T. A. Mohammed, M. J. M. M. Noor, ve A. H. Ghazali, "Study on Potential Uses of Rainwater Harvesting in Urban Areas." Putrajaya Malaysia, 2007.

[14] A. Appan, "Trends in Water Demands and the Role of Rainwater Catchment Systems in the Next Millennium." In 9ª Conferência Internacional sobre Sistemas de Captação de Água de Chuva. Anais. (Cdrom). Petrolina–PE, 1999.

[15] T. Hermann ve U. Schmida, "Rainwater Utilisation in Germany: Efficiency, Dimüensioning, Hydraulic and Environmental Aspects." Urban water, 1(4), 307-316, 2000.

[16] P. Waterfall, "Harvesting Rainwater for Landscape Use," 2006.

[17]R. M. Seymour, “Capturing Rainwater to Replace Irrigation Water for Landscapes: Rain Harvesting And Rain Gardens.” Georgia Institute of Technology, 2005.
[18]K. C. Doyle, “Sizing the First Flush and Its Effect on the Storage-Reliability-Yield Behavior of Rainwater Harvesting in Rwanda” Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, 2008.
[19]D. Parsons, S. Goodhew, A. Fewkes ve P. De Wilde, “The perceived Barriers to the Inclusion of Rainwater Harvesting Systems by UK House Building Companies.” Urban Water Journal, 7(4), 257-265, 2010.
[20]A. Alamailes, J. Walton, P. Sandoval, A. Woocay ve O. Broesicke, “Sustainable House-Scale Passive Rainwater Capture Landscape in the Desert Southwest.” Journal of Green Building, 9(1), 113-129, 2014.
[21]A. S. Vieira, C. D. Beal, E. Ghisi ve R. A. Stewart, “Energy Intensity of Rainwater Harvesting Systems: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews,” 34, 225-242, 2014.
[22]T. R. Gurung, ve A. Sharma, “Communal Rainwater Tank Systems Design and Economies of Scale.” Journal of Cleaner Production, 67, 26-36. 2014.
[23]A. Ahmed, E. Smithson ve D. McGough “The Potential of Rain Water Harvesting for Increasing Building and Urban Resilience: A Case Study of Coventry University and Coventry City Centre.” In in Proceedings of the Water Efficiency Conference (pp. 9-11), 2014.
[24]S. Angrill, A. Petit-Boix, T. Morales-Pinzón, A. Josa, J. Rieradevall ve X. Gabarrell, “Urban Rainwater Runoff Quantity and Quality–a Potential Endogenous Resource in Cities?” Journal of Environmental Management, 189, 14-21, 2017.
[25]O. Soydan ve A. Benliay, “Rainwater Harvesting for Urban Ecology: Mustafa Uysal Park Case.” Toprak Su Dergisi, 5(1), 47-54, 2016.
[26]F. Lupia, V. Baiocchi, K. Lelo, ve G. Pulighe, “Exploring Rooftop Rainwater Harvesting Potential for Food Production in Urban Areas.” Agriculture, 7(6), 46, 2017.
[27]L. E. Ebhomien ve O. Obarisiagbon, An Optimized Architectural Intervention in Rooftop Rainwater Harvesting System.” Research Journal of Engineering and Environmental Sciences, 1(1), 85-97, 2016.
[28]M. S. Chandra, M. R. Madumal, K. Nandapala ve R. U. Halwatura, “Introducing Rainwater Harvesting Systems for Thewater Utilizatıon of Landscaping Projects in Sri Lanka, Based on a Case-Study at Wayamba University.” Boomer Engineering. International Conference on Water Security through Rain Water Harvesting 28th -29th November 2018, Colombo, Sri Lanka, 2018.
[29]I. Saeedi ve M. Goodarzi, Rainwater Harvesting System: A Sustainable Method for Landscape Development in Semiarid Regions, the Case of Malayer University Campus in Iran. Environment, Development and Sustainability, 22(2), 1579-1598, 2020.
[30]P. Ranasinghe ve D. M. S. B. Dissanayake, “Rainwater Harvesting Systems as a Strategy for Urban Storm Water Management,” 2018.
[31]R. Hofman-Caris, C. Bertelkamp, L. de Waal, T. van den Brand, J. Hofman, R. van der Aa ve J. P. van der Hoek, “Rainwater Harvesting for Drinking

Water Production: A Sustainable and Cost-Effective Solution in the Netherlands?." Water, 11(3), 511, 2019.
[32] M. A. Khudhair, K. N. Sayl, ve Y. Darama, "Locating Site Selection for Rainwater Harvesting Structure Using Remote Sensing and GIS." In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 881, No. 1, p. 012170). IOP Publishing, 2020.
[33] S. A. Loper ve K. L. McMordie Stoughton, "Rainwater Harvesting Potential Maps" (No. PNNL-25498 Rev 1). Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States), 2019.
[34] DIN (1989). Regenwassernutzungsanlagen. Deutsches Institut Normung DIN: 1989, German.
[35] BS (2009). "Rainwater Harvesting Systems-Code of Practice." British Standard 8515: 2009, London.
[36] M. D. Kumar, "Roof Water Harvesting for Domestic Water Security: Who Gains And Who Loses?" Water International, 29(1), 43-53, 2004.
[37] Sutema. "Çatı Suyu Hasadı." (2021). https://sutema.org/gelecegin-suyu/cati-suyu-hasadi.19.aspx, 20.12.2021.
[38] A. Balasubramanian, "The World's Water." University of Mysore, Mysore, 2015.
[39] Tübitak Bilim Genç, "Dünya'daki Su" URL: https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/dergimiz/dunyadaki-su, 11.10.2021.
[40] P. H. Gleick, "Water in Crisis." Pacific Institute for Studies in Dev., Environment & Security. Stockholm Env. Institute, Oxford Univ. Press. 473p, 9, 1051-0761, 1993.
[41] NASA, "The Water Cycle", URL: https://earthobservatory.nasa.gov/features/Water/page1.php, 10.09.2021
[42] H. Radwan, S. Elattar ve R. Khmes "Global water resources," 2011.
[43] E. B. Atçı, (2019). "Dünya Genelinde Su Kaynaklarının Durumu" URL: https://www.artemisaritim.com/dunya-genelinde-su-kaynaklarinin-durumu, 14.12.2021
[44] UNESCO WWDR, (2020). "The United Nations World Water Development Report 2020," Water and Climate Change.
[45] UNESCO WWDR, (2021). "The United Nations World Water Development Report 2021, Valuing Water, United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization: Paris, France."
[46] UNESCO WWDR, "The United Nations World Water Development Report 2019," United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization: Paris, France.
[47] WMO, State of Climate Services Water, "World Meteorogical Organization," No. 1278. WMO, Switzerland, 2021.
[48] Unicef, "Water Scarcity" URL: https://www.unicef.org/wash/water-scarcity, 22.01.2022
[49] WaterAid, "The Water Gap – State of the World's Water" URL: https://washmatters.wateraid.org/publications/the-water-gap-state-of-the-worlds-water, 24.01.2022

[50]Worldometers. “World Population Projections.” (2021). URL: https://www.worldometers.info/world-population/world-population-projections/, 08.12.2021.
[51]OECD, OECD Environmental Outlook to 2050, 2012. URL: https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/waterchapteroftheoecdenvironmentaloutlookto2050theconsequencesofinaction.htm, 12.12.2021
[52]H. Ritchie, ve M. Roser, “Water Use and Stress.” Our World in Data, 2017, URL: https://ourworldindata.org/water-use-stress, 12.12.2021
[53]AQUASTAT, F. AQUASTAT-FAO’s global information system on water and agriculture, 2021.
[54]P. Burek, Y. Satoh, Y. Wada, M. Floerke, S. Eisner, N. Hanasaki ve D. Wiberg, “Looking at the Spatial and Temporal Distribution of Global Water Availability and Demand.” In EGU General Assembly Conference Abstracts (pp. EPSC2016-16663), 2016.
[55]K. Kitamori, T. Manders, R. Dellink ve A. A. Tabeau, “OECD Environmental Outlook To 2050: The Consequences of Inaction.” OECD., 2012.
[56]Sustainable Development, “Roadmap of the Valuing Water Initiative” High Level Panel on Water, 2017. URL: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/15595Road_Map_Valuing_Water_Initiative_vs_1.1_March_8th_updated_May_19th_2017.pdf, 03.02.2022
[57]SDG 6, “Clean Water and Sanitation, Sustainable Development Goals” URL: https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/, 03.02.2022
[58]IISD Earth Negotiations Bulletin, Report of main proceedings for 16 March 2009, URL: https://enb.iisd.org/tr/summary-report-16-march-2009#tema1, 20.02.2022.
[59]IISD Earth Negotiations Bulletin, Summary report 16 March 2009, URL: https://enb.iisd.org/tr/summary-report-16-march-2009#tema1, 20.02.2022.
[60]World Water Council, Senegal and the World Water Council Postpone, The 9th World Water Forum In Dakar to March 2022”, 2020. URL: https://www.worldwatercouncil.org/sites/default/files/Forum_docs/FINAL-Forum_9_report_-_Communique_Final.pdf, 22.12.2021.
[61] TÜİK, “Su ve Atıksu İstatistikleri,” 2021. URL: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-ve-Atiksu-Istatistikleri-202037197#:~:text=%C3%87ekilen%20suyun%202018%20y%C4%B1l%C4%B1nda%20%56,edildi.%202020%20y%C4%B1l%C4%B1nda%20denizden%20%C3%A7ekilen, 26.02.2022
[62]N. Alparslan, A. Tanık, ve D. Dölgen, Türkiye’de Su Yönetimi Sorunlar ve Öneriler. Türk Sanayicileri ve İşadamları Derneği (TÜSİAD) Yayın No: T/2008-09/469, 2008.
[63]WWF, “Türkiye’nin Su Riskleri Raporu” ISBN: 978-605-86596-7-4125, 2014.
[64]T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, “Su Kullanımı,” URL: https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/su-kullanimi-i-85738, 10.05.2022

[65]T. Aküzüm, B. Çakmak ve Z. Gökalp, “Türkiye’de Su Kaynakları Yönetiminin Değerlendirilmesi.” International Journal of Agricultural and Natural Sciences, 3(1), 67-74, 2010.
[66]T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Ormancılık ve Su Şurası, 21-23 Mart, İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi, 2013.
[67]T.C. Resmi Gazete, On Birinci Kalkınma Planının (2019-2023) Onaylandığına İlişkin Karar, (30840, 23.07. 2019).
[68]T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) su kaynakları yönetimi ve güvenliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Kalkınma Bakanlığı, ANKARA, 2018.
[69]T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, “Ulusal Su Planı (2019-2023),” 2019.
[70]Atıksu Toplama ve Uzaklaştırma Sistemleri Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete, Sayısı: 29940, 06.01.2017
[71]Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete, Sayısı: 30105, 23.06.2017
[72]Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, Resmi Gazete, Sayısı:31373, 23.01.2021
[73]A. Karadağ, “Kentsel Ekoloji: Kentsel Çevre Analizlerinde Coğrafi Yaklaşım.” Ege coğrafya dergisi, 18(1-2), 31-47, 2009.
[74]H. Pektezel, “Kent ve Su Kaynakları,” 1. baskı. Ankara, Türkiye: Pegem Akademi, 107-130, 2015.
[75]B. Ezenci, “Kentsel Yaşama Katkıları Yönünden “Su”yun Tasarım Biçimleri,” Peyzaj ve Süs Bitkiciliği Dergisi, 2017, URL: https://www.plantdergisi.com/ars-gor-busra-ezenci/kentsel-yasama-katkilari-yonunden-su-yun-tasarim-bicimleri.html, 23.02.2022
[76]UNESCO WWAP (2012). “The United Nations World Water Development: Managing Water Under Uncertainty and Risk.” (WWDR 4).–V. 1, 2, 3. In: Paris: UNESCOWHO
[77]V. Müftüoğlu ve H. Perçin, “Sürdürülebilir Kentsel Yağmur Suyu Yönetimi Kapsamında Yağmur Bahçesi.” İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi, 5(11), 27-37, 2015.
[78]E. Sert, “Enerji Etkin Kentsel Peyzaj Tasarımında Yağmur Suyu,” Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
[79]S. Karagüler ve B. Korgavuş, “Kent Kimliğinin Kent Peyzajı Üzerinde Oluşturduğu Etkiler, Silüetler, Görünümler ve Dengeleri.” Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 2(2), 203-212, 2014.
[80]M. Var, “Yeşil Alan Planlaması,” Ders Notları (Basılmamıştır). YTÜ Şehir ve Bölge Planlama, 85 S, 2018.
[81]S. Önder ve A. T. Polat, “Kentsel Açık-Yeşil Alanların Kent Yaşamındaki Yeri ve Önemi.” Kentsel Peyzaj Alanlarının Oluşumu ve Bakım Esasları Semineri, 19, 73-96, 2012.
[82]D. Demir, “Konvansiyonel Yağmursuyu Yönetim Sistemleri İle Sürdürülebilir Yağmursuyu Yönetim Sistemlerinin Karşılaştırılması: İTÜ Ayazağa Yerleşkesi Örneği,” Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.

[83]Water Urban Environment. “Water Pollution and Problems in Urban Areas.” (2022). Kentleşmenin Yüzey akışına Etkisi https://waterurbanenvironment.wordpress.com/, 01.02.2022

[84]E. Bayramoğlu, A. Ertek ve Ö. Demirel, “Su Tasarrufu Amacıyla Peyzaj Mimarlığı Uygulamalarında Kısıntılı Sulama Yaklaşımı.” İnönü üniversitesi sanat ve tasarım dergisi, 3(7), 2013.

[85]Z. Ardahanlıoğlu, “Yağmur Bahçeleri,” Peyzaj ve Süs Bitkiciliği Dergisi, 2016, URL: https://www.plantdergisi.com/dr-zeynep-r-bozhuyuk-ardahanlioglu/yagmur bahceleri.html, 07.01.2022.

[86]O. O. Aladenola ve O. B. Adeboye, “Assessing the Potential for Rainwater Harvesting.” Water resources management, 24(10), 2129-2137, 2010.

[87]G. P. Mengü ve E. Akkuzu, “Küresel Su Krizi ve Su Hasadı Teknikleri.” Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 5(2), 75-85, 2008.

[88]CAWST, “Introduction to Household Rainwater Harvesting” Centre for Affordable Water and Sanitation Technology, 2011 URL: https://wedc-knowledge.lboro.ac.uk/resources/pubs/CAWSTRWH_Manual_2011-11_en.pdf, 03.02.2022.

[89]Environment agency, “Rainwater Harvesting:an on-farm guide,” 2009.

[90]K. Aybuğa, “Su Kaynakları Üzerindeki Baskıların Hafifletilmesi Maksadıyla Konutlarda Yağmur Suyu ve Gri Su Kullanımı: Ankara Örneği” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2018.

[91]Gün, K. “Yağmur Suyu Hasadı: Nedir? Nasıl Yapılır? Maliyeti ve Sistemleri” URL: https://iyikigormusum.com/yagmur-suyu-hasadi-nedir-nasil-yapilir-maliyeti-ve-sistemleri-1842 03.06.2022

[92]N. Karakaya ve E. Gönenç, “Alternatif Su Kaynakları,” II. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 21-24 Eylül 2005 Gümüldür/İzmir, 2005.

[93]TWDB, (2005). “The Texas Manual on Rainwater Harvesting,” Texas Water Development Board, URL: https://www.twdb.texas.gov/publications/brochures/conservation/doc/RainwaterHarvestingManual_3rdedition.pdf , 09.07.2021.

[94]S. A. A. Salleh ve T. M. Taher, “Rooftop Rainwater Harvesting in Modern Cities: A Case Study for Sana’a City,” Yemen. Journal of Science and Technology, 17, 2012.

[95]S. Sadeghinazhad, “Low Impact Development (LID) Practices in Flood Control of Urban Areas Using SWMM (storm water management model)” Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.

[96]B. Woods Ballard, S. Wilson, H. Udale-Clarke, S. Illman, T. Scott, R. Ashley ve R. Kellagher, “The SuDS Manual; CIRIA: London, UK,” 2015. Google Scholar, 2015.

[97]E. Ling ve B. L. Benham, Rainwater Harvesting Systems. Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech, Virginia State University, Lecture Notes, 2014.

[98]CSE, “Legislation on Rainwater Harvesting”, Centre for Science and Environment, URL: https://www.cseindia.org/legislation-on-rainwater-harvesting--1111, 05.04.2022

[99]Texas A&M Agrilife, Rainwaterharvesting, “Rainwater Harvesting” URL: https://rainwaterharvesting.tamu.edu/conveyance, 09.03.2022

[100] Rain Water Harvesting, “Components of a Rainwater Harvesting System” URL: http://www.rainwaterharvesting.org/Urban/Components.htm, 09.07.2021
[101] The Global Development Research Center, “An Introduction to Rainwater Harvesting” URL: https://www.gdrc.org/uem/water/rainwater/introduction.html
[102] Plumbing Africa, Taşıma Sistemi URL: https://www.plumbingafrica.co.za/index.php/features/sanitation-for-health/481-rainwater-catchment-and-conveyance, 10.01.2022
[103] WHO, “Maldivler’de Yağmur Hasadı Kılavuz ve Yönergeleri” Male, Maldivler, 2009.
[104] R. Pradhan ve J. Sahoo, “Smart Rainwater Management: New Technologies and Innovation.” In Smart Urban Development (p. 83). IntechOpen, 2019.
[105] L. Mosley, “Water Quality of Rainwater Harvesting Systems.” South Pacific Applied Geoscience Commission, 2005.
[106] M. Capehart, J. Artiola ve S. Eden, “Preparing Rainwater for Potable Use,” The University of Arizona Cooperative Extension, 2021.
[107] R. Harb, “Assessing The Potential of Rainwater Harvesting System at The Middle East Technical University–Northern Cyprus Campus” Master's thesis, Middle East Technical University, 2015.
[108] Ö. Kantaroğlu, “Yağmur Suyu Hasadı Plan ve Hesaplama Prensipleri.” IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 6-9, 2009.
[109] A. K. Gupta, Rainwater Harvesting-pub. Indian Railways Institute of Civil Engineering, Pune, August, 2006.
[110] E. Yuen, M. Anda, K. Mathew ve G. Ho, “Water Harvesting Techniques for Small Communities in Arid Areas.” Water science and technology, 44(6), 189-195, 2001.
[111] J. Xie, C. Wu, H. Li ve G. Chen, “Study on Storm-Water Management of Grassed Swales and Permeable Pavement Based on SWMM.” Water, 9(11), 840, 2017.
[112] WWF, “Su Döngüsünü İyileştirmek İçin: Yağmur Suyu Hasadı”, 2020. URL: https://wwftr.awsassets.panda.org/downloads/ysh_web_ekim_2020_1.pdf, 20.11.2021
[113] S. Kumar, “Rain Water Harvesting. Indian Railways Institute of Civil Engineering.” Pune, 2006.
[114] B. Martinson ve T. Thomas, “Roofwater Harvesting: A Handbook for Practitioners.” IRC International Water and Sanitation Centre, 2007.
[115] T. Ball, “Harvesting Rainwater for Domestic Uses: An Information Guide.” Reference number/codeGEHO0108BNPN-EE. Environmental Agency, Bristol, 24-28, 2001.
[116] Down To Earth, “Catch Water Where It Falls: Urban Rainwater Harvesting”, 2019. URL: https://www.downtoearth.org.in/news/water/catch-water-where-it-falls-urban-rainwater-harvesting-65422, 25.02.2022
[117] P. Najifar, “Yapılarda Yağmur Suyu Kullanma Olanakları”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.

[118] USAID, A layman's guide to clean water, “Collecting Rain Water May Be an Option in Places Where Rain is Abundant, But Clean Water is Scarce” 2015. URL: http://www.clean-water-for-laymen.com/collecting-rain-water.html#
[119] Un Climate Technology Centre & Network, “Rainwater Harvesting,” URL: https://www.ctc-n.org/technologies/rainwater-harvesting, 03.12.2021.
[120] M. Öztürk, “Su Geçiren Beton ve Asfaltlar,” Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017.
[121] B. Ekinci, “Su Kaynaklarının Verimli Kullanılmasına Yönelik Örnek Ülke Uygulamaları ve Ülkemizde Bu Çalışmaların Uygulanabilirliği.” Uzmanlık Tezi. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 134 s. Ankara, 2015.
[122] B. R. Chahar, D. Graillot ve S. Gaur, “Storm-Water Management Through Infiltration Trenches.” Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 138(3), 274-281, 2012.
[123] Natural Resources Conservatıon Servıce Illınoıs Urban Manual Practıce Standard, “Infiltration Trench,” 2002. URL: https://illinoisurbanmanual.org/wp-content/uploads/2018/08/IUM_Practice-Standard_847_Infiltration-Trench.pdf
[124] C. Sullivan, “What’s the Problem with Groundhogs in Stormwater Facilities?” Sustainable Stormwater Management, 2015, URL: https://sustainablestormwater.org/usaid, 22.01.2022
[125] NWRM, Natural Water Retention Measures, European Comission, URL: http://nwrm.eu/, 26.03.2022
[126] Storm Water Center, “Stormwater Management Fact Sheet: Infiltration Trench” URL: https://www.stormwatercenter.net/Assorted%20Fact%20Sheets/Tool6_Stormwater_Practices/Infiltration%20Practice/Infiltration%20Trench.htm, 21 Aralık 2021
[127] Storm Water Partners, “Infiltration Basin,” URL: https://www.stormwaterpartners.com/facilities-infiltration-basin, 08.01.2022
[128] VA, “Rainwater Harvesting,” Virginia Stormwater Design Specification No. 6, 2013. Vermont Department of Enviromental Conservation, “Vegetated Swales” URL: https://www.greensborovt.org/wp content/uploads/2012/10/LP_BMPVegetatedSwales.pdf 22.10.2021
[129] Rcflood, Riverside County - Low Impact Development BMP Design Handbook, “Infiltration Basin,” 2012.
[130] Virginia Department of Environmental Qualtiy (VA DEQ). 2011. “Virginia DEQ Stormwater Design Specification No. 8: Infiltration Practices,” Version 1.8. URL: https://www.swbmp.vwrrc.vt.edu/ wp-content/uploads/2017/11/BMP-Spec-No-8_ INFILTRATION_v1-9_03012011.pdf.
[131] Vermont Department of Enviromental Conservation, “Vegetated Swales” URL: https://www.greensborovt.org/wp content/uploads/2012/10/LP_BMPVegetatedSwales.pdf 22.10.2021

[132] Greenplanetethics, “Green Infrastructure – What is Green Infrastructure?-Swales” URL: https://greenplanetethics.com/green-infrastructure-what-is-green-infrastructure/, 08.05.2022
[133] SuDSwales, Sustainable Drainage Systems, “SuDS Techniques - Permeable Conveyance Systems, Swales”, URL: https://www.sudswales.com/types/permeable-conveyance-systems/swales/, 08.06.2021
[134] S. Levi, “Yağış Sularının Sürdürülebilir Yönetimi” (Doctoral dissertation, Marmara Universitesi, Türkiye, 2007.
[135] S. Ekka ve B. Hunt, “Swale Terminology for Urban Stormwater Treatment.” NC State Extension, 2020.
[136] Clean Water Services, “Low Impact Development Approaches Handbook”, 2021, URL: https://www.cleanwaterservices.org/media/1468/lida-handbook.pdf, 11.03.2022
[137] NRCS, “Rain Gardens” Natural Resource Conservation Service, 2005 URL: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_011366.pdf, 12.09.2021
[138] EPA, “Stormwater Best Management Practice Bioretention (Rain Gardens)” Enviromental Protection Agency,2021
[139] M. Ermeydan, “Taşkın Cadde Peyzajlarında Yağmur Suyu Yönetimi Üzerine Görüşler,” Peyzaj ve Süs Bitkiciliği Dergisi, 2017. URL: https://www.plantdergisi.com/murat-ermeydan/taskin-cadde-peyzajlarinda-yagmur-suyu-yonetimi-uzerine-gorusler.html, 15.02.2022
[140] T. Sarıgül, “Yağmur Bahçeleri: Çevreci Bir Altyapı Sistemi”, Dünya ve Yaşam, Tübitak Bilim Genç, 2019.
[141] V. G. Rao ve L. Surinaidu, “Rain Gardens–A New Ecosystem in City Landscape for in Situ Harvesting of Rain Water.” Memoir Geological Society of India, 80, 89-96, 2012.
[142] D. G. Ertin, G. Yılmaz ve C. Zülfikar, “Sürdürülebilir Peyzaj Tasarımında Yeşil Altyapı Uygulamalarından Yağmur Bahçeleri: Edirne Örneği.” Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, GreenAge Sempozyumu, İstanbul, 2012.
[143] S. Boskovic, “Bioretention Basin Best Practice Design Guidelines,” Courses ENG4111 and 4112 Research Project, 2008.
[144] E. Siwiec, A. M. Erlandsen ve H. Vennemo, “City Greening By Rain Gardens-Costs and Benefits.” Environmental Protection and Natural Resources/Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, 29(1), 1-5, 2018.
[145] Rain Garden Network, “Benefits of Rain Garden for 2021” URL: https://www.raingardennetwork.com/benefits-of-planting-rain-gardens/, 12.02.2022
[146] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, “Yağmur Bahçesi Uygulama Kılavuzu” 2018, URL: https://webdosya.csb.gov.tr/db/mpgm/haberler/yagmur-bahces-_230718-20180724082855.pdf, 03.12.2021

[147]M. Dietz ve K. Filchak, “Rain Gardens in Connecticut.” Uconn Cooperative Extension System, College of Agriculture and Natural Resources, 2006.
[148]R. Yawalkar, S. Ingole, S. Derkar, M. Gaurkar, S. Kawle ve G. Hingwe, “Rainwater Harvestıng By Rooftop Method.” International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 8(9), 1988-1991, 2021.
[149]M. JeanCharles, “Rainwater Harvesting Systems for Communities in Developing Countries” (Doctoral dissertation, Michigan technological university), 2007.
[150]A. Morey, B. Dhurve, V. Haste ve B. Wasnik, “Rainwater Harvesting System.” Int. Res. J. Eng. Technol, 3, 2158-2162, 2016.
[151]K. Aghaloo ve Y. R. Chiu, “Identifying Optimal Sites for a Rainwater-Harvesting Agricultural Scheme in Iran Using The Best-Worst Method and Fuzzy Logic in a GIS-based Decision Support System.” Water, 12(7), 1913, 2020.
[152]A. Adham, M. Riksen, M. Ouessar ve C. J. Ritsema, “A Methodology to Assess and Evaluate Rainwater Harvesting Techniques in (Semi-) Arid Regions.” Water, 8(5), 198, 2016.
[153]W. Critchley ve C. Siegert, “Water Harvesting Manual,” FAO Paper AGL. MISC/17/91, FAO, Rome, 1991.
[154]J. M. Kahinda, E. S. B. Lillie, A. E. Taigbenu, M. Taute ve R. J. Boroto, “Developing Suitability Maps for Rainwater Harvesting in South Africa.” Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 33(8-13), 788-799, 2008.
[155]R. Al-Adamat, A. Diabat ve G. Shatnawi, “Combining GIS with Multicriteria Decision Making for Siting Water Harvesting Ponds in Northern Jordan.” Journal of Arid Environments, 74(11), 1471-1477, 2010.
[156]S. D. Tumbo, B. P. Mbilinyi, H. F. Mahoo ve F. O. Mkilamwinyi, “Identification of Suitable Indices for Identification of Potential Sites for Rainwater Harvesting.” Tanzania Journal of Agricultural Sciences, 12(2), 2013.
[157]A. Adham, K. N. Sayl, R. Abed, M. A. Abdeladhim, J. G. Wesseling, M. Riksen,... ve C. J. Ritsema, “A GIS-based approach for identifying potential sites for harvesting rainwater in the Western Desert of Iraq.” International Soil and Water Conservation Research, 6(4), 297-304, 2018.
[158]Rainwaterharvesting, “Legislation on Rainwater Harvesting”, URL: http://www.rainwaterharvesting.org/Policy/Legislation.htm#:~:text=Rainwater%20harvesting%20has%20been%20made%20mandatory%20in%20all%20new%20buildings,for%20implementing%20rainwater%20harvesting%20systems, 12.01.2022
[159]HarvestH2o, “Rainwater and Water Conservation Incentives” URL: https://www.harvesth2o.com/incentives.shtml, 02.07.2021
[160]N. İ. Şahin, ve G. Manioğlu, “Binalarda Yağmur Suyunun Kullanılması.” Tesisat Mühendisliği Dergisi, 125, 21-32, 2011.
[161]F. Guerquin, A. Tarek, M. Hua, T. Ikeda, V. Özbilen ve M. Schuttelaar, “World Water Actions: Making Water Flow for All.” Routledge, 2010.

[162] JFS, “Let's Use Rainwater! Recent Trends in Rainwater Use in Japan”, JFS Japan for Sustainability, URL: https://www.japanfs.org/en/news/archives/news_id035023.html, 05.02.2022
[163] A. Campisano, D. Butler, S. Ward, M. J. Burns, E. Friedler, K. DeBusk,... ve M. Han “Urban Rainwater Harvesting Systems: Research, Implementation and Future Perspectives.” Water research, 115, 195-209, 2017.
[164] EPA, (2008). “Managing Wet Weather with Green Infrastructure Municipal Handbook-Rainwater Harvesting,” 16 pp., Environmental Protection Agency, Christopher Kloss, Low Impact Development Center.
[165] ABCB, “Rainwater Harvesting and Use”, Plumbing Code Development Research Project, (2016).
[166] Australian Government, “National Rainwater and Greywater Initiative: Household Rebate Guidelines” URL: https://cqwater.com.au/files/nrgi-guidelines-application%5b1%5d.pdf, 03.02.2022
[167] Australian Government, “Requirements for Installation of Rainwater and Greywater Systems in Australia” 2008.
[168] Marsden Jacobs Associated, “The Cost Effectiveness of Residential Rainwater Tanks in Perth”, 2009, URL: https://www.water.wa.gov.au/__data/assets/pdf_file/0012/3612/85820.pdf, 05.01.2022.
[169] “Rainwater Rewards Credit and Rebate Amounts” URL: https://www.victoria.ca/EN/main/residents/water-sewer-stormwater/stormwater/credit_rebate_amounts.html, 09.01.2022
[170] MuseumofLondon, “Rainwater Harvesting at Museum of London” URL: https://www.museumoflondon.org.uk/application/files/8014/5451/4697/MOL_and_Rainwater_Harvesting_-_March_2015.pdf, 05.02.2022
[171] The Renewable Energy Hub, “Large Scale Commercial Rainwater Harvesting”, URL: https://www.renewableenergyhub.co.uk/main/rainwater-harvesting-information/large-scale-commercial-rainwater-harvesting/, 09.02.2022
[172] By Word of Mouth, “Museum of London: Venue Hire” URL: https://bywordofmouth.co.uk/venue/museum-of-london/, 22.02.2022
[173] Bauder, “Visionary Roof at the Museum of London” URL: https://www.bauder.co.uk/about-us/media-centre/press-archive/visionary-roof-at-the-museum-of-london, 22.02.2022
[174] Bioregional, “Beddington Zero Energy Development Case Study Report” 2002, URL: https://www.bioregional.com/resources/bedzed-case-study-report, 10.02.2022
[175] Sürdürülebilir Malzemeler, “Londra, İngiltere, BedZED Konut Projesi” 2015, URL: https://www.surdurulebilirmalzemeler.com/haberler-londra-bedzed-konutlar-ing, 12.03.2022
[176] C. S. Smith ve D. Butler, “Water Management at BedZED: some lessons.” In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability (Vol. 161, No. 2, pp. 113-122). Thomas Telford Ltd, 2008.
[177] M. Neuman, “Spatial Planning Leadership By Infrastructure: An American View.” International Planning Studies, 14(2), 201-217, 2009.

[178] Greenroofs, “Bedzed (Beddington Zero Energy Development)” URL: https://www.greenroofs.com/projects/bedzed-beddington-zero-energy-development/, 12.03.2022
[179] Down To Earth, “Urban Water Harvesting Singapore”, 2001, URL: https://www.downtoearth.org.in/coverage/urban-water-harvesting-singapore-16048, 25.02.2022
[180] Rainwaterharvesting, “Rainwater Harvesting in Singapore” URL: http://www.rainwaterharvesting.org/international/singapore.htm, 10.03.2022
[181] PUB, “Water from Local Catchment”, Singapore's National Water Agency, URL: https://www.pub.gov.sg/watersupply/fournationaltaps/localcatchmentwater, 22.03.2022
[182] Land8, “Potsdamer Platz in Berlin Becomes a Sustainable Ecofriendly Urban Square” Landscape Architect Network, 2015, URL: https://land8.com/potsdamer-platz-in-berlin-becomes-a-sustainable-ecofriendly-urban-square/, 22.03.2022
[183] Ramboll, “Potsdamer Plaza”, Ramboll Studio Dreiseitl, URL: http://www.dreiseitl.com/en/portfolio?region=all&typology=all#potsdamer-plaza, 23.03.2022
[184] Ramboll, “Potsdamer Plaza”, Ramboll Bright Ideas. Sustainable Change. URL: https://ramboll.com/projects/germany/potsdamer-plaza, 22.03.2022
[185] M. Schmidt, “Ecological Design for Climate Mitigation in Contemporary Urban Living.” International Journal of Water, 5(4), 337-352, 2010.
[186] Sdg21, “Permaculture settlement "EVA Lanxmeer" in Culemborg” 2019, URL: https://sdg21.eu/en/db/eva-lanxmeer-in-culemborg, 23.03.2022
[187] Urbangreenbluegrids, “Eva Lanxmeer Results” URL: https://www.urbangreenbluegrids.com/projects/eva-lanxmeer-results/, 02.04.2022
[188] Alchetron, “EVA Lanxmeer”, 2018, URL: https://alchetron.com/EVA-Lanxmeer, 21.02.2022
[189] J. Gnadlinger, “P1MC and P1+ 2, Two Community Based Rainwater Harvesting Programs in Semi-Arid Brazil.” In Proceedings of the 13th International Rainwater Systems Conference, Sidney, 2007.
[190] Cleanawater, “Rainwater Harvesting Solutions: Which Countries Lead the Way?” 2015, URL: https://cleanawater.com.au/information-centre/rainwater-harvesting-solutions-which-countries-lead-the-way#:~:text=Australia%2C%20one%20of%20the%20driest,conversation%20about%20tackling%20water%20scarcity, 02.04.2022
[191] Urbanwater, “Fitzroy Gardens Stormwater Harvesting System,” 2013, URL: http://urbanwater.melbourne.vic.gov.au/projects/water-capture-and-reuse/fitzroy-gardens-stormwater-harvesting-project/, 02.02.2022
[192] M. Hepgüler, “Borusan Oto İstinye Tesisleri,” Arkitera, 2003. URL: https://v3.arkitera.com/v1/proje/borusanistinye/, 28.03.2022
[193] C. Yaman, “Siemens Gebze Tesisleri Yeşil Bina.” IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 2009.
[194] Bcekmecebel (2021). URL: https://www.bcekmece.bel.tr/, 09.01.2022

[195] OGM. T.C Orman ve Tarım Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü (2022). URL: https://www.ogm.gov.tr/sayfalar/ormanharitasi, 10.01.2022
[196] H. Akgün, “Kentsel Gelişme Sürecinde Büyükçekmece,” İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 1996.
[197] MGM. Meteoroloji 1. Bölge Müdürlüğü, “Büyükçekmece ve Yakın Çevresi 20 Yıllık İklim Verileri,” İstanbul, 2021.
[198] C. Toyran ve M. Var , "Yağmur Suyu Hasadının Kentsel Tasarım ve Yeşil Altyapı Uygulamalarında Değerlendirilmesi-Büyükçekmece İlçesi Örneği", Turkish Journal of Forest Science, c. 6, sayı. 1, ss. 255-274, 2022.
[199] Google Earth (2021) “Coğrafi Konum Haritası,” URL: https://earth.google.com/web/, 20.11.2021
[200] N. Sofu, Büyükçekmece Gölü ve Yakın Çevresinin Ekolojik Planlamaya Yönelik Peyzaj Analizi (Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi), 2009.
[201] Earthexplorer, Dem haritası, 2022. URL: https://earthexplorer.usgs.gov/, 03.01.2022
[202] T.C.Tarım ve Orman Bakanlığı, Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatı ve İlgili Mevzuat.
[203] İstanbul İli Tabiat Turizmi Master Planı (2013-2023), URL: https://bolge1.tarimorman.gov.tr/Documents/menu-dosyalar/Do%C4%9Fa%20Turizmi%20Master%20Planlar%C4%B1/%C4%B0STANBUL%20TTMP.pdf, 15.03.2022
[204] İSKİ, URL: https://www.iski.gov.tr/web/assets/HaberlerImages/untitled%20folder%2039/B%C3%BCy%C3%BCk%C3%A7ekmece%20G%C3%B6l%C3%BC%20%C3%96zel%20H%C3%BCk%C3%BCmleri%2012%20%C5%9EUBAT%202019.pdf, 13.01.2022
[205] E. Tekeli, Kentsel Dereler ve Peyzaj Onarımı: İstanbul Büyükçekmece Örneği (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü), 2016.
[206] İ. Yolcubal, “Hidrojeoloji ve Diğer Disiplinlerle Olan İlişkisi”, Hidrojeoloji Ders Notları, Kocaeli Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, 2018.
[207] İBB, “İstanbul İli Beylikdüzü-Büyükçekmece-Esenyurt İlçeleri Heyelan Farkındalık Kitapçığı”, Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, 2020.
[208] M. F. Demir, “Durağan Yeraltı Suyu Akım Şartlarında Beslenme Kuyularının Hidrolik Hesaplama Yöntemleri” Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
[209] O. Dengiz, ve İ. Ekberli, “Bazı Vertisol Alt Grup Topraklarının Fizikokimyasal ve Isısal Özelliklerinin İncelenmesi.” Akademik Ziraat Dergisi, 6(1), 45-52, 2017.
[210] https://www.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Mevzuat/Talimatlar/ToprakAraziSiniflamasiStandartlariTeknikTalimativeIlgiliMevzuat_yeni.pdf
[211] E. G. Palalı, “İstanbul Genelinde Kullanılabilecek Yerli ve İthal Bitki Türlerinin Saptanması,” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. 1997.
[212] İBB, Şehir Planlama Müdürlüğü, haritalar, 2019.

[213] Meteoblue, URL: meteoblue.com/tr/hava/hafta/büyükçekmecetürkiye6947641, 27.01.2022
[214] Corine, URL: https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover, 23.12.2021
[215] İBB Şehir Planlama Müdürlüğü, 1/100.000 Ölçekli İstanbul Çevre Düzeni Planı, 2009.
[216] A. C. Özdemir, "İstanbul İçme Suyu Havzalarında Arazi Kullanımlarının Su Kalitesine Olan Etkisinin Değerlendirilmesi" (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü), 2010.
[217] B. Başak ve O. Alagha "The Chemical Composition of Rainwater Over Büyükçekmece Lake," Istanbul. Atmospheric Research, 71(4), 275-288, 2004.
[218] J. Worm ve T. V. Hattum, "Rainwater Harvesting for Domestic Use," Agromisa foundation, 2006.
[219] T.C. Büyükçekmece Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü (2019). "Büyükçekmece Yerleşim Haritası", İstanbul.
[220] İBB Şehir Haritaları, URL: https://sehirharitasi.ibb.gov.tr, 17.12.2021
[221] İçme-Kullanma Suyu Havzalarının Korunmasına Dair Yönetmelik, Resmi Gazete, Sayısı: 30224, 28.10.2017
[222] Committee to Review the New York City Watershed Management Strategy, "Watershed Management for Potable Water Supply", National Academy Press, Washington, D.C, 2017.
[223] E. Kalıpcı , V. Başer ve N. Genç , "Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanarak Yağmur Suyu Hasadının Değerlendirilmesi: Giresun Üniversitesi Kampüs Örneği", Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, c. 10, sayı. 1, ss. 49-58, May. 2021
[224] İZKA, İzmir Kalkınma Ajansı, URL: https://kalkinmasozlugu.izka.org.tr/?p=507, 27.05.2022
[225] A. D. Patel, P. K. Shah, 2015, Rainwater Harvesting- A Case Study of Amba Township, Gandhinagar, National Conference on "Transportation and Water resources Engineeirng
[226] YALÇINALP, E., ÖZTÜRK, A., & BAYRAK, D. (2018). Konut ölçeğinde gri su ve yeşil çatı sistemlerinin ekonomik etkileri. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 5(1), 71-80.
[227] İstanbul İmar Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı:30426, 20.05.2018

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Makale

[1] C. Toyran ve M. Var, "Yağmur Suyu Hasadının Kentsel Tasarım ve Yeşil Altyapı Uygulamalarında Değerlendirilmesi-Büyükçekmece İlçesi Örneği", Turkish Journal of Forest Science, c. 6, sayı. 1, ss. 255-274, 2022, doi:10.32328/turkjforsci.1065858