



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**KENTSEL TASARIMDA SU DUYARLILIĞI: İKLİME BAĞLI SU
KITLIĞINA DAYANIKLILIK OLUŞTURMANIN VE SÜRDÜRÜLEBİLİR
SU YÖNETİM SİSTEMLERİNE ULAŞMANIN YOLU: BURSA ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdulrahman HASSANIN

Kentsel Tasarım Anabilim Dalı

Kentsel Tasarım Tezli Yüksek Lisans Programı

TEMMUZ 2024

**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**KENTSEL TASARIMDA SU DUYARLILIĞI: İKLİME BAĞLI SU
KITLIĞINA DAYANIKLILIK OLUŞTURMANIN VE SÜRDÜRÜLEBİLİR
SU YÖNETİM SİSTEMLERİNE ULAŞMANIN YOLU: BURSA ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdulrahman HASSANIN

(20324817065)

ORCID: 0009-0002-7493-4941

**Kentsel Tasarım Anabilim Dalı
Kentsel Tasarım Tezli Yüksek Lisans Programı**

Danışman: Doç. Dr. Didem Güneş YILMAZ

ORCID: 0000-0001-8792-051X

TEMMUZ 2024

BTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 20324817065 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Abdulrahman Mustafa Ismail Soliman HASSANIN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KENTSEL TASARIMDA SU DUYARLILIĞI: İKLİME BAĞLI SU KİTLİĞİNE DAYANIKLILIK OLUŞTURMANIN VE SÜRDÜRÜLEBİLİR SU YÖNETİM SİSTEMLERİNE ULAŞMANIN YOLU: BURSA ÖRNEĞİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Didem Güneş Yılmaz**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Adı SOYADI**

Prof. Dr. Adı SOYADI

Prof. Dr. Adı SOYADI

Prof. Dr. Adı SOYADI

Teslim Tarihi :

Savunma Tarihi :



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Abdulrahman Hassanin

İmzası:

X



Eşime ve Asya'ya,

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde bana en büyük desteği sağlayan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Annem ve her zaman yanımda olup bana inanan kardeşlerim, desteklerini hiç esirgemediler. Onların varlığı, bu sürecin üstesinden gelmemde büyük bir rol oynadı.

Hayatımın her anında yanımda olan, bana güç ve motivasyon veren sevgili eşime de özellikle teşekkür etmek istiyorum. Eşim, tez çalışmam boyunca fikirleriyle bana destek oldu. Varlığı, bu sürecin en zorlu anlarında bana güç verdi. Yakın zamanda dünyaya gelen kızım da bu süreçte küçük ailemize mutluluk ve şans getirdi.

Son olarak, tez danışmanım Doç. Dr. Didem Güneş Yılmaz'a minnettarlığımı sunarım. Kendisi, karşılaştığım tüm zorluklarda bana her zaman destek oldu ve bu süreci başarıyla tamamlamamda büyük bir rol oynadı. Yardımları ve rehberliği için kendisine sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Mayıs 2024

Abdulrahman HASSANIN
Yüksek lisans öğrencisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Arka Planı	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Metodoloji	4
1.4 İklim Değişikliği	5
1.5 Kuraklık.....	7
1.6 Sel.....	10
1.7 Su Kirliliği.....	14
2. LİTERATÜR TARAMASI VE DÜNYA ÖRNEKLERİ.....	16
2.1 Yeşil Altyapı	16
2.1.1 Yeni Kahire'deki pilot proje	17
2.2 Bedzed, Londra, Birleşik Krallık: Sürdürülebilir Bir Su Temini Örneği.....	22
2.2.1 Su tüketiminin azaltılması (su tasarrufu sağlayan armatürler).....	23
2.2.2 Yağmur suyu toplama	24
2.2.3 Atık suyun kaynak olarak değerlendirilmesi	24
2.2.4 Yüzeysel suyunun işlenmesi.....	26
2.3 Düşük Etkili Geliştirme (DEG) Stratejisi.....	27
2.4 Singapur'da Su Talebinin Yönetilmesi.....	34
2.4.1 Su kayıplarını en aza indirmek için su sisteminin yönetimi	35
2.4.2 Fiyatlandırma, düzenleme ve teşvikler yoluyla su yönetimi.....	36
2.4.3 Ev dışı sektörde düzenleyici önlemler	37
2.4.4 Paydaşları dahil etmek ve motive etmek.....	38
2.4.5 Akıllı duş stratejisi ve otomatik sayaç sistemi	39
2.5 Benthemplein'de Su Ovası	40
3. BURSA ÖRNEĞİ.....	42
3.1 Türkiye ve Bursa Şehri.....	42
3.2 Bursa'nın Su Kaynakları ve Su Potansiyeli	45
3.2.1 Akarsular:.....	45
3.2.2 Doğal göller ve rezervuarlar:	46
3.2.3 Barajlar ve göletler:.....	46
3.2.4 Yeraltı suları:.....	46
3.3 Bursa'daki Su Sorunları	47
3.3.1 Seller	47

3.3.2 Bursa'da kuraklık.....	48
4. OSMANGAZİ İLÇESİ	51
4.1 Vaka Analiz Çalışmasında Yer Seçimi	51
4.2 Osmangazi'de Su Yönetimi Uygulamaları	54
4.3 Osmangazi İlçesinde Önerilen SDKT Çözümleri	57
4.3.1 Yunuseli Mahallesi	58
4.3.2 İstiklal, Adalet, Dikkaldırım, and Soğukkuyu Mahalleleri.....	60
4.4 Osmangazi İlçesinde Su Yönetim Önerileri	62
4.5 Tartışma.....	63
4.6 Paydaşların Katılımı	65
4.7 Kentsel Konforun Artırılması.....	66
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	68
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ.....	79



KISALTMALAR

BedZED : Beddington Zero Energy Development

DEG : Düşük Etkili Geliştirme

DEK : Düşük Etkili Kalkınma

SDKT : Suya Duyarlı Kentsel Tasarım



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Uygulama Sürecindeki Engeller ve Üretilen Çözümler.	21
Çizelge 2.2 : Yeni Kahire Projesi'nin performans göstergeleri.	22
Çizelge 2.3 : DEG'de yağmur suyu yönetiminin teknikleri.	34
Çizelge 4.1 : Osmangazi'de beklenen ekonomik kayıplar.	54
Çizelge 4.2 : Yunuseli'de Yağmur Suyu Yönetimi Sorunları ve SDKT Çözümleri.	59
Çizelge 4.3 : Dört Mahalledeki Yağmur Suyu Sorunları ve Çözümleri.	61
Çizelge 4.4 : Dört Mahalledeki Su Kıtlığı Sorunları ve Çözümleri.	62

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Suya Duyarlı Kentsel Tasarım konsepti.....	2
Şekil 1.2 : Araştırma metodolojisi üç aşamaya dayanmaktadır.....	5
Şekil 1.3 : İklim değişikliğinin sürdürülebilir kalkınmaya yönelik tehditleri.	6
Şekil 1.4 : Kuraklık kategorileri.....	8
Şekil 1.5 : 1 Haziran- 31 Ağustos 2022 Avrupa ve Afrika'daki toprak nem miktarı. .	9
Şekil 1.6 : Kriz düzeyindeki Ren Nehri.....	9
Şekil 1.7 : 2022 yazında Wuhan'daki Yangtze Nehri'nin derinliği.....	9
Şekil 1.8 : ABD'nin en büyük ikinci rezervuarı Powell Gölü en düşük seviyesinde.	10
Şekil 1.9 : Nilüfer Barajı, 2022 yılında tamamen kurudu.....	10
Şekil 1.10 : Taşkın Tipolojisi.....	11
Şekil 1.11 : İslamabad, Ağustos 2022.	12
Şekil 1.12 : Berlin, 2021.....	13
Şekil 1.13 : 2023'de Fransa'nın Pas de Calais bölgesinde meydana gelen seller.....	14
Şekil 1.14 : Taşkın etkileri, Bursa 2020.	14
Şekil 2.1 : Geçirgen yol ve yoğun bitkilendirilmiş havzalar, Londra.....	17
Şekil 2.2 : 2018'de Yeni Kahire'de şiddetli yağmur.	19
Şekil 2.3 : Kilitli karoların ve çakıl havuzunun uygulanması.	20
Şekil 2.4 : BedZED yağmur suyu toplama sistemi.....	24
Şekil 2.5 : BedZED su dağıtım sistemi.....	25
Şekil 2.6 : BedZED'deki Yaşam Makinesi.	25
Şekil 2.7 : BedZED gözenekli kaldırım.....	26
Şekil 2.8 : BedZED'deki 18 birimin su tasarruf miktarları.....	27
Şekil 2.9 : Düşük etkili geliştirme yaklaşımı.....	28
Şekil 2.10 : Geçirgen Zemin Örneği.....	28
Şekil 2.11 : Yağmur bahçeleri örneği.....	29
Şekil 2.12 : Londra'daki Bentinck Caddesi Yeşil Çatıları.	30
Şekil 2.13 : Washington'da bir bitkisel drenaj kanal örneği.	31
Şekil 2.14 : Marshall County'deki sulak alan, ABD.....	32
Şekil 2.15 : Akıllı Duş cihazları.	39
Şekil 2.16 : Benthemplein'deki su ovasının havadan görünümü.	41
Şekil 3.1 : 1940-2010 arasında doğal afet yüzdeleri.	43
Şekil 3.2 : Türkiye haritasında Bursa şehri.....	44
Şekil 3.3 : Bursa'daki ana akarsu kaynakları.	45
Şekil 3.4 : Kestel İlçesi, Dudaklı Mahallesi Su Baskını 2020.	48
Şekil 3.5 : Mudanya İlçesi, Trilye Mahallesi Su Baskını 2023.	48
Şekil 3.6 : Türkiye Kuraklık Haritası.	49
Şekil 3.7 : 2015- 2023 Doğancı ve Nilüfer Barajlarındaki su seviyeleri.....	50
Şekil 3.8 : Bursa'daki Nilüfer Barajı 2022.....	50
Şekil 4.1 : Bursa ilinde Osmangazi ilçesi konumu.	52
Şekil 4.2 : Osmangazi'de düşük ve orta derecede taşkın riski olan bölgeler.	53

Şekil 4.3 : Osmangazi'de içme suyu hatları montajı.....	54
Şekil 4.4 : Tarımsal kullanım için inşa edilen sulama hatları.....	55
Şekil 4.5 : Kanalizasyon ve Yağmursuyu Altyapı İnşaatı.	56
Şekil 4.6 : Osmangazi İlçesi Akçaköy Deresi Islahı İnşaatı Projesi.....	56
Şekil 4.7 : Uludağ Atıksu Arıtma Tesisi İnşaatı Projesi.....	57
Şekil 4.8 : Osmangazi'de Atıksu/Yağmursuyu Hatlarının Temizlenmesi.	57
Şekil 4.9 : Yunuseli Mahallesi, Osmangazi ilçesi.	58
Şekil 4.10 : Yunuseli Mahallesi'nde Önerilen SDKT Planı.....	60
Şekil 4.11 : İlgili mahallelerdeki bodrum katlı, dar geçirimsiz sokaklar.....	61
Şekil 4.12 : A) Mevcut Olan B) Önerilen.....	66



KENTSEL TASARIMDA SU DUYARLILIĞI: İKLİME BAĞLI SU KİTLİĞİNE DAYANIKLILIK OLUŞTURMANIN VE SÜRDÜRÜLEBİLİR SU YÖNETİM SİSTEMLERİNE ULAŞMANIN YOLU: BURSA ÖRNEĞİ

ÖZET

Hızlı kentleşme ve iklim değişikliği göz önüne alındığında, sel, kuraklık ve kirlilik nedeniyle daha da kötüleşen su kıtlığı, dünya çapında kentler için ciddi zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bursa da dahil olmak üzere Türkiye'deki şehirler su kıtlığından etkilenmektedir. Bursa'da son yıllarda sel felaketleri ve kuraklık olayları yaşanmıştır. Mevcut yağmur suyu yönetimi uygulamaları, özellikle ekolojik sistemler, yerleşimler ve altyapı ağları gibi hassas kentsel bileşenlerde, etkinlikleri ve çevresel etkileri açısından bariz bir şekilde yetersiz kalmaktadır. Suya Duyarlı Kentsel Tasarım (SDKT), dayanıklılığı artırmak ve sürdürülebilir su sistemlerini teşvik etmek için bir yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tez, hem eski hem de yeni mahallelerde ilçe ölçeğinde uygulanabilir SDKT çözümleri geliştirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, en iyi uygulamaları belirlemek için dünya çapında uygulanan Düşük Etkili Kalkınma (DEK) ve Yeşil Altyapı (YA) dahil olmak üzere farklı su yönetimi (SY) uygulamalarının etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Araştırma, Bursa'nın Osmangazi ilçesinde vaka analiz çalışmasına odaklanmaktadır. Osmangazi vaka analiz çalışmasında, önerilen Sürdürülebilir Kentsel Su Yönetimi (SKSY) yaklaşımı uygulanacak ve strateji bölge için özel bir öneriye dönüőtürülecektir.

Anahtar Kelimeler: İklim Değişikliği, Sürdürülebilir Su Yönetimi, Suya Duyarlı Kentsel Tasarım, Su Kıtlığı, Kentsel Dirençlilik.

WATER SENSITIVE URBAN DESIGN: THE PATH TO BUILDING RESILIENCE AGAINST CLIMATE-RELATED WATER SCARCITY AND ACHIEVING SUSTAINABLE WATER MANAGEMENT SYSTEMS: THE CASE OF BURSA

SUMMARY

Considering rapid urbanization and climate change, water scarcity, exacerbated by floods, droughts, and pollution, presents serious challenges to urban environments worldwide. Cities in Turkey, including Bursa, suffer from water scarcity. Recent years have seen recorded flood disasters and drought events in Bursa. Existing stormwater management practices have demonstrably fallen short in their effectiveness and environmental impact, particularly within sensitive urban components like ecological systems, settlements, and infrastructure networks. Water Sensitive Urban Design (WSUD) emerges as an approach for enhancing resilience and promoting sustainable water systems.

This thesis aims to develop WSUD solutions applicable at the district scale in both old and new neighbourhoods. It further intends to assess the effectiveness of different water management (WM) practices, including Low Impact Development (LID) and Green Infrastructure (GI), implemented around the world to identify the best practices. The research focuses on a case study area within Bursa, the Osmangazi district. Through the study of the Osmangazi district case, the proposed Sustainable Urban Water Management (SUWM) approach will be implemented, translating the strategy into a specific proposal for the area.

Keywords: Climate Change, Sustainable Water Management, Water Sensitive Urban Design, Water Scarcity, Urban Resilience.

1. GİRİŞ

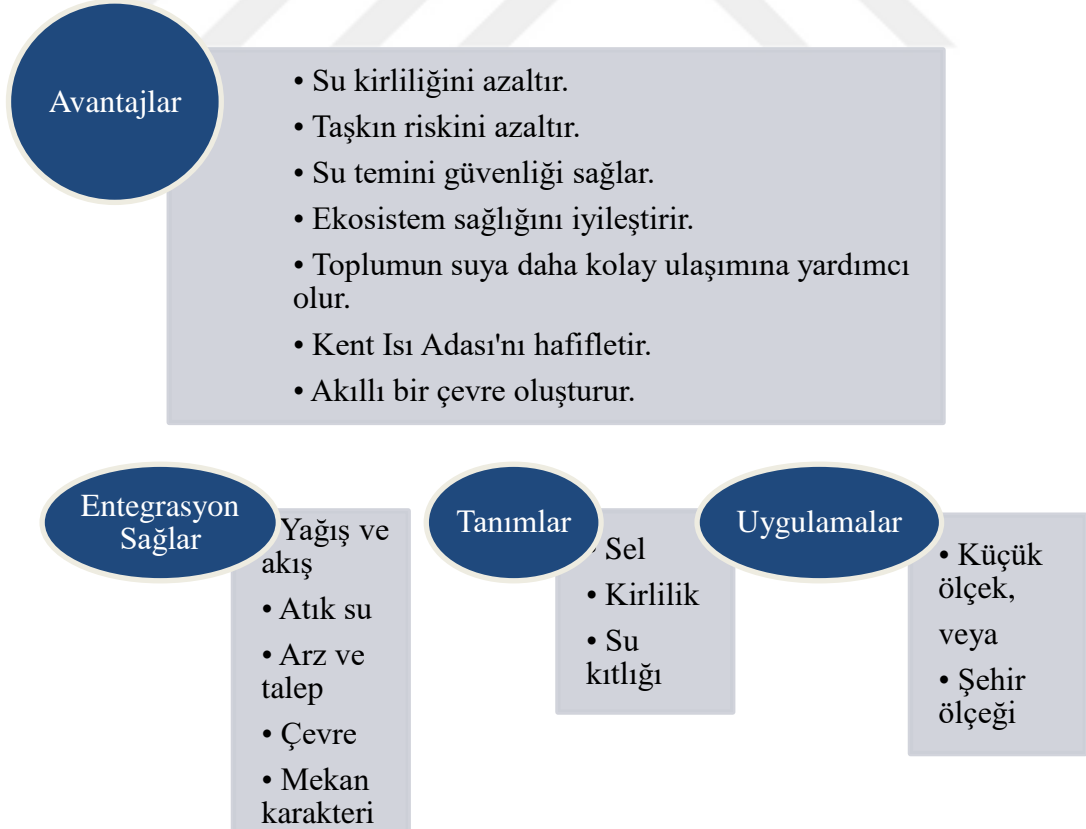
Bu tez, kentin artan su kıtlığı endişeleriyle başa çıkmayı amaçlayan Bursa kentinde, akıllı ve sürdürülebilir su yönetim uygulamaları yoluyla, suya duyarlı kentsel tasarım (SDKT) stratejilerinin uygulanmasını araştırmaktadır.

1.1 Çalışmanın Arka Planı

Su kıtlığı, belirli bir zaman dilimi boyunca belirli bir bölgede insan kullanımı için erişilebilir olan su kaynaklarının eksikliği ile ilgilidir (Liu ve diğ., 2017). Aynı zamanda, dünya genelinde artan sayıda insan nüfusunu etkileyen önemli bir endişe kaynağıdır. 2000'li yıllarda, şiddetli su kıtlığı koşulları küresel nüfusun üçte ikisini etkilemiş ve bu da yaklaşık 4 milyar insana eşdeğer durumdadır (Mekonnen ve Hoekstra, 2016). 1970-2010 yılları arasındaki dönemde, başta dünyanın büyük nehir havzalarının aşağı havza bölgeleri olmak üzere küresel nüfusun %60'ından fazlasını etkileyen su kıtlığında bir artışa tanık olunurken, nüfusun %10'undan daha azı için ise başka yerlerde iyileşmeler gözlemlenmiştir (Huang ve diğ., 2021; Veldkamp ve diğ., 2017). Yakın zamanda yapılan bir araştırma, küresel olarak en yüksek su stresine sahip havzaların %10'unun, 2012 ve 2016 yılları arasında küresel nüfusun %19' unu ve ek olarak mahsul ürünlerinin %35'ini etkilediği, dolayısı ile su kıtlığının geçim kaynakları ve tarım üzerinde orantısız etkilere işaret ettiğini göstermiştir (Qin, Mueller ve diğ., 2019). Beklenen iklim değişiklikleri, dünya çapında birçok ülkede, özellikle kentsel alanlarda, su kıtlığını artmasına zemin hazırlamaktadır (Greve ve diğ., 2018). Su kıtlığıyla mücadele eden global kentsel nüfusun oranının 2016'da üçte birden, 2050'ye kadar neredeyse yarıya yükselebileceği ve dünya çapında 91 büyük şehrin daha su kıtlığıyla karşı karşıya kalacağı tahmin edilmektedir (Liu ve diğ., 2022). Farklı motivasyonlara sahip birçok uluslararası kuruluş, su güvenliğini küresel bir öncelik olarak kabul etmiştir. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli, Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü, Birleşmiş Milletler, Dünya Su Konseyi ve Dünya Ekonomik Forumu'nun da içinde olduğu bu kuruluşlar, su güvenliğini sağlamanın önündeki

engelleri analiz etmek ve bu engellerin önüne geçmek için çeşitli stratejiler uygulamaktadır (McLennan ve diğ., 2022,2023; Zengin ve diğ., 2023).

Şekil 1.1 kentsel gelişimde sürdürülebilirliği artırmak için kentsel tasarım çerçevesinde, su temini, yağmur suyu, yeraltı suyu ve atık su yönetimini kapsayan kentsel su döngüsünün çeşitli aşamalarını içeren Suya Duyarlı Kentsel Tasarım (SDKT) kavramını ortaya koymaktadır (Brown ve diğ., 2009). Benzer metodolojiler, Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri (SKDS), En İyi Yönetim Uygulamaları (EYU), Düşük Etkili Kalkınma (DEK), Yeşil Altyapı (YA), Peyzaj Tabanlı Yağmur Suyu Yönetimi (PTY), Akıllı Su Gelişimi (ASG), Entegre Kentsel Su Yönetimi (EKSY) gibi ve çeşitli ülkelerde Aktif, Güzel, Temiz Sular (AKT Su) yaklaşımı olarak kabul edilmektedir (Buurman ve diğ., 2021). Suya Duyarlı Kentsel Tasarım sistemleri ve uygulamaları, su temini, su kalitesi, estetik çekicilik, biyolojik çeşitlilik ve kentsel ısının azaltılmasını kapsayan çok sayıda avantaj sağlamaktadır. Su tasarrufu avantajı gibi bazı avantajlar somut ve kolayca ölçülebilir. Bunun yanında diğer avantaj türleri soyuttur, çeşitli sosyal topluluklar, konumlar ve zaman dilimleri arasında dağılmıştır ve ölçülmesi zordur (Wong ve diğ., 2013).



Şekil 1.1 : Suya Duyarlı Kentsel Tasarım Konsepti.

Türkiye'de kişi başına düşen yıllık su miktarı 2798 m³tür. Ülkenin yenilenebilir su kaynakları, yüzey sularından yaklaşık 186 km³, yeraltı sularından 69 km³ olmak üzere yılda tahmini 227 km³tür. Ek olarak, yüzey ve yeraltı suyunun birleşiminden kaynaklanan ek 28 km³tür. Bununla birlikte, bu kaynakların sadece yarısının ekonomik ve teknik olarak işletilebilir olduğu tahmin edilmektedir. Mevcut 83,3 milyonluk ülke nüfusu göz önüne alındığında, kişi başına düşen yıllık su miktarı sadece 1400 m³tür. Birleşmiş Milletler'e göre "su stresi" yıllık su kaynağının kişi başına 1700 m³'ün altına düşmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu istatistik, Türkiye'nin gerçekten de su stresi yaşadığını göstermektedir. (FAO, 2014).

Bursa, hızla sanayileşen ve kentleşen bir şehirdir. Şehir, artan nüfus ve plansız kentleşme nedeniyle ekolojik dengenin bozulmasına yol açan hızlı bir endüstriyel büyümeye tanık olmaktadır (Ustun, 2011). Bunun yanında, Bursa kenti ulusal ortalamanın biraz üzerinde, yıllık 707,4 mm yağış alan bir kenttir (MGM, 2023). 14 Ekim 2010'da Bursa'da rekor düzeyde yağış yaşanmış ve şehir 24 saat içinde 114,8 mm yağmur almıştır (BUSKİ - Su Ve Şehir Dergisi, 2023), bu oran aylık toplam 388,4 mm yağış alan şehrin yıllık ortalama yağışının yarısını aşmaktadır. Bursa'da bulunan Nilüfer Çayı havzası 1540 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Havzanın önemli bir kısmı, %53,8'i, tarımsal faaliyetler için kullanılmaktadır. Ayrıca alanın %33,9'unu ormanlar, %5,0'ünü çayır ve %6,4'ünü yerleşim yerleri oluşturmaktadır (Karaer ve Küçükbolası 2006). Nilüfer Çayı, Bursalılara içme suyu sağlayarak ve kolları aracılığıyla çevredeki tarım alanlarına sulama suyu sağlayarak ikili bir amaca hizmet etmektedir. Diğer taraftan, Bursa'da sanayileşme ve kentleşme nedeniyle Nilüfer Çayı ve kolları, endüstriyel ve evsel atıklardan kaynaklanan organik ve inorganik atıklar tarafından kirletilmektedir (Güleryüz ve diğ. 2008, Kocaer ve Başkana 2004).

Bursa, su kıtlığı, eski su altyapısı ve su kaynaklarının iklim değişikliğine karşı savunmasızlığı dahil olmak üzere suyla ilgili sorunlarla karşı karşıyadır. Suyu Duyarlı Kentsel Tasarım stratejilerinin Bursa'ya entegre edilmesi, su kaynakları yönetimini geliştirme, mevcut altyapı üzerindeki baskıyı azaltma ve şehrin iklim değişikliklerine, sellere, atık su sorunlarına ve su kıtlığına karşı direncini destekleme yardımcı olacaktır.

1.2 Tezin Amacı

Çalışmanın amacı, Türkiye'de Bursa ili Osmangazi ilçesi için suya duyarlı kentsel tasarım çözümleri geliştirmektir. Bu amaç aşağıdaki araştırma soruları ile desteklenmektedir:

- Dünya genelinde ve Türkiye'de iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkileri nelerdir?
- Su yönetimindeki mevcut uygulamalar iklim değişikliğine dayanıklılık açısından ne kadar başarılı?
- Bursa ili Osmangazi ilçesinde uygulanacak en iyi uygulamalar nelerdir?

1.3 Metodoloji

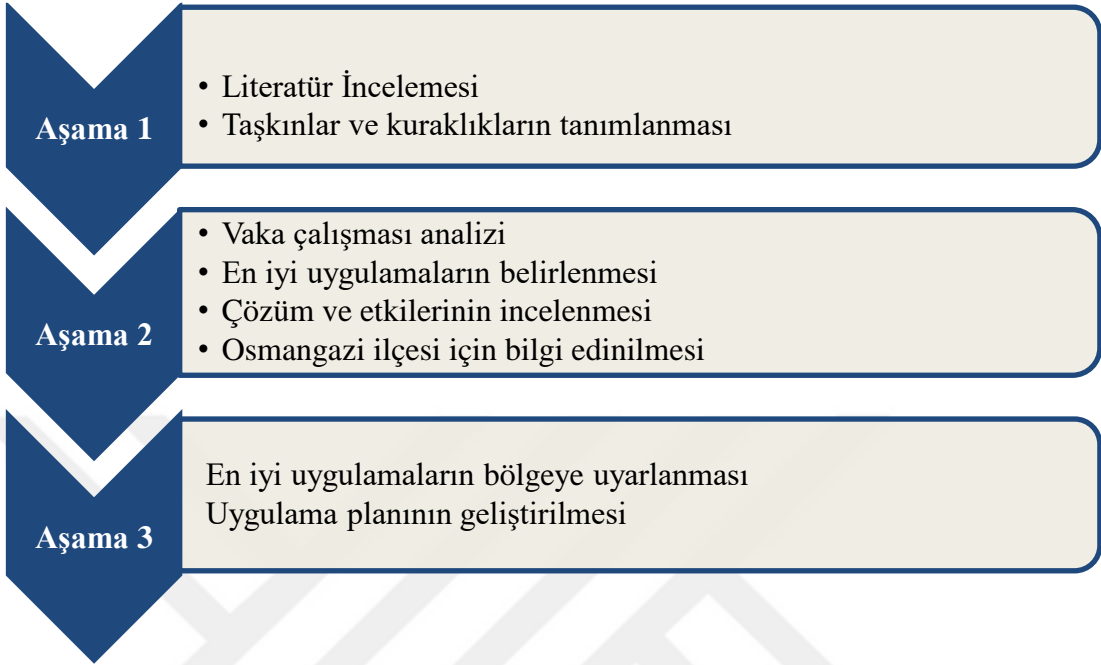
Araştırma metodolojisi üç aşamaya dayanmaktadır.

Bu çalışmanın ilk aşamasında, iklim değişikliğinin küresel çapta ve özellikle Türkiye'de su kaynakları üzerindeki etkilerini anlamak için kapsamlı bir literatür çalışması yapılmıştır. Bu aşama, su kıtlığına neden olan sel ve kuraklıkları tanımlamaktadır. Bu amaçla kitap bölümleri, makaleler, araştırma raporları ve elektronik dokümanlar gözden geçirilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, suya duyarlı kentsel tasarım çözümlerinin uygulandığı, en iyi uygulamaların belirlenmesine ve sonuçlarının analiz edilmesine odaklanan uluslararası vaka çalışmaları kapsamlı bir incelenmiştir. Vaka analizlerinde, çeşitli sebeplerle uygulanan çözümler incelenmekte ve çözümlerin su kıtlığının önüne geçmedeki ve iklim değişikliğinin etkilerini azaltmadaki etkinlikleri değerlendirilmektedir. Farklı lokasyonlarda uygulama sırasında karşılaşılan sonuçlar, çıkarılan dersler ve zorluklar incelenerek, Bursa şehrinin Osmangazi ilçesinde su kıtlığının ve iklim değişikliğinin etkilerini azaltabilecek özel çözümlerin geliştirilmesi hakkında değerli bilgiler edinmeyi amaçlamaktadır.

Üçüncü aşamada ise, uluslararası vaka çalışmalarından belirlenen en iyi uygulamaların Bursa ilinin Osmangazi ilçesine uygulanmasını kapsamaktadır. Bu aşama, çıkarılan derslerin yerel çevresel, sosyo-ekonomik ve kültürel koşullara uyarlanmasını ve seçilen suya duyarlı kentsel tasarım çözümleri için uygulama planının geliştirilmesini içermektedir. Ek olarak, önerilen çözümlerin uygunluğunu ve kabul edilmesini

sağlamak için topluluk katılımını ve paydaş işbirliğinin önemi vurgulanmaktadır. Bu süreçle, Osmangazi ilçesinde su kıtlığına dair çözümlerin etkin bir şekilde ele alınması ve iklim değişikliğine karşı dayanıklılığın artırılması amaçlanmaktadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 : Araştırma metodolojisi üç aşamaya dayanmaktadır.

1.4 İklim Değişikliği

İklim, belirli bir zaman ve konumdaki sıcaklık, yağış ve nem gibi ortalama hava koşullarını ifade eder (Karimi ve diğ., 2020). İklim değişikliği, bir bölgedeki iklim unsurlarının tipik iklim koşullarıyla karşılaştırıldığında uzun vadeli değişimini ifade etmektedir (Karimi ve diğ., 2018, 2023; Aven, 2020). Bir bölgenin sıcaklığı yükselir ya da düşerken, iklim değişikliği koşulları nedeniyle yıllık yağış miktarı artmakta veya azalmaktadır (Thamo ve diğ., 2017; Feng ve diğ., 2021). Yağışlardaki değişimler zaman içinde su kıtlığına neden olabilir. Şekil 1.3 çevre, sağlık, refah, gıda güvenliği, ekonomi, kaynaklar ve altyapı gibi birçok sektörde sürdürülebilir kalkınma için önemli riskler oluşturabildiğini göstermektedir (Özkan ve diğ., 2016; Descheemaeker ve ark., 2018; Wheeler ve diğ., 2021; Tilleard ve diğ., 2023). İklim değişikliği, insan faaliyetlerinin neden olduğu sera gazı emisyonlarındaki kayda değer artıştan kaynaklanmaktadır (Cadez ve diğ., 2016), bu da su kıtlığı önemli sonuçlara neden olmaktadır (Kalbali ve diğ., 2021; Stauffer, 2016). İklim değişikliğinin öngörülen sonuçları, belirli bölgelerdeki kuraklıkların sıklığı ve şiddetindeki artıştır (Witze,

2008; Messner ve diğ., 2011). Diğ er bir sonucu ise alanların çeşitli sel örnekleri yaşamasıdır (Tanzeeba ve diğ., 2012; Tariku ve diğ., 2018). Bazı durumlarda, belirli bir alan, karşı t iklim koşulları nedeniyle farklı dönemlerde hem sel hem de kuraklığa da maruz kalabilir (Haque ve diğ., 2016; Witze, 2008). Yağıştaki değı şiklikler, bir havzanın hidrolojik dö ngüsünde değı şikliklere neden olmakta ve potansiyel olarak su kaynaklarının erişilebilirliğinin azalmasına yol açmaktadır (Ahamad ve diğ., 2013; Wang ve diğ., 2014). Bunun yanında, artan sedimantasyon ve kirletici seviyeleri nedeniyle su kalitesinde de bir düşüş görö lmektedir (Wulf ve diğ., 2012). Ayrıca, iklim değı şikliğinin neden oldu ğ u sıcaklık ve evaporasyon artışların bir sonucu olarak temiz su talebinde ö ngörö len bir artış bulunmaktadır. (Caiado, 2010; Wang ve diğ., 2013).



Ş ekil 1.3 : İklim değı şikliğinin sürdürülebilir kalkınmaya yönelik tehditleri.

Su ve iklim değı şikliğı birbirine bağı ldır. Ş iddetli hava olayları su kıtlığına, daha fazla ö ngörö lemezliğ e, artan kirliliğ e veya bu etkilerin bir kombinasyonuna neden olmaktadır. Su dö ngüsündeki değı şimlerin bu sonuçları, sürdürülebilir kalkınma, biyolojik çeşitlilik ve insanların su ve sanıtasyona erişimi için bir tehdit oluşturmaktadır. Taşkınların meydana gelmesi ve deniz seviyelerinin yükselmesi, hem toprak hem de su kaynaklarını kirleten tuzlu su veya atık maddeleri ortaya çıkarmaktadır. Ek olarak, taşkın ve deniz seviyelerinin yükselmesi sulak alanlar, kuyular, tuvaletler ve atık su arıtma tesisleri gibi su ve sanıtasyon altyapısına zarar

verebilir. Buzulların ve karla kaplı alanların hızla yok olmasına sebep olabilir. Bu kaynaklardan gelen su, büyük nehir sistemlerinin çoğunu da ayakta tutar. Kriyosferdeki dalgalanmalar, ova bölgelerinde yaşayan önemli sayıda birey için tatlı su kaynaklarının düzenlenmesini etkileme potansiyeline sahiptir. Diğer bir doğal afet olan kuraklık ve orman yangınları ise toplulukları tedirgin etmekte, birçok bölgede sivil huzursuzluğa ve göçe neden olmaktadır. Bitki örtüsünün ve ağaç örtüsünün tahrip edilmesi, yeraltı suyu miktarını azaltırken toprak erozyonunu şiddetlendirir, böylece su kıtlığını ve gıda güvensizliğini arttırmaktadır. Ayrıca, et üretimi ve biyoyakıtlar için kullanılan mahsullerin yetiştirilmesi gibi yoğun sulama gerektiren tarım faaliyetleri de su kıtlığının artmasına neden olabilir (BM Su). İklim değişikliği kapsamında su kıtlığına dayanıklılık oluşturmak, iklim değişikliğinin neden olduğu veya etkilediği su kaynaklarındaki değişimlere karşı dirençli ve uyumlu bir su yönetimi ve kullanımı stratejisi geliştirmeyi ifade etmektedir.

1.5 Kuraklık

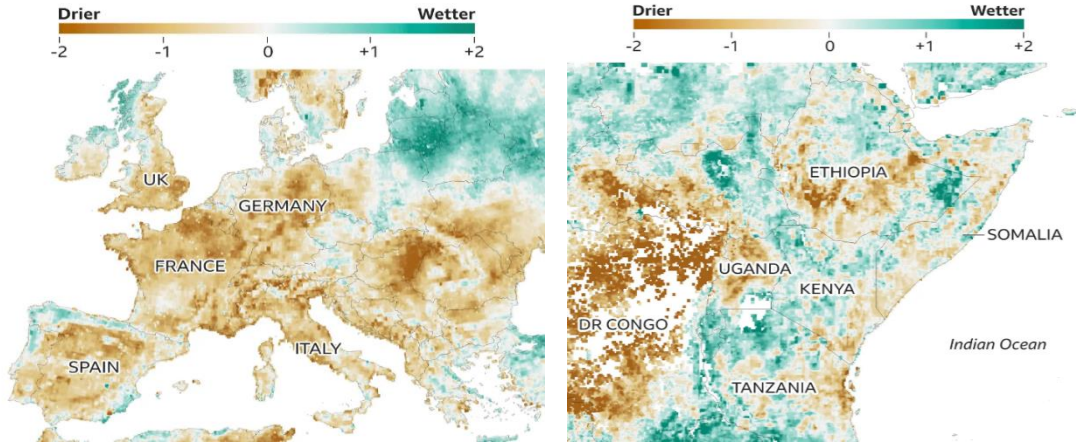
2000-2020 yılları arasında şiddetli kuraklık dünya çapında 79 şehir üzerinde önemli bir etkisi olmuştur (Zhang ve diğ., 2019). Su kıtlığı ile karşı karşıya olan küresel kentsel nüfusun (GUP) öngörülen tahmini rakamının 2016 yılında 933 milyon kişiden (GUP'un %33'ünü oluşturan) 2050'de yaklaşık 1.693-2.373 milyar kişiye (GUP'un %35-51'ine eşdeğer) yükselmesi beklenmektedir. Aynı zamanda, su kıtlığından etkilenecek büyük şehirlerin (nüfusu 1 milyonu aşan) sayısı 193'ten (%37) 292'ye (%56) yükselmesi beklenmekte ve mega kent olarak nitelendirilen 10-20 metropolü (nüfusu 10 milyonu aşan) kapsamı öngörülmektedir. Bununla birlikte, bu şehirlerin bu kademeli tehdide karşı tamamen savunmasız olmadığını belirtmek çok önemlidir; 276 büyük şehrin önemli bir çoğunluğu (%95'i) etkili çözümlerin bir kombinasyonunun uygulanması yoluyla su kıtlığına dayanıklılık oluşturma yeteneğine sahiptir (He ve diğ., 2021). Kuraklıkların daha sık, daha uzun süreler ve daha geniş coğrafi kapsamlarla meydana gelmesi beklenmektedir (Chiang ve diğ., 2021; Elkouk ve ark., 2022; IPCC, 2021; Zhang ve diğ., 2019). Meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyoekonomik olmak üzere kaynağını doğrudan etkileyen dört farklı kuraklık kategorisi bulunmaktadır (Şekil 1.4). İlk üç sınıflandırma fiziksel olaylarla ilgiliyken, sosyoekonomik katagorisi kuraklığın arz ve taleple ilgili olarak incelenmesini ve su kıtlığının sosyoekonomik sistemler üzerindeki etkisinin gözlemini kapsar. Bununla

birlikte, Machairas ve van de Ven, su ekolojisi, su kaynakları, su güvenliği, su ekonomisi ve su kültürü gibi çeşitli sınıflandırmalara giren suya bağımlı kentsel işlevlere dayalı olarak tanımlanan toprak kuraklığı, yeraltı ve yer üstü suyu kuraklığı ve su temini kuraklığını içeren kentsel kuraklıkla ilgili ek bir ayırım getirmiştir (Machairas ve van de Ven, 2022).



Şekil 1.4 : Kuraklık kategorileri.

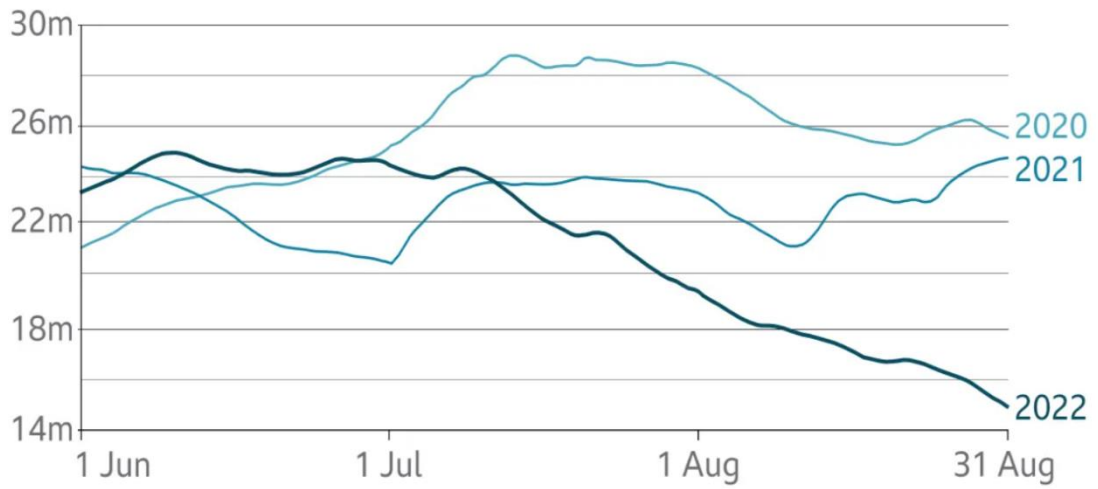
2022 yılında Avrupa'nın büyük bir bölümünde ve Afrika'da 2001'den 2016'ya kadar tanık olunan tipik iklim modellerinden saparak yağışlarda önemli bir azalma gözlemlenmiştir (Şekil 1.5, Şekil 1.6). Benzer şekilde (Şekil 1.7), Çin'in batı bölgelerinin yoğun su kıtlığı ile karşılaşmış ve çeşitli bölgelerde aşırı kuraklığın meydana gelmesine yol açtığı görülmektedir (BBC Raporu 2022).



Şekil 1.5 : 1 Haziran- 31 Ağustos 2022 Avrupa ve Afrika'daki toprak nem miktarı (Kaynak: Url-1).

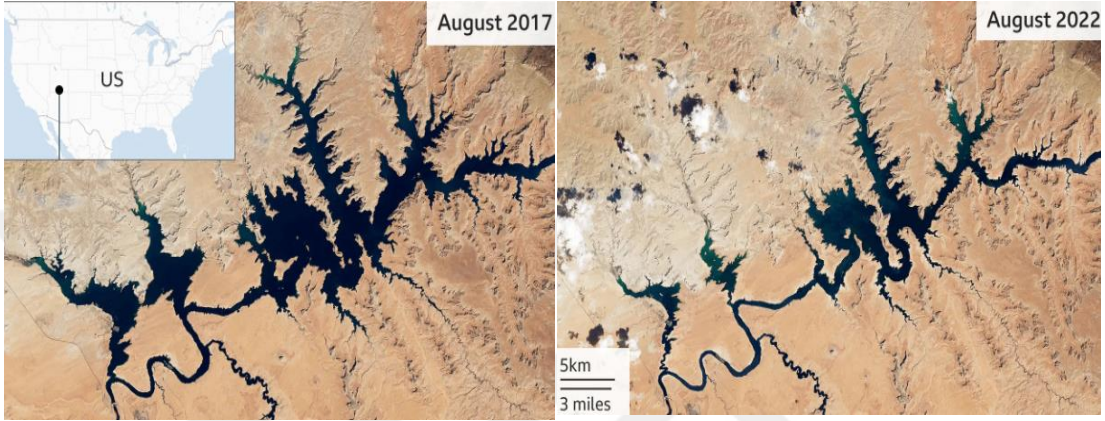


Şekil 1.6 : Kriz düzeyindeki Ren Nehri (Kaynak: Url-1).



Şekil 1.7 : 2022 yazında Wuhan'daki Yangtze Nehri'nin derinliği (Kaynak: Url-1).

Amerika Birleşik Devletleri'nin batısı, uzun süreli azalan yağış ve yüksek sıcaklıklarla karakterize edilen kuraklık koşulları açısından bir paradigma kayması geçirmiştir. Uzmanlara göre, son yirmi yılda, 1.200 yıl boyunca Amerika'nın batısında görülenleri geride bırakan benzersiz kuraklık seviyelerine tanık olunmuştur (Şekil 1.8). Ayrıca, kavurucu ve kurak koşulların birden fazla eyalette orman yangınlarını körüklemesi ve su rezervlerindeki düşüşü hızlandırması nedeniyle yaz mevsiminde daha da kötüleşmiştir (Williams ve diğ., 2022).



Şekil 1.8 : ABD'nin en büyük ikinci rezervuarı Powell Gölü en düşük seviyesinde (Kaynak: Url-1).

Türkiye'de yıllık 60 milyon metreküp su kapasitesine sahip olan ve Bursa'nın içme suyunun en önemli kısmını sağlayan Nilüfer Barajı tamamen kurumuştur (Şekil 1.9).



Şekil 1.9 : Nilüfer Barajı, 2022 yılında tamamen kurudu (Kaynak: Url-2).

1.6 Sel

Sel, bir akarsu veya su kütlelerinin olağan sınırlarını aşması veya tipik olarak su altında kalmayan alanlarda su birikmesi olarak tanımlanır. Taşkınlar, iklim sistemi içindeki çeşitli faaliyetlerle, özellikle yağış (yoğunluk, süre, zamanlama) ve sıcaklık modelleri (özellikle kar ve buzun erimesini etkileyen) ile ayırt edilmektedir (Field ve diğ., 2012).

Nehirlerde önceden var olan su seviyeleri, toprağın özellikleri ve durumu (geçirgenlik ve nem içeriği gibi) ve taşkına karşı savunma için yapısal önlemlerin varlığı (setler, barajlar ve rezervuarlar gibi) dahil olmak üzere bir havzanın mevcut koşulları da aynı derecede önem arz etmektedir (Bates ve diğ., 2008). Daha basit bir ifadeyle, toprak nemi zaten maksimum kapasitesindeyse, hafif yağışlar bile önemli sellere neden olabilir. Tersine, bir kuraklık dönemini takiben çok kuru toprak, yağışları hızla akışa dönüştürerek ani ve yoğun bir sele neden olabilir (Kundzewicz ve diğ., 2014).

Şekil 1.10, Konvektif sağanaklar ve ani taşkınlar, nehir ve göl taşkınları, sahil taşkınları ve soğuk mevsim taşkınları dahil olmak üzere çeşitli türleri kapsayan taşkınların sınıflandırmasını göstermektedir. (Kron ve diğ., 2019; Kron, 2005).



Şekil 1.10 : Taşkın Tipolojisi (Kaynak: Kron ve diğ., 2019; Kron, 2005).

Seller, tarım, ekonomi ve altyapı hasarları alanlarında dünya çapında yıllık 104 milyar ABD dolarına varan bir açığa neden olmaktadır (Blöschl ve diğ., 2019). Küresel anlamda, seller en yaygın felaket biçimidir ve 2020'de meydana gelen tüm afetlerin %62'sini seller oluşturmaktadır ve özellikle Asya, Güney Amerika ve Afrika'da sel felaketleri konusunda göze çarpan bir yoğunluk bulunmaktadır. Kentsel alanların gelişimi, sık sık meydana gelen aşırı yağışlarla birleştiğinde, yerel iklim modellerindeki ve hidrolojideki değişiklikler nedeniyle taşkınlara karşı kentlerde savunmasızlığı arttırmaktadır (IPCC, 2022). Taşkınları yönetmeyi amaçlayan yetersiz altyapı şartları ve müdahale stratejileri, kısa süreler içinde aşırı su birikimini daha da ciddileştirerek taşkın risklerini ve sosyo-ekonomik zararların meydana gelme

olasılığını artırmaktadır (Lin ve diğ., 2022). Beklenildiği üzere, taşkınlar öncelikle şiddetli yağışlar, etkili olmayan drenaj sistemleri ve kent içi geçirimsiz yüzeylerdeki artış nedeniyle kentsel bölgeleri önemli ölçüde etkilemektedir.

Asya'da, iki aylık bir süre boyunca, Pakistan'ın geniş çaplı bölgeleri, şimdiye kadar kaydedilen en şiddetli yağışla sular altında kalmıştır (Şekil 1.11). 1.100'den fazla kişi hayatını kaybetmiştir ve ilk hesaplamalar taşkınların sebep olduğu hasarın 10 milyar dolar olduğunu göstermektedir. 30 Ağustos'ta iklim işlerinden sorumlu bakan, ülkenin üçte birinin sular altında kaldığını belirterek, ülkedeki 160 bölgeden 72'sinin felaketten etkilendiğini açıklamıştır.



Şekil 1.11 : İslamabad, Ağustos 2022 (Kaynak: Url-3).

Avrupa'da, Erfstadt bölgesi yıkıcı sellerden ciddi derecede etkilenmiş ve taşkınlar Almanya'da 200'den fazla can kaybına neden olmuştur (Şekil 1.12). Ayrıca, Rheinland-Pfalz'ın Ahrweiler bölgesinde, yalnızca ölü sayısının en az 122 olduğu belirtilmiştir. Ulusal çapında, hala bulunamamış 160 kişi olduğu belirtilmiş ve bu kişilerin de ölmüş olabileceğine dair endişeler bulunmaktadır.



Şekil 1.12 : Berlin, 2021 (Kaynak: Url-4).

Fransa'nın Pas-de-Calais bölgesi hükümetinin en son raporuna göre, son yaşanan sel felaketi yaklaşık 189 semti etkilemiştir. Toplam 1.299 konut hasar görmüş, bazıları ciddi yıkım yaşamıştır. Sonuç olarak, itfaiye teşkilatları ve yerel makamlar, toplam 371 kişinin toplu olarak tahliye edilmesini gerekli görmüştür. Bölgeye arama kurtarma ekipleri ve itfaiyecilerle birlikte toplamda 700 görevli gönderilmiştir. 4 Ocak itibarıyla 600'e yakın kurtarma operasyonu yapılmıştır. Ayrıca, sel, başta Audomarois, Calaisis ve Boulonnais'de olmak üzere yaklaşık 500 hanenin elektrikten mahrum kalmasına neden olmuştur. Ek olarak, yaklaşık 2.100 kişi Rebreuve-Ranchicourt, Hermin, Caucourt ve Gauchin-Legal belediyelerinde temiz suya ulaşımında sıkıntılar yaşamıştır. Yetkililer, etkilenen bu bölgelerde şişelenmiş su dağıtarak su sıkıntısını çözmeye çalışmışlardır. Tahliye ve kurtarma çalışmalarının da gerçekleştirildiği Delettes, Quernes, Lumbres, Auchy-lès-Hesdin, Aire-sur-la-Lys, Arques ve Blendecques'te de benzer önlemler alınmıştır (Şekil 1.13). Türkiye'de de son yıllarda yoğun yağışlara bağlı olarak sel ve su baskını olaylarında artış görülmektedir (Şekil 1.14).



Şekil 1.13 : 2023'de Fransa'nın Pas de Calais bölgesinde meydana gelen seller (Kaynak: Url-5).



Şekil 1.14 : Taşkının etkileri, Bursa 2020 (Kaynak: Afad Raporu 2022).

1.7 Su Kirliliği

Dünya yüzeyinde en çok bulunan molekül olan su, kirlilik nedeniyle yenilenebilir bir kaynak olarak kabul edilemez. Su kalitesinin sınıflandırılması dört parametreye dayanmaktadır: fiziksel ve kimyasal parametreler, organik parametreler, inorganik

parametreler ve bakteriyolojik parametreler olmak üzere 4 adettir. Bu parametrelere göre su kalitesi I (iyi kalite) ile IV (kötü kalite) arasında kategorize edilmektedir (Uslu, 2020). Su kalitesini belirleyen temel fiziko-kimyasal parametreler arasında iletkenlik (mS/m), suyun aerobik, anaerobik veya anoksik durumunu gösteren oksijen indirgeme potansiyeli (ORP) ve ayrıca sıcaklık, renk, koku, tat, şeffaflık, bulanıklık ve pH gibi duyuşsal parametreler yer almaktadır. Su kirliliği atmosfer, toprak ve ana kaya gibi doğal kaynaklardan veya arıtılmamış atık su (endüstriyel, belediye) ve hava kirliliği gibi antropojenik nedenlerden de kaynaklanabilir. Geleneksel yağmur suyu drenaj sistemleri, önemli miktarda çöp, ölü örtü ve diğer atıklar gibi büyük kirleticileri toplama ve alıcı sulara taşıma yeteneğine sahiptir (Walsh ve diğ., 2004).



2. LİTERATÜR TARAMASI VE DÜNYA ÖRNEKLERİ

Bu bölüm, suya duyarlı kentsel tasarım çözümlerinin uygulanmasını vurgulayan uluslararası vaka çalışmalarının kapsamlı bir analizini sunmaktadır. Bu analizin ana odak noktası, en etkili uygulamaları belirlemek ve sonuçları değerlendirmektir. Bu küresel çalışmalardan elde edilen başarıları, engelleri ve edinilen bilgileri inceleyerek, Bursa şehrinin Osmangazi ilçesinin koşullarına özel olarak uyarlamak için kullanılabilir çözümler elde etmeyi amaçlamaktadır. Bu vaka çalışmalarının seçilme kriterleri, farklı coğrafi bölgelerden (Orta Doğu, Avrupa, Asya) çeşitli örnekler sunmak; SDKT’de yeşil altyapı, düşük etkili kalkınma ve kapsamlı su yönetimi gibi farklı stratejileri temsil etmek; mahalle ve topluluk düzeyinden (mikro ölçek) şehir ve kentsel ölçekli (makro ölçek) uygulamalara kadar çeşitli ölçeklerde uygulanabilirlik; ve araştırmanın ana temalarına (su kıtlığı, taşkın yönetimi ve sürdürülebilir su kullanımı) uygunluk şeklinde özetlenebilir.

2.1 Yeşil Altyapı

Yeşil altyapı kavramı, Avrupa Komisyonu tarafından hem kırsal hem de kentsel ortamlarda çok çeşitli ekosistem hizmetleri sağlamak ve biyolojik çeşitliliği korumak için kasıtlı olarak tasarlanmış ve etkin bir şekilde yönetilen, diğer çevresel özelliklerle birlikte, titizlikle planlanmış doğal ve yarı doğal alanlar ağı olarak tanımlanmaktadır (AÇA Raporu, 2017). Yeşil Altyapı, yalnızca yağmur suyu akışını düzenlemek ve yağmur suyunu yerinde arıtmakla kalmamakta, aynı zamanda çok sayıda ekonomik, sosyal ve ekolojik avantaj sunmaktadır. İklim değişikliğinin etkilerini hafifletmede, geleneksel altyapı sistemleri üzerindeki baskıyı azaltmada ve şehirlerin dayanıklılığını artırmada çok önemli bir unsur olarak kabul edilmektedir (EPA, 2016; Xia ve diğ., 2014). Bu doğaya dayalı stratejiler hem yeni gelişmelere hem de iyileştirme projelerine rahatlıkla uygulanabilir (EPA, 2016). Ayrıca, küçük ölçekli kaynak kontrol uygulamalarından büyük ölçekli filtreleme sistemlerine ve havza seviyelerine kadar çeşitli ölçeklerde uygulanabilirler (U.S. EPA, 2014). Aşırı yağış alan ve ani sellerle karakterize edilen kurak iklimlerde, yeşil altyapı uygulamaları yağmur suyu yönetimi için etkili ve sürdürülebilir çözümler sunarken, aynı zamanda kentsel yeşil alanlar

yaratabilir ve su kaynaklarını koruyabilmektedir (Hassan ve diğ., 2022). Tipik olarak, bu çözümler aşağıdaki uygulamalardan bir veya daha fazlasını içerebilir: yağmur bahçeleri, geçirgen yol yüzeyi ve biyohendekler gibi çeşitli unsurlar kullanılarak akışın yerinde toplanması, filtrasyonu, yavaşlatılması, depolanması, taşınması ve artırılması (Sharma ve diğ., 2013). Şekil 2.1, yağmur suyu yönetimindeki yeşil altyapı stratejilerinin bir örneğini göstermektedir.



Şekil 2.1 : Geçirgen yol ve yoğun bitkilendirilmiş havzalar, Londra (Kaynak: Url-6).

2.1.1 Yeni Kahire'deki pilot proje

Son yıllarda, Kahire'nin güneydoğusundaki Yeni Kahire Şehri önemli miktarda yoğun ani sel felaketi yaşamıştır (World ve diğ., 2023). 2018'de Yeni Kahire'de yaşanan şiddetli yağışlar buna örnektir (Şekil 2.2). Bu bölgede yıllık ortalama yağış miktarı yaklaşık olarak 13 mm olup, Kasım ile Nisan ayları arasında bir günde 25 mm olarak en yüksek yağış kaydedilmiştir. Son dönemdeki iklim değişikliklerinin, Yeni Kahire'de gözlemlenen yağış modelleri üzerinde bir etkisi olmuş, yoğun yağışlar 2000 ile 2020 yılları arasında %17 artmıştır (Hassan ve diğ., 2022). Mart 2020'de aylık yağış miktarı 56,5 mm'ye ulaşmıştır ve bu, 2018'de 40 mm olan bir yağış miktarı ile karşılaştırıldığında, yaklaşık 7 saatlik bir fırtına süresiyle. Bu yoğun yağışların

sonucunda, Yeni Kahire'deki yollar ve bodrumlar tamamen sular altında kalmıştır (Azouz ve diğ., 2023). Yağışın yaklaşık yarısı bina çatıları tarafından tutulurken, özellikle özel mülklerde yağmur suyunu toprağa etkili bir şekilde sızdırmak zorlaşmaktadır. Bu durum, hükümeti yağış sırasında en çok sel riski taşıyan bölgelerde alternatif bir yaklaşımın uygulanmasını önceliklendirmeye yönlendirmiştir (Azouz ve diğ., 2023). Önerilen strateji, çoklu savunma yeşil altyapı hatlarının kullanımını içerir ve iki tür bahçeden oluşmaktadır: derin bahçeler ve sığ veya yüzey bahçeleri. Derin bahçelerin toplam alanı 2400 metrekare olup, 3 metre derinliğe, 4000 metreküplük bir yüzey depolama kapasitesine, saatte 600 ila 1200 metreküp arasında değişen bir filtrasyon oranına ve 6000 metreküplük derin depolama kapasitesine sahiptir ve tek bir günde 10.000 metreküpü boşaltabilir. İkinci savunma hattı, 50.000 metreküp su kapasiteli geniş bir bahçeyi ve 20.000 metrekarelik bir alanı kaplayan, 1 metre derinliğinde bir sokak orta refüjünü içerir. Bu refüjün yüzey depolama kapasitesi 7000 metreküp, sızma oranı saatte 2000-10000 metreküp arasında değişir ve 20.000 metreküplük derin depolama kapasitesine sahiptir ve tek bir günde 27.000 metreküp boşaltabilir. İlk Savunma Hattının kapasitesi başlangıçta 168.000 metreküp olarak planlanmıştır, bu da 13/3/2020'deki sel sularının yalnızca %66'sını karşılamaktadır. Ancak Dördüncü Savunma Hattı tamamlandığında, %100 kapasiteye ulaşması beklenmektedir.



Şekil 2.2 : 2018'de Yeni Kahire'de şiddetli yağmur (Kaynak: Url-7).

İkinci Savunma Hattı ise, 77.000 metreküp kapasiteyle tasarlanmıştır bu da 13/3/2020'de Kuzey Teseen'in kuzey tarafındaki 45.000 metreküp miktarını işlemek için yeterlidir (El-zafarany, 2018). Bahçelerin ve refüjlerin sel sularını tahliye etmedeki etkinliği ve doğruluğu kanıtlanmış ve doğrulanmıştır; zira yağışlı dönemlerde tamamen sel sularını uzaklaştırma, ana yollar üzerindeki su baskınları nedeniyle trafik sıkışıklığını önleme ve konutlara ve mülklere zarar veren sel sularını engelleme yeteneklerini sergilemişlerdir. Oruba Caddesi refüjü çeşitli pratik testlere tabi tutulmuş ve atık su sistemlerindeki bir kaza ve iki yağış olayı sırasında trafik akışını başarıyla korumuştur. Filtre sistemi suyu toplamış ve üç saat içinde boşaltmıştır. Ancak sızdırma kuyuları, az su akışı olan bölgeler için daha uygun olup, enjeksiyon boruları ve pompalar kullanılarak kapasiteleri artırılabilir. Su sızdırma hızının artırılması ve zamanla ara taşların arasındaki boşlukların ince parçacıklarla tıkanmasının önlenmesi, yolun kenarında çakıl kaplı bir yüzeye suyun boşaltılmasıyla sağlanır (Şekil 2.3). Bununla birlikte, sızdırma kuyuları, inşaat maliyetlerinin su biriktirme ve boşaltma yetenekleriyle kıyaslandığında aşırı derecede yüksek olması

nedeniyle artık kabul edilmemektedir (El-zafarany, 2018). Uygulama sürecinde, pratik bağlamda ortaya çıkan zorluklara yanıt olarak çeşitli düzenlemeler yapılmıştır.

Anket sonuçlarının analizi ve pilot proje bulguları, yeşil altyapının (YA) Mısır'da sel sularını yönetme konusundaki etkinliği konusunda uzmanlar arasında oy birliği sağladığını göstermektedir. Veriler, yeşil altyapıyı teşvik etmek için pilot projelere destek veren uzmanların önemli bir çoğunluğunun, %31.6'sının kesinlikle katıldığını ve %60.5'inin katıldığını göstermektedir. Anket katılımcılarına göre, YA stratejilerinin benimsenmesi, sundukları çevresel faydalar ve sel hasarının yol açtığı maliyetler düşünüldüğünde, teşvik edilmelidir. Pilot proje ayrıca, yeşil altyapıyı uygularken değişen yağış modelleri, sosyal faydalar ve geleneksel sistemlerin sınırlamaları gibi faktörleri göz önünde bulundurmanın önemini vurgulamıştır. Özellikle, uzmanlar, yeşil altyapının başarılı bir şekilde uygulanmasını kolaylaştırmada bilgili ve deneyimli planlamacıların kritik rolünü vurgulamışlardır. Bununla birlikte, en büyük engellerin politik ve düzenleyici faktörler, yasalar, kodlar ve yönetmelikler olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bölgede bu alanda büyük bilgi ve uzmanlık ihtiyacı da bulunmaktadır (Azouz ve diğ., 2023). Şekil 2.3 Mısır'da sel suları yönetimi hakkındaki uygulamaları göstermektedir.



Şekil 2.3 : Kilitli karoların ve çakıl havuzunun uygulanması (El-zafarany, 2018).

Çizelge 2.1'de görüldüğü üzere gerçek bağlamda ortaya çıkan zorluklara yanıt olarak uygulama süreci boyunca çeşitli düzenlemeler yapılmıştır (Azouz ve diğ., 2023).

Çizelge 2.1 : Uygulama Sürecindeki Engeller ve Üretilen Çözümler.

Engel	Çözüm
Mevcut elektrik hatlarında veya kablolarda bozulma	Çözümlerin mevcut altyapı ağlarına uyarlanması ve mevcut çukur alanların modifikasyonu
Ev sahiplerinin yol üzerindeki tümseklere karşı muhalefeti	Proje hedeflerini ev sahiplerine açıklamak ve olumlu sonuçları vurgulamak
Tümsek yüksekliğinin fazla olması	Tümsekleri hidrolojik olarak kabul edilebilir minimum yüksekliğe düşürmek ve gerektiğinde iki ardışık tümsek kullanmak
Asfalt yaya yolunun azaltılmış gözenekliliği	Su sızma oranını artırmak için suyu yol boyunca çakılla kaplı bir yüzeye yönlendirmek
Açık bahçe seviyelerinde atık birikimi	Düzenli bakım ve temizlik çalışmaları
İstinat duvarlarının yüksek maliyeti	Giderleri azaltmak için alternatif önlemlerin uygulanması

Çizelge 2.2’de görüldüğü üzere Yeni Kahire Pilot projesi, Yeşil Altyapı (YA) projelerinin en önemli ölçütlerinin kaynak verimliliği, altyapı sistemi performansı ve hidrolojik performans olduğunu göstermektedir. Pilot proje değerlendirmesi, özellikle hidrolojik performansa ve sistem verimliliğine önem verirken, kaynak verimliliği de tasarım ve uygulama sürecinin her aşamasında sürekli olarak dikkate alınmıştır.

Çizelge 2.2 : Yeni Kahire Projesi'nin performans göstergeleri.

Performans göstergeleri	Yeni Kahire (Anket sonuçları)	%
Doğal Çevre	Hidrolojik performans	44.70
	Topraktaki iyileştirme	28.90
	Isı adası etkisinin azaltılması	31.60
	Biyçeşitliliğin artırılması	18.40
Altyapısal Çevre	Kaynak verimliliği	60.50
	Altyapı Performansı (Gelişmiş Kanalizasyon Sistemi Performansı- Trafik)	55.30
	Yeşil alanlar (tedarik-erişim-alan kalitesi)	31.60
Ekonomik	Maliyeti azaltma	52.60
	Mülklerin ekonomik değerinde artış	
Sosyal	Sosyal faydalar	13.20

2.2 Bedzed, Londra, Birleşik Krallık: Sürdürülebilir Bir Su Temini Örneği

Beddington Zero Energy Development (BedZED), Londra'nın güneyinde yer alan sürdürülebilir bir konut projesidir ve BioRegional Development Group ve Bill Dunster Architects tarafından tasarlanmıştır. Bu proje, bölgede geçirimsiz yüzeylerden kaynaklanan sel ve kapasitesi yetersiz drenaj sistemleri ile yağış ve nüfus artışı arasındaki dengesizlik nedeniyle meydana gelen su stresi gibi iki yerel su sorununu ele almaya yöneliktir. Bu sorunlara çözüm bulabilmek için, Arup, Bill Dunster ve BioRegional, BedZED projesi ile entegre bir su yönetimi stratejisi geliştirmiştir (Şekil 2.4 ve Şekil 2.5).

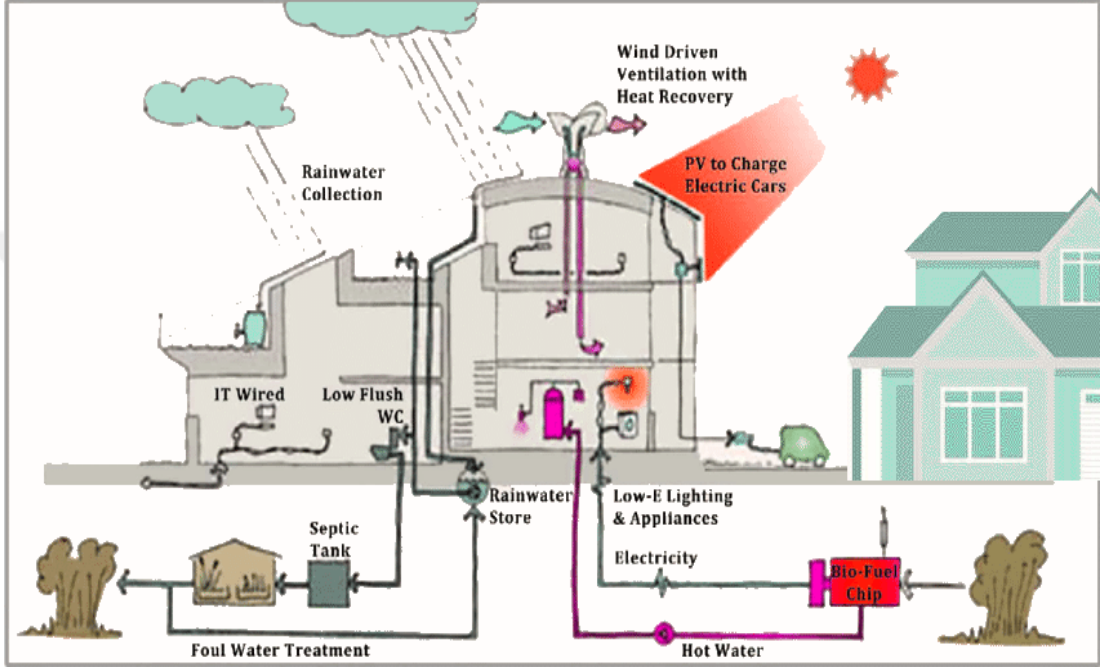
Başlangıçta, BedZED İngiltere'nin Sürdürülebilir Evler için olan Kodu'nun (DCLG, 2006) 6. Seviyesini elde etmeyi hedeflemiştir, bu da alan için ortalama içme suyu talebinin %50 azaltılmasını ve günlük 80 litrenin altına indirilmesini gerektirmektedir (Twinn, 2003). Bu hedef, su tüketiminin azaltılması, yağmur suyu toplama, atık suyun bir kaynak olarak işlenmesi ve yüzey suyu arıtımı yoluyla gerçekleştirilmiştir.

2.2.1 Su tüketiminin azaltılması (su tasarrufu sağlayan armatürler)

- ZED evlerindeki düşük akımlı tuvaletler, su tüketimini önemli ölçüde azalttığı için önemli bir özelliktir. Tipik tuvaletlerin her biri için 7.5 ila 9 litre su kullanılmasına karşılık, ZED evlerinde sadece 2 ve 4 litre su kullanan çift akımlı tuvaletler bulunmaktadır. Bu basit değişiklik, kişi başına yılda yaklaşık 11.000 litre su tasarrufu sağlamaktadır. Çevresel faydalarının yanı sıra, bu, kişi başına yılda 10.56 £ tasarruf sağlamaktadır.
- İngiltere'de evlerdeki su tüketiminin önemli bir kısmını, duş alma oluşturmaktadır. ZED evlerinde, duş armatürleri modern, yüksek kaliteli bir duş deneyimi sunmak için dikkatle seçilmiştir. Bu stratejik seçim, fazla su tüketimine neden olan geleneksel duşların kullanımını azaltmada yardımcı olmaktadır. Bu tarz duşlardan kaçınılarak, ZED evleri kişi başına yılda yaklaşık 11.000 litre su tasarrufu sağlanmakta ve yılda ortalama 11.20 £ tasarruf edilebilmektedir. (Günlük ortalama 5 dakika duş süresi olarak düşünüldüğünde)
- ZED evlerindeki sprej musluklarda kendinden ayarlı akış düzenleyicilerin uygulanması, su tasarrufu sağlayan başka etkili bir önlemdir. Bu akış düzenleyiciler suyun basıncı ve akış hızını azaltarak israfi önlemektedir. Sonuç olarak, su tüketimi yaklaşık üçte bir oranında azalmakta ve yılda yaklaşık 9.500 litre su tasarrufu sağlanmaktadır. Bu, su faturasında yılda ortalama 9.68 £ tasarrufa eşdeğerdir. (kişi başına günde ortalama 2 dakika tam akış üzerinden hesaplandığı düşünüldüğünde)
- Çamaşır makineleri evlerdeki su kullanımının önemli bir kısmını oluşturur ve toplam su tüketiminin %21'ini oluşturmaktadır. BedZED evlerinde, su tasarrufu sağlayan çamaşır makineleri kurulmuştur. Bu makineler, tipik İngiliz modellerinin her birinde 100 litre su kullanan bir çevrimin aksine, sadece 39 litre su kullanmaktadır. Piyasadaki en çok satan A sınıfı modelin bile her bir çevrimde 58 litre su kullandığı bir ortamda, bu su israfını önleyen çamaşır makineleri sayesinde ortalama bir BedZED evi yılda 16.700 litre su tasarruf etmekte, bu da su faturalarında yılda yaklaşık 17 £ tasarruf edilmesine denk gelir. Bu hesaplama, her ev için yılda ortalama 274 yıkama sayısına dayanmaktadır (Lazarus, 2003).

2.2.2 Yağmur suyu toplama

Çatılardan toplanan yağmur suyu, her binanın temelinin yanına yerleştirilen çapı 1.2 metrelik depolama tanklarına toplanır ve depolanır. Tanka girmeden önce, yağmur suyu, iniş borusunda filtrasyondan geçirilir. Daha sonra, suya batırılabilir pompalar kullanılarak tanktan çıkarılır ve sifonlu tuvaletlerde, toprak ve bahçeleri sulama gibi amaçlar için kullanılabilir (Lazarus, 2003)



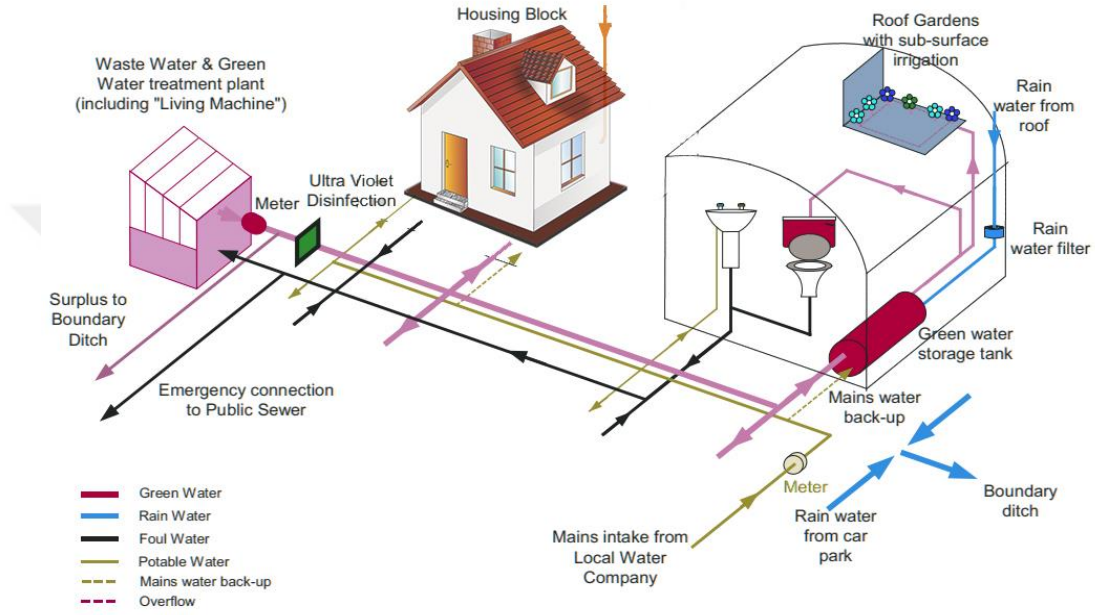
Şekil 2.4 : BedZED yağmur suyu toplama sistemi (Kaynak: Zhu ve diğ., 2015).

2.2.3 Atık suyun kaynak olarak değerlendirilmesi

BedZED'deki ilk tercih, "Yaşayan Makine" olarak adlandırılan bir sera içinde bulunan ve Living Technologies Ltd tarafından geliştirilen "turboreedbed" idi (Şekil 2.6). Ancak, Metropolitan Water ve Albion Water 'ın katılımıyla, Yaşayan Makine tasarımına değişiklikler ve düzenlemeler yapılmıştır. Sonuç olarak ortaya çıkan Yeşil Su Arıtma Tesisi (YSAT), Living Technologies tarafından sağlanan belirli özellikleri içermektedir. Bu sistem, atık su arıtımında geleneksel ve çağdaş yaklaşımları bir araya getiren yenilikçi bir kombinasyondur. Albion Water tarafından kurulan geniş havalandırılmalı aktif çamur tesisi ile birleştirilmiş olan sistem, iki yer altı septik tankını içerir ve bunları biyolojik olarak işleyen bir dizi arıtma tankı takip etmektedir.

Bu arıtma tanklarının içinde, bitkiler sal üzerinde yüzer ve arıtılmış sudan besin maddelerini alır. Arıtılmış su, yeşil su depolama tanklarında yağmur suyunu takviye

etmek için kullanılır; bu su sifonlu tuvaletlerde ve sulama yapmak gibi amaçlara hizmet eder. Kullanılmadan önce dezenfekte etmek için UV ışınlarına maruz bırakılır ve soluk yeşil renkli bir sebze boyası ile renklendirilir. Fazla su, alanın sınırında bulunan peyzajlı bir su unsuruna boşaltılır. Çevre Ajansı tarafından belirlenen şartlara göre, bu doğal su kaynağına deşarj edilen su UV işleme tabi tutulmaz.



Şekil 2.5 : BedZED su dağıtım sistemi (Kaynak: Lazarus, 2003).



Şekil 2.6 : BedZED'deki Yaşam Makinesi (Kaynak: Url-8).

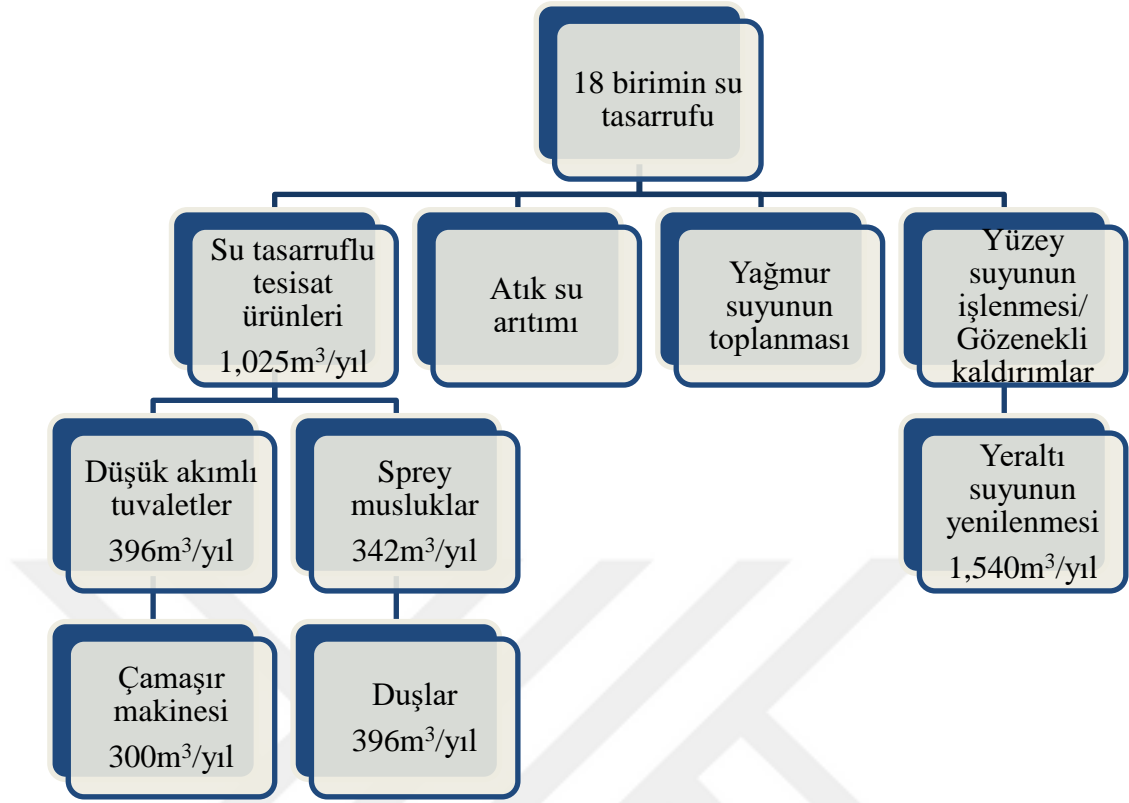
2.2.4 Yüzey suyunun işlenmesi

Yüzey suyu akışını yönetmenin geleneksel yöntemi, suyu ana kanalizasyon sistemine girmeden önce borular ve yeraltı depolama tankları aracılığıyla yönlendirmeyi içerir. Ancak, bu yaklaşım sadece doğal su yollarından değerli suyu uzaklaştırmakla kalmaz, aynı zamanda maliyet kayıplarına da yol açar. BedZED'de, bu sorunu ele almak için farklı bir strateji uygulanmıştır (Şekil 2.7). Özellikle, geniş yollarda ve park alanlarında mıcır üzerine geçirgen kaldırım kullanılmıştır. Bu, suyun bu katmanlardan geçmesine ve yollardan benzin veya yağ gibi kirleticilerin uzaklaştırılması için filtrelenmesine izin verir. Daha sonra filtrelenmiş su, atık kanalı yoluyla yeraltı suyuna geri döndürülür. Geçirgen kaldırımın alt tabakası, agregat parçaları arasındaki boşlukların, 100 yılda bir meydana gelen önemli bir fırtına olayı sırasında su depolamak için yeterli kapasiteye sahip olduğundan emin olacak şekilde dikkatlice tasarlanmıştır.



Şekil 2.7 : BedZED gözenekli kaldırım (Kaynak: Lazarus, 2003).

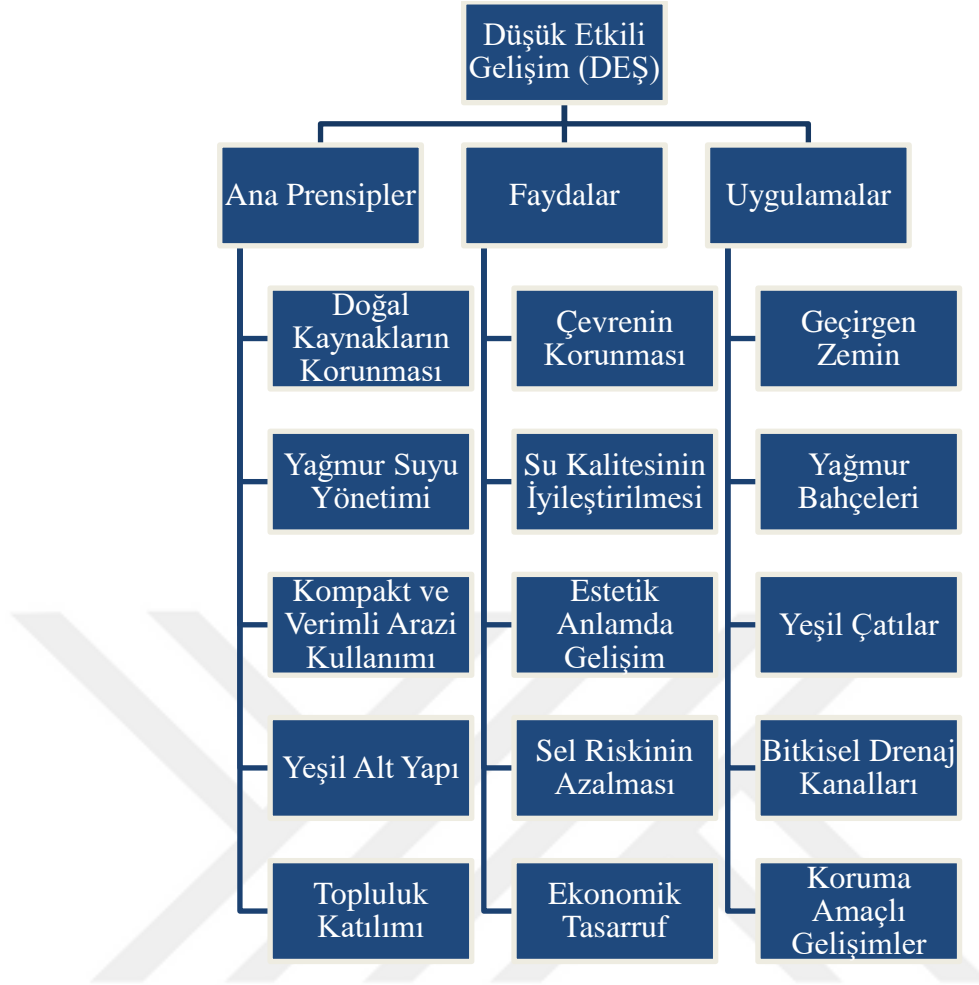
BEDZED projesinde sürdürülebilir uygulamaların sonuçları ve su tüketiminde elde edilen miktarsal tasarruflar vurgulanmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 : BedZED'deki 18 birimin su tasarruf miktarları (Kaynak: Lazarus, 2003).

2.3 Düşük Etkili Geliştirme (DEG) Stratejisi

Düşük Etkili Geliştirme, yaygın olarak DEŞ olarak bilinen, kentsel planlama ve arazi geliştirme alanlarında yenilikçi ve çevreye duyarlı bir yöntemdir (Şekil 2.9). Temel amacı, özellikle kentsel ve banliyö bölgelerinde insan faaliyetlerinin ekolojik etkilerini azaltmaktır. DEŞ'nin temel hedefi, yağmur suyunu etkili bir şekilde yönetmek ve kentleşmeyle ortaya çıkan olumsuz ekolojik sonuçları hafifletmektir. DEŞ, bunu doğal hidrolojik döngüyü taklit ederek, su kalitesini artırarak ve doğal kaynakların korunmasını savunarak gerçekleştirir.



Şekil 2.9 : Düşük etkili geliştirme yaklaşımı.

- Geçirgen Zemin: Geçirgen zemin, suyun içinden geçmesine izin verir, yüzey akışını azaltır ve yeraltı suyunun beslenmesini kolaylaştırır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 : Geçirgen Zemin Örneği (Kaynak: Url-9).

- Yağmur Bahçeleri: Yağmur bahçeleri, yağmur suyunu toplayan, arıtan ve toprağa yavaşça sızmasını sağlayan yerli bitkilerle dolu sığ çukurlardır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 : Yağmur bahçeleri örneği (Kaynak: Url-10).

- Yeşil Çatılar: Yeşil çatılar bitki örtüsü ile kaplıdır, ısı adası etkisini azaltır, yağmur suyunu emer ve binalar için yalıtım sağlar (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 : Londra'daki Bentinck Caddesi Yeşil Çatıları (Kaynak: Url-11).

- Bitkisel Drenaj Kanalları: Yağmur suyu akışını filtrelemeye ve yönetmeye yardımcı olan, su kalitesini iyileştiren bitki örtüsü kanallarıdır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 : Washington’da bir bitkisel drenaj kanal örneği (Kaynak: Url-12).

- **Koruma Amaçlı Gelişmeler:** Bu gelişmeler açık alanları, sulak alanları ve kritik habitatları korurken, gelişmeyi çevresel etkiyi en aza indirecek şekilde kümelemektedir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 : Marshall County'deki sulak alan, ABD (Kaynak: Url-13).

Son zamanlarda Wuhan, Guangzhou ve Beijing şehirlerinde sel ve kuraklık olaylarında artış yaşanmaktadır (Sheng & Nawari, 2016; Zhang ve diğ., 2016). Çin hükümeti, 2012 yılında bir şehrin yağmur suyunu emerek, tutarak, bırakarak ve filtreleyerek bir sünger gibi işlev görmesini sağlayan "sünger şehir" kavramını ortaya koyarak bu sorunları ele almak için önemli adımlar atmıştır. Bu yaklaşım, gerektiğinde suyun depolanmasına ve kullanılmasına izin vermektedir (Yang ve diğ., & You, 2015). Hebei Eyaleti, 11 il düzeyindeki şehirden oluşmakta ve 199.000 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. 2016 yılı itibariyle nüfusu 74,7 milyon kişidir. Hebei'nin iklimi ılıman, karasal ve musonludur, ortalama yıllık yağış miktarı yaklaşık 500 mm ve ortalama yıllık sıcaklığı 10 °C'dir. Hebei Eyaleti, tüm yeni ve devam eden projelerin sünger şehirler için belirlenen standartlara uyması gereken kendi "sünger şehir" programının geliştirilmesine başlamıştır. Qian'an İlçesi, 2015 yılında ulusal sünger şehir projesi için pilot bölge olarak seçilmiştir. Öte yandan, Guangdong Eyaleti'nin nüfusu 108 milyon olup 179.800 km²'lik bir alanı kaplamaktadır. Bu il, 23 ilçe düzeyindeki şehir, 40 ilçe ve özerk ilçeyi içeren 21 il düzeyindeki şehre ayrılmaktadır. Guangdong Eyaleti'nin

iklimi yarı tropikal ve musonludur, ortalama yıllık yağış miktarı yaklaşık 1777 mm ve ortalama yıllık sıcaklığı 22 °C'dir. Hem Zhuhai hem de Shenzhen, 2016 yılında ulusal sünger şehir pilot bölgeleri olarak seçilmiştir. Bu iki ildeki 230 şehir, Düşük Etkili Geliştirme (DEG) stratejisine göre beş farklı türe ayrılmıştır. Buna göre, her şehir tipi için kentsel çevrelerinin özel ihtiyaç ve zorluklarını etkili bir şekilde karşılamak üzere yağmur suyu yönetimi stratejileri önerilmiştir (Yuan ve diğ., 2018).

Hebei'de 124 şehrin sel riskinin düşük, 22 şehrin ise sel riskinin orta düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Guangdong'da ise tüm şehirlerin yüksek sel riski taşıdığı görülmüştür. Ek olarak, Guangdong eyaleti, kentleşmemiş bölgelerde daha yüksek yağış seviyeleriyle karşı karşıya olduğu görülmüştür (Wu ve diğ., 2018). Yapılan analiz sonucunda 230 şehir, düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç sel riski kademesine ayrılmıştır. Sel riskinin düşük olduğu bölgeler için önerilen uygulamalar arasında rezervuarlar, yağmur suyu depoları, geçirgen kaldırım ve çukur yeşil alanlar sayılabilir. Orta riskli bölgelerde önerilen uygulamalar ise geçirgen kaldırım ve bitkisel drenaj kanallarından oluşmaktadır. Yüksek sel riski taşıyan bölgelerde bitkisel drenaj yeşil alanları, yeşil çatılar, çukur yeşil alanlar ve yağmur suyu arıtma tesisleri kullanılması önerilmektedir. (Yuan ve diğ., 2018).

Çizelge 2.3'te görüldüğü üzere çeşitli DEG performans göstergelerinin değerleri yer almaktadır. Yeraltı suyu beslenmesi ve arıtma, ortalama %74 ile en yüksek yüzdeliği göstermekte olup, katı madde azaltılması %66,4 ile %87,8 arasında değişmektedir. Yağmur suyu yeniden kullanımı, ortalama %48 ile orta düzeyde bir oran sergilerken, akış hacmi azaltılması %39,6 ile %96,6 arasında daha geniş bir aralık kapsamaktadır. Akışın engellenmesi, %70 ile en düşük ortalama oranı göstermektedir.

Çizelge 2.3 : DEG'de yağmur suyu yönetiminin teknikleri (Yuan ve diğ., 2018).

DEG Teknikleri	Performans					
	Engelleme	Arıtma	Yağmur suyunun yeniden kullanımı	Yeraltı suyunun yeniden kullanımı	Akış hacminin azaltılması (%)	Katı maddelerin azaltılması (%)
Bitkisel Drenaj Yeşil Alanları	2	2	1	3	50–97	70–95
Geçirgen kaldırım	2	2	1	3	50–93	80–90
Yeşil çatı	2	2	1	1	19–100	70–80
Çukur yeşil alan	2	2	1	3	N/D	N/D
Barajlar	3	2	3	1	N/D	80–90
Yağmur suyu deposu	2	2	3	1	N/D	80–90
Yağmur suyu arıtma sulak alanı	3	3	1	3	N/D	50–80
Nüfuz etme düzeyi	2	2	1	3	N/D	N/D
Bitkisel Drenaj Kanalları	1	3	1	2	N/D	35–90

"1" zayıf, "2" orta, "3" güçlü ve N/D veri yok anlamına gelmektedir.

2.4 Singapur'da Su Talebinin Yönetilmesi

Dünya kaynakları Enstitüsü, 2015 yılında toplam 167 ülkeyi kapsayan kapsamlı bir çalışma yürütmüştür. Bu araştırma sonucunda, Singapur'un 2040 yılına kadar en ciddi su stresiyle karşı karşıya kalacak ülke olarak belirlendiği ortaya çıkmıştır. Bu, şu anda yüksek su stresi eğilimi gösteren diğer ülkeleri, Bahreyn, Kuveyt, Katar, San Marino,

Birleşik Arap Emirlikleri ve Filistin Bölgeleri'ni geride bırakmaktadır (Dünya kaynakları Enstitüsü, 2015). Singapur, yerel su havzaları, ithal su, arıtılmış atık su (NEWater) ve deniz suyu arıtma dahil olmak üzere dört farklı kaynağa dayanan güçlü bir su temin sistemi geliştirmiştir. Yıllar içinde, ülke rezervuarlarını 1960'lardaki sadece üç olan baraj sayısından bugün 17'ye çıkarmıştır. Yağmur suyu titizlikle toplanmakta ve içme suyu için gereken sıkı standartları karşılamak üzere kapsamlı bir şekilde arıtılmaktadır. Yerel kaynakları desteklemek için uzun vadeli anlaşmalar yoluyla Malezya'nın Johor kentinden de su ithalatı yapılmaktadır. Ek olarak, atık sudan elde edilen NEWater ve deniz suyu arıtma tesisleri ile su temini çeşitlendirilmekte, üretim kapasitesinin artırılması için planlar yapılmaktadır. Bu proaktif önlemler, Singapur'un hava modelindeki dalgalanmalara ve su üretimine ilişkin artan maliyetlere karşı hassasiyetini etkili bir şekilde azaltmaktadır. Yine de, iklim değişikliğinin ve yükselen enerji fiyatlarının getirdiği sürekli zorluklar göz ardı edilmemelidir. Hem bugünün hem de gelecek nesiller için sürdürülebilir su güvenliğini sağlamak amacıyla, arz ve talep tarafı stratejilerini kapsayan bütünsel bir yaklaşımı benimsemek zorunludur.

2.4.1 Su kayıplarını en aza indirmek için su sisteminin yönetimi

Singapur'da kamu hizmetleri kuruluşu (PUB), su kayıplarını en aza indirmek amacıyla su sisteminin yönetiminden sorumludur. Şebeke, yaklaşık 1,5 milyon aboneye su sağlayan, 5.500 kilometreyi aşan geniş bir boru ağından oluşmaktadır. Bu boru hatlarının doğru şekilde tasarlanması ve döşenmesi için gösterilen yoğun çabalara rağmen, aşınma ve toprak çökmesi gibi faktörler nedeniyle kaçaklar meydana gelmektedir. Bu durum zamanla daha da kötüleşme eğilimindedir. Ayrıca, Singapur gittikçe daha fazla kentleştikçe, arazi için rekabet yoğunlaşmakta, bu da mevcut boru hatlarını değiştirmenin ve yenilerini inşa etmenin maliyetini arttırmaktadır. PUB, bu zorlukların üstesinden gelmek ve eskimiş borulardan kaynaklanan arızaları en aza indirmek için proaktif ve öngörücü bir yaklaşım benimsemiştir. Bu yaklaşım, 2017 mali yılından önce yılda 20 kilometreden, 2023'de 50 kilometreye çıkarılan ana şebeke borularının yenilenme hızının artırılmasını içermektedir. PUB, bunu yaparak, eski altyapının neden olduğu boru kaçaklarını ve kesintileri azaltmayı hedeflemektedir. Sonuç olarak, Singapur'daki su şebekesini korumak ve genişletmek için yapılan çalışmalar güvence altına alınmaktadır. PUB, izlenebilirliği sağlamak adına da düzenli olarak su kayıplarını rapor etmektedir. Bunun sonucunda, içme suyu kayıplarının

yüzdesi geçmişte %11'den günümüzdeki yaklaşık %5'e düşmüştür. PUB'ın su kayıplarını en aza indirme stratejisi, güçlü bir şebeke oluşturmaya ve verimli yönetime dayanmaktadır. Boru hatlarının doğru tasarımı ve uygulanmasını garantileyen katı yönetmelikler vardır. Ayrıca, PUB, altyapının dayanıklılığını artırmak için korozyona dayanıklı poliüretan kaplama gibi geliştirilmiş yöntem ve malzemeler aramaktadır. Vanaların ve hidrantların düzenli bakımı ve servisi yapılmakta ve kapsamlı bir boru değiştirme programı süreci devam etmektedir. Doğru ölçüm de su kayıplarını azaltmada önemli bir rol oynamaktadır. Singapur'da tüm su şebekesi sayaçlarla donatılmıştır, bu da PUB'ın kullanım miktarını doğru bir şekilde hesaplamasına ve her müşteriyi etkili bir şekilde faturalandırmasına olanak tanımaktadır. PUB, sızıntıları önlemek, kaçak tespiti yapabilmek ve hızlı müdahaleyi sağlamak için teknolojinin gücünden yararlanmaktadır. Ulusal boru hattı şebekesine kablosuz sensörler yerleştirilerek akıllı bir su şebekesine dönüştürülmüştür. Bu sensörler, analiz ve işleme için verileri kablosuz olarak merkezi bir sisteme iletmektedir. Herhangi bir düzensiz okuma veya analiz bir uyarıyı tetikleyecek ve PUB'ı gerekli onarım çalışmalarını başlatmaya yönlendirecektir. Gerçek zamanlı izleme, PUB'ın olayları erken tespit etmesine ve hızlı bir şekilde yanıt vermesine olanak tanır. PUB'ın 7/24 iletişim ve operasyon merkezi, halkın geri bildirimlerine hızlı bir şekilde yanıt vermekte ve kaçakların tespit edilmesini ve çözülmesini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, kamuya ait ana su şebekesini hasardan korumak ve izinsiz su teminini önlemek için katı yasalar yürürlüğe konulmuştur.

2.4.2 Fiyatlandırma, düzenleme ve teşvikler yoluyla su yönetimi

Su kayıplarını en aza indirmenin yanı sıra, PUB ayrıca su talebini etkin bir şekilde yönetmek ve bilinçli su kullanımını teşvik etmek için fiyatlandırma, düzenleyici ve teşvik tabanlı stratejiler kullanır. Kurum, su tasarruf davranışını teşvik etmek ve su sisteminin finansal sürdürülebilirliğini sağlamak için uygun fiyatlandırma mekanizmaları uygulamak, hedeflenmiş düzenlemelerin uygulanması ve paydaşları dahil ve teşvik etmek üzere üç kapsamlı strateji kullanmaktadır.

Singapur'de suyun fiyatlandırması, kaynak olarak NEWater veya tuzdan arındırılmış su kullanılabilen bir sonraki su biriminin tedarik maliyetini doğru bir şekilde yansıtmak için tasarlanmıştır. Bu fiyatlandırma yapısı, kıtlık kavramına dayanmakta olup ihtiyatlı su kullanımını teşvik etmektedir. Suyun fiyatı üç ana bileşenden

oluşmaktadır. İlk bileşen, yağmur suyu toplanmasından başlayarak ham suyun arıtılmasına ve son olarak işlenmiş içme suyunun şebeke üzerinden müşterilere dağıtımına kadar su üretim sürecinin çeşitli aşamalarında yapılan masrafları içermektedir. İkinci bileşen, su tasarrufunu teşvik etmeyi amaçlayan su koruma vergisidir. Bu vergi, su tarifesinin bir yüzdesi olarak uygulanır ve ilk damladan itibaren suyun değerli bir kaynak olduğu düşüncesini pekiştirir. Üçüncü bileşen ise, kullanılmış suyun arıtılması ve kullanılmış su şebekesinin bakımı ile ilgili maliyetleri karşılamak için kullanılan bir vergi olan atık su bedelidir. Su temin maliyetlerinin artmasını ve Singapur'un su sisteminin finansal sürdürülebilirliğini sağlamak için su fiyatları artırılmıştır. Bu düzenleme, PUB'ın güvenilir bir su temini sağlamak için proaktif bir şekilde yatırım yapmasına ve aynı zamanda halkı suyu korumaya ve sorumlu bir şekilde kullanmaya teşvik etmektedir.

Singapur'da evsel su tüketimini hedefleyen düzenleyici önlemler, zorunlu su verimliliği standartlarının uygulanmasıyla birlikte yürütülmektedir. 2009 yılında yürürlüğe giren Zorunlu Su Verimliliği Etiketleme Sistemi, tedarikçilerin su tesisatı ve cihazlarını su verimliliğine dayalı olarak bir derecelendirme sistemiyle etiketlemelerini zorunlu hale getirmiştir. Bu sistem, tüketicilerin bilinçli kararlar vermelerini sağlamakta ve tedarikçileri daha verimli ürünler sunmaya teşvik etmektedir. PUB, son on yılda tedarikçilerle iş birliği içinde ve piyasa eğilimleri doğrultusunda verimlilik standartlarını sürekli olarak yükseltmektedir. Su tasarrufunu daha da teşvik etmek için, Nisan 2019 su tesisatının satışı, tedariki ve kurulumu için artık iki defa derecelendirme gereklidir.

2.4.3 Ev dışı sektörde düzenleyici önlemler

Singapur'da ticari sektörde su verimliliği yönetim uygulamalarını hedefleyen düzenleyici önlemler yürürlüğe konmuştur. Zorunlu Su Verimliliği Yönetim Uygulamaları, ticari sektörde de su verimliliğini teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Singapur'da yıllık 60.000 m³ veya daha fazla su tüketen büyük su tüketicilerinin, ticari su talebinin yarısından fazlasını oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu büyük su kullanıcıları, yarıiletken üretim tesisleri, petrokimya tesisleri, oteller, alışveriş merkezleri ve ofisler gibi çeşitli tesisleri kapsamaktadır. İlgili sorunu ele almak için, bu önemli su kullanıcılarına yönelik çalışmalar yürütülmektedir. Singapur ulusal su ajansı olan PUB, 2015 yılında büyük su tüketicilerinin su verimliliği yönetim

uygulamalarını benimsemesini zorunlu kılan mevzuatı yürürlüğe koymuştur. Bu, PUB'a su verimliliği yönetim planlarının sunulmasını ve daha kapsamlı izleme için özel su sayaçlarının kurulmasını içermektedir. Büyük su kullanıcı işletmeler tarafından PUB'a sunulan su verimliliği yönetim planları, su tasarrufu uygulamak için önlemler önermeyi amaçlamaktadır. İşletmeler, bu yasa sayesinde su tüketim modellerini daha iyi anlayabilir ve su tüketimlerini azaltmak ve su verimliliğini artırmak için stratejiler belirleyebilir. 600'den fazla büyük ticari su tüketicisi halihazırda su verimliliği yönetim planlarını PUB'a sunmuş olup, bu planlardan elde edilen veriler, her sektöre özgü su verimliliği kıyas noktaları oluşturmak ve en iyi uygulamaları belirlemek için kullanılmaktadır. PUB, 2018 yılında inşaat, petrokimya ve kimya gibi sektörler için en iyi uygulama rehberleri yayınladı. Ayrıca, bu sektörlerden bazıları için su verimliliği kıyas noktaları geliştirildi. Bu kıyas noktaları ve rehberler, şirketlerin performanslarını aynı sektördeki diğer şirketlerle karşılaştırıp belirlenen en iyi uygulamalardan su verimliliği hususunda neler yapılabileceğini öğrenmelerini sağlar. PUB aynı zamanda işletmeleri en iyi su verimliliği uygulamalarını benimsemeye teşvik ederken, su verimliliği başarılarını sürekli olarak izlemeye devam etmektedir.

2.4.4 Paydaşları dahil etmek ve motive etmek

Ev dışı sektör haricindeki alanlarda su tasarrufunu teşvik etmek amacıyla PUB, Su Verimliliği Fonu ve Endüstriyel Su Çözümleri Tanıtım Fonu gibi su verimliliğini artırmayı hedefleyen projelere finansal destek sağlamaktadır. Şirketler, bu fonları su denetimleri yapmak, geri dönüşüm yapmak ve yenilikçi teknolojileri uygulamak için kullanmaktadır. Buna bir örnek olarak 2018 yılında PUB ve Micron Semiconductor Asia Operations arasındaki ortaklık gösterilebilir. Bu ortaklık kapsamında kurulan atık su geri dönüşüm tesisi ile yıllık 400.000 metreküp su tasarrufu sağlanmıştır. PUB ayrıca, yoğunlaşma suyu geri kazanımı gibi çeşitli önlemleri uygulayan Carlton City Hotel Singapore örneğinde olduğu gibi iyi uygulanmış su verimliliği projelerini Su Verimliliği Ödülleri ile takdir etmektedir. Evsel sektörde ise PUB'ın girişimleri, düşük gelirli hanelerde verimsiz tuvaletlerin yenilenmesini hedefleyen bir projeyi kapsamaktadır. Bu proje, aylık su faturalarında %10'a varan tasarruf potansiyeli sunmaktadır. Ayrıca PUB, su tasarrufu konularının okul müfredatlarına entegre edilmesi ve Singapur Dünya Su Günü gibi etkinliklerin düzenlenmesi gibi eğitimsel girişimler hususunda toplumu aktif olarak dahil etmektedir. Bu kolektif çabalar, Singapur'un kişi başına su tüketimini 2009'daki 155 litreden 2018'de 141 litreye

düşürmesine ve 2030 yılına kadar kişi başı su tüketiminde 130 litreyi hedef belirlenmesine katkıda bulunmuştur. Bu hedefin gerçekleştirilmesi hükümet, özel sektör ve toplumun iş birliğini gerekli kılmaktadır.

2.4.5 Akıllı duş stratejisi ve otomatik sayaç sistemi

Akıllı Duş Stratejisi'nin amacı, Singapur evlerindeki toplam su kullanımının %30' una varan, duş sırasında gerçekleşen önemli su tüketimini ele almaktır. PUB, Ulusal Singapur Üniversitesi ile birlikte 2015 yılında akıllı duş cihazları ile donatılmış 530 haneyi içeren bir çalışma yapmıştır (Şekil 2.15). Bu cihazlar, su kullanımı hakkında gerçek zamanlı bilgi sunmaktadır ve duş başına su tüketiminde ortalama yaklaşık 4 litrelik bir azalma sağlamıştır. Bu bulgular ışığında PUB, 2017 yılında su tasarrufu konusundaki çalışmayı daha da doğrulamak amacıyla, 10.000 yeni eve akıllı duş cihazları takmayı hedefleyen üç yıllık bir program başlatmıştır. Bu girişim başarılı olursa, PUB programı ilgili kurumlarla ortaklaşarak genişletmeyi planlamaktadır.



Şekil 2.15 : Akıllı Duş cihazları (Kaynak: Url-14).

Otomatik sayaç okuma (OSO) sistemi uygulaması, PUB için 2011 yılından beri su verimliliği konusunda odak noktası olmuştur. Bu sistemin amacı, sayaçları uzaktan okumak ve verileri kablosuz olarak aktarmaktır. Mobil uygulama sayesinde ev sakinleri su tüketimlerini takip edebilir ve kaçak veya olağan dışı tüketim bildirimleri alabilmektedir. Punggol (530 sayaç) ve Yuhua (270 sayaç) bölgelerinde yürütülen pilot projeler, veri toplamada güvenilir performans ve yüksek doğruluk sergilemiştir. Saatlik okumalar, veri analizi ile birlikte hassas kaçak tespiti ve kişiselleştirilmiş su

tasarrufu stratejilerine olanak tanımaktadır. İlk sonuçlar, hane halkının kaçak tespiti sayesinde %5'lik bir su tasarrufu (kişi başına günlük yaklaşık 7 litre) sağladığını göstermektedir. Bu olumlu sonuçlar sonrasında PUB, bu sistemi ülke genelinde genişletmeyi planlamaktadır. (Hoo., 2020).

2.5 Benthemplein'de Su Ovası

Rotterdam İklim Girişimi (RİG), 2007 yılında Rotterdam şehri, Rotterdam Limanı ve yerel iş çevreleri dernekleri arasındaki iş birliğiyle kurulan ve Water Square Projesi'ni de içerisinde bulunduran bir girişimdir. Girişimin ilk hedefleri, 2025 yılına kadar CO₂ emisyonlarını azaltmak ve şehri iklim değişikliğinin etkilerine karşı tamamen korumaktır. Water Square Projesi, Hollandalı mimarlık firması De Urbanisten tarafından özel olarak tasarlanıp 2011-2013 yılları arasında Rotterdam'da uygulanmıştır. Projenin temel amacı, Rotterdam'da sıklıkla görülen şiddetli yağışları, şehrin geniş alanlarını her yıl kasıtlı olarak su altında bırakarak etkili bir şekilde yönetmektir. Söz konusu proje uygulanmadan önce, Rotterdam'ın her yerinde yağmur suyunu toplamak ve tutmak için yeraltı rezervuarları inşa edilmiştir. Ancak yüksek maliyetler nedeniyle belediye yönetimi, kentsel yüzeyde yenilikçi bir su depolama sistemi konsepti sunan bir strateji benimsemiştir (Şekil 2.16). Bu yaklaşım, sadece kentsel alanın çevresel kalitesine katkıda bulunmakla kalmaz, aynı zamanda mahallenin karakterini de güçlendirmektedir. Proje, kapsamlı, savunmacı ve uyumlu yaklaşımı ile karakterize edilmekte ve asıl amacına, uygun hava koşullarında rekreasyon alanı olarak kullanılabilen yağmur suyu biriktirme havzaları inşa edilerek ulaşmaktadır. Ayrıca, binaların çatılarından gelen suyu bu havzalara yönlendiren oluk sistemlerinin entegre edilmesi ve kaykay parkurları gibi hem rekreasyon alanı olarak da kullanılabilen yağmur suyu drenaj kanallarının oluşturulması, projenin başarısına katkıda bulunmaktadır (De Urbanisten, n.d.).



Şekil 2.16 : Benthamplein'deki su ovasının havadan görünümü (Kaynak: Url-15).

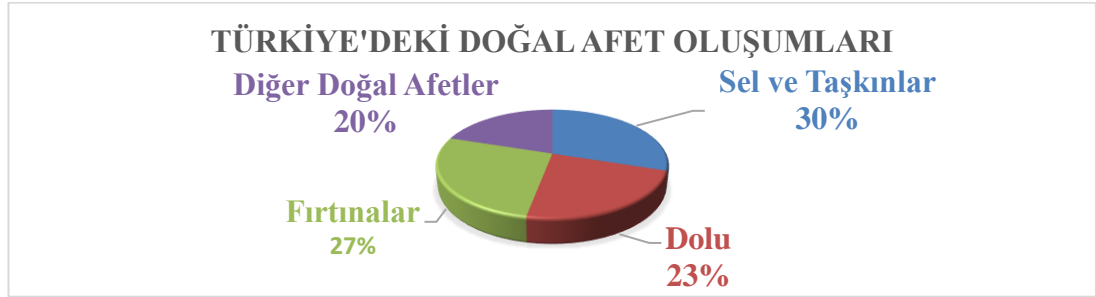
3. BURSA ÖRNEĞİ

Bu bölüm, Türkiye'deki Bursa şehrinin coğrafi konumunu ve şehrin karşılaştığı su baskınları, kuraklık ve su kirliliği gibi çeşitli su kaynaklı sorunları ele almaktadır. Ayrıca, şehrin ana su kaynaklarını incelemekte ve 2015-2023 yılları arasında iki ana rezervuarındaki su miktarlarının karşılaştırmalı bir değerlendirmesini yaparak, Bursa'nın güncel durumu ve su sorunları hakkında bilgiler sunmaktadır.

3.1 Türkiye ve Bursa Şehri

Türkiye'nin kişi başına yıllık brüt su miktarı 2.798 m³tür. Ülkenin yenilenebilir su kaynakları, yaklaşık 186 km³'ü yerüstü suyu ve 69 km³'ü yeraltı suyu olmak üzere yılda tahmini olarak 227 km³tür ve yüzeysel ve yeraltı suyunun birleşmesinden kaynaklanan ek 28 km³ ile birlikte toplam bu değere ulaşmaktadır. Bununla birlikte, bu su kaynaklarının yalnızca yarısının ekonomik ve teknik olarak kullanılabilir olduğu tahmin edilmektedir. Mevcut 83,3 milyonluk nüfusa göre kişi başına yıllık su miktarı sadece 1.400 m³tür. Birleşmiş Milletler'e göre "su stresi", kişi başına yıllık su miktarının 1.700 m³'ün altına düşmesi olarak tanımlanmakta olup, Türkiye'nin bu verilere göre su stresi yaşadığını göstermektedir. 2030 yılına kadar, yaklaşık 100 milyonluk bir nüfus öngörüsüyle, Türkiye'de kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarının 1.120 m³'e gerileyerek su kıtlığı yaşanması beklenmektedir (FAO, 2014). Türkiye ayrıca tarım, sanayi ve halkın genel refahını etkileyen sel ve kuraklık gibi su kaynaklı sorunlarla da karşı karşıya olan bir ülkedir. Türkiye'de sel felaketleri, 2019 yılında 65 ili etkileyen, 93 kişinin ölümüne neden olan ve 30.000'den fazla kişiyi yerinden eden ve tekrar eden bir tehlikedir. Bunun yanında, kuraklıklar özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde tarımı ve geçim kaynaklarını önemli ölçüde etkilemekte, verim düşüşlerine ve su yetersizliğine neden olmaktadır. Bu felaketler Türkiye'nin sınırlı su kaynakları sorunu daha da kötüleştirmektedir. Ülke yıllık ortalama yaklaşık 643 milimetre yağış almaktadır ve kişi başına düşen yıllık yenilenebilir su kaynakları, uluslararası alanda kabul görmüş su kıtlığı eşiğinin altındadır. Su kaynaklarının eşitsiz dağılımı bu sorunu daha da derinleştirmektedir (Pilevneli ve diğ., 2023; SELEK ve diğ., 2018). Şekil 3.1, 1940-2010 yılları arasındaki

dönemi kapsayan Türkiye'de en sık tekrar eden doğal afetin sel olduğunu göstermektedir (Afad Raporu, 2022).



Şekil 3.1 : 1940-2010 arasında doğal afet yüzdeleri (Kaynak: Afad Raporu, 2022).

Bursa şehri, kuzeybatı Türkiye'de yer almaktadır (Şekil 3.2). 2024 yılında nüfusu 3.194.720 olmak üzere, Türkiye'nin en kalabalık 4. şehridir. Şehrin nüfusu 2015-2020 yılları arasında %9,12 oranında artmıştır. Bu artış, 2030 yılı İl Çevre Planı'nda 2020 yılı için tahmin edilen nüfus oranından yaklaşık %4 daha yüksektir.



Şekil 3.2 : Türkiye haritasında Bursa şehri.

Bursa ili coğrafi olarak 40 derece doğu boylamı ve 28-30 derece kuzey enlemi arasında yer almaktadır. Doğusunda Bilecik ve Adapazarı illeri, kuzeyinde Kocaeli, Yalova, İstanbul ili ve Marmara Denizi, güneyinde Kütahya ili ve batısında Balıkesir ili yer almaktadır. Deniz seviyesinden yüksekliği 155 metre olan Bursa, genel olarak ılıman bir iklime sahiptir ancak şehir içi bölgesel farklılıklar görülmektedir. Marmara Denizi'ne yakın kuzey kesimleri daha yumuşak ve sıcak bir iklime sahipken, güney kesimleri, özellikle Uludağ, daha sert bir iklime maruz kalmaktadır. En sıcak aylar Temmuz-Eylül arası, en soğuk aylar ise Şubat ve Mart aylarıdır. 52 yıllık gözlem döneminde Bursa'nın ortalama yıllık yağış miktarı 706 mm olarak kaydedilmiştir. İl, ortalama yaklaşık %69 bağıl nem oranına sahiptir.

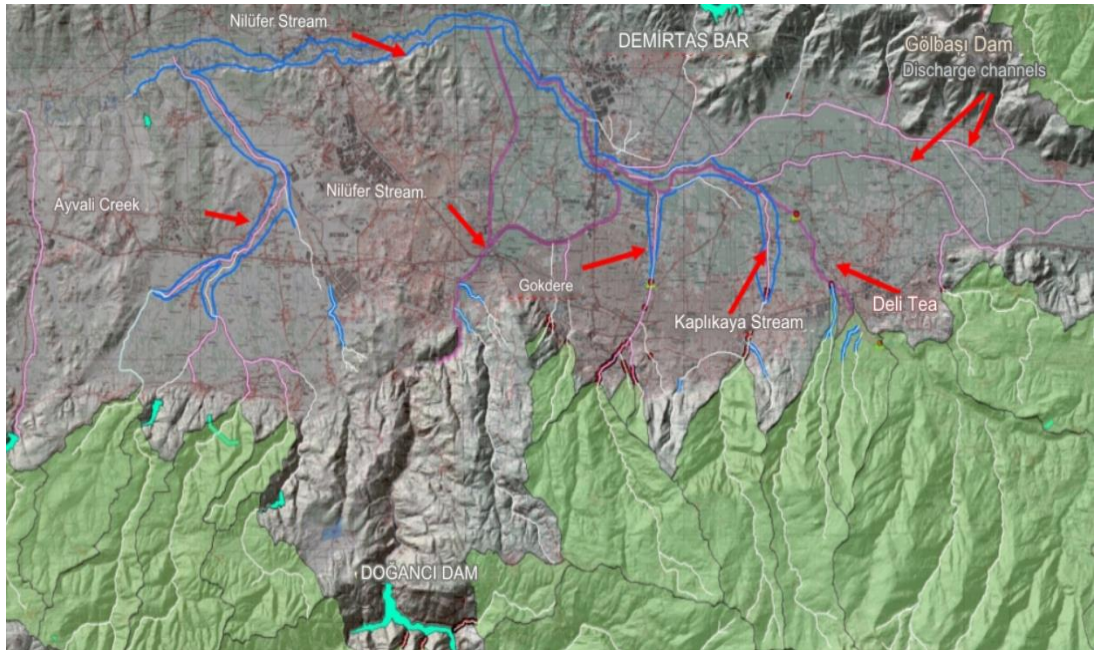
Topoğrafik olarak Bursa, farklı alanları ayıran vadilerle bölünmüş dağlık bir arazi yapısına sahiptir. İlin topraklarının yaklaşık %35'i, ağırlıklı olarak doğu-batı yönünde

uzanan dağlarla kaplıdır. Bu sıradağlar; Orhangazi'nin batısından Gemlik Körfezi'nin batı ucu Bozburun'a kadar uzanan Samanlı Dağları, Gemlik Körfezi'nin güney yüzünü kaplayan ve Bursa ovası ile deniz arasında doğal bir bariyer görevi gören Mudanya Dağları, İznik Gölü'nün güney kısmı ile Bursa ovasının kuzey kesimleri arasında yer alan Katırlı Dağları ve Marmara Bölgesi'nin en yüksek zirvesi Uludağ (2.543 m) sayılabilir (Bursa valiliği, 2024).

3.2 Bursa'nın Su Kaynakları ve Su Potansiyeli

3.2.1 Akarsular:

Bursa ilinin en önemli akarsuyu olan Nilüfer Çayı'nın havzasıdır (Şekil 3.3). Nilüfer Çayı 680 km²'lik bir alanı kapsar. Nilüfer Çayı'ndan Doğancı Barajı ile birlikte yılda 105.000.000 m³ su temin edilebilmektedir. Aynı dere üzerinde bulunan ve 2007 yılında tamamlanan Nilüfer Barajından ise yılda 60.000.000 m³ içme suyu temin etmektedir. İlerdeki diğer önemli akarsular ise 2,4 m³/s debiye sahip Deliçay, 0,60 m³/s debiye sahip Aksu Deresi, 18,1 m³/s debiye sahip Orhaneli Çayı, 8,8 m³/s debiye sahip Emet Çayı, 52,2 m³/s debiye sahip Mustafakemalpaşa Çayı ve 42,8 m³/s debiye sahip Susurluk Çayı'dır ve Kaplıkaya Deresi, Ayvalı Deresi, Hasanağa Dereleridir.



Şekil 3.3 : Bursa'daki ana akarsu kaynakları (Kaynak: Url-16).

3.2.2 Doğal göller ve rezervuarlar:

a) Uluabat Gölü: Marmara Denizi'nin güneyinde yer alan, maksimum derinliği 6 metre olan sığ, bulanık ve ötrofik bir tatlı su gölüdür. Yenişehir-Bursa-Göner doğrultusunda uzanan doğu-batı yönlü tektonik çöküntü alanında oluşmuştur. Aynı çöküntü alanı içerisinde bulunan Manyas Gölü'nden daha alçak bir seviyede yer almaktadır. Gölün yüzölçümü senelere ve mevsimlere göre değişkenlik göstermektedir. Gölün fazla suyu, gölün batısında bulunan Uluabat Gölü'ne, ardından Susurluk Nehri'ne ve nehir aracılığıyla en sonunda Marmara Denizi'ne dökülür. Fakat su seviyesi Uluabat Deresi'nin seviyesinin altına düştüğünde ise dere, gölü beslemek için ters yönde akar. Gölde su pompalanmakta olup, göl çevresindeki yaklaşık 6.350 hektarlık alan sulanmaktadır.

b) İznik Gölü: Marmara Bölgesi'nin en büyük, Türkiye'nin ise beşinci büyük doğal gölü olan İznik Gölü, maksimum derinliği 80 metre olan tektonik tatlı su gölüdür. Kuzey ve güneyde alçak sıradağlarla çevrilidir. Derelerin göle döküldüğü noktalarda küçük deltası ve bataklıklar oluşmuştur. Bunlardan en önemlileri kuzeydoğuda bulunan Karasu ve güneybatıdaki Sölöz Çayı'dır. Gölü besleyen akarsu ise batıya doğru uzanan ve Marmara Denizi'ne dökülen Karsak Çayı'dır. Çayda taşkınları önlemek amacıyla bir baraj yapılmıştır. Su tutma amaçlı da yapılan bu baraj, gölü kısmen bir rezervuara dönüştürmüştür. Göl suyu ile yaklaşık 9.000 hektarlık tarım arazisi sulanabilmektedir. Devam eden tesislerin tamamlanması ile bu alanın 6.945 hektar daha artırılması planlanmaktadır. Ek olarak, çiftçiler göl kıyısındaki tarım alanlarının sulanmasını İznik Gölü'nden sağlamaktadır.

3.2.3 Barajlar ve göletler:

Bursa il sınırları içerisinde Devlet Su İşleri (DSİ) 1. Bölge Müdürlüğü tarafından işletilen 24 baraj ve 25 gölet bulunmaktadır. Ayrıca inşaatı devam eden 11 baraj ve 2 gölet daha vardır. Bunlara ek olarak, Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi (BUSKİ) Genel Müdürlüğü ise 35 göleti işletmektedir.

3.2.4 Yeraltı suları:

Bursa il sınırları içerisinde yer altı suyu potansiyeli yıllık 366,85 hm³'tür. Yıllık olarak yaklaşık 363,67 hm³ su çekilmektedir. Yer altı suyu tahsisi, içme suyu kullanımı, sulama ve sanayi işlemleri amaçlı yapılmaktadır. Bursa Ovası genellikle yeraltı suları

ve artezyen akiferlerini barındırdığından, ovadaki yer altı suyu beslemesi kuyulardan sağlanmaktadır. Temizlik açısından su içilebilir ve sanayide kullanıma uygundur. Bursa Ovası'ndan sonra sırasıyla Mustafakemalpaşa ve Karacabey havzalarından yer altı suyu rezervi sağlanmaktadır. Bursa ili jeotermal kaynaklar açısından da önemli bir potansiyele sahiptir. Şehrin içerisindeki jeotermal su kaynakları, deniz seviyesinden 2543 metre yükseklikte Uludağ'ın kuzey yamaçlarında yer almaktadır. Termal sular, 46-82°C arasındaki sıcaklıklarda, ağırlıklı olarak Bursa'nın batısından yer alan Çekirge bölgesine boşalmaktadır (Afad Risk Raporu, 2022).

3.3 Bursa'daki Su Sorunları

3.3.1 Seller

Son yıllarda, yurt genelinde yaşanan şiddetli yağışlarla birlikte, Bursa ilinde de sel ve su baskını olaylarında artış gözlenmektedir. Bu artışın, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi faktörlerden kaynaklandığı öngörülmektedir (Şekil 3.4, Şekil 3.5). Bursa, yıllık ortalama yağış miktarı olarak ülke ortalamasının biraz üzerinde seyreden 707,4 mm yağış almaktadır. Ancak bu yağış modeli tutarlı değildir. 1934 ve 1961 yıllarında yaşanan kuraklık dönemlerinde yıllık yağışın 447 mm'ye kadar düştüğü meteorolojik verilerde görülmüştür (MGM, 2023). Yağış şiddetinin zaman zaman oldukça yüksek seviyelere ulaşabildiği de ayrıca vurgulanmalıdır. Örneğin, Bursa'da 14 Ekim 2010 tarihinde 24 saat içerisinde 114,8 mm yağışın meydana gelmesi rekor olarak kaydedilmiştir (BUSKİ - Su ve Şehir Dergisi, 2023). Bu ayda toplam yağış miktarı 388,4 mm'ye ulaşarak şehrin yıllık ortalama yağışının yarısından fazlasını oluşturmuştur. Bu gibi olaylar, sel baskınlarını önleyici tedbirlerin hayata geçirilmesinin önemini bir kez daha ortaya koymaktadır. Haziran 2023'te Türkiye Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yayımlanan kapsamlı bir raporda, Bursa'nın 500 yıllık sel tarihine derinlemesine bir analiz yapılmış ve Karacabey, Osmangazi, Harmancık ve Orhangazi'nin en yüksek sel riski taşıyan bölgeler olarak belirlendiği tespit edilmiştir (BUSKİ - Su Ve Şehir Dergisi, 2023).



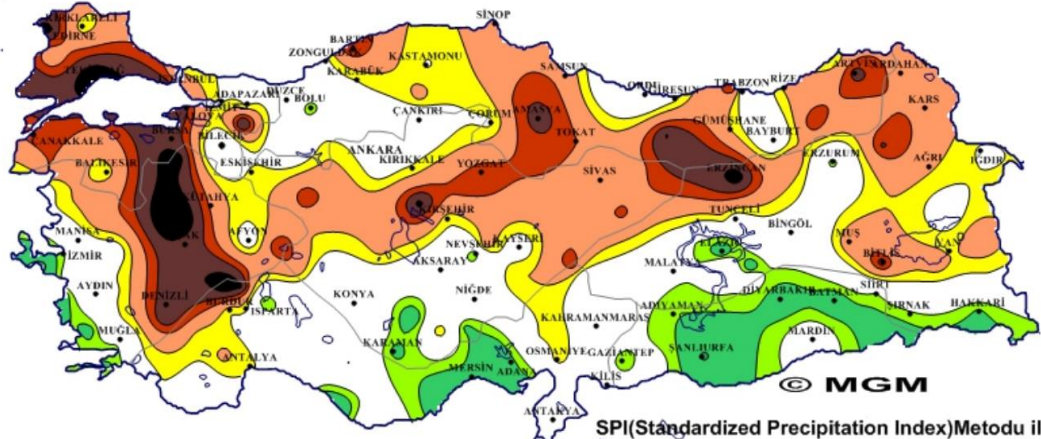
Şekil 3.4 : Kestel İlçesi, Dudaklı Mahallesi Su Baskını 2020 (Kaynak: Afad Raporu 2022).



Şekil 3.5 : Mudanya İlçesi, Trilye Mahallesi Su Baskını 2023 (Kaynak: Url-17).

3.3.2 Bursa'da kuraklık

Bursa'da yağışlar en çok kış ve ilkbahar aylarında görülmektedir. Bu dönemlerdeki yağış miktarı ve yağış şekli, hem yer altı hem de yer üstü su kaynaklarının devamlılığı açısından kritik öneme sahiptir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Türkiye Kuraklık Haritası'na göre, Bursa Ocak 2019 - Aralık 2020 dönemini kapsayan 24 aylık değerlendirmede orta şiddetli, şiddetli ve çok şiddetli kuraklık kategorilerinde yer almıştır (Şekil 3.6). Tüm dünyada olduğu gibi küresel ısınma nedeniyle kuraklık Türkiye'de de giderek daha fazla hissedilmektedir.

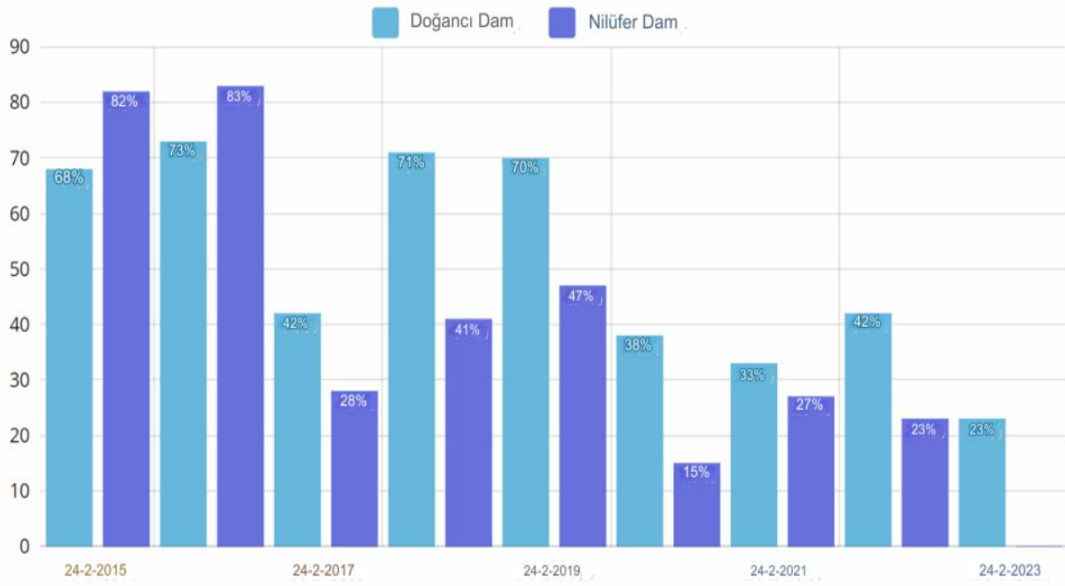


* Bu veriler kalite kontrolünden geçmemiştir.



Şekil 3.6 : Türkiye Kuraklık Haritası (Kaynak: Url-18).

Uludağ'ın eteklerinde bulunan ve Bursa'nın su kaynağı olarak hizmet veren Doğancı Barajı'nın doluluk oranı Şubat 2023 itibari ile, yaşanan kuraklık nedeniyle yüzde 23'te kaldı. Nilüfer Barajı ise neredeyse tamamen kurudu. Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi (BUSKİ) internet sitesinde yer alan verilere göre, günlük su tüketiminin ortalama 400 bin metreküp olduğu kentte, Doğancı Barajı'nda ise sadece 7 milyon 575 bin metreküp su kaldığı görülmüştür. Doğancı Barajı, 1983 yılında yapımından bu yana en düşük su seviyesine ulaşmıştır (Şekil 3.7). BUSKİ, tedbir olarak abonelerin cep telefonlarına su tasarrufu çağrısında bulunan uyarı mesajları göndermiştir. Ayrıca, kent genelinde çeşitli noktalardaki reklam panolarına su tasarrufu konusunda uyarı metinleri konularak farkındalık yaratılmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.7 : 2015- 2023 Doğancı ve Nilüfer Barajlarındaki su seviyeleri (Kaynak: Url-19).

- Nilüfer Barajı: 2015 yılında doluluk oranı %82 iken 2023 yılında bu oran önemli ölçüde azalarak %23 seviyesine gerilemiştir.
- Doğancı Barajı: Benzer şekilde Doğancı Barajı'nın da doluluk oranı 2015 yılında %68 iken 2023 yılında %23'e düşmüştür. Her iki barajdaki su seviyesindeki bu sürekli düşüş, kentte ciddi bir kuraklığın yaşandığının göstergesidir (Şekil 3.8).



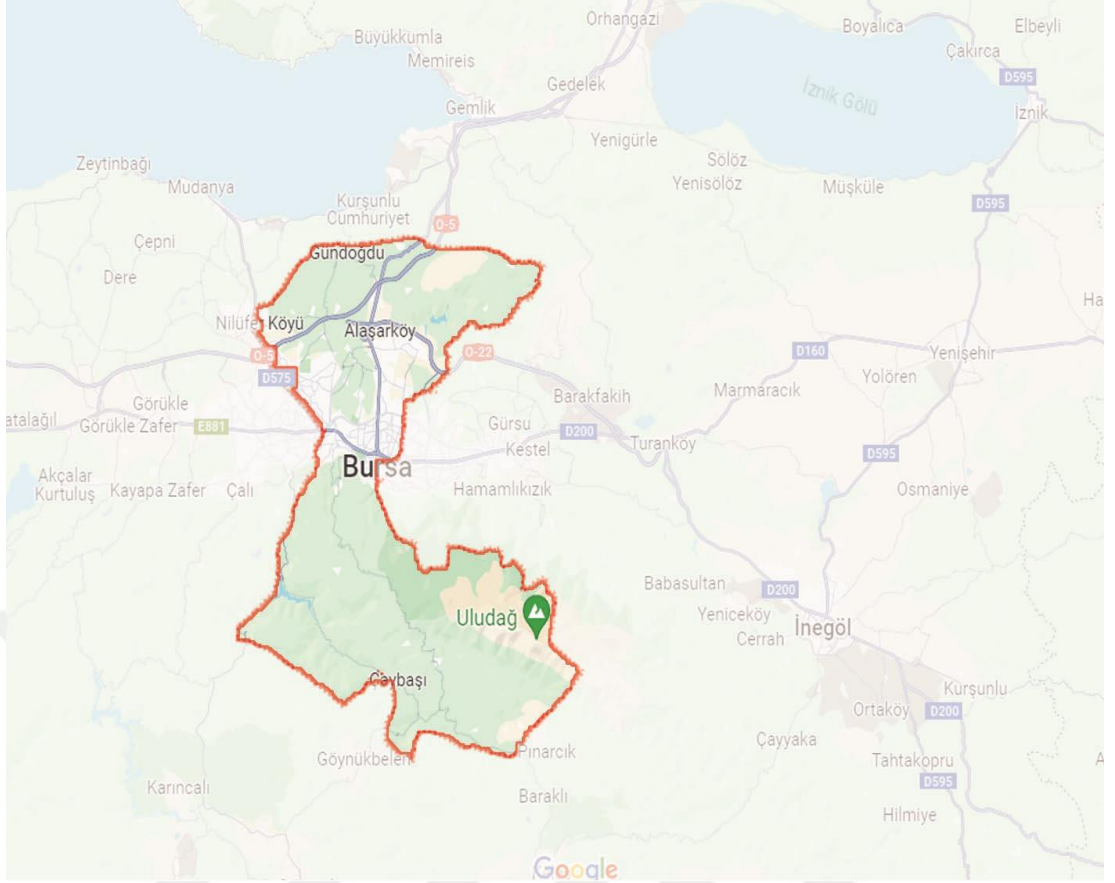
Şekil 3.8 : Bursa'daki Nilüfer Barajı 2022 (Kaynak: Url-20).

4. OSMANGAZİ İLÇESİ

Bu bölüm Suya Duyarlı Kentsel Tasarım (SDKT) prensiplerinin Bursa kentine nasıl entegre edilebileceğine dair bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yaklaşım, Türkiye'nin Bursa şehrindeki Osmangazi ilçesinin örnek vaka çalışması ile somutlaştırılmıştır. Bu vaka çalışmasının temel amacı, SDKT stratejilerinin gerçek dünya koşullarında pratik uygulamasını ve yorumlanmasını göstermektir. Ayrıca, bu çalışmanın karar vericiler ve tasarımcılar için değerli bir kaynak haline getirilmesi, çeşitli çevrelerde SDKT uygulamalarını değerlendirmesi, uyarlaması ve uygulanmasına olanak sağlamayı hedeflemektedir. Sürekli olarak morfolojik ve arazi kullanım dönüşümleri yaşayan bir şehir olan Bursa, seçilen vaka alanı olarak çalışmada yer almaktadır. Zaman kısıtlamaları nedeniyle araştırma ve tasarım çalışmaları özellikle Osmangazi ilçesine odaklanmıştır. Ancak sunulan yaklaşım, daha geniş kapsamlı araştırma ve tasarım uygulamalarına kolaylıkla entegre edilebilir.

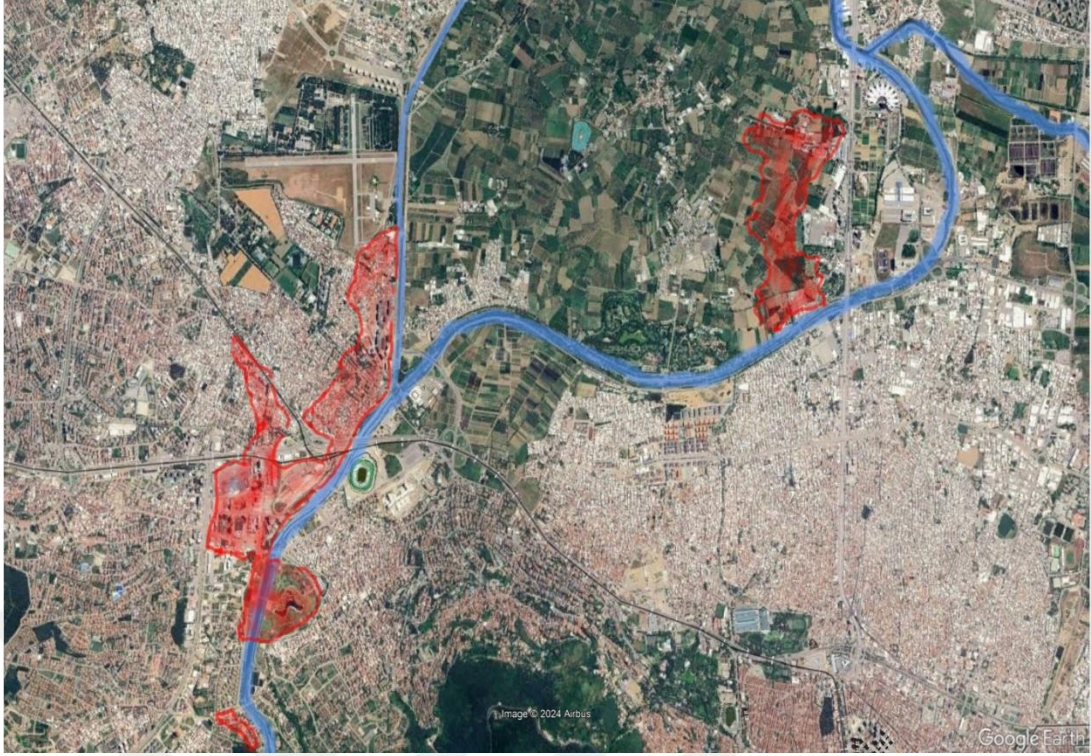
4.1 Vaka Analiz Çalışmasında Yer Seçimi

Bursa'nın Osmangazi İlçesi, en geniş ve en yoğun nüfusa sahip olan ilçesi konumundadır (Şekil 4.1). 116.520 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Doğu sınırını Gökdere, batı sınırını Nilüfer Çayı ve Mudanya Yolu, kuzey sınırını Samanlı Dağları ve güney sınırını ise Nilüfer Çayı'nı da içeren Bursa Ovası oluşturmaktadır. Osmangazi İlçesi, Bursa'nın en eski yerleşim yeridir. Bu ilçe sınırları içerisinde yer alan tarihi doku yoğunluğu, özellikle Kale ve Hanlar Bölgesi olmak üzere yetersiz altyapıya sahip eski yapılardan oluşmaktadır. Mevcut yoğun yapılaşma nedeniyle, bu ilçede kentsel yenileme ve tarihi yapıların iyileştirilmesi çalışmaları gerekli görülmektedir.



Şekil 4.1 : Bursa ilinde Osmangazi ilçesi konumu (Kaynak: Google Haritalar).

Osmangazi’de bulunan Nilüfer Çayı’nda su hızına göre belirlenen taşkın tehlike seviyesi genellikle düşüktür. Taşkın suları genellikle yüksek hızlara ulaşmadan düz alanlara yayılır (Şekil 4.2). Bu nedenle, tehlike seviyesi genellikle orta düzeyde kalırken, yüksek ve çok yüksek tehlike seviyelerine sahip yerel alanlar da gözlemlenmektedir.



Şekil 4.2 : Osmangazi'de düşük ve orta derecede taşkın riski olan bölgeler (Kaynak: AFAD, 2022).

İlçe merkezinde yer alan haritada işaretli noktaların bir kısmını sular altında kalmaktadır. Bu nedenle ilgili noktalar için hesaplanan risk değeri %50 daha fazladır. Bursa'da kişi başına düşen araba sayısı yaklaşık 0.124'tür. Selden etkilenen nüfus düşünüldüğünde, en kötü senaryonun yaşanması durumunda yaklaşık 2.615 aracın, 100 yılda bir tekrar eden bir taşkın yaşanması durumunda 27 aracın, 50 yıl tekrarlıkları bir taşkın olayı yaşanması durumunda ise 3 aracın zarar göreceği düşünülmektedir. Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere 500 yılda bir tekrar eden bir taşkın olayı yaşanması durumunda toplam ekonomik zararın büyük bir kısmının araçlardan yana olacağı görülmüştür.

Çizelge 4.1 : Osmangazi'de beklenen ekonomik kayıplar (Afad Raporu, 2022).

Yağmur suyu tekrarlama periyodu	Ekonomik Kayıplar			
	Binalar	Yollar	Arabalar	Toplam (TL)
50	9.955	350.655	124.364	484.974
100	1.561.271	1.434.797	1.015.335	4.008.402
500	57.688.492	30.785.058	96.768.265	185.241.816

Su yönetimi açısından, bölgedeki su şebekelerinin çoğu yeni inşa edilmiş olsa da, çatılardan yağmur suyu hasadı gibi geleneksel uygulamalar devam etmektedir. Ancak, toplanan yağmur suyu yeniden kullanılmak yerine genellikle kanalizasyon şebekesine akmaktadır. Ek olarak, evlerde bulunan geleneksel cihazlar aşırı su tüketimine neden olurken, çamaşır makinesi gibi beyaz eşyalarda su tasarrufu sağlayan özellikler bulunmamaktadır (Afad Risk Raporu, 2022).

4.2 Osmangazi'de Su Yönetimi Uygulamaları

Osmangazi ilçesinde, yeni kayıtlı su aboneleri için evsel içme suyu hatlarının bağlantısı ve sayaçların takılması sağlanmakta olup, altyapısı olmayan sokak ve caddelere içme suyu şebeke hatlarının döşeme çalışmaları yürütülmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : Osmangazi'de içme suyu hatları montajı (Kaynak: Buski Faaliyet Raporu, 2022).

Osmangazi ilçesinin Çağlayan Mahallesi'nde, tarım arazileri için 7147 metrelik bir sulama boru hattı inşaatı tamamlanmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 : Tarımsal kullanım için inşa edilen sulama hatları (Kaynak: Buski Faaliyet Raporu, 2022).

Çeşitli mahallelerde eski kanalizasyon ve yağmur suyu boru hattı inşaatları tamamlanmıştır. Atık suyun arıtma tesislerine ulaşması sağlanarak çevre kirliliğini önleyecek olan boru hatları için bağlantı çalışmaları yapılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : Kanalizasyon ve Yağmursuyu Altyapı İnşaatı (Kaynak: BUSKI Faaliyet Raporu, 2022).

Sel baskınlarından korunmak ve çevre güvenliğini sağlamak için yapılar inşa edilmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : Osmangazi İlçesi Akçaköy Deresi Islahı İnşaatı Projesi (Kaynak: BUSKI Faaliyet Raporu, 2022).

Uludağ Oteller Bölgesi 1. ve 2. Kısım, Kızılay Kamp Alanı, Çobankaya, Sarıalan ve Kadiyayla Bölgeleri'nden gelen atık sular, membran biyoreaktör teknolojisi kullanılarak günde 2.240 m³ kapasiteli ileri biyolojik arıtma prosesine sahip bir kanalizasyon arıtma tesisi ile arıtılacaktır (Şekil 4.7, Şekil 4.8).



Şekil 4.7 : Uludağ Atıksu Arıtma Tesisi İnşaatı Projesi (Kaynak: BUSKI Faaliyet Raporu, 2022).



Şekil 4.8 : Osmangazi'de Atıksu/Yağmursuyu Hatlarının Temizlenmesi (Kaynak: BUSKI Faaliyet Raporu, 2022).

4.3 Osmangazi İlçesinde Önerilen SDKT Çözümleri

Osmangazi, Bursa'nın en kalabalık ilçesi olup 880.000'i aşkın nüfusu ile hem içme suyu hem de sanayi suyu gibi içme suyu dışı su kaynaklarına olan yüksek talep nedeniyle kurak mevsimlerde su kıtlığı ile karşı karşıya kalmaktadır. Çizelge 4.2'de

görüldüğü üzere bu sorun Yunuseli, İstiklal, Adalet, Soğukkuyu ve Dikkaldırım gibi bazı mahallelerin yaşadığı sel riski ile daha da artmaktadır.

4.3.1 Yunuseli Mahallesi

Osmangazi ilçesinin batı kesiminde yer alan Yunuseli Mahallesi, geniş bir yerleşime sahiptir. Mahalle, kuzeyde Çekirge, doğuda Şhreküstü ve batıda Demirtaş ile komşudur. 36.000'i aşan nüfusu ile karma kullanımlı bir yapı sergileyen mahallede; konut, ticari işletme ve sanayi tesisleri bulunmaktadır. Hafif eğimli düz bir alan üzerinde konumlanan Yunuseli Mahallesi'nde, çoğunlukla yeni inşa edilmiş apartman binaları yer almakta olup, bunların önemli bir kısmı sitelerden oluşmaktadır. Mahalle, geniş yolları ile dikkat çekmekte olup, bu durum su geçirmez yüzey oranının yüksek olmasına neden olmaktadır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 : Yunuseli Mahallesi, Osmangazi ilçesi (Kaynak: Url-21).

Çizelge 4.2 : Yunuseli’de Yağmur Suyu Yönetimi Sorunları ve SDKT Çözümleri.

Sorun	Önerilen SDKT Çözümleri
Geniş yollar nedeniyle su geçirmez yüzeyler, şiddetli yağışlarda su taşkınlarına neden olmaktadır.	<ul style="list-style-type: none">• Su taşkınlarını azaltmak, yüzeysel akıntıyı minimize etmek ve yeraltı suyu beslenmesini kolaylaştırmak için su geçiren kaldırımlar inşa edilmesi.• Hükümet binalarında (23 Nisan İlköğretim Okulu ve Şükrü Şankaya Lisesi gibi) yeşil çatı uygulamalarının yapılması.
Geleneksel yağmur suyu hasadı yöntemleri etkili bir şekilde kullanılmadığı için su kaynakları israf edilmektedir.	<ul style="list-style-type: none">• Yağmur suyunun akışını filtrelemeye ve yönetmeye yardımcı olan bitkisel drenaj kanalları inşa edilerek su kalitesi artırılmalıdır.• Yağmur suyu akışını drenaj kanallarına yönlendirmek için uygun yükseklik ve eğime sahip tümsekler inşa edilmelidir.
Suyun geri kazanım stratejilerinin olmaması nedeniyle toplanan yağmur suyu geri dönüştürülmek yerine kanalizasyon şebekesine akmaktadır.	<ul style="list-style-type: none">• Yağmur suyunu depolayarak doğrudan içme suyu dışı kullanımlarda değerlendirmek için sitelere yağmur suyu tankları eklenmesi.

Yunuseli Mahallesi'nde yağmur suyu yönetimi sorunları ve SDKT planı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.11 : İlgili mahallelerdeki bodrum katlı, dar geçirimsiz sokaklar (Kaynak: Google Haritalar).

Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere ilgili mahallelerdeki yağmur suyu sorunları ve önerilen SDKT çözümleri belirtilmiştir.

Çizelge 4.3: Dört Mahalledeki Yağmur Suyu Sorunları ve Çözümleri.

Sorun	Önerilen SDKT Çözümleri
<ul style="list-style-type: none"> Dar ve su geçirmez sokaklar, birbirine bitişik evler bulunmaktadır. Bodrumları sokak seviyesinin altında ve girişleri sokakla aynı seviyede olan çoğu ev, ekonomik zarar görme riskiyle karşı karşıyadır. Mahallelerin çoğunda eğimli sokaklar vardır. Yağmur suyu girişlerinin olmaması drenaj sorunlarını daha da arttırmaktadır. 	<ul style="list-style-type: none"> Su taşkınlarını azaltmak, yeraltı suyu beslenmesini kolaylaştırmak ve daha fazla yağmur suyunun hasatı için su geçirgen kaldırımlar inşa edilmesi. Hükümet binalarında (Sakarya İlköğretim Okulu, Şht. Bakım Onbaşı Tolga Taştan İlkokulu, Aliosman Sönmez Hastanesi, Bursa Anadolu ve Cumhuriyet Anadolu Lisesi gibi) su ovaları ve yeşil çatıların uygulanması.

4.4 Osmangazi İlçesinde Su Yönetim Önerileri

Çizelge 4.4'te görüldüğü üzere Osmangazi'de su kıtlığı sorunları ve önerilen SDKT çözümleri ele alınmıştır.

Çizelge 4.4: Osmangazi'deki Su Kıtlığı Sorunları ve Çözümleri.

Sorun	Önerilen SDKT Çözümleri
Evlerde kullanılan suyu verimsiz kullanan armatürler, su tüketimi sorunlarını daha da kötüleştirmektedir.	<ul style="list-style-type: none">• Geleneksel 7.5-9 litre su kullanan tuvaletlerin aksine, sifon başına sadece 2 ve 4 litre su kullanan tuvaletlerin kullanılması.• Su akışını ve basıncı azaltmak için püskürtme musluklarına otomatik olarak akış düzenleyen sınırlayıcılar yerleştirilmesi.• Duş sırasında meydana gelen su tüketimini azaltmak için akıllı duş başlığı kullanımı ve otomatik sayaç sistemi uygulaması.
Beyaz eşyalarda su tasarrufu sağlayan özelliklerinin olmaması, su yönetimi konusundaki sorunları daha da artırmaktadır.	<ul style="list-style-type: none">• En verimli su kullanımı sağlayan çamaşır makinelerinin takılmasıyla yıkama başına sadece 39 litre su harcanmaktadır.
Yağmur suyu etkisiz kullanılmaktadır.	<ul style="list-style-type: none">• Her binanın temellerinin yanına konumlandırılmış olan depolama tanklarında yağmur suyunun toplanması ve depolanması.• Yüzey suyunun, çakıl üzerindeki geçirgen döşemeden geçmesine izin verilmesi ve kontaminantların çakıllı yüzey sayesinde filtrelemeye maruz kalması.

Çizelge 4.4 (devam) : Osmangazi'deki Su Kıtlığı Sorunları ve Çözümleri.

Atık su geri dönüşüm sürecine, etkilenen taraflar dahil edilmemekte ve tüm sorumluluk yetkililerin üzerinde bulunmaktadır.	<ul style="list-style-type: none">• 'Living Technology Machine' kullanarak atık suyun, sanayi sektörü ve sulama gibi içme suyu olmayan alanlar için yeniden kullanımının sağlanması.• Suyun geri kazanımına katılımcıları dahil etmek, yenilikçi teknolojilerin uygulanmasını teşvik etmek ve motivasyon sağlamak için fon sağlanması• Ticari ve endüstriyel sektörlerde su verimliliği yönetimi uygulamalarını hedefleyen düzenleyici tedbirlerin uygulanması.
İlgili alanlarda eski altyapı ve borulardaki yüksek su sızıntı oranları bulunmaktadır.	<ul style="list-style-type: none">• Altyapının dayanıklılığını artırmak için korozyona dayanıklı poliüretan kaplama gibi yeni malzemelerin uygulanması.• Vanaların ve hidrantların düzenli bakımı ve servisi yapılması.• Ulusal boru hattı şebekesine arıza onarımı için düzensiz okumaları iletmek üzere kablosuz sensörler yerleştirmek.

4.5 Tartışma

Bursa, su kıtlığı, eski altyapı ve iklim değişikliğinin etkileri gibi su ile ilgili çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. Suya Duyarlı Kentsel Tasarım (SDKT) önlemlerinin Bursa'da uygulanması, su kaynaklarının yönetiminin iyileştirilmesine, mevcut altyapı üzerindeki yükün hafifletilmesine ve şehrin iklim değişikliğine uyum sağlama kapasitesinin artırılmasına yardımcı olabilir. Hükümet, su tasarrufu sağlayan uygulamaları, atık su arıtımını ve yağmur suyu hasadını teşvik etmek için politikalar ve girişimler başlatmıştır. Ancak, SWOT analizi tarafından da belirtildiği gibi, SDKT

ilkelerinin yaygın bir şekilde benimsenmesini kolaylaştırmak için ek politika desteğine, kurumsal çerçevelere ve paydaşlar arasında iş birliğine ihtiyaç vardır.

- **Güçlü Yönler:** Sel ve taşkın risklerini azaltmak için veri tabanlarının geliştirilmesi, sel riski taşıyan derelerin belirlenmesi ve gerekli önlemlerin ne zaman alınması gerektiğine dair değerlendirmelerin yapılması, kent içi dere ıslah çalışmalarının gerçekleştirilmesi, yağmur ve kanalizasyon sistemlerinin ayrıştırılması, barajlarda ıslah çalışmalarının yapılması, şehir altyapı koruma çalışmalarının yapılması ve kullanılması, daralan ve tıkanan dere yataklarının açılarak taşkın riskinin azaltılması, meteorolojik verilerin güçlü olması, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından oluşturulan havza projelerinin varlığı, sel taşkın envanteri için kurumsal verilerin fazla olması, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) verilerinin bulunması, Nilüfer Çayı ıslah projesinin hazırlanmış ve DSİ tarafından onaylanmış olması, taşkınlar konusunda toplumda farkındalık oluşturma faaliyetleri ve kent kazanması, Bursa'nın güçlü yönleri olarak uygulamaktadır.
- **Zayıf Yönler:** Tüm akarsular için taşkın tehlike risk haritalarının oluşturulmaması, şehir kent merkezine odaklanması ve köylerin ihmal edilmesi, kent merkezinde topoğrafyanın değiştiği bölgelerde ve tarımsal alanlarda kaçak yapılaşmanın meydana gelmesi, orman, mera ve tarım alanlarının yanlış kullanılması, Nilüfer Çayı ıslah projesinin yapım ve kamulaştırma maliyetlerinin yüksek olması, dere ıslahı hususunda kamulaştırmanın net belirlenememesi, dere ıslahının maliyetli olması, kamulaştırma veya kentsel dönüşümde yıkılmasının yüksek maliyet, kentin ani sel ve taşkınlara uygun altyapılara sahip olmaması, uzman insan gücünün temini, yoğun yağış sistem ile bilgilerin değerlendirilmesi ve güncellenmesi konusunda eksiklikler Bursa'nın zayıf yönleridir.
- **Fırsatlar:** Kurumlarda eğitimli personellerin varlığı, meteorolojik tahminlerde ileri seviye altyapı, ıslah projesi hazır olan derelerin varlığı, teknoloji sayesinde taşkın kontrol süreçlerinin daha kaliteli, verimli ve izlenebilir hale gelmesi, yerleşime açılacak alanların taşkın riskiyle uyumlu olarak tasarlanması, şehirde bulunan üniversitelerin taşkınlar ve önleme konusunda bilimsel katkı sunması, mevzuatın iyileştirilmesi ve özellikle şehir yerleşiminde yeşil alanların ve parkların artırılması gerekliliği gibi fırsatlar bulunmaktadır.

- **Tehditler:** Coğrafi konumu nedeniyle Bursa ilinde birçok dere yatağının bulunması, depremlerden dolayı barajların risk altında olması, tüm ilçe merkezlerinde yağmur suyu ve kanalizasyon sistemlerinin ayrılmaması, il ve ilçe merkezlerinde nehir ve dere yataklarına yakın yerlerin yeni cazibe merkezleri haline getirilmesi, can ve mal kaybına neden olan taşkınların daha sık ve yıkıcı hale gelmesi, eğimli yamaçların yerleşim alanı olarak kullanılması, kaçak yapılaşmanın devam etmesi, olası bir depremde Doğancı ve Nilüfer Barajları'nın zarar görmesi ve büyük bir su baskını riski oluşturması, taşkın etki alanları içerisinde yapılaşmaya izin verilmesi, akarsu yataklarının kum ve çakıl alınarak değiştirilmesi, dere yataklarının kapatılması, akarsu ve vadilere yerleşmiş olan yerleşim alanları tehditler arasında yer alır (Afad Risk Raporu, 2022).

4.6 Paydaşların Katılımı

Önerilen Suya Duyarlı Kentsel Tasarım (SDKT) stratejisinin kentlere entegrasyonu için paydaşların katılımı çok önemlidir. Bu yaklaşım sayesinde politikacılar, araştırmacılar ve tasarımcılar birlikte potansiyel müdahaleleri gösteren planlar oluşturabilirler. Bu planlar daha sonra arazi sahiplerini mevcut yapıları ve alanları yeniden değerlendirmeye teşvik etmek ve ikna etmek için kullanılabilir. Aynı şekilde, halk ve sivil toplum kuruluşları, hükümet kurumları veya belediye yetkililerinin etkisiyle önerilen tekniklerin benimsenmesi savunulabilir. Önerilen tasarım yaklaşımı, çözümlerin daha geniş bir ölçekte değerlendirilmesini kolaylaştırır ve belediyelerin kendi bölgelerinin ihtiyaçlarını kapsamlı bir şekilde analiz etmesine olanak tanır. Bu süreçte, tüm paydaşlar aktif olarak stratejinin uygulanmasına dahil edilebilir ve yerel halk, yetkililer ve yatırımcılar gibi çeşitli paydaşların iş birliği içinde çalışması sağlanabilir. Mevcut olan ve önerilen çözümler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 4.12).



(A)



(B)



(A)



(B)



(A)



(B)

Şekil 4.12 : A) Mevcut Olan B) Önerilen (Kaynak: Google Gemini).

4.7 Kentsel Konforun Artırılması

Önerilen yaklaşım ve tasarım metodolojisi, Bursa gibi hızla genişleyen şehirlerde artan sel riskinin getirdiği sorunu etkin bir şekilde ele almaktadır. Dahası, bu strateji belirli bir bölgenin dış mekan konforunu önemli ölçüde iyileştirirken, boş zaman aktiviteleri ve sosyal etkileşim için cazip mekanlar sunarak topluluk içinde sosyal gelişmeyi de

olumlu yönde desteklemektedir. Aynı zamanda, önerilen strateji, 3. Bölüm'de belirtilen tasarım ilkelerine rehberlik ederek mevcut yapı ortamı ile uyumlu olacak şekilde titizlikle oluşturulmuştur. Bu kapsamlı yaklaşımın en önemli amacı, su yönetimini optimize eden, şehrin konforunu artıran ve hem yerel halkın hem de ziyaretçilerin halka açık alanları aktif olarak kullanmasını teşvik eden kapsayıcı bir ortam yaratmaktır. Son olarak, bu çözümlerin getirdiği sosyal ve somut faydaların, yani iyileştirilmiş hava kalitesi, azaltılmış gürültü kirliliği ve artan biyoçeşitlilik gibi, genel yaklaşımın ayrılmaz parçaları olarak kabul edilmesi gerekir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez, Bursa ili Osmangazi ilçesinde suya duyarlı kentsel tasarım (SDKT) stratejilerinin uygulanabilirliğini araştırarak, iklim değişikliği ve hızlı kentleşmenin su kaynakları üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmayı amaçlamaktadır. Çalışma, hem eski hem de yeni mahallelerde sürdürülebilir su yönetimi çözümlerini geliştirmeye yönelik somut öneriler sunmaktadır. Araştırma sonucunda, mevcut su yönetimi uygulamalarının yetersiz olduğu ve bu durumun su kıtlığı, sel ve kirlilik gibi sorunlara yol açtığı tespit edilmiştir. SDKT yaklaşımının, Bursa'da su kaynaklarının korunması, su kalitesinin iyileştirilmesi ve kentsel dirençliliğin artırılması konusunda önemli katkılar sağlayacağı belirlenmiştir. Bursa, hızla artan nüfusu ve sanayileşme ile birlikte su kaynakları üzerinde büyük bir baskı altındadır. Mevcut su yönetim sistemleri, artan su talebini ve iklim değişikliğinin getirdiği zorlukları karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Bu durum, su kıtlığı, sel ve kirlilik gibi sorunları beraberinde getirmektedir. SDKT stratejileri, bu sorunlara yenilikçi ve sürdürülebilir çözümler sunarak, şehirlerin su kaynaklarını daha etkin bir şekilde yönetmelerine olanak tanır. Araştırmada, Bursa'nın Osmangazi ilçesinde uygulanan vaka analizleri, suya duyarlı kentsel tasarımın yerel koşullara nasıl entegre edilebileceğini göstermektedir. Osmangazi ilçesi, su kaynaklarının korunması ve yönetimi açısından kritik bir bölgedir. Bu bağlamda, çalışmada önerilen çözümler, ilçenin su yönetimi uygulamalarını iyileştirmek için önemli bir rehber niteliğindedir.

Çalışmada, dünya genelinde uygulanan en iyi su yönetimi uygulamaları incelenmiş ve bunların Bursa'da nasıl uygulanabileceği değerlendirilmiştir. Yeşil altyapı ve düşük etkili kalkınma stratejilerinin, Bursa'nın su yönetimi sorunlarını çözmek için etkili yöntemler olduğu belirlenmiştir. Bu stratejiler, yağmur suyunun yerinde yönetilmesini, suyun doğal yollarla filtrelenmesini ve su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlar. Topluluk katılımı ve farkındalık yaratma, su yönetimi stratejilerinin başarısı için kritik öneme sahiptir. Halkın bu konularda bilinçlendirilmesi ve su tasarrufu konusunda eğitilmesi, su kaynaklarının korunmasına yönelik önemli adımlardan biridir. Ayrıca, yerel ve ulusal politikaların su yönetimini destekleyecek şekilde geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir. Mevcut yasaların

gözden geçirilmesi ve gerekli düzenlemelerin yapılması, suyun sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini sağlayacaktır. Teknoloji ve izleme sistemlerinin kullanımı, su yönetiminde verimliliği artırabilir. Akıllı su yönetim sistemleri, su tüketimini izleyerek ve analiz ederek su tasarrufunu artırabilir. İklim değişikliğine karşı dayanıklılığı artırmak için, kentsel su yönetimi planlarına iklim değişikliği adaptasyon stratejilerinin entegre edilmesi gerekmektedir. Bu, gelecekteki su kıtlığı ve aşırı hava olaylarına karşı hazırlıklı olmayı sağlar.

Sonuç olarak, bu tezde önerilen SDKT stratejilerinin uygulanması, Bursa'nın su kaynaklarını koruma, su kalitesini iyileştirme ve kentsel dirençliliği artırma konusunda önemli katkılar sağlayacaktır. Bu yaklaşımlar, Bursa'nın su yönetimi konusunda model bir şehir olmasını sağlayabilir ve diğer şehirler için örnek teşkil edebilir. Suya duyarlı kentsel tasarım stratejilerinin başarılı bir şekilde uygulanması, Bursa'nın su kaynaklarını sürdürülebilir bir şekilde yönetmesine ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı daha dirençli hale gelmesine yardımcı olacaktır.

- Yeşil Altyapı (YA) Uygulamaları: Bursa'da su yönetimi için yeşil altyapı uygulamaları teşvik edilmelidir. Bu, yağmur bahçeleri, geçirgen zeminler ve yeşil çatılar gibi çözümleri içermelidir. Bu tür uygulamalar, yağmur suyunun yerinde yönetimini sağlayarak sel riskini azaltır ve suyun doğal yollarla filtrelenmesini teşvik eder.
- Düşük Etkili Kalkınma (DEK) Stratejileri: DEK stratejileri benimsenerek, yeni gelişim alanlarında suyun etkin bir şekilde yönetilmesi sağlanmalıdır. Bu stratejiler, doğal su döngüsünü bozmadan yapılaşmayı destekler ve suyun yeraltı kaynaklarına sızmasını artırır.
- Topluluk Katılımı ve Farkındalık: Su yönetimi ve SDKT stratejilerinin başarıya ulaşabilmesi için topluluk katılımı önemlidir. Halkın bu konularda bilinçlendirilmesi ve su tasarrufu konusunda eğitilmesi gerekmektedir. Topluluk etkinlikleri ve eğitim programları bu amaçla kullanılabilir.
- Politika ve Mevzuat: Su yönetimi ve SDKT uygulamalarını destekleyen yerel ve ulusal politikaların geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir. Mevcut su yönetimi yasalarının gözden geçirilmesi ve gerekli düzenlemelerin yapılması, suyun sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini sağlayacaktır.
- Teknoloji ve İzleme: Su yönetiminde kullanılacak ileri teknolojiler ve izleme sistemleri, su kaynaklarının verimli bir şekilde yönetilmesine yardımcı olabilir.

Akıllı su yönetim sistemleri, su tüketimini izleyerek ve analiz ederek su tasarrufunu artırabilir.

- İklim Değişikliği Adaptasyonu: İklim değişikliğine karşı dayanıklılığı artırmak için, kentsel su yönetimi planlarına iklim değişikliği adaptasyon stratejileri entegre edilmelidir. Bu, gelecekteki su kıtlığı ve aşırı hava olaylarına karşı hazırlıklı olmayı sağlar.

Bu öneriler, Bursa'nın su kaynaklarını koruma ve sürdürülebilir kentsel gelişimi destekleme yolunda önemli adımlar atmasına yardımcı olabilir. SDKT stratejilerinin başarılı bir şekilde uygulanması, Bursa'nın su yönetimi konusunda model bir şehir olmasını sağlayabilir.



KAYNAKLAR

- Afad bursa il afet ve acil durum müdürlüğü** (2022). Retrieved December 22.2023. From <https://bursa.afad.gov.tr/kurumlar/bursa.afad/Bursa-IRAP.pdf>
- Ahamad, M. G., Khondker, R. K., Ahmed, Z. U., & Tanin, F.** (2013). Seasonal food insecurity in Bangladesh: evidences from northern areas. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18, 1077-1088.
- Aven, T.** (2020). Climate change risk–what is it and how should it be expressed?. *Journal of Risk Research*, 23(11), 1387-1404.
- Azouz, M., & Salem, D.** (2023). Urban resilience and stormwater management: Lessons learnt from New Cairo, Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(6), 102117.
- Bates, B.** (2008). Climate change and Water: technical Paper VI. <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-change-water-en.pdf>
- Berndtsson, J. C.** (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*, 36(4), 351-360.
- Biswas, R. R., Sharma, R., & Gyasi-Agyei, Y.** (2022). Adaptation to climate change: A study on regional urban water management and planning practice. *Journal of Cleaner Production*, 355, 131643..
- Blöschl, G., Hall, J., Viglione, A., Perdigão, R. A., Parajka, J., Merz, B., ... & Živković, N.** (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 573(7772), 108-111.
- Brown, R. A., & Hunt, W. F.** (2009). Bioretention performance in the upper coastal plain of North Carolina. In *Low Impact Development for Urban Ecosystem and Habitat Protection* (pp. 1-10).
- Brown, R. R., & Farrelly, M. A.** (2009). Delivering sustainable urban water management: a review of the hurdles we face. *Water Science and Technology*, 59(5), 839-846.
- Bursa valiliği.** (2024), İlçelerimiz. Retrieved December 22.2023. From <http://www.bursa.gov.tr/ilcelerimiz#>.
- Buski Faaliyet Report 2022** Retrieved December 22.2023. From <https://www.buski.gov.tr/WebContent/Rapor/2022-faaliyet-raporu-.pdf>.
- BUSKİ - Su Ve Şehir Dergisi.** (2023). BUSKİ - Su ve Şehir Dergisi. Buski.gov.tr. https://www.buski.gov.tr/WebContent/Dergi/Su_ve_Sehir_Dergisi_45/samples/magazine/Su_ve_Sehir_Bursa_Sayi-45.html

- Buurman, J. J. G., Lee, T. K., Iftekhhar, M. S., & Yu, S. M.** (2021). Strategies to promote the adoption of sustainable drainage by private developers: A case study from Singapore. *Urban Water Journal*, 18(1), 61-67.
- Cadez, S., & Czerny, A.** (2016). Climate change mitigation strategies in carbon-intensive firms. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4132-4143.
- Caiado, J.** (2010). Performance of combined double seasonal univariate time series models for forecasting water demand. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(3), 215-222.
- Cheng, J., Yang, K., Huang, M., Xie, B., & Li, X.** (2009). Reduction effect of sunken green space on urban rainfall-runoff pollution. *China Environmental Science*, 29(6), 611-616.
- Chiang, F., Mazdiyasi, O., & AghaKouchak, A.** (2021). Evidence of anthropogenic impacts on global drought frequency, duration, and intensity. *Nature Communications*, 12(1), 2754.
- DCLG.** (2006). *Code for sustainable homes: A step-change in sustainable home building practice.*
- DeBusk, K. M., & Wynn, T. M.** (2011). Storm-water bioretention for runoff quality and quantity mitigation. *Journal of Environmental Engineering*, 137(9), 800-808.
- DeNardo, J. C., Jarrett, A. R., Manbeck, H. B., Beattie, D. J., & Berghage, R. D.** (2005). Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs. *Transactions of the ASAE*, 48(4), 1491-1496.
- DE URBANISTEN.** (n.d.). Watersquare Benthemplein, Rotterdam. Retrieved December 22, 2023. From <https://www.urbanisten.nl/work/benthemplein>.
- Descheemaeker, K., Zijlstra, M., Masikati, P., Crespo, O., & Tui, S. H. K.** (2018). Effects of climate change and adaptation on the livestock component of mixed farming systems: A modelling study from semi-arid Zimbabwe. *Agricultural Systems*, 159, 282-295.
- Dietz, M. E.** (2007). Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions. *Water, Air, and Soil Pollution*, 186, 351-363.
- Dilling, L., Daly, M. E., Kenney, D. A., Klein, R., Miller, K., Ray, A. J., ... & Wilhelmi, O.** (2019). Drought in urban water systems: Learning lessons for climate adaptive capacity. *Climate Risk Management*, 23, 32-42.
- Dige, G., Eichler, L., Vermeulen, J., Ferreira, A., Rademaekers, K., Adriaenssens, V., & Kolaszewska, D.** (2017). Green infrastructure and flood management: promoting cost-efficient flood risk reduction via green infrastructure solutions. *European Environment Agency (EEA) Report*, 14, 30-32.
- Elkouk, A., Pokhrel, Y., Satoh, Y., & Bouchaou, L.** (2022). Implications of changes in climate and human development on 21st-century global drought risk. *Journal of Environmental Management*, 317, 115378.

- El-zafarany, M. A.** (2018) *Progress report of the pilot project for protecting New Cairo from Rainwater.*
- EPA.** (2016) “*Green infrastructure and climate change collaborating to improve community resiliency,*” p. 26.
- Feng, X., Qiu, H., Pan, J., & Tang, J.** (2021). The impact of climate change on livestock production in pastoral areas of China. *Science of the Total Environment*, 770, 144838.
- Field, C. B. (Ed.).** (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change.* Cambridge University Press.
- Gimenez-Maranges, M., Pappalardo, V., La Rosa, D., Breuste, J., & Hof, A.** (2020). The transition to adaptive storm-water management: Learning from existing experiences in Italy and Southern France. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102061.
- Green Infrastructure for Europe: The Lower Danube Green Corridor. WWF. Factsheet** (2015). Retrieved December 22, 2023. From https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/case-studies/lower-danube-green-corridor-floodplain-restoration-for-flood-protection/danube_document-1.pdf.
- Greve, P., Kahil, T., Mochizuki, J., Schinko, T., Satoh, Y., Burek, P., ... & Wada, Y.** (2018). Global assessment of water challenges under uncertainty in water scarcity projections. *Nature Sustainability*, 1(9), 486-494.
- Güleryüz, G., Arslan, H., Çelik, C., Güçer, Ş., & Kendall, M.** (2008). Heavy metal content of plant species along Nilüfer stream in industrialized Bursa city, Turkey. *Water, Air, and Soil Pollution*, 195, 275-284.
- Haque, M. M., Rahman, A., & Samali, B.** (2016). Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting. *Journal of Cleaner Production*, 137, 60-69.
- Harmancioglu, N. B., & Altinbilek, D. (Eds.).** (2020). *Water resources of Turkey.* Springer International Publishing.
- Hassan, B. T., Yassine, M., & Amin, D.** (2022). Comparison of urbanization, climate change, and drainage design impacts on urban flashfloods in an arid region: case study, New Cairo, Egypt. *Water*, 14(15), 2430.
- He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J., & Bryan, B. A.** (2021). Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nature Communications*, 12(1), 4667.
- Hoo, R.** (2020). Managing water demand in Singapore through a systems perspective. *International Journal of Water Resources Development*, 36(6), 879-887.
- Huang, Z., Yuan, X., & Liu, X.** (2021). The key drivers for the changes in global water scarcity: Water withdrawal versus water availability. *Journal of Hydrology*, 601, 126658.

- Kalbali, E., Ziaee, S., Najafabadi, M. M., & Zakerinia, M.** (2021). Approaches to adapting to impacts of climate change in northern Iran: The application of a Hydrogy-Economics model. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124067.
- Kang, S. J., Lee, S. J., & Lee, K. H.** (2009). A study on the implementation of non-structural measures to reduce urban flood damage-Focused on the survey results of the experts. *Journal of Asian architecture and building engineering*, 8(2), 385-392.
- Karaer, F., & Küçükballı, A.** (2006). Monitoring of water quality and assessment of organic pollution load in the Nilüfer Stream, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 114, 391-417.
- Karimi, V., Bijani, M., Hallaj, Z., Valizadeh, N., Fallah Haghghi, N., & Karimi, M.** (2023). Adaptation and Maladaptation to Climate Change: Farmers' Perceptions. In *Strategizing Agricultural Management for Climate Change Mitigation and Adaptation* (pp. 113-132). Cham: Springer International Publishing.
- Karimi, V., Karami, E., & Keshavarz, M.** (2018). Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(1), 1-15.
- Karimi, V., Karami, E., Karami, S., & Keshavarz, M.** (2021). Adaptation to climate change through agricultural paradigm shift. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 5465-5485.
- Kolsky, P., & Butler, D.** (2002). Performance indicators for urban storm drainage in developing countries. *Urban Water*, 4(2), 137-144.
- Kron, W.** (2005). Flood risk= hazard• values• vulnerability. *Water International*, 30(1), 58-68.
- Kron, W., Eichner, J., & Kundzewicz, Z. W.** (2019). Reduction of flood risk in Europe—Reflections from a reinsurance perspective. *Journal of Hydrology*, 576, 197-209.
- Kundzewicz, Z. W., Kanae, S., Seneviratne, S. I., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., ... & Sherstyukov, B.** (2014). Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 59(1), 1-28.
- Lazarus, N.** (2003). BedZED: Toolkit Part II: A practical guide to producing affordable carbon neutral developments. *BioRegional: Wallington, UK*.
- Lin, R., Zheng, F., Ma, Y., Duan, H. F., Chu, S., & Deng, Z.** (2022). Impact of spatial variation and uncertainty of rainfall intensity on urban flooding assessment. *Water Resources Management*, 36(14), 5655-5673.
- Liu, J., Yang, H., Gosling, S. N., Kummu, M., Flörke, M., Pfister, S., ... & Oki, T.** (2017). Water scarcity assessments in the past, present, and future. *Earth's Future*, 5(6), 545-559.
- Liu, Z., & Wu, J.** (2022). Landscape-based solutions are needed for meeting water challenges of China's expanding and thirsty cities. *Landscape Ecology*, 37(11), 2729-2733.

- Machairas, I., & van de Ven, F. H.** (2023). An urban drought categorization framework and the vulnerability of a lowland city to groundwater urban droughts. *Natural Hazards*, 116(2), 1403-1431.
- Mariano, C., & Marino, M.** (2022). Urban Planning for Climate Change: A Toolkit of Actions for an Integrated Strategy of Adaptation to Heavy Rains, River Floods, and Sea Level Rise. *Urban Science*, 6(3), 63.
- McLennan, M.** (2021). The Global Risks Report 2021 16th Edition. Cologny, Switzerland: World Economic Forum.
- McLennan, M.** (2022). The global risks report 2022 17th edition. Cologny, Switzerland: World Economic Forum.
- Mechler, R., Bouwer, L. M., Schinko, T., Surminski, S., & Linnerooth-Bayer, J.** (2019). *Loss and damage from climate change: Concepts, methods and policy options* (p. 557). Springer Nature.
- Messner, S., Miranda, S. C., Young, E., & Hedge, N.** (2011). Climate change-related impacts in the San Diego region by 2050. *Climatic Change*, 109(Suppl 1), 505-531.
- MGM Meteoroloji Genel Müdürlüğü.** (2023). Retrieved December 22, 2023. From <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=BURSA>
- Mguni, P., Herslund, L., & Jensen, M. B.** (2015). Green infrastructure for flood-risk management in Dar es Salaam and Copenhagen: exploring the potential for transitions towards sustainable urban water management. *Water Policy*, 17(1), 126-142.
- Müller, A., Österlund, H., Marsalek, J., & Viklander, M.** (2020). The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources. *Science of the Total Environment*, 709, 136125.
- Myers, B., Beecham, S., & van Leeuwen, J. A.** (2011, July). Water quality with storage in permeable pavement basecourse. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management* (Vol. 164, No. 7, pp. 361-372). Thomas Telford Ltd.
- Özkan, Ş., Vitali, A., Lacetera, N., Amon, B., Bannink, A., Bartley, D. J., ... & Kipling, R. P.** (2016). Challenges and priorities for modelling livestock health and pathogens in the context of climate change. *Environmental Research*, 151, 130-144.
- Pappalardo, V., & La Rosa, D.** (2020). Policies for sustainable drainage systems in urban contexts within performance-based planning approaches. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101830.
- Qin, Y., Mueller, N. D., Siebert, S., Jackson, R. B., AghaKouchak, A., Zimmerman, J. B., ... & Davis, S. J.** (2019). Flexibility and intensity of global water use. *Nature Sustainability*, 2(6), 515-523.
- Rich, D., Andiroglu, E., Gallo, K., & Ramanathan, S.** (2023). A review of water reuse applications and effluent standards in response to water scarcity. *Water Security*, 20, 100154.

- Rushton, B. T.** (2001). Low-impact parking lot design reduces runoff and pollutant loads. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127(3), 172-179.
- Sharma, D., & Kansal, A.** (2013). Sustainable city: a case study of stormwater management in economically developed urban catchments. *Mechanism Design for Sustainability: Techniques and Cases*, 243-263.
- Stauffer, C.** (2016). Drought ends in Brazil's Sao Paulo but future still uncertain. *Reuters*.
- Tanzeeba, S., & Gan, T. Y.** (2012). Potential impact of climate change on the water availability of South Saskatchewan River Basin. *Climatic Change*, 112, 355-386.
- Tariku, T. B., & Gan, T. Y.** (2018). Regional climate change impact on extreme precipitation and temperature of the Nile river basin. *Climate Dynamics*, 51(9-10), 3487-3506.
- Thamo, T., Addai, D., Pannell, D. J., Robertson, M. J., Thomas, D. T., & Young, J. M.** (2017). Climate change impacts and farm-level adaptation: Economic analysis of a mixed cropping–livestock system. *Agricultural Systems*, 150, 99-108.
- Tilleard, S., Turrall, H., Ketelsen, T., & Whiting, L.** (2023). Climate Change, Water Scarcity and Agriculture: Lessons from the Countries of the Lower Mekong. In *Climate Risks to Water Security: Framing Effective Response in Asia and the Pacific* (pp. 215-238). Cham: Springer International Publishing.
- Twinn, C.** (2003). BedZED. *Arup Journal*, 38(1), 10-16.
- U.S. EPA.** “Greening CSO Plans: Planning and Modeling Green Infrastructure for Combined Sewer Overflow (CSO) Control,” p. 38; 2014.
- Ustun, G. E.** (2011). The Assessment of Heavy Metal Contamination in the Waters of the Nilufer Stream in Bursa. *Ekoloji Dergisi*, 20(81).
- Veldkamp, T. I. E., Wada, Y., Aerts, J. C. J. H., Döll, P., Gosling, S. N., Liu, J., ... & Ward, P. J.** (2017). Water scarcity hotspots travel downstream due to human interventions in the 20th and 21st century. *Nature Communications*, 8(1), 15697.
- Vis, M., Klijn, F., De Bruijn, K. M., & Van Buuren, M.** (2003). Resilience strategies for flood risk management in the Netherlands. *International Journal of River Basin Management*, 1(1), 33-40.
- Walsh, C. J., Leonard, A. W., Ladson, A. R., & Fletcher, T. D.** (2004). Urban stormwater and the ecology of streams. *Cooperative Research Centre for Freshwater Ecology and Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Canberra*, 44.
- Wang, X. J., Zhang, J. Y., Yang, Z. F., Shahid, S., He, R. M., Xia, X. H., & Liu, H. W.** (2015). Historic water consumptions and future management strategies for Haihe River basin of Northern China. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20, 371-387.

- Wheeler, S. A., Nauges, C., & Zuo, A.** (2021). How stable are Australian farmers' climate change risk perceptions? New evidence of the feedback loop between risk perceptions and behaviour. *Global Environmental Change*, 68, 102274.
- Wilcox, J., Nasiri, F., Bell, S., & Rahaman, M. S.** (2016). Urban water reuse: A triple bottom line assessment framework and review. *Sustainable Cities and Society*, 27, 448-456.
- Wilhite, D.** (2006). Drought monitoring and early warning: Concepts, progress and future challenges. *World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. WMO, 1006.*
- Williams, A. P., Cook, B. I., & Smerdon, J. E.** (2022). Rapid intensification of the emerging southwestern North American megadrought in 2020–2021. *Nature Climate Change*, 12(3), 232-234.
- Witze, A.** (2008). Losing Greenland: is the Arctic's biggest ice sheet in irreversible meltdown? And would we know if it were? *Nature*, 452(7189), 798-803.
- Wong, T. H. F., Allen, R. A., Brown, R. R., Deletic, A., Gangadharan, L., Gernjak, W., ... & Walsh, C. J.** (2013). Stormwater management in a water sensitive city: blueprint 2013.
- Wulf, H., Bookhagen, B., & Scherler, D.** (2012). Climatic and geologic controls on suspended sediment flux in the Sutlej River Valley, western Himalaya. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(7), 2193-2217.
- Xia, H., & Zhang, Y. (Eds.).** (2014). *The 2nd International Symposium on Rail Transit Comprehensive Development (ISRTCD) Proceedings*. Springer Science & Business Media.
- Yuan, Z., Liang, C., & Li, D.** (2018). Urban stormwater management based on an analysis of climate change: A case study of the Hebei and Guangdong provinces. *Landscape and urban planning*, 177, 217-226.
- Zhang, X., Chen, N., Sheng, H., Ip, C., Yang, L., Chen, Y., ... & Niyogi, D.** (2019). Urban drought challenge to 2030 sustainable development goals. *Science of the Total Environment*, 693, 133536.
- Zhu, D., Kung, M., & Zhou, L.** (2015). Analysis of sustainable energy systems in ecovillages: a review of progress in BedZED and Masdar City. *Low Carbon Economy*, 6(01), 1.
- Url-1** <<https://www.bbc.com/news/62751110>>, erişim tarihi 22.12.2023.
- Url-2** <<https://www.trthaber.com/foto-galeri/nilufer-baraji-tamamen-kurudu/51860/sayfa-4.html>>, erişim tarihi 22.12.2023.
- Url-3** <<https://www.economist.com/asia/2022/08/30/pakistan-has-been-hit-by-its-worst-floods-in-recent-memory>>, erişim tarihi 22.12.2023.
- Url-4** <<https://www.economist.com/europe/2021/07/20/germany-grapples-with-the-human-and-political-fallout-of-the-devastating-floods>>, erişim tarihi 22.12.2023.
- Url-5** <<https://floodlist.com/europe/france-floods-north-pas-de-calais-january-2024-floods>>, erişim tarihi 22.12.2023.

- Url-6** <<https://www.paving.org.uk/australia-road/>>, erişim tarihi 22.12.2023.
- Url-7** <<https://egyptianstreets.com/2018/04/26/heavy-rains-cause-chaos-in-cairo/>>, erişim tarihi 22.12.2023.
- Url-8** <<https://sustainablearchitecturenews.blogspot.com/2014/12/bedzed-london-united.html>>, erişim tarihi 22.12.2023.
- Url-9** <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Permeable_Pavement_\(15456488240\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Permeable_Pavement_(15456488240).jpg)>, erişim tarihi 22.12.2023.
- Url-10** <<https://www.flowstobay.org/data-resources/plans/sustainable-streets-master-plan/burlingame-donnely-avenue-rain-garden/>>, erişim tarihi 22.12.2023.
- Url-11** <<https://green-roofs.co.uk/case/bentinck-street-green-roofs-central-london-zinco-system/>>, erişim tarihi 22.12.2023.
- Url-12** <<https://www.flickr.com/photos/walkingsf/40369762221/>>, erişim tarihi 22.12.2023.
- Url-13** <<https://www.britannica.com/science/wetland>>, erişim tarihi 22.12.2023.
- Url-14** <<https://www.amphiro.com/>>, erişim tarihi 22.12.2023.
- Url-15** <<https://www.architectural-review.com/buildings/water-square-in-rotterdam-the-netherlands-by-de-urbanisten>>, erişim tarihi 22.12.2023.
- Url-16** <<https://dsi.gov.tr/>>, erişim tarihi 22.12.2023.
- Url-17** <<https://www.webursa.com/bursa/bursa-nin-turistik-bolgesini-sel-vurdu-kabus-gibi-goruntuler-811920>>, erişim tarihi 22.12.2023.
- Url-18** <<https://www.mgm.gov.tr/tahmin/turkiye.aspx>>, erişim tarihi 22.12.2023.
- Url-19** <<https://www.buski.gov.tr/>>, erişim tarihi 22.12.2023.
- Url-20** <<https://tekirdaghaber.com/bursanin-20-gunluk-suyu-kaldi-nilufer-baraji-su-anda-bombos/21955/>>, erişim tarihi 22.12.2023.
- Url-21** <<https://maps.app.goo.gl/CpK1tFXen9k1mkhz5>>, erişim tarihi 22.12.2023.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Abdulrahman Hassanin

Doğum Tarihi ve Yeri :

E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2020, Delta Yüksek Mühendislik ve Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2024, Bursa Teknik Üniversitesi, Kentsel Tasarım Ana Bilim Dalı, Kentsel Tasarım Tezli Yüksek Lisans Programı