

**PEYZAJ MİMARLIĞINDA YAĞIŞ SUYU YÖNETİMİ VE
YAĞMUR BAHÇELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

MERTKAN FAHRETTİN TEKİNALP

**DOKTORA TEZİ
PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. ZEKİ DEMİR**

DÜZCE, 2024

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

PEYZAJ MİMARLIĞINDA YAĞIŞ SUYU YÖNETİMİ VE
YAĞMUR BAHÇELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mertkan Fahrettin TEKİNALP tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Zeki DEMİR

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Zeki DEMİR

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Özgür YERLİ

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Mert EKŞİ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Prof. Dr. M. Kıvanç AK

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Orhun SOYDAN

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 07/06/2024

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

7 Haziran 2024

Mertkan Fahrettin TEKİNALP

TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam ve danışmanım Prof. Dr. Zeki DEMİR'e en içten dileklerle teşekkür ederim. Tez süresince bana yol gösteren ve her aşamada destek veren değerli hocalarım Doç. Dr. Mert EKŞİ ve Doç. Dr. Özgür YERLİ'ye ve katkısı bulunan tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma boyunca bana yardımcı olan değerli arkadaşlarım Atakan Süha KARAYILMAZLAR'a ve Berfin ŐENİK'e ve desteklerini esirgemeyen tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim. Her zaman desteğini hissettiğim ve çalışmam boyunca her aşamada bana yardımcı olan sevgili annem Birsen TEKİNALP ve sevgili babam Gültekin TEKİNALP'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

7 Haziran 2024

Mertkan Fahrettin TEKİNALP

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
KISALTMALAR.....	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvi
EXTENDED ABSTRACT.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. ÇALIŞMA KAPSAMI VE AMACI.....	3
1.2. SU DÖNGÜSÜ	4
1.3. SUYUN TARİHSEL KULLANIMI VE YÖNETİMİ	6
1.4. YAĞIŞ SUYU YÖNETİMİ KAVRAMI	12
1.5. YAĞIŞ SUYU YÖNETİMİNDE KULLANILAN SİSTEMLER.....	19
1.5.1. Yağmur Bahçeleri (Rain Gardens).....	19
1.5.2. Biyolojik hendekler (Bioswales).....	24
1.5.3. İnfiltrasyon/Sızma Hendeği (Percolation/Infiltration Trench).....	27
1.5.4. Geçirgen Zeminler (Permeable Pavements)	29
1.5.5. Yapılı Taşıma Sistemleri (Constructed Conveyance Systems)	32
1.5.6. Yeşil Çatı ve Çatı Bahçeleri (Green Roof and Roof Gardens).....	34
1.5.7. Mavi Çatı (Blue Roof).....	38
1.5.8. Yeşil Duvar/Dikey Bahçe (Green Wall/Vertical Garden)	40
1.5.9. Yağmur Suyu Depoları (Rainwater Tanks).....	44
1.5.10. Yapay Sulak Alanlar (Constructed Wetlands).....	47
1.5.11. Tutma Havzası (Retention Basin).....	50
1.5.12. Geciktirme Havzası (Detention/Retarding Basin).....	54
1.5.13. Akarsu Kıyı Tamponları (Riparian Buffers).....	55
1.5.14. Bitkilendirme Kutuları (Planter Boxes).....	56
1.5.15. Yüzeysel Su Tutma Sistemleri (Subsurface Detention Systems)	58
1.6. YAĞIŞ SUYU KİRLETİCİLERİ.....	59
1.7. LİTERATÜR TARAMASI	64
2. DÜNYA'DAKİ YAĞIŞ SUYU YÖNETİMİ ANLAYIŞLARI ve ÖNEMLİ ÖRNEKLERİ.....	70
2.1. YAĞIŞ SUYU YÖNETİMİ İLE İLGİLİ KAVRAM, UYGULAMA VE YAKLAŞIMLAR.....	70
2.1.1. Gri Altyapı – (Gray Infrastructure).....	70
2.1.2. Yeşil Altyapı – (Green Infrastructure).....	73
2.1.3. Mavi Altyapı – (Blue Infrastructure)	76
2.1.4. Düşük Etkili Gelişim – (Low Impact Development (LID))	78
2.1.5. Düşük Etkili Kentsel Tasarım ve Gelişim (Low Impact Urban Design and Development (LIUDD))	80
2.1.6. Doğal Taşkın Yönetimi (Natural Flood Management (NFM))	82

2.1.7. Entegre Havza Yönetimi (Integrated Watershed Management (IWM))	85
2.1.8. Entegre Su Kaynakları Yönetimi (Integrated Water Resources Management (IWRM))	87
2.1.9. Suyu Duyarlı Kentsel Tasarım (Water-Sensitive Urban Design)	88
2.1.10. Sürdürülebilir Drenaj Sistemleri (Sustainable Drainage Systems (SuDS))	90
2.1.11. Kırsal Sürdürülebilir Drenaj Sistemleri (Rural Sustainable Drainage Systems (RSuDS))	91
2.1.12. Biyo-Ekolojik Drenaj Sistemleri (Bio-ecological Drainage Systems (BIOECODS))	92
2.1.13. Doğal Drenaj Sistemleri (Natural Drainage Systems (NDS))	93
2.1.14. Doğa Tabanlı Çözümler (Nature-based Solutions (NbS))	95
2.1.15. Adaptif Kaynak Yönetimi (Adaptive Resource Management (ARM))	96
2.1.16. Korumacı Alt Bölge Tasarımı (Conservation Subdivision Design)	98
2.1.17. Noktasal Olmayan/Dağınık Kaynak Kirliliği Yönetimi (Nonpoint Source/Diffuse Pollution Management)	99
2.1.18. En iyi Yönetim Uygulamaları (Best Management Practices (BMPs))	102
2.1.19. Sünger Şehir (Sponge City)	103
2.2. YAĞIŞ SUYU YÖNETİMİ KAVRAMININ DEĞİŞİMİ	105
2.3. DÜNYA'DAN ÖNEMLİ ÖRNEKLER	109
2.4. TÜRKİYE'DE YAĞIŞ SUYU YÖNETİMİ	129
3. MATERYAL VE YÖNTEM	131
3.1. MATERYAL	131
3.1.1. Çalışma Alanı Özellikleri	131
3.1.2. İklim Özellikleri	132
3.1.3. Yağmur Bahçesi Modüllerinin Detayları	134
3.1.4. Yağmur Bahçesi Varillerinin Kurulumu	135
3.1.5. Yağmur Bahçesi Bitki Seçimi	137
3.1.6. Yağmur Hasadı Düzenegi	138
3.2. YÖNTEM	139
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	143
4.1. SU ANALİZLERİ	143
4.1.1. Fosfat Analizleri	143
4.1.2. Nitrat Analizleri	149
4.2. BİTKİ GELİŞİM ANALİZLERİ	155
4.2.1. <i>Teucrium fruticans</i> Gelişim Analizi	163
4.2.2. <i>Carex testacea</i> Gelişim Analizi	165
4.2.3. <i>Rosmarinus officinalis</i> Gelişim Analizi	167
4.2.4. <i>Hypericum calycinum</i> Analizi	169
4.3. TOPRAK İNFİLTRASYON ANALİZİ	171
4.4. TOPRAK ANALİZLERİ	173
4.5. BİLEŞİK VERİMLİLİK ANALİZİ	174
4.6. TARTIŞMA	176
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	181
6. KAYNAKLAR	189
ÖZGEÇMİŞ	229

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Su Döngüsü (USGS, 2009).....	5
Şekil 1.2. Sümerlerin antik sulama sistemlerinin sanatçı tasviri (Url-1)	6
Şekil 1.3. Antik Mısırda havza sulaması çözümleri (NYPL)	7
Şekil 1.4. İndus Vadisi Uygarlığı drenaj ve kanalizasyon sistemleri (Url-2)	7
Şekil 1.5. Minos Uygarlığı drenaj sistemleri (Url-3).....	8
Şekil 1.6. Mayaların inşa ettiği rezervuar ve kanal sistemleri (Cincinnati Üniversitesi, 2019).....	8
Şekil 1.7. Nazca Uygarlığı “Puquios” yer altı su kemerleri ve Nazca Çölü (Url-4)	9
Şekil 1.8. UNESCO Dünya Mirası Listesi’nde olan Dujiangyan Sistemi (Url-5)	9
Şekil 1.9. Bozdoğan ve Segovia Su Kemerleri (Url-6).....	10
Şekil 1.10. Roma Hamamı (Thermae), Kanalizasyon sistemi (Cloaca Maxima) ve içme suyunu toplayıp şehirlere dağıtan Castellum aquae (Url-7, Url-8)	10
Şekil 1.11. Qanatların su yolları, yüzeye çıkan kehriz ve su saati (Url-9)	11
Şekil 1.12. Orta Çağ Avrupası’ndan su değirmeni örnekleri (Url-10)	11
Şekil 1.13. Canal du Midi Projesinin Planı (Url-11)	12
Şekil 1.14. Yağış Suyu Yönetimi uygulamalarıyla ön plana çıkan, Hunter's Point South Park, New York City, ABD (Url-12).....	12
Şekil 1.15. Yağış Suyu Yönetimi’nde kullanılan bileşenlerden drenaj sistemleri (Url-13).....	13
Şekil 1.16. Geçirgen yüzeyler Yağış Suyu Yönetimi’nde etkili uygulamalardır (Url-14).....	14
Şekil 1.17. İklim değişikliği sebebiyle artan ekstrem yağışlar sonucu sel felaketleri (Climate Council Australia, 2023)	14
Şekil 1.18. Yağış Suyu Yönetimi, Gri, Yeşil ve Mavi Altyapıların entegre uygulamalarına olanak sağlamaktadır (Url-15).....	15
Şekil 1.19. ABD’nde Düşük Etkili Gelişim (LID) uygulamalarından bir örnek (Url-15).....	15
Şekil 1.20. Su Havzaları Yağış Suyu Yönetiminde önemli bir yere sahiptir. Pioneer Park, Richmond Hill, Kanada (Url-16)	16
Şekil 1.21. Yağış Suyu Yönetimi Elemanlarının Modern Bilgi Aktarım Süreçleri (WLA,2023)	17
Şekil 1.22. Sellere karşı koruma ve kentsel ısı adası etkisinde etkili bir azalma sağlayan Cheonggyecheon nehir kenarı, Seul, Güney Kore, (Url-17).....	17
Şekil 1.23. Yağış Suyu Yönetimi merkezli bir geleceğin şehri konsepti (Url-18)	18
Şekil 1.24. Yağmur Bahçesi (EPA,2014)	19
Şekil 1.25. Yağmur Bahçesi ve bileşenleri (Royal Oak Bld.’den uyarlanmıştır, 2023)	20
Şekil 1.26. Royal Oak şehrinden bir Yağmur Bahçesi (Royal Oak Belediyesi, 2023)...	20
Şekil 1.27. Bir yağmur bahçesine su giriş ve çıkışı (Url-19).....	21
Şekil 1.28. Seattle şehrinden bir yağmur bahçesi örneği (Url-20).....	22
Şekil 1.29. Çift taraflı yollardan gelen akışı tutan bir yağmur bahçesi örneği (Royal Oak Belediyesi, 2023)	23
Şekil 1.30. Eğimli bir sokak boyu uzanan bir biyolojik hendek (Waterborne Environmental, 2023).....	24
Şekil 1.31. Yapım aşamasında kıvrımlı bir biyolojik hendek (Url-21)	25
Şekil 1.32. Biyolojik hendek kesiti (Teodros Haily/KQED Science’dan	

uyarlanmıştır)	25
Şekil 1.33. Çin'in Ningbo şehrinden biyolojik hendek örneği (Url-22).....	26
Şekil 1.34. Yollar arasında refüj olarak kullanılan bir biyolojik hendek örneği (LDP Watersheds, 2022).....	27
Şekil 1.35. Yol kenarı infiltrasyon hendeği örneği (Url-23).....	28
Şekil 1.36. Dikey bahçe altında bir infiltrasyon hendeği (Url-24)	29
Şekil 1.37. Geçirgen Zemin (Url-25).....	30
Şekil 1.38. 1- Geçirgen döşeme taşları, 2- Çim döşeme taşları,	30
Şekil 1.39. Çin, Şangay, "Sünger Şehir" geçirgen zeminli koşu parkurları (Url-22).....	31
Şekil 1.40. Ağaç Merkezli Geçirgen Zemin uygulamaları (Url-26).....	31
Şekil 1.41. Aşırı yağışlara dayanabilen yağış suyu kanalları (Url-27)	32
Şekil 1.42. Yeraltı Drenaj ve Kanalizasyon boruları (Url-28).....	33
Şekil 1.43. Suyu hem taşıyıp hem geçici depolayabilen hazne sistemleri (Url-29)	33
Şekil 1.44. Yeşil Çatı (Url-30).....	34
Şekil 1.45. Eğimli Yeşil Çatı örneği (Url-31).....	35
Şekil 1.46. Oakland şehri Kaiser Center Çatı Bahçesi (TCLF, 2023).....	36
Şekil 1.47. Yeşil Çatı Türleri (Url-32).....	37
Şekil 1.48. Yeşil Çatı Katmanları, Kuppusamy'den uyarlanmıştır (2016).....	37
Şekil 1.49. Monako'dan Yeşil Çatı örnekleri (Url-33).....	38
Şekil 1.50. Mavi Çatı diyagramı (PWD, 2022)	39
Şekil 1.51. Mavi Çatı örneği (Url-34).....	39
Şekil 1.52. Mavi – Yeşil Çatı örneği (Url-35)	40
Şekil 1.53. Dikey Bahçe (Url-36)	41
Şekil 1.54. Dikey Bahçe Sistemleri (Url-36).....	41
Şekil 1.55. Bangkok'dan Dikey Bahçe örneği (Url-37)	42
Şekil 1.56. Dikey Bahçe örneği (Url-36).....	43
Şekil 1.57. Singapur'da bulunan Jewel Changi Havalimanı Dikey Bahçe Sistemleri (Url-38).....	44
Şekil 1.58. Yağmur suyu hasadı ve depolaması için su tankı (Url-39)	45
Şekil 1.59. Yağmur suyu depo sistemi örneği (Url-40).....	45
Şekil 1.60. Yağmur suyu depoları yeraltına da yerleştirilebilmektedir (Url-41).....	46
Şekil 1.61. Avustralya'dan kurak bölgelerde büyük önem taşıyan yüksek kapasiteli yağmur suyu deposu (Url-42)	46
Şekil 1.62. Yeni Zelanda'dan basit ve kolay uygulanabilir bir örnek (Url-43)	47
Şekil 1.63. Yapak Sulak Alan (Url-44).....	48
Şekil 1.64. ABD, Missouri'den atık su yönetimi için yapak sulak alanlar (COMO, 2022).....	48
Şekil 1.65. Verdú, Catalonia'dan yapay sulak alan örnekleri (Samsó, 2014)	49
Şekil 1.66. Yapay sulak alan diagramı (IAEA, 2022)	49
Şekil 1.67. Yapay sulak alan türleri (Sa'at, 2006)	50
Şekil 1.68. Tutma Havzası diagramı (Url-45)	51
Şekil 1.69. Trounce Göleti, Saskatoon, Saskatchewan, Kanada'da doğal otlak bitkileriyle peyzajı yapılmış bir tutma havzası (Url-45)	51
Şekil 1.70. Pinnau, Schleswig-Holstein, Almanya'da tutma havzası (Url-45).....	52
Şekil 1.71. Como şehri, Lura Nehri Tutma Havzaları (Url-46).....	53
Şekil 1.72. Florida, ABD'den bir tutma havzası (Url-47)	53
Şekil 1.73. Geciktirme Havzası diagramı (Url-48).....	54
Şekil 1.74. Batı Sidney, Avustralya'da bir geciktirme havzası (Url-49).....	54
Şekil 1.75. Story County, Iowa, ABD'de bir çiftlik deresini kaplayan bitki örtüsünden oluşan bir Riparian tampon (Url-50).....	55

Şekil 1.76. Yoğun bitki örtülü bir Riparian tamponu ile çevrilmiş bir akarsu (Url-51)	56
Şekil 1.77. Londra'dan özel tasarım çelik bitkilendirme kutuları (Url-52)	56
Şekil 1.78. Çatı drenajına bağlanan taş bitkilendirme kutuları, Portland, ABD (JSWCD, 2022)	57
Şekil 1.79. Yağış suyu sistemine bağlanan yüzey altı su tutma sistemleri (Url-53)	58
Şekil 1.80. Bir otoparkın altına kurulan bir yüzey altı su tutma sistemi (Url-54)	59
Şekil 1.81. Önlem alınmamış su akışının basitçe su kütlelerine ulaşımı (RCEE, 2023)	60
Şekil 1.82. Çeşitli kirleticilerin oluşturduğu su kirliliği (RCEE, 2023)	61
Şekil 1.83. Toksik kirliliğe neden olan akış suyu, Puget Boğazı, ABD (Url-55)	61
Şekil 1.84. Yüksek Azot-Fosfor yükü olan Marmara Denizi'ndeki müsilaj (AA, 2021)	62
Şekil 1.85. Çin'in Chengdu kenti yakınlarındaki bir nehirde ötrofikasyon (Url-56)	63
Şekil 1.86. Venezuela'nın en büyük tatlı su gölü olan Valencia Gölü'nde atık suların neden olduğu alg patlaması (Url-56)	63
Şekil 2.1. Drenaj sistemleri (Url-57)	70
Şekil 2.2. Gri Altyapının önemli parçalarından olan yol sistemleri (Url-58)	71
Şekil 2.3. Gri Altyapını sistemlerinden olan barajlar ekonomik faydalar sağlarken, su ekosistemleri ve riparian habitatlarına kalıcı zararlar verebilmektedir (AA, 2019)	72
Şekil 2.4. Gri Altyapıdan Yeşile geçiş (EPA, 2024)	74
Şekil 2.5. Yeşil Altyapı kente estetik peyzajlar katmaktadır (Url-59)	74
Şekil 2.6. Yeşil Altyapı sürdürülebilir ve yaşanabilir şehirler yaratmak içindir (Url-60)	75
Şekil 2.7. Dünya'dan Mavi-Yeşil Altyapı örnekleri, Newcastle'da sürdürülebilir drenaj göleti, Ningbo Eko-koridoru, Portland'da gölete bağlanan bir yağmur bahçesi ve Rotterdam'da yeşil tramvay yolları (Url-61)	76
Şekil 2.8. Singapur'dan Mavi Altyapı örneği (Liao, 2019)	77
Şekil 2.9. ABD'den çeşitli LID örnekleri (NACTO, 2024)	78
Şekil 2.10. Virginia, ABD'de bir LID uygulaması ve su akış şeması (Url-62)	79
Şekil 2.11. Auckland, Yeni Zelanda'dan çatı bahçesi uygulaması (AUC, 2024)	80
Şekil 2.12. Te Ara Awataha Yeşil Koridoru Yenilenmesi, Yeni Zelanda (ICSI, 2024)	81
Şekil 2.13. İskoçya'da kırsal bir taşkın (CREW, 2024)	82
Şekil 2.14. Nehir restorasyonu doğal taşkın yönetimi için önemlidir (URL-63)	83
Şekil 2.15. Blythe Nehri güzergahında taşkın yönetimi için yeni sulak alanlar oluşturulması süreci, İngiltere (TVW, 2023)	84
Şekil 2.16. Şev Yüzey Stabilizasyonu ve Koruması, Entegre Havza Yönetimin önemli bir parçasıdır, Keelung, Tayvan'dan bir uygulama (URL-64)	85
Şekil 2.17. Chesapeake Körfezi'ne akan Nanticoke Nehri ve sulak alanları, Entegre Havza Yönetimi stratejilerinin uygulandığı alanlara örnektir (URL-65)	86
Şekil 2.18. Güneybatı Çin'deki Datengxia su kaynakları yönetim tesisi (MWR, 2023)	87
Şekil 2.19. Melbourne'un Ana Çıkış Kanalizasyonunun eski hali ve Suya Duyarlı Kentsel Tasarım yaklaşımında dönüştürülmüş yeni hali (URL-66)	89
Şekil 2.20. Batı Avustralya, Perth şehri, içinden geçen Swan nehri odağında Suya Duyarlı Kentsel Tasarım yaklaşımında yoğun uygulamalar yapmıştır (WSCA, 2021)	90
Şekil 2.21. İngiltere'den Sürdürülebilir Drenaj Sistemi olarak biyolojik hendek haline	

getirilmiş bir su kanalı örneği (URL-67).....	91
Şekil 2.22. İskoçya'dan Kırsal Sürdürülebilir Drenaj Sistemi olarak yapay sulak alan haline getirilmiş bir yeşil alan (SEPA, 2024).....	92
Şekil 2.23. Malezya Bilim Üniversitesi'nde kampüsün çeşitlik yerlerinde uygulanan Biyo-Ekolojik Drenaj Sistemi örneği (USM, 2024).....	93
Şekil 2.24. Washington, ABD, çatılardan gelen akışı yöneten bir Doğal Drenaj Sistemi (URL-68).....	94
Şekil 2.25. Seattle, ABD, Doğal Drenaj Sistemleri (CoS, 2024)	95
Şekil 2.26. Ontario, Kanada'dan Doğa Tabanlı Çözümler için örnekler (CAP, 2022) ..	96
Şekil 2.27. Adaptif Kaynak Yönetiminin, Yağış Suyu Yönetiminde kullanımı (URL-69).....	97
Şekil 2.28. Korumacı Alt Bölge Tasarımı örneği (GADNR, 2022)	98
Şekil 2.29. Tarım arazisinden akışa geçmiş toprak ve gübre karışımı (URL-70)	99
Şekil 2.30. Noktasal olmayan kaynak kirliliği sonucu çamurlaşmış bir nehir (URL-70).....	100
Şekil 2.31. Terkedilmiş madenlerden akan sulardan kirlenen bir nehir (GGI, 2019)...	101
Şekil 2.32. Sünger Şehir Haikou'da teraslanmış sulak alanlar, Çin (URL-71).....	103
Şekil 2.33. Şangay, Çin "Yıldızlı Gökyüzü Diyarı" isimli Sünger Park (CSCEC, 2021).....	104
Şekil 2.34. The High Line Park, Peyzaj mimarlığı, kentsel tasarım ve ekoloji gibi birçok disiplinden yararlanılarak "yaşayan bir sistem" olarak yeniden tasarlanmıştır. (Url-72).....	109
Şekil 2.35. Bishan-Ang Mo Kio Parkı (Url)	110
Şekil 2.36. Hamburg, Jenfelder Au Bölgesi Yağış Suyu Bulvarı (HW, 2024)	111
Şekil 2.37. Qinghuangdao, Tanghe Nehri etrafına yapılan Red Ribbon Parkı (Url-73)	111
Şekil 2.38. Yanweizhou Park, Sünger Şehir riparian peyzaj uygulaması (Url-74)	112
Şekil 2.39. Tanner Springs Park, Sulak alan odaklı bir kent parkı (Greenworks, 2023)	112
Şekil 2.40. Pekin'deki Olimpik Orman Parkı'nın kuşbakışı görüntüsü (Url-75)	113
Şekil 2.41. Prince's Island Park içinden geçen Bow Nehri (Url-76).....	113
Şekil 2.42. Thammasat Üniversitesi Çatı Tarlaları (WRI India, 2020)	114
Şekil 2.43. Kronsberg kapsamlı yağış suyu yönetimi sistemleri barındırmakta (Url-77).....	114
Şekil 2.44. Lurie Bahçesi Orta Batı kırlarını temsil eden, sürekli gelişen bir renk ve doku paleti oluşturmaktadır (TCLF, 2024)	115
Şekil 2.45. Seul şehir merkezinde bulunan Cheonggyecheon Deresi estetik ve işlevsel özellikleri olan popüler bir alandır (Url-78).....	116
Şekil 2.46. King's Cross Pond Club'da Su, bitkiler ve doğal filtrelemeyi desteklemek için bir dizi filtre kullanılarak doğal süreçlerle arıtılır (OOZE, 2024).....	116
Şekil 2.47. Dockside Green, sürdürülebilir mahalle tasarımına kapsamlı bir örnektir (Url-79).....	117
Şekil 2.48. Walnut Creek Sulak Alan Parkı, ekolojik faydalarının yanında eğitim merkezleri de barındırarak doğal yaşam hakkında farkındalık yaratmaktadır (PC, 2024)	118
Şekil 2.49. Portland yeşil sokak uygulamalarından bir örnek (ASU, 2018).....	118
Şekil 2.50. Paris'teki Parc de la Villette, dekonstrüktivizm hareketinin öncü ve en etkili projelerinden biridir (Url-80)	119
Şekil 2.51. Bentemplein su meydanında kayak pisti ve basketbol kortu aşırı yağış dönemlerinde suyu toplayarak su havzalarına dönüşmektedir (Url-81)	119

Şekil 2.52. Proje alanı, engelli insanları ve toplumu birbirine bağlayan kapsayıcı bir alan olan “Enabling Village” olarak yeniden tasarlanmıştır (Url-82).....	120
Şekil 2.53. İskandinav Yeşil Çatı Enstitüsü'ne kurulmuş Botanik Çatı Bahçesi (Url-83).....	121
Şekil 2.54. Toronto Vadi Strateji Planında önemli bir yeri olan Rosedale Vadisi (UofT, 2016).....	121
Şekil 2.55. Zollhallen Plaza'nın yağış su yönetimiyle 100 yıllık yağışlara bile dayanabileceği öngörüldüğünden, plaza şehrin drenaj sistemine bağlı değildir (Url-84)	122
Şekil 2.56. Punggol su yolu, eko-kasaba projesiyle, kentin içinden geçmektedir (Url-85).....	122
Şekil 2.57. Kopenhag çeşitli ve kapsamlı yağış suyu yönetimi sistemlerini bir arada kullanmaktadır (Url-86)	123
Şekil 2.58. Buffalo Bayou parkı şehrin içindeki 160 dönümlük yeşil alanı (Url-87)...	123
Şekil 2.59. Madrid'de bulunan Rio parkı otoyolun parka çevrilmesiyle oluşturulmuş aşırı yağışlar sırasında kontrollü taşabilen bir parktır (Url-88).....	124
Şekil 2.60. Swansea Gelgit Lagünü, altı millik deniz bariyeri görselleştirmesi (Url-89).....	124
Şekil 2.61. Corktown Common, Yağış suyu yönetimi önceliğiyle yapılmış Kanada'nın örnek projelerindendir (Url-90)	125
Şekil 2.62. Yeraltı parkı The Lowline'dan bir bitki adası (Url-91).....	125
Şekil 2.63. Västra Hamnen, Malmö Çatı Bahçeleri (Url-92)	126
Şekil 2.64. Kayaları kullanan eşsiz tasarımıyla Teardrop Park'tan bir bölüm (Url-93)	126
Şekil 2.65. SMART Tünel şiddetli yağışlar sırasında etkili bir yapıdır (Url-94)	127
Şekil 2.66. Houtan Parkında, suyun hareketini yavaşlatmak için otoyol ile nehir arasına riparian teraslar oluşturulmuştur (TCLF, 2024).....	127
Şekil 2.67. The Goods Line, bağlantılı, sürdürülebilir ve yenilikçi bir Sidney vizyonunun öncülerindedir (Url-95)	128
Şekil 3.1. Çalışma Alanı	132
Şekil 3.2. Düzce ili 1959-2023 yılları arası iklim verileri (MGM, 2024).....	133
Şekil 3.3. Yağmur Bahçesi Varilleri ve Grupları.....	135
Şekil 3.4. Varillerin Hazırlanma Aşamaları.....	135
Şekil 3.5. Alana Yerleştirme ve Malzemelerin Hazırlanması	136
Şekil 3.6. Gruplar ve Bileşenleri.....	136
Şekil 3.7. Varillerin Katmanlarının Oluşturulması	137
Şekil 3.8. Bitki Kompozisyonu.....	138
Şekil 3.9. Yağmur Varili ve Yağmur Hasadı.....	138
Şekil 3.10. Su Analizleri için Örnek Alımı.....	139
Şekil 3.11. Fosfat Tayini.....	140
Şekil 3.12. Nitrat Tayini	141
Şekil 3.13. Bitki Ölçümleri	142
Şekil 4.1. Fosfat Analizi - 1	143
Şekil 4.2. Fosfat Analizi - 2	144
Şekil 4.3. Fosfat Analizi - 3	144
Şekil 4.4. Fosfat Analizi - 4	145
Şekil 4.5. Fosfat Analizi - 5	145
Şekil 4.6. Fosfat Analizi - 6	146
Şekil 4.7. Fosfat Analizi - 7	146
Şekil 4.8. Fosfat Giderim Oranları Grafiği	147

Şekil 4.9. Fosfat Giderim Oranlarının İstatistiksel Dağılışı.....	148
Şekil 4.10. F-Dağılımı	148
Şekil 4.11. Nitrat Analizi - 1	149
Şekil 4.12. Nitrat Analizi - 2.....	150
Şekil 4.13. Nitrat Analizi - 3.....	150
Şekil 4.14. Nitrat Analizi - 4.....	151
Şekil 4.15. Nitrat Analizi - 5.....	151
Şekil 4.16. Nitrat Analizi - 6.....	152
Şekil 4.17. Nitrat Analizi - 7.....	152
Şekil 4.18. Nitrat Giderim Oranları Grafiği.....	153
Şekil 4.19. Nitrat Giderim Oranlarının İstatistiksel Dağılışı	154
Şekil 4.20. F-Dağılımı	154
Şekil 4.21. Bitki Gelişim Grafiği-1 Dikim Günü.....	155
Şekil 4.22. Bitki Gelişim Grafiği-2 11.06.23 Tarihli ölçüm.....	156
Şekil 4.23. Bitki Gelişim Grafiği-3 03.07.23 Tarihli ölçüm.....	156
Şekil 4.24. Bitki Gelişim Grafiği-4 08.08.23 Tarihli ölçüm.....	156
Şekil 4.25. Bitki Gelişim Grafiği-5 01.09.23 Tarihli ölçüm.....	157
Şekil 4.26. Bitki Gelişim Grafiği-6 03.10.23 Tarihli ölçüm.....	157
Şekil 4.27. Bitki Gelişim Grafiği-7 03.02.24 Tarihli ölçüm.....	157
Şekil 4.28. Bitki Gelişim Grafiği-8 11.04.24 Tarihli ölçüm.....	158
Şekil 4.29. Dikim günü ilk ölçüm.....	158
Şekil 4.30. Bitki Gelişim Süreci	159
Şekil 4.31. Bitki Gelişim Süreci – 08.08.23	159
Şekil 4.32. Bitki Gelişim Süreci 03.10.23	160
Şekil 4.33. Bitki Gelişim Süreci 03.02.24	160
Şekil 4.34. Bitki Gelişim Süreci 11.04.24	161
Şekil 4.35. <i>Teucrium fruticans</i> Gelişim Grafiği	161
Şekil 4.36. <i>Carex testacea</i> Gelişim Grafiği	162
Şekil 4.37. <i>Rosmanirus officinalis</i> Gelişim Grafiği	162
Şekil 4.38. <i>Hypericum calycinum</i> Gelişim Grafiği.....	163
Şekil 4.39. <i>Teucrium fruticans</i> Gelişimi İstatistiksel Dağılımı	164
Şekil 4.40. F-Dağılımı	164
Şekil 4.41. <i>Carex testacea</i> Gelişimi İstatistiksel Dağılımı	166
Şekil 4.42. F-Dağılımı	166
Şekil 4.43. <i>Rosmarinus officinalis</i> İstatistiksel Dağılımı.....	168
Şekil 4.44. F-Dağılımı	168
Şekil 4.45. <i>Hypericum calycinum</i> Gelişimi İstatistiksel Dağılımı.....	170
Şekil 4.46. F-Dağılımı	170
Şekil 4.47. 15.01.23 tarihli infiltrasyon analizi.....	171
Şekil 4.48. 26.03.24 tarihli infiltrasyon analizi.....	172

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Yağış Suyu Yönetimi ile İlgili Kavramlar, Menşei Ülkeleri, Kısa Tanımları ve Ayırt Edici Özellikleri	105
Çizelge 2.1 (devamı). Yağış Suyu Yönetimi ile İlgili Kavramlar, Menşei Ülkeleri, Kısa Tanımları ve Ayırt Edici Özellikleri	106
Çizelge 2.1 (devamı). Yağış Suyu Yönetimi ile İlgili Kavramlar, Menşei Ülkeleri, Kısa Tanımları ve Ayırt Edici Özellikleri	107
Çizelge 2.1 (devamı). Yağış Suyu Yönetimi ile İlgili Kavramlar, Menşei Ülkeleri, Kısa Tanımları ve Ayırt Edici Özellikleri	108
Çizelge 2.1 (devamı). Yağış Suyu Yönetimi ile İlgili Kavramlar, Menşei Ülkeleri, Kısa Tanımları ve Ayırt Edici Özellikleri	109
Çizelge 3.1. Çalışma süresince Düzce ili yağışlı günleri ve miktarları (MGM, 2024). 133	
Çizelge 3.1 (devamı). Çalışma süresince Düzce ili yağışlı günleri ve miktarları (MGM, 2024).	134
Çizelge 4.1. Fosfat Giderim Oranlarının İstatistiksel Analizi.	147
Çizelge 4.2. Fosfat giderim oranları ortalama değerlerinin gruplar arası kıyaslaması, (İstatistiksel olarak anlamlı farkı olan sonuçlar kalın gösterilmiştir).....	148
Çizelge 4.3. Nitrat Giderim Oranlarının İstatistiksel Analizi.	153
Çizelge 4.4. Nitrat giderim oranları ortalama değerlerinin gruplar arası kıyaslaması, (İstatistiksel olarak anlamlı farkı olan sonuçlar kalın gösterilmiştir).....	154
Çizelge 4.5. <i>Teucrium fruticans</i> Gelişimi İstatistiksel Analizi.	163
Çizelge 4.6. <i>Teucrium fruticans</i> bitki gelişim ortalama değerlerinin gruplar arası kıyaslaması, (İstatistiksel olarak anlamlı farkı olan sonuçlar kalın gösterilmiştir)	164
Çizelge 4.7. <i>Carex testacea</i> Gelişimi İstatistiksel Analizi.....	165
Çizelge 4.8. <i>Carex testacea</i> bitki gelişim ortalama değerlerinin gruplar arası kıyaslaması, (İstatistiksel olarak anlamlı farkı olan sonuçlar kalın gösterilmiştir)	166
Çizelge 4.9. <i>Rosmarinus officinalis</i> Gelişimi İstatistiksel Analizi.	167
Çizelge 4.10. <i>Rosmarinus officinalis</i> bitki gelişim ortalama değerlerinin gruplar arası kıyaslaması, (İstatistiksel olarak anlamlı farkı olan sonuçlar kalın gösterilmiştir)	168
Çizelge 4.11. <i>Hypericum calycinum</i> Gelişimi İstatistiksel Analizi.	169
Çizelge 4.12. <i>Hypericum calycinum</i> bitki gelişim ortalama değerlerinin gruplar arası kıyaslaması, (İstatistiksel olarak anlamlı farkı olan sonuçlar kalın gösterilmiştir)	170
Çizelge 4.13. Çalışma başlangıcı 15.01.23 tarihli infiltrasyon analizi gruplar arası infiltrasyon hızı kıyaslaması	172
Çizelge 4.14. 26.03.24 tarihli infiltrasyon analizi gruplar arası infiltrasyon hızı kıyaslaması	173
Çizelge 4.15. Çalışma başlangıcı 15.01.23 Toprak Analizi Sonuçları	174
Çizelge 4.16. 26.03.24 tarihli Toprak Analizi Sonuçları	174
Çizelge 4.17. Bileşik Verimlilik Analizi	175
Çizelge 4.18. Bileşik Verimlilik Analizi gruplar arası kıyaslaması	175

KISALTMALAR

AI	Yapay Zeka
ARM	Adaptif Kaynak Yönetimi
BIOECODS	Biyo-ekolojik Drenaj Sistemleri
BMP	En İyi Yönetim Uygulamaları
CSD	Korumacı Alt Bölge Tasarımı
GI	Yeşil Altyapı
IoT	Nesnelerin İnterneti
IWM	Entegre Havza Yönetimi
IWRM	Entegre Su Kaynakları Yönetimi
LID	Düşük Etkili Gelişim
LIUDD	Düşük Etkili Kentsel Tasarım ve Gelişimi
NbS	Doğan Tabalı Çözümler
NDS	Doğal Drenaj Sistemleri
NFM	Doğal Taşkın Yönetimi
RSuDS	Kırsal Sürdürülebilir Drenaj Sistemleri
SuDS	Sürdürülebilir Drenaj Sistemleri
WSUD	Suya Duyarlı Kentsel Tasarım

ÖZET

PEYZAJ MİMARLIĞINDA YAĞIŞ SUYU YÖNETİMİ VE YAĞMUR BAHÇELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mertkan Fahrettin TEKİNALP

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. ZEKİ DEMİR

Haziran 2024, 228 sayfa

Bu çalışmada, Yağış Suyu Yönetimi kavramı, Yağış Suyu Yönetimi sistemleri incelenmiş ve Dünya genelinde Yağış Suyu Yönetimi kavramı ile ilgili olarak kullanılan kavram, yaklaşım ve uygulamalar belirlenerek, bu anlayışların ülke bazında çıkış noktaları, birbirini kapsayan ve ayrılan özellikleri ve Dünya'nın çeşitli yerlerindeki önemli örnekler incelenmiştir. Uygulama aşamasında, yağmur bahçelerini oluşturan farklı kalınlıkta toprak katmanı ve malzeme kompozisyonlarından oluşan yağmur bahçesi modülleri kurulmuş, bu farklı bileşenleri içeren grupların yağmur bahçelerinin ana işlevleri olan kirletici giderimi, drenaj/infiltrasyon ve bitki gelişimi etkinliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Çalışma için Düzce ilinde bulunan Düzce Üniversitesi kampüsünde, araştırma serası yanında bulunan açık alan üzerine, üçer tekrarlı altı grup olarak, on sekiz adet yağmur bahçesi modülü kurulmuştur. Kurulan yağmur bahçesi modüllerinde, farklı bileşenler olarak 30 cm ve 50 cm derinliğinde toprak katmanı ve 15 cm fındık kabuğu ve 15 cm odun kömürü ek katmanları kullanılmıştır. Uygulama çalışmaları, ölçümler ve analizler bu yağmur bahçeleri üzerinde yapılmıştır. Ek katman olarak 15 cm odun kömürü içeren Grup 5 ve 6, yağmur bahçelerinin tüm ana işlevlerini içeren birleşik verimlilik analizinde genel olarak en iyi performans gösteren gruplar olarak ortaya çıkarken, ek katmanı olmayan ve 30 cm toprak karışımı içeren grup 1 en kötü performans gösteren grup olmuştur. Bu tez çalışması ile yağış suyu yönetimi ilgili kavram, yaklaşım ve uygulamalar ve Dünya'dan önemli örnekler belirlenip incelenmiş, yağmur bahçelerini oluşturan farklı kalınlıkta toprak katmanı ve malzeme kompozisyonlarının, yağmur bahçelerinin ana işlevleri olan kirletici giderimi, drenaj/infiltrasyon ve bitki gelişimi performanslarına etkileri tespit edilmiş, ulusal ve uluslararası ölçekte yapılacak olan yeni yağmur bahçelerine yardımcı olabilecek bilgiler bulunmuş ve alanındaki çalışmalara katkı sağlayacak yeni bakış açıları ve bulgular elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Yağış Suyu Yönetimi, Yağmur Bahçeleri, Mavi-Yeşil Altyapı

ABSTRACT

STORMWATER MANAGEMENT IN LANDSCAPE ARCHITECTURE AND ASSESSMENT OF RAIN GARDENS

Mertkan Fahrettin TEKİNALP

Düzce University

Graduate School, Department of Landscape Architecture

Doctoral Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Zeki DEMİR

June 2024, 228 pages

In this study, the concept of Stormwater Management and its systems were examined and the concepts, approaches and practices used worldwide in relation to the concept of Stormwater Management were identified, the origin of these approaches on a country basis, their overlapping and diverging characteristics and important examples from various parts of the world were examined. In the application phase, rain garden modules consisting of various component compositions that make up rain gardens were established, and the effects of groups containing these different components on pollutant removal, drainage/infiltration and plant growth performances, which are the main functions of rain gardens, were investigated. For the study, eighteen rain garden modules were established on the open area next to the research greenhouse in Düzce University campus in Düzce province, in six groups of three replications each. In the rain garden modules, soil mix layers of 30 cm and 50 cm depth and additional layers of 15 cm hazelnut shell and 15 cm charcoal were used as different components. Application studies, measurements and analyzes were carried out on these rain gardens. Group 5 and 6 with 15 cm charcoal as an additional layer emerged as best overall performing groups on combined efficiency analysis which includes all main functions of rain gardens, and group 1 with no additional layer and 30 cm soil mix came as the worst performing group. With this thesis, the concepts, approaches and practices related to stormwater management were identified and examined, the effects of various component compositions of rain gardens on pollutant removal, drainage/infiltration and plant growth performances, which are the main functions of rain gardens, were determined, information that can help new rain gardens to be built on a national and international scale was obtained and new perspectives and findings that will contribute to the studies in the field were obtained.

Keywords: Stormwater Management, Rain Gardens, Blue-Green Infrastructure

EXTENDED ABSTRACT

STORMWATER MANAGEMENT IN LANDSCAPE ARCHITECTURE AND ASSESSMENT OF RAIN GARDENS

Mertkan Fahrettin TEKİNALP
Düzce University
Graduate School, Department of Landscape Architecture
Doctoral Thesis
Supervisor: Prof. Dr. Zeki DEMİR
June 2024, 228 pages

1. INTRODUCTION

The concept of Stormwater Management, stormwater management systems, scope and objective of the study, water cycle, historical use and management of water, stormwater pollutants and literature review were examined.

2. INTRODUCTION

Stormwater management approaches and important examples in the world were examined and evolution of stormwater management concept has been reviewed. The concepts, approaches and practices used worldwide in relation to the concept of Stormwater Management were identified, the origin of these approaches on a country basis, their overlapping and diverging characteristics and important examples from various parts of the world were examined.

3. MATERIAL AND METHODS

Rain garden modules consisting of various component compositions that make up rain gardens were established, and the effects of groups containing these different components on pollutant removal, drainage/infiltration and plant growth performances, which are the main functions of rain gardens, were investigated. For the study, eighteen rain garden modules were established on the open area next to the research greenhouse in Düzce University campus in Düzce province, in six groups of three replications each. In the rain garden modules, soil layers of 30 cm and 50 cm depth and additional layers of 15 cm hazelnut shell and 15 cm charcoal were used as different components. Application studies, measurements and analyzes were carried out on these rain gardens. The methods used in nitrate and phosphate determination, measurement method of plant growth,

infiltration rate and combined efficiency analysis have been explained in detail.

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

The effects of six group of different component compositions of rain gardens on nitrate and phosphate removal, drainage/infiltration rate and plant growth performances, which are the main functions of rain gardens, were determined. Combined efficiency analysis which includes all main functions of rain gardens have been made to determine overall performance of groups. Group 5 and 6 with 15 cm charcoal as an additional layer emerged as best overall performing groups, and group 1 with no additional layer and 30 cm soil mix came as the worst performing group. Detailed discussion about uses, benefits, challenges and drawbacks of stormwater management systems and rain gardens have been made.

5. CONCLUSION AND OUTLOOK

Concepts, approaches and practices related to rainwater management and their emergence and effects on stormwater management were determined and their past, current and future uses have been discussed and recommendations about them have been made. The determined effects of various component compositions on the main functions of rain gardens, which are nitrate and phosphate removal, drainage/infiltration and plant growth, have been analyzed and recommendation about their best potential uses have been made. Group 5 and 6 with 15 cm charcoal as an additional layer emerged as best overall performing groups on combined efficiency analysis which includes all main functions of rain gardens, and group 1 with no additional layer and 30 cm soil mix came as the worst performing group. Based on all these new information that can help new rain gardens to be built on a national and international scale and new perspectives and findings that will contribute to the studies in the field were obtained.

1. GİRİŞ

Su, çok eski zamanlardan beri medeniyetlerin hayat kaynağı olmuş, insanların hayatta kalması, tarımsal refah ve ekonomik kalkınma için bir mihenk taşı görevi görmüştür. Su yönetiminin tarihi, uygarlığın kendisi kadar eskidir ve insan yaratıcılığının karmaşık bir dokusunu ve bu hayati kaynağı kullanma ve kontrol etme konusundaki sürekli arayışı ortaya koymaktadır. İnsanlık, eski çağlardan beri yağışların kendi yaşamları üzerindeki olumlu ve olumsuz etkilerini kontrol altına alarak yönetmeye çalışmıştır. Suyun ve yağışların kontrolü ve yönetimi, tarih boyunca toplumsal gelişimin hızını ve yörüngesini belirlemede çok etkili olmuştur. Antik çağlardan günümüze suyla olan ilişkimiz saygı, fayda ve teknolojik yeniliklerin zamanla gelişen bir karışımı ile karakterize edilmiştir.

Eski zamanlarda suyu yönetmek, öncelikle hayatta kalmakla ilgili olmuştur. İlk insanlar içme, temizlik ve yiyecek hazırlama için gerekli kaynakları sağlayan nehirler ve göller gibi su kaynaklarının yakınına yerleşmiştir. Su yönetimindeki bu ilk adımlar büyük ölçüde doğaya uyumlu alakalıdır ve topluluklar doğanın hidrolojik döngülerinin ritimleri içinde yaşamayı öğrenmiştir. Toplumlar geliştikçe, suyu kontrol etme teknikleri de gelişmiştir. Su yönetimindeki yenilikler, basit kanallar ve depolama çukurlarından, daha ayrıntılı su kemerleri ve rezervuarların inşasını içermektedir. Bu gelişmeler sadece hayatta kalmakla ilgili değil, aynı zamanda tarımsal verimliliği artırmak, artan nüfusu desteklemek ve istikrarlı topluluklar kurmakla da ilgilidir. Orta çağ ve modern dönemlere geçildiğinde, su yönetiminin kapsamı önemli ölçüde genişlemiştir. Sanayi devrimi beraberinde yeni zorluklar ve fırsatlar getirmiştir. Su gücü, çok önemli bir enerji kaynağı haline gelmiş ve su yolları malların ve insanların taşınması için gereklilik haline dönüşmüştür. Kentleşme, hastalıkları önlemek ve halk sağlığını geliştirmek için düzenli kanalizasyon sistemlerine ve kamusal su kaynaklarına olan ihtiyacı artırmıştır. Günümüzde su yönetimi, sürdürülebilirlik, teknoloji ve politikayı kapsayan çok yönlü bir yaklaşımı içeren karmaşık bir sorundur. Modern su yönetimi stratejileri, su kütlelerini izlemek için uydu görüntüleri, su arıtımı için otomatik sistemler ve su kullanımını ve kullanılabilirliğini tahmin etmek için gelişmiş modeller de dahil olmak üzere sofistike teknolojiler kullanmaktadır. Dahası, modern çağ, iklim değişikliği ve nüfus artışı su kaynakları üzerinde benzeri görülmemiş bir baskı oluşturduğundan sürdürülebilir

uygulamalara duyulan ihtiyacı belirginleştirmiştir. Tarih boyunca suyun ve yağışın yönetimi ve kontrolü insan toplumlarının evriminin bir aynası olmuştur. Su ve yağış suyu yönetimindeki her ilerleme, yalnızca zamanın teknolojik yeteneklerini değil, aynı zamanda toplumsal değerleri ve bu toplumların karşılaştığı çevresel zorlukları da yansıtmıştır. Özünde su ve yağış yönetiminin hikayesi, insanlığın ihtiyaçlarını doğal dünya ile uyumlu hale getirme yolculuğunun bir yansımasıdır (Berking, 2018, Ahmed vd. 2016, Mithen, 2010).

Yağış suyu yönetimi, kentsel gelişimi doğal su döngüleriyle uyumlu hale getirmeyi amaçlayan peyzaj mimarlığının kritik bir teorik ve pratik boyutudur. Bu yaklaşımın merkezinde, çatılar ve araç yolları gibi geçirimsiz yüzeylerden gelen akışı durdurmak, emmek ve filtrelemek için tasarlanmış yağmur bahçeleri yer almaktadır. Yağmur bahçeleri, filtrasyonu artırarak, yeraltı suyunun yeniden şarj edilmesini destekleyerek ve yağış suyu akışını azaltarak ekolojik tasarım ilkelerini somutlaştırarak, sel risklerini ve su kirliliğini azaltmaktadır. Bu bahçeler, yerli flora ve fauna için habitatlar sağlayarak ekolojik dengenin ve biyolojik çeşitliliğin korunmasında çok önemli bir rol oynamakla beraber, aynı zamanda kentsel peyzajlara estetik ve ekonomik değer katar. Peyzaj mimarları, yağmur bahçelerini tasarımlarına entegre ederek, bölgenin hidrolojik ve ekolojik bütünlüğüne saygı duyan sürdürülebilir bir çevreyi savunmakla beraber, kentsel ve kırsal planlamada yenilikçi ve sürdürülebilir çözümlere olan bağlılıklarını da göstermektedirler (Ely ve Pitman, 2014, Fisch, 2014, Ishimatsu vd., 2016).

Nüfusun özellikle kentsel alanlarda hızla artmasıyla birlikte çevre sorunları da artmakta, habitatlar zarar görmekte, ekolojik işlevler ve süreçler bozulmaktadır. İçme ve kullanma suyu ihtiyacı artarken, doğal su döngüsünü sağlayacak ortamlar da geçirimsiz hale dönüşmektedir. Artan nüfusa su sağlamak ve su kaynaklarının kullanım kısıtlamalarını karşılamak için su kaynakları yönetimine ihtiyaç duyulmaktadır. (EEA, 2022).

Yağış suyu yönetimi, çeşitli yeşil altyapı sistemlerini uygulayarak, akışı azaltmak ve su kalitesini iyileştirmek için uygulanan yöntemlerdir. Yağış suyu, sokaklardan, yeşil alanlardan ve diğer çeşitli bölgelerden akışa geçen yağmur suyu veya erimiş kar sularını ifade etmektedir. Yağış suyu belirlenen alanlarda toprağa emildiğinde, filtrelenerek nihayetinde akiferleri yenilemekte veya akarsulara ve nehirlere akmaktadır (EPA, 2022).

Kentsel yağış suyu yönetimi ise, bütünlük su yönetiminin önemli bir bileşenidir. Amacı, yağmur suyunun kentsel alanlara zarar vermeden uzaklaştırılmasını sağlamaktır (Demir,

2012). Kentlerde geleneksel yağmur suyu toplama sistemleri, yağmur sularını ayırık veya birleşik kanalizasyon sistemi ile hızlı bir şekilde ortamdaki uzaklaştırmaktadır. Bu durum, özellikle yağmur sularının deşarj olduğu alıcı suların kirlenmesine ve yeraltı su kaynaklarının yeteri kadar beslenememesine neden olmaktadır (Bayrak vd., 2019).

Kentsel alanlarda, kaldırım ve çatı gibi geçirimsiz yüzeyler, yağışların doğal olarak zemine sızmasını engeller. Bunun yerine su hızla yağmur kanallarına, kanalizasyon sistemlerine ve drenaj kanallarına akar ve su baskını, akarsu erozyonu, erozyon kaynaklı bulanıklık ve çamur oluşumu, habitat tahribi, kanalizasyon sistemlerinin taşması ve yapısal hasarı, kirlenmiş akarsular, nehirler ve kıyı suları gibi çeşitli sorunlara neden olurlar (EPA, 2022).

Yeşil altyapı terimi, yağış suyu yönetim sistemlerinde, ekolojiyi baz alan tüm yaklaşımlar için kullanılmaktadır. Yeşil altyapı, ekosistem sağlığını ve dayanıklılığını iyileştiren, biyolojik çeşitliliğin korunmasına katkıda bulunan ve insan topluluklarına fayda sağlayan kentsel, kırsal ve doğal/yarı doğal alanlardan oluşan bir ağdır (Ely ve Pitman, 2014).

Bu tür yaklaşımlarda amaç, toprak ve bitki örtüsünü kullanarak yağış suyunun geri dönüşümünü sağlamaktır. Yağış suyunun toplanması ve yeniden kullanımı sağlanırken, hassas peyzajların korunması, habitatların desteklenmesi, su kalitesinin iyileştirilmesi gibi etkilerin yanında rekreasyonel faaliyetlere de alan oluşturulması sağlanmaktadır (Fisch, 2014).

Artan kentleşmenin bir sonucu olarak, sel ve taşkınlar dünyanın çeşitli şehirlerinde milyonlarca insanı tehdit etmektedir. Kentsel taşkınlarla mücadelede geleneksel yöntemler yerine özellikle tüm dünyada etkili olan yerel yönetimlerde mevcut mali krizler, alternatif yaklaşımlar geliştirilmesinde etkili olmuştur. Çevre dostu yaklaşımlardan olan yağmur bahçeleri, son zamanlarda bu sorun için en iyi yönetim uygulamalarından biri olarak ABD ve kuzey Avrupa ülkelerinde önerilmiştir. Dünyada yağmur bahçelerine talep artarken, bu uygulamanın işlevleri ve özellikleri hakkında çeşitli bilgi eksiklikleri olduğu da görülmektedir (Ishimatsu vd., 2016).

1.1. ÇALIŞMA KAPSAMI VE AMACI

Bu çalışmada, yağış suyu yönetimi kavramı ve yağış suyu yönetimi sistemleri incelenmiş ve Dünya genelinde yağış suyu yönetimi kavramı ile ilgili olarak kullanılan kavram, yaklaşım ve uygulamalar belirlenerek, bu anlayışların ülke bazında çıkış noktaları,

birbirini kapsayan ve ayrılan özellikleri ve Dünya'nın çeşitli yerlerindeki önemli örnekler incelenmiştir. Yağış suyu yönetim sistemlerinde, filtre katmanlarının değişimi ile sistemlerin kirletici giderimi, drenaj/infiltrasyon ve bitki gelişimini destekleme kabiliyetlerinin de değişeceği öngörülmektedir. Uygulama aşamasında, yağmur bahçelerinin içerdiği katmanlarda farklı derinlik ve malzemeler kullanılarak yağmur bahçesi modülleri kurulmuş, bu farklı bileşenleri içeren grupların yağmur bahçelerinin ana işlevleri olan kirletici giderimi, drenaj/infiltrasyon ve bitki gelişimi verimliliklerine etkileri araştırılmıştır.

Çalışma için Düzce ilinde bulunan Düzce Üniversitesi kampüsünde, araştırma serası yanında bulunan açık alan üzerine, üçer tekrarlı altı grup olarak, on sekiz adet yağmur bahçesi modülü kurulmuştur. Uygulama çalışmaları, ölçümler ve analizler bu yağmur bahçesi modülleri üzerinde yapılmıştır. Bu tez çalışması ile yağış suyu yönetimi ilgili kavram, yaklaşım ve uygulamaların belirlenip incelenmesi, yağmur bahçelerini oluşturan çeşitli bileşen kompozisyonlarının, yağmur bahçelerinin ana işlevleri olan kirletici giderimi, drenaj/infiltrasyon ve bitki gelişimi verimliliklerine etkilerinin tespiti, ulusal ve uluslararası ölçekte yapılacak olan yeni yağmur bahçelerine yardımcı olabilecek bilgilerin elde edilmesi ve alanındaki çalışmalara katkı sağlayacak yeni bakış açıları ve bulguların elde edilmesi amaçlanmıştır.

1.2. SU DÖNGÜSÜ

Su döngüsü veya hidrolojik döngü, suyun Dünya yüzeyinin üstünde ve altında sürekli hareketini içeren bir madde döngüsüdür. Dünya üzerindeki su kütlesi zaman içinde oldukça sabit kalmaktadır. Ancak suyun başlıca rezervuarlar olan buz, tatlı su, tuzlu su ve atmosferik suya bölünmesi değişkendir ve iklimsel değişkenlere bağlı kalmaktadır (Labat, 2006). Küresel hidrolojik döngü; buharlaşma, terleme, yoğunlaşma, atmosferdeki su buharının yatay ve dikey taşınımı, bulut damlacığı oluşumu, yağış, süblimleşme, infiltrasyon, toprak nem dinamikleri, yüzey ve nehir akışı ve yeraltı suyu akışı gibi çeşitli süreçlerden oluşmaktadır (Koutsoyiannis, 2020; Rast vd., 2014). Ayrıca, hidrolojik döngü ve küresel atmosferik dolaşım, mümkün olan tüm yükseklik ve derinliklerde etkileşim yoluyla karşılıklı bir ilişkiyi paylaşmaktadır (Chahine, 1992; Koutsoyiannis, 2020).



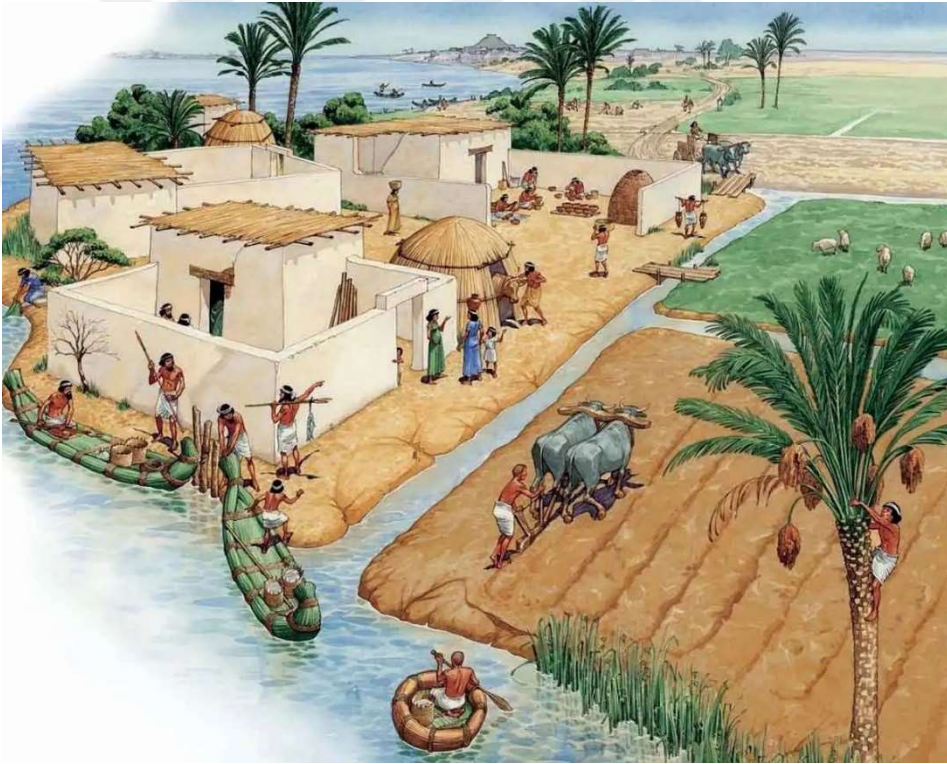
Şekil 1.1. Su Döngüsü (USGS, 2009)

Buharlaşma suyun topraktan veya su kütlelerinden üstteki atmosfere doğru hareket ederken sıvı fazdan gaz fazına dönüşmesidir. Buharlaşma için enerji kaynağı öncelikle güneş radyasyonudur. Yoğunlaşma, su buharının havada sıvı su damlacıklarına dönüşerek bulutları ve sisi oluşturmasıdır (NSIDC, 2024). Terleme, suyun bir bitki boyunca hareket etmesi ve yapraklar, gövdeler ve çiçekler gibi hava kısımlarından buharlaşması sürecidir (Reddy, 2007). İnfiltrasyon, suyun yer yüzeyinden toprağa akmasıdır. Sızdıktan sonra su, toprak nemi veya yeraltı suyu haline gelir. Yağış, Dünya yüzeyine düşen yoğunlaşmış su buharıdır. Yağışların çoğu yağmur olarak meydana gelir, ancak kar, dolu, sis damlası, graupel ve sulu kar olarak da meydana gelebilmektedir (NSIDC, 2024). Yüzeysel akış, suyun arazi üzerinde hareket ettiği çeşitli yollardır. Yeraltı akışı, suyun yeraltında, vadoz bölgede ve akiferlerde akışıdır. Adveksiyon, suyun atmosfer içindeki hareketidir. Adveksiyon olgusunun olmaması durumunda, okyanuslar üzerinde buharlaşan su, karalar üzerinde yağışa geçmemektedir. Büyük hacimlerde su buharını uzun mesafelere taşıyan atmosferik nehirler adveksiyona örnektir (NSIDC, 2024).

1.3. SUYUN TARİHSEL KULLANIMI VE YÖNETİMİ

Yeryüzündeki yaşam sudan türemiştir ve su gezegenin yaşam kaynağıdır. İnsanlığın varlığı ve refahı güvenli suya erişime bağlıdır ve suya erişim sürdürülebilir bir medeniyetin anahtarı olmuştur. Tüm büyük medeniyetler su etrafında büyümüş ve gelişmiştir. Su sadece içme ve hijyen için değil, aynı zamanda tarım, ticaret ve ulaşım için de bir gerekliliktir. İnsan kültürünün ve medeniyetinin büyümesi ve gelişimi su kaynakları ile güçlü bir ilişki içinde olmuştur. Geçmişte ve günümüzde insan toplumlarının sürdürülebilirliği ve gelişimi, su bilimindeki ilerlemeler ve bunların mühendislik ve teknoloji yoluyla kullanımı ile sağlanmıştır (Hosseiny, 2021).

Antik Mezopotamya'da (yaklaşık MÖ 4500- MÖ 600) Sümerler, Dicle ve Fırat nehirlerinin sularını yönetmek için bilinen en eski sulama sistemlerinden birini geliştirmişlerdir. Bu sistemler, kurak olan bu bölgede, tarım için gerekli olan suyun tarlalarına akışını kontrol etmelerini sağlayan kanalları, kapıları ve bentleri içermektedir.



Şekil 1.2. Sümerlerin antik sulama sistemlerinin sanatçı tasviri (Url-1)

Eski Mısır'da (MÖ 3100 - MÖ 30) Nil Nehri'nin öngörülebilir taşkın desenleri, havza sulaması olarak bilinen bir sistem uygulanarak toprakları beslemek için kullanılmıştır. Bu yöntem, tarım için çok önemli olan nehir suyunu ve taşıdığı besin açısından zengin

alüvyonu hapsetmek için setler ve kanallar inşa etmeyi içermektedir. Böylece Mısırlılar bölgenin beslenmesine ve ekonomik istikrarına katkıda bulunmuştur (Berking, 2018).



Şekil 1.3. Antik Mısırda havza sulaması çözümleri (NYPL)

Günümüz Pakistan'ından kuzeybatı Hindistan'a ve kuzeydoğu Afganistan'a kadar uzanan bir alana yayılmış olan İndus Vadisi Uygarlığı (MÖ 3300), iyi düzenlenmiş şehirleri ve su ve atıkları yerleşim alanlarından uzağa taşıyan kuyular, rezervuarlar ve üstü kapalı kanalizasyonlar da dahil olmak üzere sofistike su yönetim sistemleriyle gelişmiş bir şehir planlaması sergilemiştir (Berking, 2018).



Şekil 1.4. İndus Vadisi Uygarlığı drenaj ve kanalizasyon sistemleri (Url-2)

Minos Uygarlığı Ege Denizi içindeki Girit Adası'nda MÖ 3500 civarında doğmuş bir uygarlıktır. Minos Uygarlığı'na başkentlik yapmış olan antik şehir Knossos'taki saray kalıntılarında görüldüğü üzere, sanitasyon ve ritüel de dahil olmak üzere çeşitli amaçlar için suyu yönetip ayrıntılı su altyapısı ve drenaj sistemleri inşa etmişlerdir (Berking, 2018).



Şekil 1.5. Minos Uygarlığı drenaj sistemleri (Url-3)

Maya ve Nazca (MÖ 100) gibi uygarlıklar da zorlu ortamlarda su yönetimi konusunda başarılı olmuşlardır. Bir Orta Amerika uygarlığı olan Mayalar, yağmur ormanı alanlarında rezervuarlar ve kanal sistemleri kullanmıştır (Berking, 2018).



Şekil 1.6. Mayaların inşa ettiği rezervuar ve kanal sistemleri (Cincinnati Üniversitesi, 2019)

Peru'nun güneyinde bir bölgede yaşamış, İnkâ öncesi bir uygarlık olan Nazcalar, kurak bölgelerde yeraltı su kaynaklarına ulaşmak ve iletmek için puquios adı verilen yeraltı su kemerlerini oluşturmuşlardır (Berking, 2018).



Şekil 1.7. Nazca Uygarlığı "Puquios" yer altı su kemerleri ve Nazca Çölü (Url-4)

Antik Çinliler, M.Ö. 256 yılında Li Bing tarafından tasarlanan ve bugün hala kullanılmakta olan barajsız sulama sistemi Dujiangyan gibi projelerle su yönetiminde oldukça gelişmişlerdir. Bu sistem, taşkınları kontrol etmek ve suyu barajlara ihtiyaç duymadan dağıtmak için doğal nehir dinamiklerini ve mühendisliği ustaca kullanmıştır.



Şekil 1.8. UNESCO Dünya Mirası Listesi'nde olan Dujiangyan Sistemi (Url-5)

Romalılar, Cumhuriyetleri ve daha sonra İmparatorlukları boyunca, suyu uzun mesafelerden şehir merkezlerine taşıyan kapsamlı su kemeri sistemleri inşa etmişlerdir. Bu kemerler sayesinde hamamlara, tuvaletlere, çeşmelere ve evlere su sağlamışlardır.



Şekil 1.9. Bozdoğan ve Segovia Su Kemerleri (Url-6)

Romalılar halk sağlığı ve kentsel konfora yönelik gelişmiş yaklaşımlar sergilemiş, kemerler, hamamlar ve çeşmeler gibi suyu yönetip kullanan mühendislik sistemleriyle tanınmıştır (Berking, 2018).



Şekil 1.10. Roma Hamamı (Thermae), Kanalizasyon sistemi (Cloaca Maxima) ve içme suyunu toplayıp şehirlere dağıtan Castellum aquae (Url-7, Url-8)

İslam dünyasında (yaklaşık 8. Yüzyıl - 14. Yüzyıl), özellikle kurak bölgelerde, kehriz veya qanat adı verilen yeraltı su kemerleri ve karmaşık su saatleri gibi sofistike sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler şehirlerde suyun verimli bir şekilde dağıtılması ve Endülüs'te bulunanlar gibi yoğun yeşil bahçelerin korunması için kullanılmıştır (Ahmed vd. 2016).



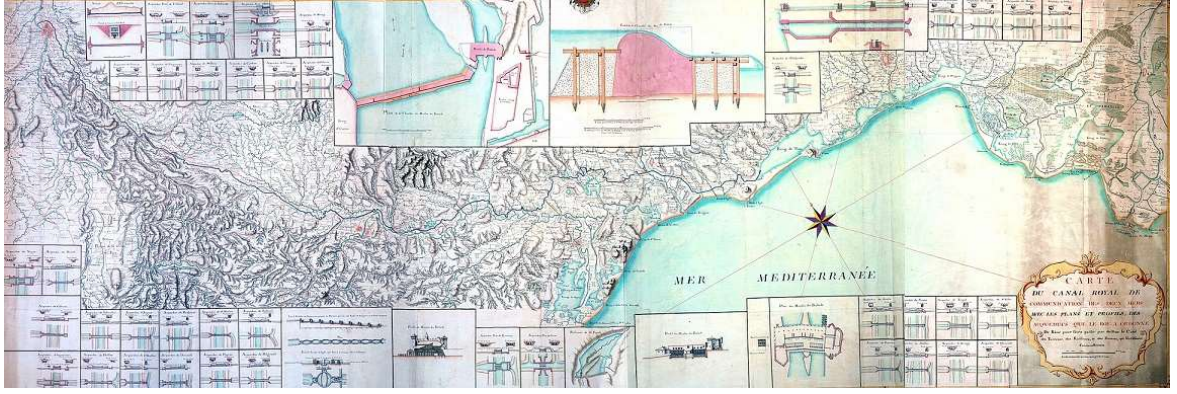
Şekil 1.11. Qanatların su yolları, yüzeye çıkan kehriz ve su saati (Url-9)

Orta Çağ Avrupası (yaklaşık 5. Yüzyıl - 15. Yüzyıl), hızlı akan dereler boyunca su değirmenlerini yaygın olarak kullanmıştır. Bu değirmenler öncelikle tahıl öğütmek için kullanılmış, ancak odun kesmek, kumaş işlemek gibi görevlere de uyarlanmıştır ve su enerjisi kullanımının erken bir biçimini temsil etmektedir.



Şekil 1.12. Orta Çağ Avrupası'ndan su değirmeni örnekleri (Url-10)

Rönesans ve Aydınlanma döneminde (16. Yüzyıl - 18. Yüzyıl), hidrolik mühendisliğinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Özellikle 1681 yılında Fransa'da Atlas Okyanusu ile Akdeniz'i birbirine bağlayan Canal du Midi'nin tamamlanmasıyla nehir yönetimi ve kanal inşası teknikleri geliştirilmiştir.



Şekil 1.13. Canal du Midi Projesinin Planı (Url-11)

Sanayi devrimi, buhar gücüyle çalışan pompaları ve su arıtma alanındaki yenilikleri beraberinde getirmiş ve bu yenilikler kentsel sağlık ve kamu sağlığı açısından büyük önem taşımıştır (Berking, 2018, Ahmed vd. 2016, Mithen, 2010).

1.4. YAĞIŞ SUYU YÖNETİMİ KAVRAMI

Yağış suyu, şiddetli yağmur, dolu ve kardan kaynaklanan erimiş sular da dahil olmak üzere tüm yağışlardan kaynaklanan suları ifade etmektedir. Yağış suyu toprağa sızabilmekte, yeraltı suyu haline gelebilmekte, çöküntüdeki arazi yüzeylerinde göletlerde ve su birikintilerinde depolanabilmekte, atmosfere geri buharlaşabilmekte veya yüzey akışına dönüşebilmektedir (EPA, 2024).



Şekil 1.14. Yağış Suyu Yönetimi uygulamalarıyla ön plana çıkan, Hunter's Point South Park, New York City, ABD (Url-12)

Yüzeğe geçen yağış suyu akışı, çoğu zaman herhangi bir arıtma işlemine tabi tutulmadan doğrudan yüzey suyu olarak yakındaki akarsulara, nehirlere, sulak alanlara, göller ve okyanuslar gibi büyük su kütlelerine akmaktadır. Kontrolsüz yağış suyu iki önemli soruna yol açabilmektedir, bunlar akışın miktarı ve zamanlamasından kaynaklanan su baskını ve suyun taşıdığı olası kirletici maddelerden kaynaklanan su kirliliğidir. Yağış suyunun hacmini ve kalitesini yönetmek, “Yağış Suyu Yönetimi” olarak adlandırılır. Yağış suyu akışının çevre ve altyapı üzerindeki istenmeyen etkilerini azaltmayı ve kontrol etmeyi amaçlayan teknik ve stratejileri içermektedir (Washington State Department of Ecology, 2005).



Şekil 1.15. Yağış Suyu Yönetimi’nde kullanılan bileşenlerden drenaj sistemleri (Url-13)

Tarih boyunca yapılarla veya yerleşim alanlarına zarar gelmemesi için yağış suyunun yönlendirilmesi ve kontrol edilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Pek çok uygarlık bu tür yağış olaylarından etkilenen topraklarda yaşamış ve bu toprakları işlemiştir. Dünya çapında artan kentleşme ve buna bağlı olarak geçirimsiz alanların büyümesi nedeniyle, kentsel ve kırsal yüzeysel akışa yönelik drenaj sistemlerinin tasarlanması, taşkınların etkin yönetiminde önemli hale gelmiştir (Roozbahani vd., 2020; Zamani vd., 2023).

Yağış suyu sistemleri, yağış akışını toplamak, aktarmak, arıtmak ve yönetmek için kullanılan fiziksel ve organizasyonel altyapı olarak tanımlanmaktadır (Butler vd., 2018). Mevcut yağış suyu sistemleri genellikle geçmiş yağış verileri kullanılarak tasarlanmaktadır, bununla birlikte iklim değişikliğinin yağış düzenlerinde değişikliklere

yol açtığına, bunun da birçok bölgede daha sık ve yoğun yağış olaylarına yol açtığına dair kanıtlar giderek artmaktadır (Mallakpour ve Villarini, 2017).



Şekil 1.16. Geçirgen yüzeyler Yağış Suyu Yönetimi'nde etkili uygulamalardır (Url-14)

Kentsel ve kırsal alanlarda geleneksel yağış suyu yönetimi, suyun kanalizasyon sistemlerine veya kanallara hızlı bir şekilde aktarılmasını amaçlamış, bu da kirleticilerin ve büyük hacimlerde suyun nehirlere ve akarsulara hiçbir işlemde geçmeden taşınmasına neden olmuştur. Böyle bir yaklaşım hidrolojik döngüde olumsuz değişikliklerin yanı sıra yeraltı su kaynaklarının tükenmesine, su kalitesinin bozulmasına ve ekosistemlerin zarar görmesine neden olmuştur (Mishra, B.K. 2019, Yuan, Z. vd. 2018). Artan kentleşme, tarımsal üretimin yoğunlaşması ve ilerleyen iklim değişikliği bir paradigma değişimini zorunlu kılmıştır (Eckart, K. vd. 2017).



Şekil 1.17. İklim değişikliği sebebiyle artan ekstrem yağışlar sonucu sel felaketleri (Climate Council Australia, 2023)

Yağış suyu, özellikle kuraklık riskinin her geçen yıl artması ve aşırı sıcaklıkların daha sık görülmesi nedeniyle hızla değerli bir kaynak haline gelmektedir. Bu nedenle, yağış suyuna yönelik yeni yaklaşım, yağışı tutma, infiltrasyonunu sağlama bu sayede yeraltı sularının yeniden kazanımının artırılması, yüzey akışının azaltılması ve doğadaki döngüye benzer şekilde yağış suyu yönetimi yöntemlerinin kullanılması ile ilgilidir (Eckart, K. vd. 2017, Hamidi, A. vd. 2021, Fowdar, H.S. vd. 2022).



Şekil 1.18. Yağış Suyu Yönetimi, Gri, Yeşil ve Mavi Altyapıların entegre uygulamalarına olanak sağlamaktadır (Url-15)

Yağış suyu yönetimi, suyun saha dışına merkezi tesislere taşınmasına odaklanan geleneksel yaklaşımlardan uzaklaşarak son yıllarda önemli ölçüde gelişmiştir (Sage vd. 2015). Düşük etkili gelişim (LID) gibi yenilikçi uygulamalara geçiş, yerinde kirlilik kontrolü ve çevresel sürdürülebilirliği ön plana çıkarmaktadır (Sage vd., 2015).



Şekil 1.19. ABD’nde Düşük Etkili Gelişim (LID) uygulamalarından bir örnek (Url-15)

Doğal ve yapılı çevreler arasındaki etkileşimleri anlamak, havza ölçeğinde etkili yağış suyu yönetimi için çok önemlidir (Jefferson vd., 2017). Kentsel yağış suyunu tutan veya yeniden yönlendiren stratejiler, pik akışları azaltmaya ve yüzey suyu kalitesini artırmaya yardımcı olabilmekte ve etkilenen alanlarda yapısal karmaşıklığın restorasyonunu sağlayabilmektedir (Ernhardt ve Almer, 2007).



Şekil 1.20. Su Havzaları Yağış Suyu Yönetiminde önemli bir yere sahiptir. Pioneer Park, Richmond Hill, Kanada (Url-16)

Yaşam döngüsü değerlendirmeleri, yerel tutma önlemleriyle birlikte yeşil altyapının geleneksel yüzey altı yaklaşımlarına kıyasla daha çevre dostu olabileceğini göstermiştir (Brudler vd., 2016). Havza ölçeğinde yağış suyu kontrol önlemleri, yağış suyu akış sorunlarını ve aşırı hacmi azaltma potansiyelleri nedeniyle giderek daha fazla kabul görmektedir (Anim vd., 2019). Etkili yüzey akışı ve kirletici kontrolü yoluyla düşük etkili gelişim stratejilerini optimize etmek, kentsel yağış suyu yönetimi için çok önemlidir (Xiao, 2024). Alıcı sularda yapılaşma öncesi akış rejimlerini taklit etmek, yağış suyu yönetiminin kilit bir yönü olarak giderek daha fazla kabul görmektedir (Hamel ve Fletcher, 2013). Sığ yeraltı suyu ile yüzey suyunun karıştığı bir dere yatağının altında bulunan gözenekli bölge olan Hiporeik bölgelerin koordineli tasarlanması, akarsu içi yağış suyu arıtımını geliştirebilmekte ve düzenleyici faktörleri kolaylaştırabilmektedir (Herzog vd., 2019). Yeşil altyapı tabanlı sürdürülebilir yağış suyu yönetiminin, kentleşme ve iklim değişikliğinin uzun vadeli etkilerini ele almak için uyarlanabilir bir strateji olarak kullanılması incelenmektedir (Wu vd., 2020).

Kentleşme ve aşırı hava olaylarına yanıt olarak, etkili yağış suyu yönetimi sağlamak için gerçek zamanlı yağış suyu kontrol ağları geliştirilmektedir (Mullapudi vd., 2018). Yağış suyu yönetimi, özellikle kentleşme ve iklim değişikliği zorlukları bağlamında küresel olarak kritik bir konudur (Zhang vd., 2020).



Şekil 1.21. Yağış Suyu Yönetimi Elemanlarının Modern Bilgi Aktarım Süreçleri
(WLA,2023)

Yeşil yağış suyu altyapısı (GSI), yüzey akışına odaklanarak yağış suyu yönetimine doğadan ilham alan bir yaklaşım olarak ilgi görmeye başlamıştır (Qi ve Barclay, 2021). Sürdürülebilir yağış suyu yönetimi uygulamalarını kentsel planlamaya entegre etmek, çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmek ve geçirimsiz örtüyü azaltmak için çok önemlidir (Bohman vd., 2020).



Şekil 1.22. Sellere karşı koruma ve kentsel ısı adası etkisinde etkili bir azalma sağlayan
Cheonggyecheon nehir kenarı, Seul, Güney Kore, (Url-17)

Gri, yeşil ve mavi altyapıların birleştirilmesi, yağış suyu yönetimine daha sürdürülebilir ve dirençli bir yaklaşım sağlamakta olduğu görülmektedir. Bu tür bir entegrasyon, şehirlerin işlevselliği optimize etmesine olanak tanımaktadır, gri altyapı hızlı su taşınması için verimli olsa da, yeşil ve mavi altyapılarla entegre edilmesi uzun vadede daha kaliteli su yönetimi ve çevre koruması sağlamaktadır. Yağış suyu yönetimi yöntemlerini çeşitlendirerek iklimsel direnci artırmak, şehirlerin iklim değişkenliği ve değişikliğinden kaynaklanan hidrolojik etkilere karşı da daha dayanıklı hale gelmesini sağlamaktadır.



Şekil 1.23. Yağış Suyu Yönetimi merkezli bir geleceğin şehri konsepti (Url-18)

Yeşil ve mavi altyapılar yağış suyundaki kirleticileri doğal olarak filtreleyebildiğinden su kalitesini iyileştirerek hem insan nüfusuna hem de doğal yaşama fayda sağlamaktadır, aynı zamanda kentsel yeşil ve mavi alanlar rekreasyon için değerli olduğundan ve genel yaşam kalitesini artırabileceğinden sosyal ve ekonomik katkılar da sağlamaktadır. Gri, yeşil ve mavi altyapı bağlamında yağış suyu yönetimi paradigması, geleneksel yaklaşımlardan daha geniş çevresel ve sosyal hedeflerle uyumlu daha entegre, sürdürülebilir uygulamalara geçişi yansıtmaktadır. Bu paradigma değişimi, geleneksel gri altyapı sistemlerinin yetersizliklerinin aşılabilmesini, doğal ve yarı doğal unsurların kentsel planlama ve tasarıma dahil edilmesinin faydalarının giderek daha fazla kabul görmesini sağlamaktadır.

1.5. YAĞIŞ SUYU YÖNETİMİNDE KULLANILAN SİSTEMLER

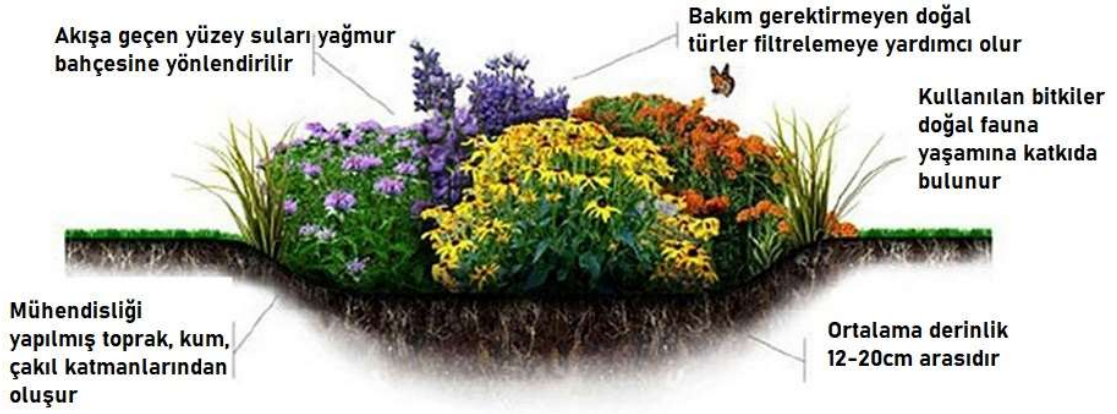
1.5.1. Yağmur Bahçeleri (Rain Gardens)

Yağmur bahçesinin tanımı olarak, çeşitli yüzeylerden gelen yağış suyunu toplayarak toprağa sızmasını sağlayan çeşitli yer örtücü veya çok yıllık çiçeklerin bulunduğu bir peyzajdaki alçaltılmış bir bölüm olduğu belirtilmektedir (EPA, 2023). Yağış suyu yönetiminde çok önemli bir yeri olan, biyofiltrasyon veya biyolojik tutma sistemleri olarak da bilinen Yağmur bahçeleri, kentsel alanlarda birden fazla işleve hizmet eden yeşil altyapının (GI) temel bir bileşenidir.



Şekil 1.24. Yağmur Bahçesi (EPA,2014)

Bu sistemler, yağış suyunu kaynağında tutarak, arıtarak ve kullanarak su yollarının ve su kütlelerinin korunmasına yardımcı olur (Lloyd ve diğerleri, 2002), aynı zamanda akış rejimlerini kontrol altına alarak kentleşme öncesindeki seviyelere yaklaştırır (Bratieres ve diğerleri, 2008). Yağmur bahçelerinin başlıca avantajları düşük yapım ve bakım maliyetleri, kentsel ve kırsal ortamlara kolay uyum sağlama kabiliyeti ve yapıldığı alanların estetik değerini yükseltmesidir.



Şekil 1.25. Yağmur Bahçesi ve bileşenleri (Royal Oak Bld.'den uyarlanmıştır, 2023)

Avrupa ülkelerinin ve Avrupa Birliği'nin çok sayıda tüzüğü, kentsel atık su kalitesinin artırılmasına ve özellikle iklim değişikliğiyle ilgili kirliliğin azaltılmasına odaklanmaktadır. Bunun önemli bir örneği 'Hava, su ve toprakta sıfır kirliliğe doğru' başlıklı AB eylem planıdır. Bu planın temel amacı, hava, su ve toprak kirliliğinin, gezegenimizin başa çıkabileceği sınırlara saygı göstererek, sağlığa ve doğal ekosistemlere artık zararlı olmadığı düşünülen seviyelere düşürülmesi ve böylece toksik olmayan bir çevre yaratılmasıdır. Bu bağlamda yağış suyu yönetim sistemlerine ve bunların önemli bir elemanı olarak yağmur bahçelerine gelecekte daha çok ihtiyaç duyulacağı görülmektedir (Avrupa Komisyonu, 2019, Avrupa Komisyonu, 2021).



Şekil 1.26. Royal Oak şehrinden bir Yağmur Bahçesi (Royal Oak Belediyesi, 2023)

Çalışmalar, yağmur bahçelerinin yerleşim alanlarında ve kentsel yeşil alanlarda yağış suyu yönetimi için yalnızca etkili değil, aynı zamanda sürdürülebilir çözümler olduğunu göstermiştir (Morash vd., 2019). Yağmur bahçeleri normalde sıradan bahçeler gibi görünür ancak onları ayıran spesifik özellikleri vardır. Tipik bir yağmur bahçesi temel olarak üç bölümden oluşur; göllenme alanı, giriş ve taşma yapıları. Göllenme alanı,

zeminde doğal olarak oluşan veya yapay olarak inşa edilen bir çöküntüdür. Göllenme alanının altı mühendisliği yapılmış toprak tabakaları, altında ise kum ve çakıl katmanları bulunur. Alternatif olarak alt kısımda delinmiş bir alt drenaj borusu da kullanılabilir. Fazla eğimli yüzeyler yağmur bahçesi inşası için çok uygun değildir, bu nedenle bu tür peyzajlarda toprak kazısı ve aşağı eğimli tarafta bir toprak banket inşa edilerek oluşturulur. Giriş yapısı, borulardan veya çevredeki sokaklar ve kaldırımlar gibi geçirimsiz alanlardan veya drenaj güzergahı olarak tasarlanan bölgelerden gelen akış, giriş yapısı tarafından göllenme alanına yönlendirilir. Taşma, göllenme alanı dolduğunda, toplanan su taşma yapısı aracılığıyla yağmur bahçesini terk eder ve istenen yere, genellikle kanalizasyon şebekesine yönlendirilir. Bu yapı erozyon riskini azaltmaya yardımcı olmaktadır (Malaviya, P. vd., 2019).



Şekil 1.27. Bir yağmur bahçesine su giriş ve çıkışı (Url-19)

Ayrıca, yağmur bahçeleri, kentsel yağış suyu sorunlarını hafifletmeyi amaçlayan yönetmeliklere uygun olarak, bina çatılarından ve ulaşım altyapısından gelen akıştaki kirleticileri azaltmaya yönelik önlemler olarak önerilmektedir (David vd., 2015). Yağmur bahçelerinin tasarımı, bitki türü seçimi ve toprak faunası etkileşimleri gibi performanslarını etkileyen faktörlerle birlikte çok önemlidir (Bruner vd., 2023; Mehring ve Levin, 2015).

Yağmur bahçeleri aynı zamanda kanalizasyon ve yağış suyu taşıyan altyapı sistemlerinin yüksek maliyetli yeniden geliştirilmesine, düşük maliyetli ve çevre dostu bir alternatif ve yardım da sağlayabilmektedir. Özellikle altyapı geliştirmenin mümkün olmadığı veya çok maliyetli olduğu kentsel ortamlarda, mevcut gri altyapıyı destekleyen yeşil altyapı sistemlerinin daha yaygın kullanılması gerektiği giderek daha belirgin hale gelmektedir. Bu bağlamda, çeşitli faydaları, düşük inşaat ve bakım maliyetleri göz önüne alındığında, şehirlerin ani yağışlara ve afetlere karşı daha dayanıklı hale getirilmesi için daha fazla yağmur bahçesi yapılması gerekliliği görülmektedir.



Şekil 1.28. Seattle şehrinde bir yağmur bahçesi örneği (Url-20)

Bu bahçeler, yeşil çatılar ve geçirgen zeminler, yağış suyunu tutmak ve su kalitesini artırmak ve taşkınları azaltmak için tasarlanmış çözümler olarak beraber kullanıldıklarında sinerjik etki göstererek verimlilikleri de artmaktadır (Meierdiercks ve McCloskey, 2022).



Şekil 1.29. Çift taraflı yollardan gelen akışı tutan bir yağmur bahçesi örneği (Royal Oak Belediyesi, 2023)

Sonuç olarak, yağmur bahçeleri peyzajlara görsel olarak cazip bir katkı değil, kentsel ve kırsal ortamlarda yağış suyunu yönetmek ve aynı zamanda iklim değişikliğinin etkilerine karşı mücadelede çok yönlü ve etkili araçlardır. İklim değişikliğinin getirdiği artan yağış ve sıcaklık dalgalanmalarının etkilerini azaltması, yüzey akışını azaltma, kirleticileri giderme ve yeraltı suyunun yeniden şarjını artırma yetenekleri, onları sürdürülebilir kentsel su yönetimi stratejilerinin uygulanabilmesi ve kentsel altyapının dirençliliğinin artırılmasında hayati bir bileşen haline getirmektedir. Yağmur bahçeleri çevresel sorunlara basit ama etkili bir çözüm sunarak kentsel alanların yönetim şeklinde yapılacak küçük değişikliklerin, yeterli sayıda uygulandığında önemli ekolojik faydalar sağlayabileceğini kanıtlamaktadır.

1.5.2. Biyolojik hendekler (Bioswales)

Biyolojik hendekler, yağış suyu akışını yönetmek için tasarlanmış mühendislik ürünü peyzaj elemanlarıdır. Benzer tasarımlar olsalar da, biyolojik hendekler yağış suyunu kıvrımlı veya doğrusal bir yol boyunca yavaşlatmak için tasarlanırken, yağmur bahçeleri yağış suyunu bir çanak şeklinde yakalamak, depolamak ve süzmek için tasarlanmıştır.



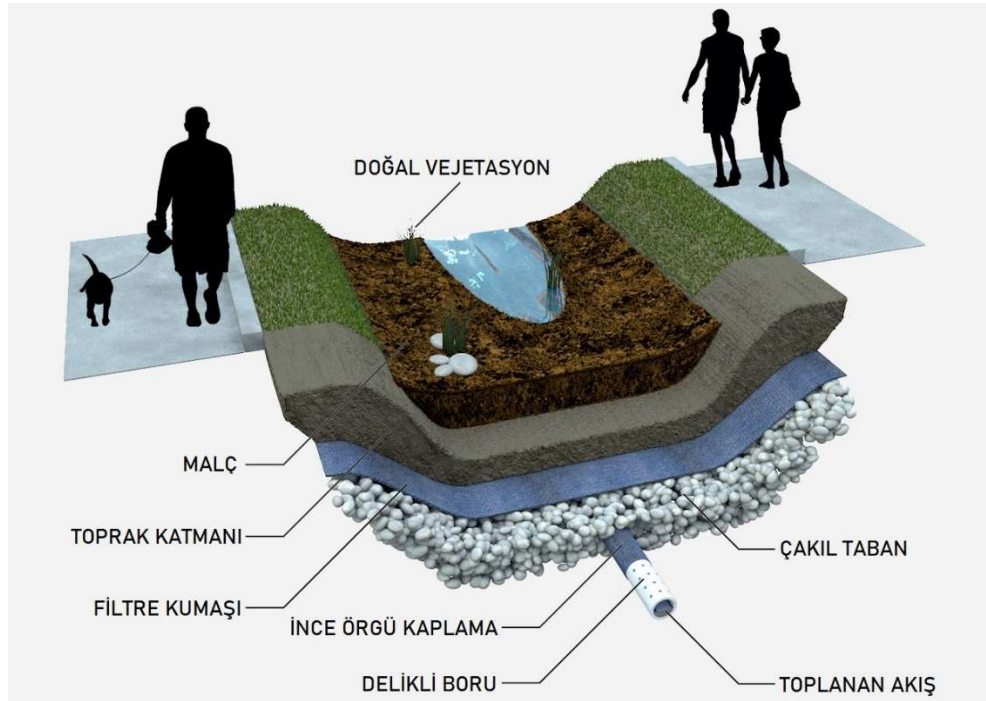
Şekil 1.30. Eğimli bir sokak boyu uzanan bir biyolojik hendek (Waterborne Environmental, 2023)

Yollar ve otoparklar gibi daha yüksek yüzeylerden gelen akışı filtrelemek ve yavaşlatmak için bitki örtüsü, toprak ve organik katmanları kullanarak, kirleticileri gidererek ve geleneksel drenaj sistemlerine giren yağış suyu oranını ve hacmini azaltarak su kalitesini iyileştirmektedir.



Şekil 1.31. Yapım aşamasında kıvrımlı bir biyolojik hendek (Url-21)

Bir biyolojik hendek, tipik olarak doğal drenaj yollarını taklit eden, alt tabakaya su sızmasını en üst düzeye çıkararak ve kirleticilerin yakındaki su kütlelerine taşınmasını en aza indiren eğimli bir tasarıma sahiptir. Bu sistemler genellikle ıslak ve kurak ortamlarda gelişebilme kabiliyetleri ve kirleticileri filtrelemedeki etkinlikleri nedeniyle seçilen çeşitli bitki türlerini içermektedir. Yerel bitkiler, uyumlulukları ve düşük bakım gereksinimleri nedeniyle özellikle değerlidir.



Şekil 1.32. Biyolojik hendek kesiti (Teodros Haily/KQED Science'dan uyarlanmıştır)

Bir biyolojik hendekte, alt tabakalar işlevi için çok önemlidir. Genellikle her biri geçirgenlik ve filtreleme özelliklerine göre seçilen toprak, çakıl ve bazen de kum katmanlarından oluşmaktadır. Bu kurulum sadece bitki yaşamını desteklemekle kalmaz, aynı zamanda suyun süzülmesini kolaylaştırarak yeraltı suyunun yeniden şarj edilmesini sağlamak ve yüzey akışını azaltmaktadır.



Şekil 1.33. Çin'in Ningbo şehrinden biyolojik hendek örneği (Url-22)

Düzenli tasarlanmış yağmur bahçeleri ve biyolojik hendekler, yağış olayları sırasında yüzeylerden gelen kirleticilerin çoğunu taşıyan, yağış suyunun "ilk akışını" idare etmede etkilidir. Kirletici maddeler veya hacim birikmeden önce akışı durdurmak için peyzaj alanlarına stratejik olarak yerleştirilerek, sürdürülebilir drenaj ve su yönetimi için kentsel yeşil altyapının önemli bir bileşenini oluşturmaktadır. (Gill vd., 2017., Lin ve Wang, 2023, Illinois Üniversitesi, 2024, Illinois Groundwork, 2024, PGH2O, 2024, NACTO, 2024).



Şekil 1.34. Yollar arasında refüj olarak kullanılan bir biyolojik hendek örneği (LDP Watersheds, 2022)

1.5.3. İnfiltrasyon/Sızma Hendeği (Percolation/Infiltration Trench)

Sızma veya infiltrasyon hendekleri, suyu yakalayıp toprağa sızdırarak yağış suyu akışını yönetmek üzere tasarlanmış mühendislik yapılarıdır. Bu hendekler, özellikle geçirimsiz yüzeylerin yüksek olduğu kentsel alanlarda sürdürülebilir yağış suyu yönetiminde çok önemli bir rol oynamaktadır. İnfiltrasyon hendeklerinin birincil işlevi, yağış suyu akış hacmini azaltmak, taşkınları önlemek ve suyun topraktan süzülmesine ve yeraltı suyunun yeniden şarj edilmesine izin vererek su kalitesini iyileştirmektir.



Şekil 1.35. Yol kenarı infiltrasyon hendeği örneği (Url-23)

İnfiltrasyon hendekleri, kentleşmenin su kaynakları üzerindeki etkilerini azaltmaya yardımcı olabilecek etkili bir yağış suyu kontrol önlemidir (Maniquiz vd., 2010; Emerson vd., 2010). Bu hendekler, kentsel ortamlarda hidrolojik dengenin korunmasına yardımcı olmaktadır (Heilweil vd., 2015; Sadeghi vd., 2017).



Şekil 1.36. Dikey bahçe altında bir infiltrasyon hendeği (Url-24)

Bu yapılar, akış hacmini azaltmaya, pik akışları kontrol etmeye ve yağış suyuyla taşınan tortu ve kirlenmeleri tutmaya yardımcı olarak su kalitesini iyileştirmekte ve aşağı havza ekosistemlerini korumaktadır (Emerson vd., 2010; Campisano vd., 2011). İnfiltrasyon hendekleri sızma ve doğal filtreleme süreçlerini teşvik ederek kentsel alanların iklim değişikliğinin etkilerine karşı direncinin artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır (Sadeghi vd., 2017; Freni vd., 2009).

1.5.4. Geçirgen Zeminler (Permeable Pavements)

Geçirgen zeminler, yağış suyu akışını yönetmek ve akış hacimlerini azaltmak için küresel olarak kullanılan sürdürülebilir kentsel drenaj sistemlerinin önemli bir unsurudur (Boogaard vd., 2014). Gözenekli (porous) ve geçirimli (pervious) olarak da tanımlanan geçirgen zeminler, suyun zemin yüzeyinden aşağıdaki toprak katmanlarına sızmasına izin

vererek yüzey akış hacimlerini azalttığı ve tortu ve kirleticileri gidererek su kalitesini iyileştirdiği için yağış suyu yönetimi için çok önemlidir (Chen vd., 2019; Lucke vd., 2014).



Şekil 1.37. Geçirgen Zemin (Url-25)

Geçirgen asfaltlar (PA), geçirgen betonlar (PC) ve geçirgen kilitli beton kaplama taşları (PICP) gibi çeşitli geçirgen zemin türleri mevcuttur. Her bir tip, taşkın azaltma ve su infiltrasyonunda farklı avantajlar sunmaktadır (Hu vd., 2018). Düzgün bir şekilde bakımı yapılan geçirgen zemin, yağış suyu yoğunluğunu ve kalite sorunlarını azaltmada etkilidir (Moore vd., 2017).



Şekil 1.38. 1- Geçirgen döşeme taşları, 2- Çim döşeme taşları, 3- Geçirgen beton, 4- Geçirgen asfalt (Stormwater Partners Washington,2022)

Geçirgen zemin ve biyotutma sistemlerinin arıtma senaryolarına dahil edilmesinin, alıcı sular için ekolojik faydaları optimize edebilmektedir (Revitt vd., 2014). Bu zeminler, yağış suyu infiltrasyonunu teşvik etmek için spesifik olarak tasarlanmıştır ve kentsel yüzey akışını yönetmek için sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır (Danz vd., 2021; Bentarzi vd., 2014).



Şekil 1.39. Çin, Şangay, “Sünger Şehir” geçirgen zeminli koşu parkurları (Url-22)

Geçirgen zeminler, kentsel alanlardaki yüzey akışını azaltmada özellikle önemlidir ve sel azaltma çabalarına katkıda bulunmaktadır (Shafique vd., 2018; Hu vd., 2018).



Şekil 1.40. Ağaç Merkezli Geçirgen Zemin uygulamaları (Url-26)

Ayrıca, arazi yüzeyleri boyunca yağış suyu akışının hacmini ve hızını azaltarak doğal hidrolojik rejimlerin korunmasına yardımcı olmaktadır (McCabe vd., 2021).

1.5.5. Yapılı Taşıma Sistemleri (Constructed Conveyance Systems)

Yapılı taşıma sistemleri, yüzey ve yağış suyu akışını taşıyan doğal veya insan yapımı yüzey suyu sisteminin tüm kısımlarını içermektedir, su veya diğer maddeleri bir noktadan diğerine verimli bir şekilde taşımak için tasarlanmış mühendislik yapılarıdır.



Şekil 1.41. Aşırı yağışlara dayanabilen yağış suyu kanalları (Url-27)

Bu sistemler sulama, atık su yönetimi ve taşıma gibi çeşitli uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır. Taşıma sistemlerinin tasarımı ve inşası, sıvıların veya katıların güvenilir ve verimli bir şekilde taşınmasını sağlamak için gereklidir. Yapılı taşıma sistemleri, su yönetimi altyapısının ayrılmaz bileşenleridir ve sulama, kentsel tedarik ve endüstriyel süreçler için suyun hareketini kolaylaştırır.



Şekil 1.42. Yeraltı Drenaj ve Kanalizasyon boruları (Url-28)

Bu sistemler, suyu kısa veya uzun mesafelere taşımak için tasarlanmış boru hatlarını, kanalları ve kanalizasyonları içerir. Uygun şekilde tasarlanmış taşıma sistemleri su dağıtımını optimize etmeye, kayıpları azaltmaya ve çeşitli kullanımlar için suyun kullanılabilirliğini sağlamaya yardımcı olur (Hipel ve diğerleri 2015).



Şekil 1.43. Suyu hem taşıyıp hem geçici depolayabilen hazne sistemleri (Url-29)

Taşıma sistemlerinin inşası ve bakımı, optimum performans ve uzun ömürlülük sağlamak için dikkatli bir planlama gerektirir. Malzeme seçimi, yapısal bütünlük ve operasyonel verimlilik gibi faktörler, taşıma sistemlerinin tasarımında göz önünde bulundurulması

gereken temel hususlardır. Düzenli denetimler ve onarımlar da dahil olmak üzere uygun bakım uygulamaları, kesintileri önlemek ve bu sistemlerin sürekli işlevselliğini sağlamak için gereklidir (Pisano vd., 2005).

1.5.6. Yeşil Çatı ve Çatı Bahçeleri (Green Roof and Roof Gardens)

Yaşayan çatı olarak da bilinen yeşil çatı, kısmen veya tamamen bitki örtüsü ve yetiştirme ortamı ile kaplı, su yalıtım membranı üzerine oluşturulmuş bir binanın çatısıdır. Çatı bahçeleri, yeşil çatıların tasarım odaklı, bitki çeşitliliği yüksek olan varyantlarıdır.



Şekil 1.44. Yeşil Çatı (Url-30)

Yeşil çatılar çevresel sürdürülebilirliğe ve kentsel gelişime katkıda bulunan bir dizi fayda sunmaktadır. Kirliliğin azaltılması için bir araç görevi görmekle beraber (Rowe, 2011), iyileştirilmiş yağış suyu yönetimi, bina sıcaklıklarının düzenlenmesi ve kentsel yaban hayatı habitatının artırılması gibi ekosistem hizmetleri sağlamaktadırlar (Oberndorfer vd., 2007). Yeşil çatılar sadece işlevsel değil, aynı zamanda estetik açıdan da önemlidir; bireylerin çoğunluğu onları çekici bulmakta ve çevresel avantajlarını kabul etmektedir (Jungels vd., 2013).



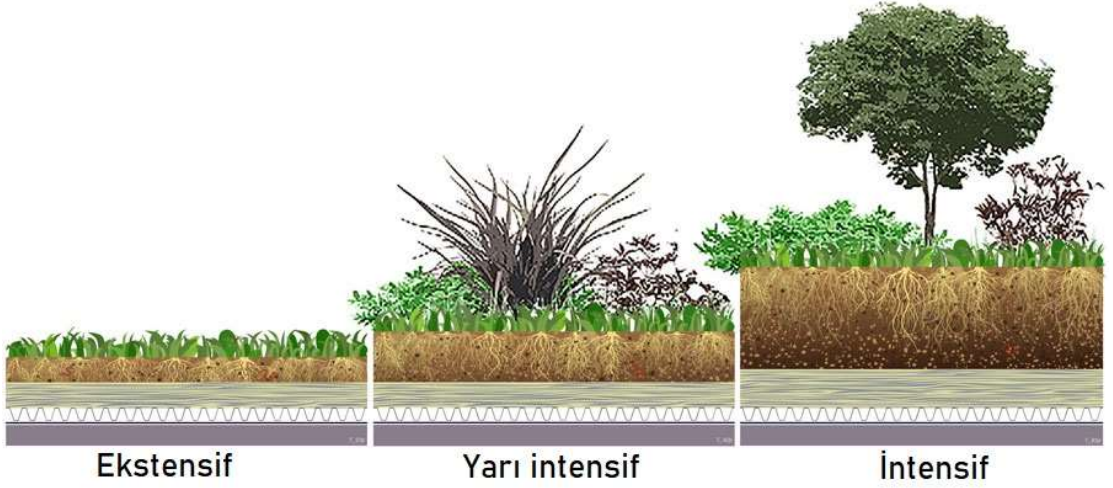
Şekil 1.45. Eğimli Yeşil Çatı örneği (Url-31)

Yeşil çatılar CO₂ salınımı ve enerji tüketimini azaltarak iklim değişikliğinin hafifletilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Li ve Babcock, 2014). Ayrıca çeşitli türler için habitat sağlayarak biyoçeşitliliğin korunmasına da yardımcı olurlar (Williams vd., 2014). Yeşil çatılar kentsel ısı adası etkilerini azaltma kabiliyetleriyle tanınmakta ve bu da onları etkili bir sürdürülebilir tasarım aracı haline getirmektedir (Peng ve Jim, 2013). Ticari bir perspektiften bakıldığında, yeşil çatılar sosyal, ekonomik ve çevresel açılardan sürdürülebilirlik faydaları nedeniyle iklim değişikliğinin azaltılması için uygun bir seçenek olarak tanımlanmıştır (Tassicker vd., 2016).



Şekil 1.46. Oakland şehri Kaiser Center Çatı Bahçesi (TCLF, 2023)

Yaşam döngüsü değerlendirmeleri, yeşil çatıların temel özelliği olan düşük güneş emiciliğinin çatıdan geçen ısı akışını azalttığını ve böylece enerji verimliliğini artırdığını göstermiştir (Saiz vd., 2006). Ayrıca çatı bahçeleri, özellikle geleneksel bahçecilik için arazinin sınırlı olduğu kompakt kentsel ortamlarda kentsel tarımı ve gıda üretimini destekleyebilmektedir. Hidroponik, aeroponik ve konteyner bahçeciliği gibi teknikler kullanılarak, yeşil çatılar sebze ve bitki yetiştirmek için verimli alanlar olarak hizmet verebilmekte, gıda güvenliğine katkıda bulunabilir ve sürdürülebilir uygulamaları teşvik edebilmektedir (Hua vd., 2022). İntensif, yarı intensif ve ekstansif olmak üzere üç tür yeşil çatı bulunmaktadır ve bunlar ekim ortamının derinliği ve gerektirdikleri bakım miktarı bakımından farklılık göstermektedir. Ekstansif yeşil çatılar, 90 ila 300 mm'lik sığ bir yetiştirme ortamına, geleneksel standartlara benzer çatı mühendisliğine, sığ köklü bitkilerle sınırlı bitki örtüsüne sahiptir, nispeten ekonomiktir ve güçlendirilmesi kolaydır. Yarı intensif yeşil çatılar 300 ila 500 mm'lik bir yetiştirme ortamı derinliğine sahiptir, yer örtüsünden küçük ağaçlara kadar bir dizi bitkiyi destekler ve tipik olarak sulama ve kök bariyerinin kullanılmasını gerektirmektedir. İntensif yeşil çatılar, 500 mm veya daha derin bir yetiştirme ortamına sahiptir, bu da daha fazla doymuş yüke neden olur ve çok çeşitli bitkilerin yaşamasına olanak sağlar. Nispeten pahalıdırlar ancak yalıtım ve su tutma gibi daha büyük faydalar sunarlar. Yüksek biyoçeşitliliği desteklemekle beraber, bir kök bariyeri, önlem için sulama ve sızıntı tespit sistemi gerektirmektedir (url-31).



Şekil 1.47. Yeşil Çatı Türleri (Url-32)

Tipik bir yeşil çatı işlevsel katmanlardan oluşmaktadır. Bunlar; Sedum ve çim gibi çeşitli bitkilerin bulunduğu en üst bitki örtüsü katmanı; bitki yaşamını destekleyen turba, kum ve perlitten yapılmış topraksız bir yetiştirme ortamı; toprak erozyonunu ve ince parçacıkların drenaj katmanını tıkamasını önlemek için bir filtre membranı; suyu uzaklaştıran ve suyun tutulmasından kaynaklanan yapısal hasarı önleyen bir drenaj katmanı; yapıyı kök penetrasyonundan koruyan bir kök bariyeri; çatıyı su geçirmez ve kök hasarına karşı güvenli tutmak için su geçirmez ve kök itici bir katman; tutarlı bina sıcaklıklarını koruyan, böylece ısıtma ve soğutma maliyetlerini azaltan bir yalıtım katmanı; ve son olarak, tipik olarak mevcut çatı yapısına entegre edilen diğer tüm bileşenleri destekleyen temel katman olan yapısal destek (Mentens vd. 2006. Suszanowicz ve Wiğcek, 2019).



Şekil 1.48. Yeşil Çatı Katmanları, Kuppusamy'den uyarlanmıştır (2016)

Yeşil çatılar önemli faydalar sunarken, özellikle doygunluk durumunda ek ağırlığı desteklemek için yapısal takviye ihtiyacı, uzun vadeli enerji tasarrufu ve artan çatı ömrü ile azaltılabilecek yüksek ilk kurulum maliyetleri ve çatı tipine bağlı olarak değişen bakım talepleri gibi zorlukları bulunmaktadır.



Şekil 1.49. Monako'dan Yeşil Çatı örnekleri (Url-33)

Sonuç olarak, yeşil çatılar sürdürülebilir kentsel kalkınmaya bütüncül bir yaklaşım sunarak çevresel, ekonomik ve sosyal faydalar sağlamaktadır. Kirliliğin azaltılması, iklim değişikliğinin hafifletilmesi, biyoçeşitliliğin korunması ve enerji verimliliğindeki rolleri, daha sağlıklı ve sürdürülebilir kentsel çevreler yaratmadaki önemlerinin altını çizmektedir.

1.5.7. Mavi Çatı (Blue Roof)

Mavi çatılar, özellikle iklim değişikliği nedeniyle aşırı yağış olaylarındaki artışa yanıt olarak yağış suyu yönetimi için bir çözüm olarak ortaya çıkan bir mavi-yeşil altyapı türüdür. Mavi çatılar, yağış suyunu tutup yavaşça serbest bırakarak geleneksel drenaj sistemleri üzerindeki yükü azaltarak şiddetli yağışların etkilerini hafifletmeye yardımcı olabilecek bir sürdürülebilir kentsel drenaj sistemi (SUDS) biçimidir. Bu çatılar, yağış suyunu geçici olarak depolamak ve ardından kademeli olarak serbest bırakmak, böylece yağış suyu akışının hacmini ve oranını azaltmak için tasarlanmıştır.



Şekil 1.50. Mavi Çatı diyagramı (PWD, 2022)

Geleneksel çatılara mavi-yeşil katmanların eklenmesi, etkin bir şekilde yönetilmesi gereken çok disiplinli teknik zorluklar içermektedir (Andenæs vd., 2021). Özellikle soğuk iklimlerde, çatıların mavi-yeşil çatı sistemlerine dönüştürülmesi, ele alınması gereken bina teknik zorluklarını beraberinde getirmektedir (Andenæs vd., 2018). Geçici çatı üstü depolama için kullanılan mavi çatılar, çatıdan suyun drenajını düzenlemek için kullanılan kontrol cihazlarının türlerine bağlı olarak "aktif" veya "pasif" olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 1.51. Mavi Çatı örneği (Url-34)

Pasif tasarımlar çatıdan salınım oranlarını kontrol etmek için savaklar, delikli plakaları

veya hidrolik regülatörler gibi hidrolik yapılar kullanır. Aktif yaklaşımlar, çatılardan akışların tahliyesini düzenlemek için bir valf konfigürasyonu ve kontrolörün kullanılmasına izin verir. Bu valf, valf üzerindeki, hidrolik yüksekliği ve çatı yüzeyindeki depolamanın zamanlamasını izleyen düşük maliyetli bir mikro denetleyiciye bağlanabilir. Kontrolör, alıcı, alıcı suyun analizine dayalı olarak önceden belirlenmiş bazı optimum yaklaşıma göre göllenen suyu serbest bırakmak üzere programlanabilmektedir. Mavi çatılar, genellikle büyük, düz çatılara sahip olan ve binayı çevreleyen alanda depolama için çok az alan bulunan veya hiç bulunmayan ticari ve konut binalarındaki uygulamalar için çok uygundur. (MCWT, 2024).



Şekil 1.52. Mavi – Yeşil Çatı örneği (Url-35)

Yağış yönetimiyle ilgili zorluklarla karşılaşan kentsel alanlar bağlamında, mavi-yeşil çatılar yoğun yağış olayları sırasında drenaj sistemleri üzerindeki yükü hafifletmek için pratik bir çözüm sunmaktadır. Mavi-yeşil çatıları bina tasarımlarına dahil ederek şehirler iklim değişikliğinin etkilerine karşı dayanıklılıklarını artırabilir, sel riskini azaltabilir ve sürdürülebilir su yönetimi uygulamalarına katkıda bulunabilmektedir.

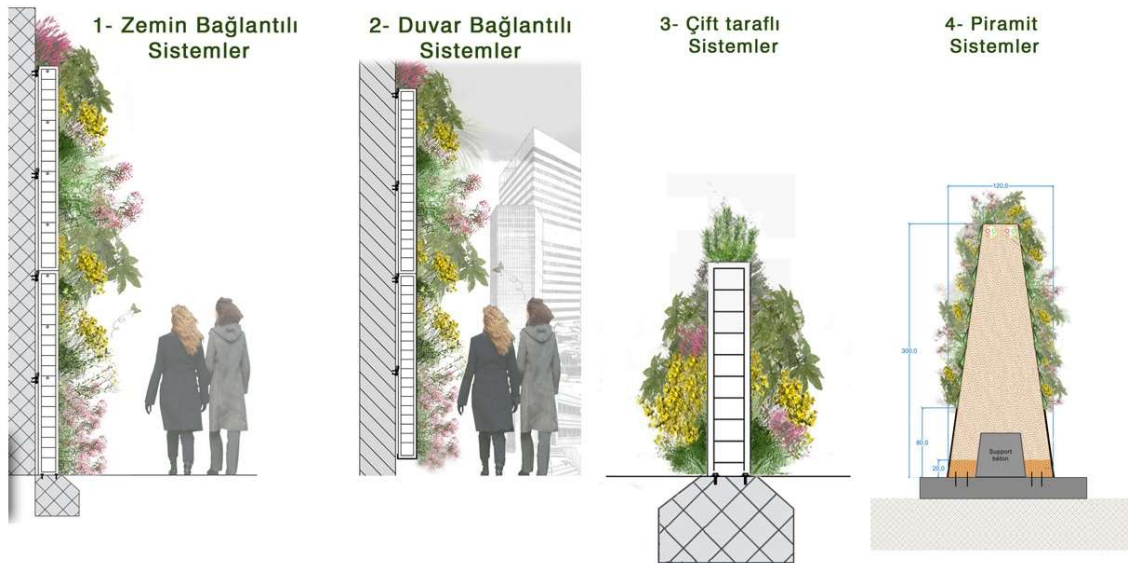
1.5.8. Yeşil Duvar/Dikey Bahçe (Green Wall/Vertical Garden)

Yeşil duvarlar olarak da bilinen dikey bahçeler, bitki örtüsüyle kaplanmış dikey yapılar olup, toprak, ikame substrat veya hidrokültür keçesi gibi dikey olarak uygulanan bir büyüme ortamının yanı sıra entegre bir hidrasyon ve gübreleme dağıtım sistemi içermektedir, ayrıca çevresel sürdürülebilirliğe ve bina verimliliğine katkıda bulunan çeşitli işlevlere hizmet etmektedir.



Şekil 1.53. Dikey Bahçe (Url-36)

Bu yapılar, yaz aylarında iklimlendirme için enerji tüketimini azaltarak ve kış aylarında ısı yalıtımını artırarak enerji verimliliğini artırmaktadır (Convertino vd., 2019). Ayrıca yeşil duvarlar, uçucu organik bileşikler (VOC'ler) ve partikül madde gibi kirleticileri filtreleyerek hava kalitesinin iyileştirilmesine yardımcı olabilmektedir (Pettit vd., 2018).



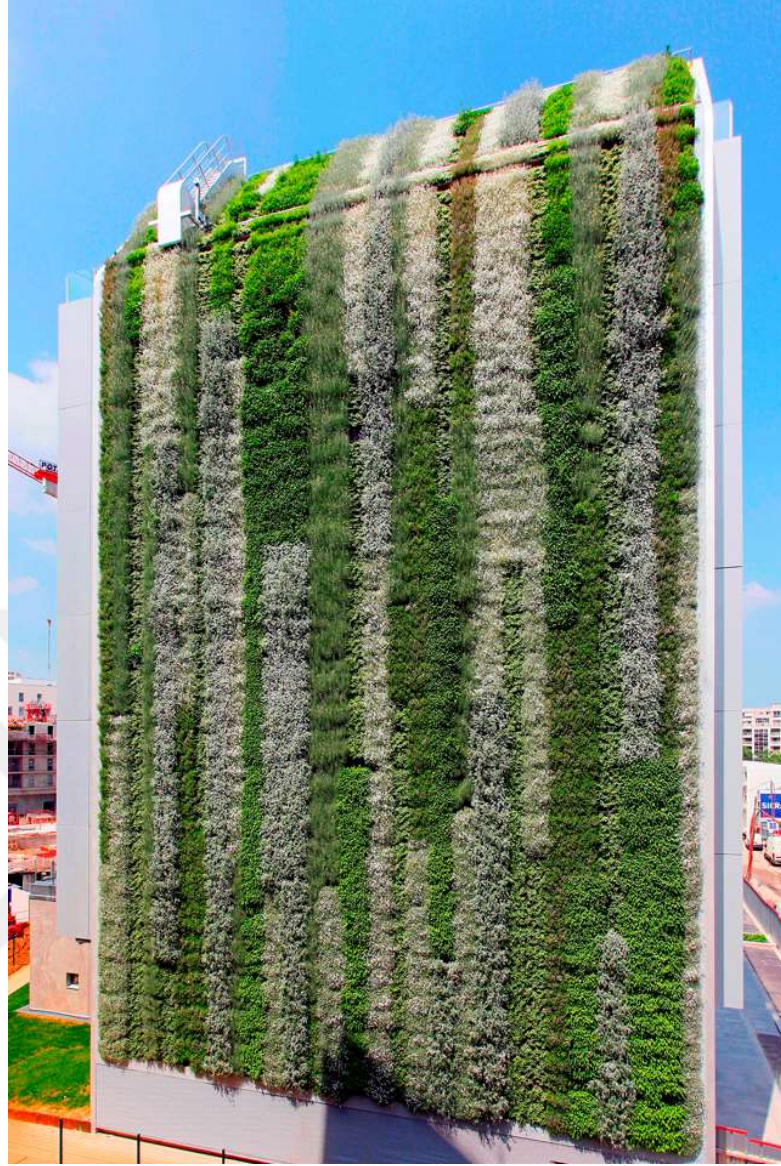
Şekil 1.54. Dikey Bahçe Sistemleri (Url-36)

Dikey bahçeler artan ekim yoğunluğu ve etkili kirletici giderme oranları, onları geleneksel saksı bitkilerinden daha etkili kılmaktadır (Pettit vd., 2018). Ayrıca, yeşil duvarlardaki bitkilerin varlığı, partikül maddeyi filtreleme kabiliyetlerini doğrudan etkilemekte ve farklı bitki türleri partikül madde gideriminin verimliliğini etkilemektedir (Pettit vd., 2017).



Şekil 1.55. Bangkok'dan Dikey Bahçe örneği (Url-37)

Yeşil duvarlar, çevrelerindeki gürültü seviyelerini azaltarak akustik avantajlar da sunar. Bu duvarların yetiştirme ortamı ve bitkilerden oluşan sık yapısı sesi emerek gürültü kirliliğini önemli ölçüde azaltabilir. Bu özellik özellikle gürültü kirliliğinin sıkça yaşandığı yoğun kentsel alanlarda faydalıdır. Kentsel ortamlarda yeşil duvarların varlığı, binaların estetik cazibesini artırabilir ve bu da mülk değerlerini ve kamu ilgisini artırabilir. Ayrıca, kentsel ortamlarda doğal unsurlar sağlayarak stres seviyelerinin azalması ve refahın artması gibi psikolojik faydalarla da bağlantılıdır. Doğanın kentsel mimariye entegrasyonu, binaları tanınabilir simge yapılara dönüştürebilmekte ve bölgenin genel sosyal atmosferini iyileştirebilmektedir (Timur ve Karaca, 2013, Shushunova vd., 2023).



Şekil 1.56. Dikey Bahçe örneği (Url-36)

Kentsel ortamlarda, dikey bahçelerin entegre edilmesi sürdürülebilir şehir gelişimine katkıda bulunan yeşil alanlar yaratabilmektedir (Caesarina ve Rahmani, 2021). Bu yeşil alanlar sadece estetik değer sağlamakla kalmaz, aynı zamanda iyileştirilmiş hava kalitesi ve biyoçeşitlilik gibi çevresel faydalar da sunmaktadır.



Şekil 1.57. Singapur’da bulunan Jewel Changi Havalimanı Dikey Bahçe Sistemleri
(Url-38)

Dünya’da yapılmış iyi örnekler, kentsel alanlarda dikey bahçelerin kullanılmasının ve bu yapıların sürdürülebilirliği teşvik etmek için şehir peyzajlarına nasıl entegre edilebileceğini göstermektedir (Caesarina ve Rahmani, 2021).

1.5.9. Yağmur Suyu Depoları (Rainwater Tanks)

Yağmur suyu depoları, yağmur suyunu çeşitli amaçlar için toplamak ve depolamak üzere tasarlanmış yağmur suyu hasat sistemlerinin önemli bileşenleridir. Bu depolar, içilebilir olmayan kullanımlar için alternatif bir su kaynağı sağlayarak, şebeke suyuna olan talebi azaltarak ve su tasarrufu çabalarına katkıda bulunarak sürdürülebilir su yönetimde hayati bir rol oynamaktadır (Souza ve Ghisi, 2012).



Şekil 1.58. Yağmur suyu hasadı ve depolaması için su tankı (Url-39)

Yağmur suyu tanklarının boyutlandırılması, su taleplerini karşılama ve su tasarrufunu en üst düzeye çıkarma kapasitesini belirlediği için yağmur suyu sistemlerinin verimliliğinde kritik bir faktördür (Ghisi, 2009). Doğru boyutlandırılmış yağmur suyu depoları, konutlarda ve ticari binalarda içme suyu tüketimini önemli ölçüde azaltarak çevresel ve ekonomik faydalar sağlayabilmektedir (Bertuzzi ve Ghisi, 2021).



Şekil 1.59. Yağmur suyu depo sistemi örneği (Url-40)

Su tasarrufunun yanı sıra, yağmur suyu depolarının su kalitesi üzerinde de etkileri vardır. Çalışmalar, depolanan yağmur suyunun kalitesinin depolama koşulları, havza alanı ve zaman gibi faktörlerden etkilenebileceğini göstermiş ve yağmur suyu depolarının uygun şekilde bakımının ve izlenmesinin önemini vurgulamıştır (Amin vd., 2013).



Şekil 1.60. Yağmur suyu depoları yeraltına da yerleştirilebilmektedir (Url-41)

Tanklarda depolanan hasat edilmiş yağmur suyunun mikrobiyal kalitesinin değerlendirilmesi, suyun kullanım amacı için güvenli olduğundan emin olmak için çok önemlidir (Chubaka vd., 2018). Ayrıca, yağmur suyu tankı örneklerinde patojenlerle ilişkili virülans genlerinin varlığı, yağmur suyu hasat sistemlerinde mikrobiyal kaynak takibi ve su kalitesi değerlendirmesinin önemini vurgulamaktadır (Ahmed vd., 2016).



Şekil 1.61. Avusturalya'dan kurak bölgelerde büyük önem taşıyan yüksek kapasiteli yağmur suyu deposu (Url-42)

Yağmur suyu depoları sadece su tasarrufu için değil, aynı zamanda kentsel ve kırsal alanlarda yağmur suyu akışını azaltmak ve yüzey suyunu yönetmek için de değerlidir. Bu depolar kentleşmenin doğal hidrolojik süreçler üzerindeki etkisini azaltmaya, erozyonu azaltmaya ve fazla yağış suyunu daha sonra kullanmak üzere depolayarak sel baskınlarını kontrol etmeye yardımcı olabilmektedir. Konutlarda yağmur suyu depolarının uygulanmasının su talebini azalttığı, sürdürülebilir hedeflere katkıda bulunduğu ve su kaynakları yönetimini desteklediği görülmüştür (Islam vd., 2013).



Şekil 1.62. Yeni Zelanda'dan basit ve kolay uygulanabilir bir örnek (Url-43)

Sonuç olarak, yağmur suyu tankları ve depoları sürdürülebilir su yönetiminde çok yönlü bir rol oynamakta, su tasarrufu, su kalitesinin iyileştirilmesi, yağış suyu yönetimi ve çevrenin korunması gibi faydalar sunmaktadır. Yağmur suyu depolarının uygun tasarımı, boyutlandırılması, bakımı ve izlenmesi, verimliliklerini en üst düzeye çıkarmak ve hasat edilen yağmur suyunun güvenliğini ve güvenilirliğini sağlamak için gereklidir.

1.5.10. Yapay Sulak Alanlar (Constructed Wetlands)

Yapay sulak alanlar, atık suyu arıtmak için sulak alan bitki örtüsü, topraklar ve bunlarla ilişkili mikrobiyal toplulukları içeren doğal süreçleri kullanmak üzere tasarlanmış mühendislik sistemleridir.



Şekil 1.63. Yapak Sulak Alan (Url-44)

Bu sistemler, atık su, yağış suyu, gri su veya endüstriyel atık sudan gelen kirleticileri filtreleyerek su kalitesini iyileştirmek için doğal sulak alanların işlevlerini taklit etmektedir. Besin maddelerini geri dönüştüren ve dönüştüren biyojeokimyasal mekanizmalar olarak hizmet ederek tortular ve kirleticiler için filtre görevi görmektedirler (Malyan ve diğerleri, 2021).



Şekil 1.64. ABD, Missouri'den atık su yönetimi için yapak sulak alanlar (COMO, 2022)

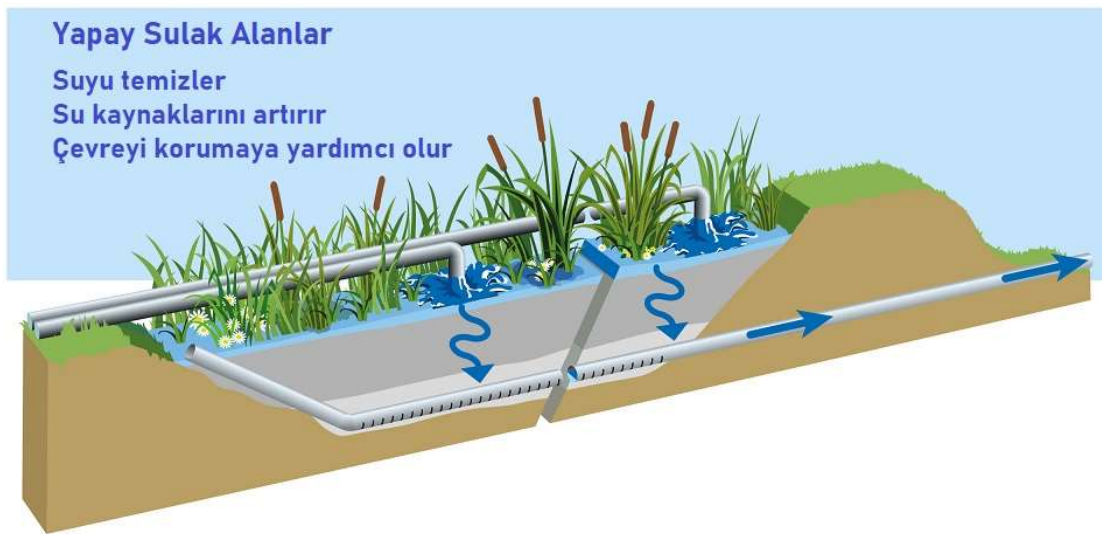
Hem noktasal hem de noktasal olmayan kirlilik kaynaklarından gelen atık suyu etkili bir şekilde arıtabilmektedirler (Pan ve diğerleri, 2017). Noktasal olmayan kaynak kirliliğinin

artılmasında özellikle etkilidirler, bu da onları su kalitesini iyileştirmek için değerli araçlar haline getirmektedir (Kennedy ve Mayer, 2002).



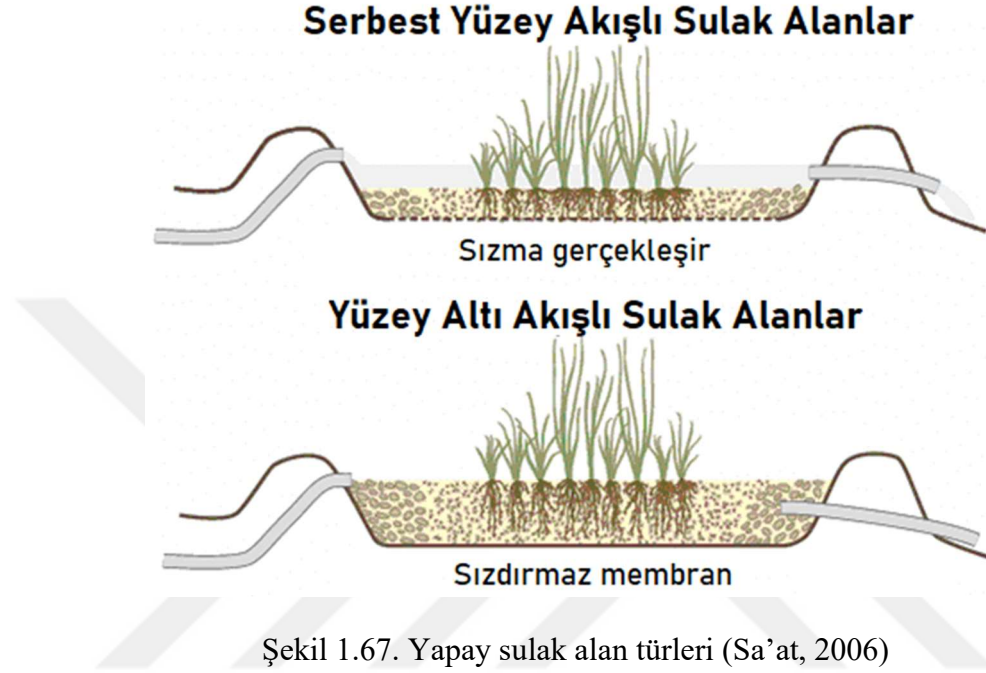
Şekil 1.65. Verdú, Catalonia'dan yapay sulak alan örnekleri (Samsó, 2014)

Yapay sulak alanların temel özelliklerinden biri, su kalitesini artırmak için sulak alan bitki türlerini kullanma yetenekleridir. Bu bitkiler, sulak alan içindeki biyolojik, kimyasal ve fiziksel süreçlerde çok önemli bir rol oynayarak su kalitesinin genel olarak iyileştirilmesine katkıda bulunur (Bai vd., 2014). Ek olarak, yapay sulak alanlarda bulunan mikrobiyal topluluklar, atık sudaki kirleticilerin ayrıştırılması için gereklidir ve bu mikroorganizmaların arıtma sürecindeki önemini vurgulamaktadır (Choi vd., 2021).



Şekil 1.66. Yapay sulak alan diagramı (IAEA, 2022)

İki tür Yapay Sulak Alan bulunmaktadır. Serbest duran suyun bitkiler ve mikroorganizmalarla etkileşime girmesini sağlayan sığ suya sahip Serbest Yüzey Akışlı Sulak Alanları ve suyun yüzeyin altındaki çakıl veya kum gibi bir ortamdan akarak sivrisineklerin üremesini önleyen ve kokuları en aza indiren Yüzey Altı Akış Sulak Alanları.



Oluşturulan yapay sulak alanlar, nitrojen ve fosfor, ağır metaller ve diğer kirleticiler gibi besin maddelerini filtreleyerek etkili kirletici giderimi de dahil olmak üzere çeşitli çevresel faydalar sunmaktadır. Ek olarak, doğal yaşam için hayati habitatlar sağlayarak yerel biyolojik çeşitliliği artırırlar ve karbon tutma çabalarına katkıda bulunarak önemli miktarda karbonu yakalayabilir ve depolayabilirler. (US EPA, 2024., Melbourne Water, 2024)

1.5.11. Tutma Havzası (Retention Basin)

Birikim, bekletme havzaları veya yağış suyu yönetimi göletleri (stormwater management pond (SWMP)) olarak da bilinen tutma havzaları, çevresinde bitki örtüsü ve tasarımında kalıcı bir su havuzu bulunan yapay bir gölettir. Yağış suyu akışını yönetmek, selden korunmak, erozyon kontrolü için yapay bir sulak alan olarak hizmet etmek ve bitişik su kütlelerindeki su kalitesini iyileştirmek için kullanılır (WEF, 1998., EPA, 2024).



Şekil 1.68. Tutma Havzası diagramı (Url-45)

Havzalar suyu sürekli olarak tutar, ancak su seviyesi çok yükselirse fazla suyu drene ederek serbest bırakabilir. Bu havzalar, yüzeysel akışla taşınan kirleticileri ve tortuları tutarak yağış suyu kalitesi yönetiminde önemli bir rol oynar ve böylece doğal su kaynaklarına deşarj edilmeden önce su kalitesini iyileştirmektedir (Goonetilleke vd., 2005).



Şekil 1.69. Trounce Göleti, Saskatoon, Saskatchewan, Kanada'da doğal otlak bitkileriyle peyzajı yapılmış bir tutma havzası (Url-45)

Tutma havzaları, taşkın kontrolü ve su kalitesi yönetimine ek olarak, sürdürülebilir kentsel planlama ve çevrenin korunmasına katkıda bulunan yeşil altyapının temel bileşenleri olarak hizmet vermektedir (Santos vd., 2020). Kentsel alanlar, tutma havzalarını stratejik olarak konumlandırıp tasarlayarak, kentleşmenin doğal hidrolojik süreçler üzerindeki etkilerini hafifletebilir ve ani sel riskini azaltabilmektedir (McPhillips vd., 2019).



Şekil 1.70. Pinnau, Schleswig-Holstein, Almanya'da tutma havzası (Url-45)

Bu havzalar aynı zamanda doğal bitki örtüsünün korunması ve genişletilmesinde de rol oynayarak kentsel su havzalarındaki biyolojik çeşitliliğin ve ekosistem hizmetlerinin sürdürülmesine yardımcı olmaktadır (Santos vd., 2020). Ayrıca, bekletme havzaları, farklı bölgelerdeki belirli zorlukları ele almak için kapsamlı su yönetimi stratejilerine entegre edilmektedir. Örneğin, Orta Arizona gibi kurak bölgelerde, kentleşmeden kaynaklanan kuru hava akışlarını yönetmek için mühendislik ürünü tutma havzaları kullanılmakta ve çeşitli çevresel koşullara uyarlanabilirlikleri vurgulanmaktadır (McPhillips vd., 2019).



Şekil 1.71. Como şehri, Lura Nehri Tutma Havzaları (Url-46)

Benzer şekilde, İtalya'daki Yukarı Tanaro Vadisi gibi sele eğilimli bölgelerde, sel olaylarının etkisini azaltmak için sel riskini azaltma stratejilerinin bir parçası olarak su tutma havzaları önerilmektedir (Taboni vd., 2022).

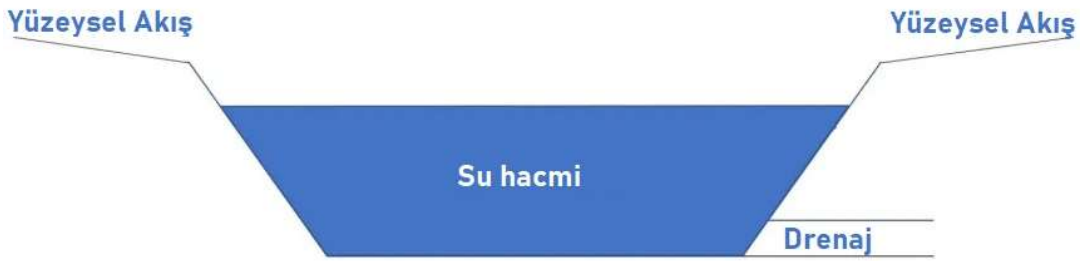


Şekil 1.72. Florida, ABD'den bir tutma havzası (Url-47)

Genel olarak, bekletme havzaları yağış suyu yönetimi, taşkın kontrolü ve su kalitesinin iyileştirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Çok işlevli yapıları, onları sürdürülebilir su kaynakları yönetimi ve kentsel esneklik planlamasında değerli araçlar haline getirmektedir.

1.5.12. Geciktirme Havzası (Detention/Retarding Basin)

Geciktirme havzası, nehirlerin, akarsuların, göllerin veya körfezlerin kolları üzerinde veya bitişğinde, sınırlı bir süre için suyu depolayarak taşkınlara ve bazı durumlarda mansap erozyonuna karşı korumak için kurulan kazılmış bir alandır. Bu havzalar, kalıcı bir su havuzu yoksa kuru havuzlar, tutma havuzları veya kuru tutma havuzları olarak da adlandırılır. Yağış suyu akışını yönetmek sel riskini azaltmak için tasarlanmış mühendislik yapılarıdır. Bu havzalar, yoğun yağış olayları sırasında fazla suyu geçici olarak tutarak drenaj sistemlerinin taşmasını önlemek için kademeli olarak serbest bırakılmasını sağlamaktadır (EPA, 2024).



Şekil 1.73. Geciktirme Havzası diagramı (Url-48)

Geciktirme havzaları, genel taşkın koruması sağlayan ve aynı zamanda 100 yılda bir gerçekleşen fırtına olayları gibi aşırı taşkınları kontrol edebilen Yağış Suyu En İyi Yönetim Uygulamalarıdır (ARC, 2001).



Şekil 1.74. Batı Sidney, Avustralya'da bir geciktirme havzası (Url-49)

Geciktirme havzası, büyük su akışlarının girmesine izin vererek işlev görür, ancak yapının en alt noktasında küçük bir açıklığa sahip olarak dışarı akışı sınırlar. Bu açıklığın boyutu, yeraltı ve akış yönündeki menfezlerin ve kanalların içerdiği suyun salınımını karşılama kapasitesine göre belirlenir (Sarasota Water Atlas, 2021)

1.5.13. Akarsu Kıyı Tamponları (Riparian Buffers)

Riparian tampon veya akarsu kıyı tamponu, bir akarsuyun bitişğinde, akarsuyu bitişik arazi kullanımlarının etkisinden korumaya yardımcı olan bitki örtülü bir alandır. Riparian tamponları, tarımsal akıştaki besin maddelerini ve pestisitleri etkili bir şekilde azaltarak yağış suyu yönetiminde ve havza yönetim stratejilerinde çok önemli bir rol oynamaktadır (Chandler ve diğerleri, 2021). Bu tamponlarda, kıyıdaan itibaren yerel bitki türleri kullanılarak kademeli bir bitki kompozisyonu oluşturulur, bu sistem yüzey akışı nehir kıyısı bölgesine geniş bir yüzey boyunca girdiğinde oldukça etkilidir ve nehir kıyısı orman tamponuna katkıda bulunan alanlardaki akış yollarının genişliğinin önemini vurgulamaktadır (Wallace vd., 2018). Riparian tamponlarının kentsel yağış suyu akışının artırılmasında da etkili olduğu görülmüştür (Allison vd. 2006).



Şekil 1.75. Story County, Iowa, ABD'de bir çiftlik deresini kaplayan bitki örtüsünden oluşan bir Riparian tampon (Url-50)

Çalışmalar, riparian tamponların noktasal olmayan kaynaklı kirliliği azaltarak, gölgelik örtüsünü artırarak, su sıcaklığını düşürerek ve organik madde akışını azaltarak akarsuların su ve habitat kalitesini artırabileceğini göstermiştir (Fischer vd., 2010). Ayrıca, riparian tamponları su kütlelerine giren azot ve fosfor yüklerini durdurmada ve azaltmada etkilidir, bu da onları su kirliliğini azaltmada değerli kılmaktadır (Mayer vd., 2007).



Şekil 1.76. Yoğun bitki örtülü bir Riparian tamponu ile çevrilmiş bir akarsu (Url-51)

Bu tamponlar, arazi kullanım faaliyetlerinin su kalitesi ve su ekosistemleri üzerindeki etkilerinin azaltılmasında da kritik bir rol oynamaktadır (Yuan vd., 2009).

1.5.14. Bitkilendirme Kutuları (Planter Boxes)

Bitkilendirme kutuları, kentsel alanlarda su kalitesini artırmak ve taşkınları azaltmak için yeşil altyapı uygulamalarına entegre edilebilen çok yönlü ve sürdürülebilir bir yağış suyu yönetimi çözümlerindedir. Bu kutular, biyolojik hendekler ve yağmur bahçeleri gibi diğer yeşil yağış suyu altyapı unsurlarıyla birlikte yağış suyu akışının etkin bir şekilde yönetilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Sadeghi vd., 2017).



Şekil 1.77. Londra'dan özel tasarım çelik bitkilendirme kutuları (Url-52)

Bitkilendirme kutuları, üstü açık yapılar veya kaplardır. Yağış suyuna akışına izin vermek için dipleri deliklidir, özellikle çatıdan gelen yağış suyunu geçici olarak tutmak ve filtrelemek için kullanılmaktadır. Çakıl, toprak ve bitki örtüsünden oluşan bir tabaka içermektedirler. Yağış suyu akışı geçici olarak bu tabakanın üzerinde birikir, toprak ve daha sonra yavaşça kutu boyunca sızar, sonunda zemine veya mevcut bir drenaj sistemine aktarılır. Yağış suyu topraktan süzülürken kirliliğin azaltılması sağlanır. Bitkilendirme kutuları birçok boyutta ve şekilde olabilir ve taş, beton, tuğla, plastik veya ahşaptan yapılabilmektedir (JSWDC, 2022).



Şekil 1.78. Çatı drenajına bağlanan taş bitkilendirme kutuları, Portland, ABD (JSWDC, 2022)

Ayrıca, yağış suyu yönetiminde bitkili saksı kutularının kullanılması, yağış suyunun düştüğü yere yakın bir yerde yönetilmesine odaklanan yeşil altyapı kavramıyla da uyumludur. Saksı kutularını kentsel peyzajlara dahil ederek, şehirler kamusal çevre ve yağış suyu yönetimi altyapısı arasında bir denge kurabilir ve daha sürdürülebilir ve esnek sonuçlar elde edebilir (Liu vd., 2023). Ayrıca, bitki saksı kutuları merkezi olmayan yağış suyu arıtma sistemlerinin bir parçası olarak, daha verimli su ve taşkın yönetimine katkıda bulunabilmektedir (Ahilan vd., 2018).

1.5.15. Yüzey altı Su Tutma Sistemleri (Subsurface Detention Systems)

Yüzey altı su tutma sistemleri, özellikle geçirimsiz yüzeylerin yüksek olduğu kentsel alanlarda yağış suyu yönetiminde çok önemlidir. Araştırmalar, geleneksel yağış suyu tutma havuzlarının genellikle amaçlanan tasarım hedeflerini karşılamakta yetersiz olduğunu göstermektedir (Booth ve Jackson, 1997). Bununla birlikte, yüzey altı mikro tutma depolamalı geçirgen kaplama gibi yenilikçi yaklaşımlar, yerleşim alanlarında yağış suyunun etkili bir şekilde yönetilmesinde önemli roller üstlenmiştir (Bateni vd., 2020).



Şekil 1.79. Yağış suyu sistemine bağlanan yüzey altı su tutma sistemleri (Url-53)

Yüzey altı yağış suyu modülleri gibi düşük etkili geliştirme tekniklerinin uygulanması, %35,2 ila %95,6 arasında değişen önemli yağış hacimlerini tutma becerisi göstermiştir (Bong, 2023). Ayrıca, yüzey altı tutma sistemlerinin yeşil çatılar ve tutma üniteleri gibi diğer yağış suyu yönetimi uygulamalarıyla birleştirilmesinin kanalizasyon ek yükünü, pik akışını ve yıllık akışını azalttığı, bu entegre yaklaşımların etkinliğini göstermiştir (Locatelli vd., 2015).



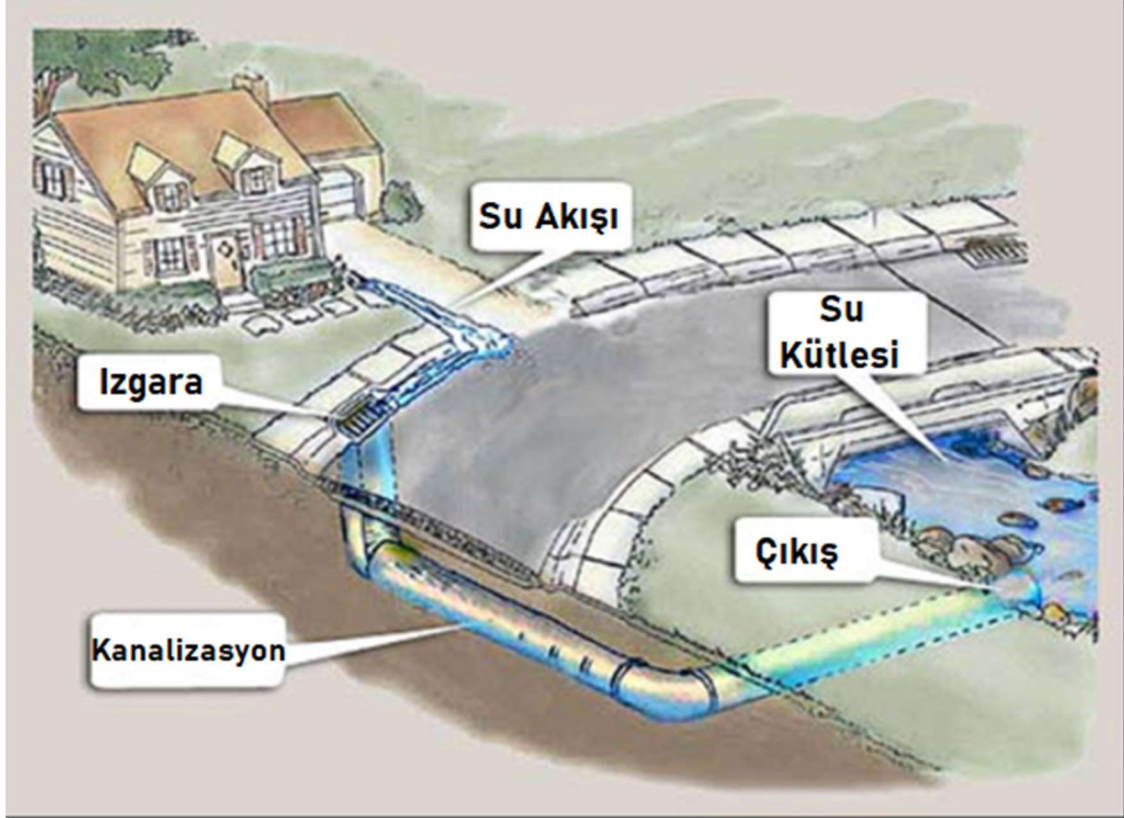
Şekil 1.80. Bir otoparkın altına kurulan bir yüzey altı su tutma sistemi (Url-54)

Çalışmalar depolama, infiltrasyon ve evapotranspirasyon süreçlerini geliştirmek ve böylece geçirimsiz yüzeylerden gelen filtrelenmemiş yüzey akışını azaltmak için imar öncesi hidrolojik koşulları taklit eden infiltrasyon sistemlerinin tasarlanmasının önemini vurgulamıştır (Palla ve Gnecco, 2015). Sonuç olarak, diğer yağış suyu yönetimi uygulamalarıyla entegre edildiğinde ve etkili bir şekilde tasarlandığında, yüzey altı tutma sistemleri kentsel taşkınları azaltmak, pik deşarjları azaltmak ve yağış suyu akışının infiltrasyonunu ve depolanmasını kolaylaştırmak için sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır.

1.6. YAĞIŞ SUYU KİRLETİCİLERİ

Kentsel genişleme, her türlü ekosistemi önemli ölçüde etkileyerek, kirliliğin artmasına, habitat parçalanmasına, biyolojik çeşitlilik kaybına ve doğal kaynaklar üzerinde olumsuz etkilere yol açmıştır. Bu etkiler sucul ortamları önemli ölçüde değiştirmiş, bu da su kalitesinin bozulmasına, daha yüksek hacimde akışa geçmiş yağış suyuna ve artan su baskınlarına neden olmuştur. Ayrıca alanlarda yaygın olarak uygulanan antropojenik faaliyetlerden kaynaklanan ve giderek artan çeşitli biyolojik, kimyasal ve/veya fiziksel kirleticiler, yağış suyu kalitesinin düşmesi üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Kirlenmiş yağış suyu, dünyada noktasal olmayan kaynak kirleticilerin alıcı sulara aktarılmasına

neden olan ana taşıma mekanizmalarından birini oluşturmaktadır (Zgheib, S. vd, 2012). Bir yağış olayı sırasında yağış suyunun kalitesi ve kirletici madde yükü, üzerinde akışın meydana geldiği geçirimsiz yüzey türlerinden ve atmosferik bileşenden etkilenir (Gill ve Graedel). Sonuç olarak, yağış suyunda hem organik hem de inorganik çok sayıda bileşen mevcut olabilir (Eriksson vd., 2002).



Şekil 1.81. Önlem alınmamış su akışının basitçe su kütlelerine ulaşımı (RCEE, 2023)

1976 yılında Avrupa Birliği (AB) tarafından su ortamında kirliliğe neden olan kirleticilere ilişkin ilk kirletici listesi (Direktif 76/464/EEC) oluşturulmuştur. 2000 yılında yürürlüğe giren Avrupa'da Su Çerçeve Direktifi (WFD) çevre mevzuatının önemli bir parçasıdır (EC, 2000). WFD, su kaynaklarında daha fazla bozulmanın önlenmesinin yanı sıra su ekosistemlerinin durumunun korunması ve iyileştirilmesini birincil hedef olarak tanımlamaktadır. 2004 yılından bu yana AB Üye Devletleri tarafından yüzey sularına yönelik izleme programları uygulanmaktadır. Ancak kentsel alanlarda, bu maddelerin birçoğu açısından yağış suyu kalitesi hâlâ yeterince ele alınmamaktadır (Bressy vd., 2011; Björklund vd., 2009; Gasperi vd., 2008).



Şekil 1.82. Çeşitli kirleticilerin oluşturduğu su kirliliği (RCEE, 2023)

Çatılardan gelen akışların, potansiyel noktasal olmayan kaynak kirliliği kaynaklarından olduğu bilinmektedir çünkü çatı malzemelerinde bulunan bazı bileşikler akışla suya sızabilir, aynı şekilde özellikle yüksek sıcaklıklarda, çatılarda biriken malzemelerin kimyasal reaksiyonları ve organik ayrışmaları, yağışların etkisiyle sulara karışarak, su kirliliğe neden olabilmektedir (M. Chang ve C.M. Crowley, 1993). Forster, çatıdan akan yağış sularının kirleticilerin önemli bir kaynağı olduğunu göstermiştir.



Şekil 1.83. Toksik kirliliğe neden olan akış suyu, Puget Boğazı, ABD (Url-55)

Artan nüfus, kentleşme ve günlük insan faaliyetleri, kentsel yağış suyu akışının kalitesini etkileyen büyük kirletici kaynaklarıdır. Birçok çalışma, yağış suyu akışının, yüzey suyu kalite standartlarını aşan konsantrasyonlarda azot içerdiğini bildirmiştir (R. Field, vd., 1998. J.H. Lee ve K.W. Bang, 2000.). Bu durum hakkında başka çalışmalar, özellikle nitrat, fosfat ve askıda katı maddeler içeren yüksek düzeyde kirlilik olduğunu bildirmiştir (M.C. Gromaire-Mertz vd., 1999. Sartor J.P. ve Boyd G. 1972. Duncan, H.P. 1999. EQSSW, 2002).



Şekil 1.84. Yüksek Azot-Fosfor yükü olan Marmara Denizi'ndeki müsilaj (AA, 2021)

Nitratlar (NO_3^-) ve fosfatlar (PO_4^{3-}), sucul sistemlerin verimliliğini artıran besinlerdir; bu durum yararlı gibi görünse de sıklıkla ötrofikasyon gibi olumsuz ekolojik etkilere yol açmaktadır. Ötrofikasyon, bir su kütleinin, alglerin aşırı büyümesine neden olan mineraller ve besinler açısından aşırı zenginleşmesi sürecidir. Bu süreç, alg biyokütlesinin bakteriyel bozunmasından sonra su kütleinde oksijen tükenmesine neden olur ve sudaki yaşamın hayatta kalamayacağı "ölü bölge" olarak bilinen bir bölge yaratır. Bu olgu, besin kirliliğinin su ekosistemlerini nasıl önemli ölçüde bozabileceğini gösteren ciddi bir durumdur. Nitratlar suda yüksek oranda çözünür, yeraltı ve yüzey sularına kolaylıkla karışır. Bu durum, alg popülasyonlarını patlatan besin açısından zengin sular ile sonuçlanır. Aşırı nitrat seviyeleri su ekosistemlerini değiştirebilir ve içme suyunda mevcut olduğunda hem insanlar hem de hayvanlar için sağlık açısından olumsuz sonuçlar doğurabilir. Yüksek nitrat seviyelerini gidermek için suyun arıtılması maliyetlidir ve bu nedenle konsantrasyonlarını yönetmek için önleyici tedbirler tercih edilmektedir.



Şekil 1.85. Çin'in Chengdu kenti yakınlarındaki bir nehirde ötrofikasyon (Url-56)

Fosfatlar da su kütlelerine girdiklerinde önemli miktarda alg büyümesini teşvik ederek benzer şekilde büyüme patlamalarına neden olabilmektedirler. Fosfor genellikle doğal olarak düşük miktarlarda bulunur, ancak insan faaliyetleri, seviyelerini önemli ölçüde artırarak alg çoğalması olarak bilinen duruma yol açar. Bu durum suyun berraklığını azaltır, diğer su bitkileri için güneş ışığını engeller ve algler öldüğünde ayrışma süreci sudaki oksijeni tüketir, bu da balıkları ve diğer su canlılarını öldürebilir. Fosfatların su kirlenim süreci gübre, kanalizasyon, endüstriyel ve evsel atık gibi kaynaklardan gelen kirlenim süreci çeşitli nedenlerle yüzeysel akışa geçen sulara karışmaları ve filtrelenmeden su kütlelerine karışması nedeniyle oluşmaktadır (Adeosun, 2019. Young vd, 2009. Yang vd. 2019. Glazier vd. 1998. URL-2024).



Şekil 1.86. Venezuela'nın en büyük tatlı su gölü olan Valencia Gölü'nde atık suların neden olduğu alg patlaması (Url-56)

1.7. LİTERATÜR TARAMASI

Kentsel dirençlilik arayışında, etkili yağış suyu yönetimi, özellikle artan iklim değişkenliği ve kentleşme karşısında çok önemli bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır. Dirençli şehirler, doğal afetler ve değişen iklim koşulları da dahil olmak üzere olumsuzluklara yalnızca dayanmakla kalmayıp bunlara uyum sağlayan ve bunlardan kurtulan şehirlerdir. Bu söylem, entegre yağış suyu yönetimi stratejilerinin kentsel dayanıklılığı artırmak için nasıl vazgeçilmez olduğunu araştırmaktadır. Bu stratejiler, yüzey akışını absorbe etmek ve kullanmak, taşkınları azaltmak ve su kalitesini iyileştirmek için tasarlanmış yenilikçi altyapı ve planlama uygulamalarını içermektedir. Dünya’da yağmur bahçeleri ve geçirgen kaldırımlar gibi yeşil altyapı çözümlerinden, sürdürülebilir su uygulamalarını teşvik eden gelişmiş hidrolik modellere ve politika çerçevelerine kadar çeşitli teknikler uygulanıp araştırılmıştır. Kentlerde, yağış suyu yönetimi kentsel dokunun içine yerleştirilerek sadece suyla ilgili zorlukların üstesinden gelmekle kalmaz, aynı zamanda daha geniş çevresel ve sosyal dayanıklılık hedeflerine de katkıda bulunabilmektedir. Kidd (1979) kentsel alanlardaki yağış suyu akışını hem miktar hem de kalite yönleriyle ele alarak, bu akışların yönetimine yönelik stratejilerin nasıl optimize edilebileceğini incelemekte ve etkili yağış suyu yönetim tekniklerinin önemini vurgulamaktadır. Prudencio ve Null (2018) yeşil yağış suyu altyapısının ekosistem hizmetlerine katkısını ve taşkın riskini azaltma, su kalitesini iyileştirme ve su kaynaklarını sürdürülebilir şekilde geliştirme potansiyelini araştırarak, bu altyapıların uygulanabilirliğini ve etkinliğini ortaya koymaktadır. Golden ve Hoghooghi (2017) çalışmasında, yeşil altyapı sistemlerinin kentleşme sürecinde hidrolojik döngü üzerindeki etkileri incelemekte, bu sistemlerin yağış suyu yönetimine olan pozitif katkıları ve havza ölçeğindeki hidrolojik etkilerini detaylandırmaktadır. Beery (2018) tarafında yapılan çalışmada, özel ev sahiplerinin iklim değişikliği ve yeşil yağış suyu altyapısına katılımı araştırılmakta ve yağış suyu yönetimi zorluklarını ele almak için yeşil yağış suyu altyapısının uygulanmasını vurgulamaktadır. Shafique ve diğerleri (2018) araştırmalarında, fırtına olaylarını izleyerek ve yüzey akış kontrol etkinliğini değerlendirerek, özellikle Seul, Kore'deki yüksek kentleşmiş alanlarda yağış suyu yönetimi için yeşil çatıların performansını analiz etmektedir. Goonetilleke ve diğerleri (2005) çalışmalarında, kentsel yağış suyu kalitesi yönetiminde arazi kullanımının rolünü anlamaya odaklanmakta ve kentleşmenin artan yüzey akışı ve su kalitesindeki bozulma ile su ortamları üzerindeki etkisini vurgulamaktadır. Kordana (2018) çalışmasında, yağış

suyu sistemlerinin sürdürülebilirliğini belirleyen temel faktörleri tanımlamakta, havza içinde yağış suyu yönetimine ve çıkış kontrolü için hidrografların düzenlenmesine odaklanmaktadır. Özdemir (2017) araştırmasında, aşırı akış etkilerinin azaltılmasına yönelik ekolojik yaklaşımı vurgulayarak yağış suyu akış tahmin yöntemlerini uygulamaktadır. Abduljaleel ve diğerleri (2023) çalışmalarında, simülasyon kullanarak gelecekteki iklim değişikliği senaryoları altında etkili yağış suyu yönetimi ve su kalitesinin iyileştirilmesi için bekletme havuzlarının performansını değerlendirmektedir. Hopkins ve diğerleri (2022) araştırmalarında, Clarksburg, Maryland'de dağıtılmış yağış suyu yönetimi ile banliyö gelişiminin izlenmesinden çıkarılan dersleri yansıtmakta ve daha büyük havza ölçeklerinde dağıtılmış yağış suyu yönetiminin kümülatif etkilerini vurgulamaktadır. Sood ve Biswas (2022) araştırmalarında, mevsimsel kanalların korunmasına yönelik doğa tabanlı bir yaklaşım olarak yeşil kanalların tanıtımını tartışmakta, Hindistan'ın Chandigarh kentinden bazı çıkarımlar elde etmekte ve yağış suyu yönetiminde doğa tabanlı çözümlerin rolünü vurgulamaktadır. Gold ve diğerleri (2019) çalışmalarında, kentleşmenin ve tutmaya dayalı yağış suyu yönetiminin kıyı ovası akarsu besin maddesi taşınması üzerindeki etkilerini incelemekte ve yağış suyu yönetimi uygulamalarının bu durum üzerindeki olumlu etkilerini vurgulamaktadır.

Green ve diğerleri (2012) araştırmalarında, merkezi olmayan kentsel yağış suyu yönetimi için sosyal sermayenin devreye sokulmasını incelemekte ve yağış suyu yönetiminde toplum katılımının ve yağmur bahçeleri de dahil olmak üzere yeşil altyapının önemini vurgulamaktadır. Ahilan ve diğerleri (2018) çalışmalarında, ev tipi yağmur suyu toplama sistemi tasarımının su temini ve yağış suyu yönetimi verimliliği üzerindeki etkisini değerlendirmekte ve yağmur bahçeleri gibi yağış suyu toplama sistemlerinin sürdürülebilir su yönetimi için potansiyelini vurgulamaktadır. Zhou vd. (2021), yüzey alanı, yağış derinliği, yoğunluğu ve tortu birikimi gibi faktörleri göz önünde bulundurarak, biyolojik hendeklerin yollardan gelen yağış suyu akışını kontrol etmedeki etkinliğini araştırmış ve optimum tasarımın su tutma ve filtrelemeyi büyük ölçüde artırabileceğini bulmuştur. Gill vd., (2017), biyolojik hendek topraklarındaki bakteri topluluklarının filogenetik ve fonksiyonel çeşitliliğini araştırarak, toprak sağlığına ve kirliliğin azaltılmasına katkıda bulunan karmaşık mikrobiyal ekosistemleri destekleyen zenginleştirilmiş bir metabolik kapasite ve çeşitli bakteri varlığını ortaya koymuştur. Gill vd., (2020) farklı kentsel yeşil altyapı türlerinde mikrobiyal kompozisyon ve fonksiyonel çeşitliliğe odaklanmış ve biyolojik hendeklerin organik kirletici parçalanmasına yardımcı

olan yüksek filogenetik çeşitlilik ve bakteriyel zenginlik sergilediğini bulmuştur. Coelho vd., (2021) ılıman iklimlerde erozyon kontrol ürünlerinin biyolojik hendek kaplamaları olarak kullanımını değerlendirmiş ve bu tür kurulumların toprağı stabilize ettiğini, su infiltrasyonunu ve kirletici filtrasyonunu iyileştirerek yağış suyu yönetim verimliliğini artırdığını vurgulamıştır. Barbosa ve diğerleri (2022), yeşil altyapının işlevselliğini nüfus yoğunluğuyla ilişkili olarak analiz etmiş ve Kolombiya'nın Bogotá-Sabana Kuzey Bölgesi'nde kentsel genişleme planlarının sürdürülebilir kalkınma üzerindeki etkisini araştırmış, planlı yeşil alanların kentsel büyümeyi sürdürülebilir bir şekilde yönetmedeki kritik rolünü vurgulamıştır. Rasul ve diğerleri (2021), konut sürdürülebilirliğinin sosyo-mekânsal boyutlarının geliştirilmesinde yeşil altyapının rolünü incelemiş ve konut alanlarında sürdürülebilirliğin geliştirilmesine katkıda bulunan yeşil altyapının temel bileşenlerini belirlemiştir. Melicher ve Špulerová (2022), kırsal tarımsal peyzajlarda yeşil yolların planlanmasına odaklanmış, yeşil altyapının zaman içinde bağlanabilirliğini artıran ve böylece peyzajlar arasında ekolojik tutarlılığı teşvik eden doğrusal unsurlar olarak rollerini değerlendirmiştir. Ying vd., (2021) yeşil altyapı üzerine sistematik bir literatür taraması yapmış ve yeşil altyapının çok yönlü faydalarını vurgulayarak yağış suyu yönetimi, ekosistem hizmetleri, biyoçeşitliliğin korunması ve iklim değişikliğine uyum konularındaki uygulamalarına önemli bir odaklanma olduğunu belirtmiştir. Geberemariam (2016) araştırmasında, yeşil altyapının inşaat sonrası performans izleme parametrelerini değerlendirmiş, özellikle farklı bileşenlerin sürdürülebilir kentsel kalkınma için çok önemli olan yüzey akışını ve yağış suyunu nasıl etkili bir şekilde yönettiğini vurgulamıştır. Wendel ve diğerleri (2011) sürdürülebilir kentsel su yönetimi ve yaşam kalitesinin iyileştirilmesi için yeşil ve gri altyapının entegrasyonunu değerlendirmiş, yeşil alanlara eşit erişimin gerekliliğini ve mühendislik ürünü su çözümlerinin faydalarını vurgulamıştır. Kim ve Tran (2018) ABD'deki yerel kapsamlı planlara yeşil altyapı ilkelerinin dahil edilmesini analiz etmiş ve sürdürülebilirliği artırmak için ayrıntılı, bölgeye özgü planlamanın önemini vurgulamıştır. Casal-Campos ve diğerleri (2018) belirsizlik altında kentsel drenaj sistemlerinin güvenilirliğini, esnekliğini ve sürdürülebilirliğini değerlendirmiş, çeşitli gelecek senaryolarında etkinliği belirlemek için geleneksel gri altyapıyı yeşil iyileştirmelerle karşılaştırmıştır. Reisinger ve diğerleri (2018), hem yeşil hem de gri altyapının Baltimore'un akarsularının su kalitesi üzerindeki uzun vadeli etkilerini araştırmış ve bu altyapıların su kalitesinin korunması ve iyileştirilmesinde oynadığı önemli rolün altını çizmiştir. O'Donnell ve diğerleri (2017) çalışmalarında, Newcastle'da Mavi-Yeşil Altyapının uygulanmasındaki engelleri

incelemiş ve Mavi-Yeşil alanların çok işlevli faydalarını en üst düzeye çıkarmak için yer üstündeki suyu yönetmenin önemini altını çizmiştir. Žuvella-Aloise ve diğerleri (2016), Viyana'daki yeşil ve mavi altyapının kentsel ısıyı azaltma potansiyelini modellemiş, binalar ve kentsel su kütleleri üzerindeki soğutma etkilerini vurgulamıştır. Andersson ve diğerleri (2019) Mavi-Yeşil Altyapının kentsel ortamlarda insan refahını ve eşitliği nasıl artırabileceğini değerlendirmiş ve kentsel dayanıklılığı artırmada gri, yeşil ve mavi sistemlerin entegre rollerini tartışmıştır. Lõhmus ve Balbus (2015), Mavi-Yeşil Altyapının sağlık açısından faydalarına odaklanmış ve iklim adaptasyonu zorluklarını etkili bir şekilde karşılamak için genişletilmesini savunmuştur. Flores ve diğerleri (2019) Meksika'nın San Pedro Cholula kentinde taşkın altyapısı politikalarına ilişkin bir yönetim değerlendirmesi yapmış ve Mavi-Yeşil Altyapının benimsenmesi yoluyla suya duyarlı uygulamalara geçişi araştırmıştır. Xiong ve diğerleri (2022), yağışlı hava deşarj kirliliğini kontrol etmek için Düşük Etkili Gelişim yamalarının ve gri drenaj sistemlerinin optimizasyonunu araştırmış ve Düşük Etkili Gelişim'in yüzey akışını ve noktasal olmayan kaynak kirliliğini yönetmedeki etkinliğini vurgulamıştır. Hung ve diğerleri (2022) yeşil altyapı yatırımları için dinamik uyarlanabilir planlamada öğrenmenin değerini değerlendirmiş, yeşil altyapının doğal hidrolojik süreçleri taklit etmedeki ve su kalitesini iyileştirmedeki rolünü vurgulamıştır. Shafique ve Kim (2018) çalışmalarında, Güney Kore'deki Düşük Etkili Gelişim ve yeşil altyapı uygulamalarındaki son gelişmeleri gözden geçirmiş, kentleşme ve iklim değişikliğinin yarattığı zorlukları ele almadaki başarılarına dikkat çekmiştir. Song ve diğerleri (2022) yeşil çatılar, yağmur bahçeleri ve geçirgen kaplamalar gibi yeşil altyapı tekniklerinin yağış suyu akışının azaltılmasına ve kentsel taşkınların hafifletilmesine nasıl katkıda bulunduğunu araştırmıştır. Song ve diğerleri (2023) yeşil altyapıyı kullanarak doğa tabanlı restorasyon simülasyonu üzerine bir çalışma yürütmüş, Düşük Etkili Gelişim ve sürdürülebilir drenaj sistemleri gibi uygulamaların yağış suyu akışını nasıl etkili bir şekilde kontrol edebileceğine ve selleri nasıl azaltabileceğine odaklanmıştır. Ahmed ve diğerleri (2019), yağış suyu akışındaki mikrobiyal kirleticileri ve bunlarla ilişkili sağlık risklerini tartışmakta ve Suyu Duyarlı Kentsel Tasarımın (WSUD) patojenleri gidermedeki etkinliğinin altını çizmektedir. Sharma ve diğerleri (2016) mevcut sistemleri, uygulama faktörlerini, toplum algılarını ve WSUD'nin kentsel su hizmetlerini destekleme potansiyelini araştırarak sürdürülebilir kentsel su yönetimindeki önemli rolünü vurgulamaktadır. Espíndola ve Flores (2021) yeşil çatıların sağladığı faydaları ve ekosistem hizmetlerini değerlendirerek, WSUD'nin kentleşme ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmadaki rolünü vurgulamıştır.

Zhou (2014), kapsamlı bir derlemede, Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemlerini (SuDS) iklim değişikliği ve kentleşme ışığında ele almış ve SuDS'nin kentsel peyzajlarda su kalitesi ve miktarı yönetimi üzerindeki faydalarını vurgulamıştır. Rentachintala ve diğerleri (2022), çalışmalarında, Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri, Düşük Etkili Gelişim ve Suya Duyarlı Kentsel Tasarım dahil olmak üzere kentsel yağış suyu yönetiminin çeşitli yönlerini araştırmış, sürdürülebilir ve dirençli yağış suyu yönetimi uygulamalarına duyulan ihtiyacın altını çizmiştir. Cotterill ve Bracken (2020), çalışmalarında, SuDS'nin aşırı yağış ve yüzey suyu sorunlarının üstesinden gelmedeki etkinliğini değerlendirmiştir. Çalışmaları, kentsel yayılma nedeniyle artan yağış yoğunluğunun ve kentsel yüzey suyu birikiminin etkilerini hafifletmede SuDS'nin kritik rolünü vurgulamaktadır. Zhang ve diğerleri (2018), su kalitesini ve kirletici dağılımını değerlendirmek için uzaktan algılama tekniklerini kullanarak noktasal olmayan kaynaklı kirliliğin "Kaynak-batış" peyzaj modelini analiz etmiş ve etkili kirlilik yönetimine ilişkin görüşler sağlamıştır. Qiu (2013), banliyö havza yönetiminde yağış suyu ve noktasal olmayan kaynak kirliliği En İyi Yönetim Uygulamalarının karşılaştırmalı bir değerlendirmesini yapmış ve bu uygulamaların karışık arazi kullanımlı havzalarda kirliliği kontrol etmek için kritik rolünü vurgulamıştır. Zhang (2019), tarımsal ve kırsal kaynakların su kalitesi üzerindeki önemli etkilerini vurgulamak için kirletici göstergeleri ve çözülmüş organik madde bileşimini kullanarak su havzalarındaki organik noktasal olmayan kaynaklı kirliliği araştırmıştır. Cho ve Lee (2017), hidroloji ve ekolojinin kesişimine odaklanarak Güney Kore'de bulunan Soyang Gölü havzasındaki bir dağlık tarım bölgesinden gelen yağış suyu akış özelliklerini ve noktasal olmayan kaynaklı kirleticilerin yönetimini incelemiştir. Limbrunner ve diğerleri (2013) sediman tutucu En İyi Yönetim Uygulamalarının optimum yerleşimini değerlendirmiş ve bunların noktasal olmayan kaynaklı kirliliği azaltmak için yüzey akışını ve sedimanı yönetmedeki öneminin altını çizmiştir. Broadmeadow ve Nisbet (2004), su kalitesini korumak ve nehir kıyısı habitat değerini artırmak için nehir kıyısı bölgeleri için En İyi Yönetim Uygulamalarına odaklanarak nehir kıyısı orman yönetiminin etkileri üzerine bir literatür taraması yapmıştır. Bulguları, iyi yönetilen nehir kıyısı ormanlarının tatlı su ortamlarının sağlığını sürdürmedeki kritik rolünün altını çizmektedir. Neary (2013) orman biyoenerji programları için en iyi yönetim uygulamalarını araştırmış ve orman hasat faaliyetleri sırasında su kalitesi etkilerini en aza indirecek stratejilerin geliştirilmesi ve uygulanmasını vurgulamıştır. Çalışma, biyoenerji üretimi sırasında ekolojik dengenin korunması ve su kaynaklarının korunmasında sürdürülebilir ormancılık uygulamalarının önemini

vurgulamaktadır. Hui ve diğerleri (2017) Çin'de Sünger Kent inşası üzerine kapsamlı bir araştırma gerçekleştirmiş ve kentsel su yönetimine yönelik bu yenilikçi yaklaşımla ilgili zorlukları ve fırsatları belirlemiştir. Wang ve diğerleri (2022) Shenzhen'de Sünger Şehir politikalarının uygulanmasını incelemiş ve bu altyapıların yağış suyu akışını kontrol etmek ve su biriktirme, sızma ve arıtma süreçlerini geliştirmek için yağış suyunu nasıl kullandığına odaklanmıştır.



2. DÜNYA'DAKİ YAĞIŞ SUYU YÖNETİMİ ANLAYIŞLARI VE ÖNEMLİ ÖRNEKLERİ

2.1. YAĞIŞ SUYU YÖNETİMİ İLE İLGİLİ KAVRAM, UYGULAMA VE YAKLAŞIMLAR

2.1.1. Gri Altyapı – (Gray Infrastructure)

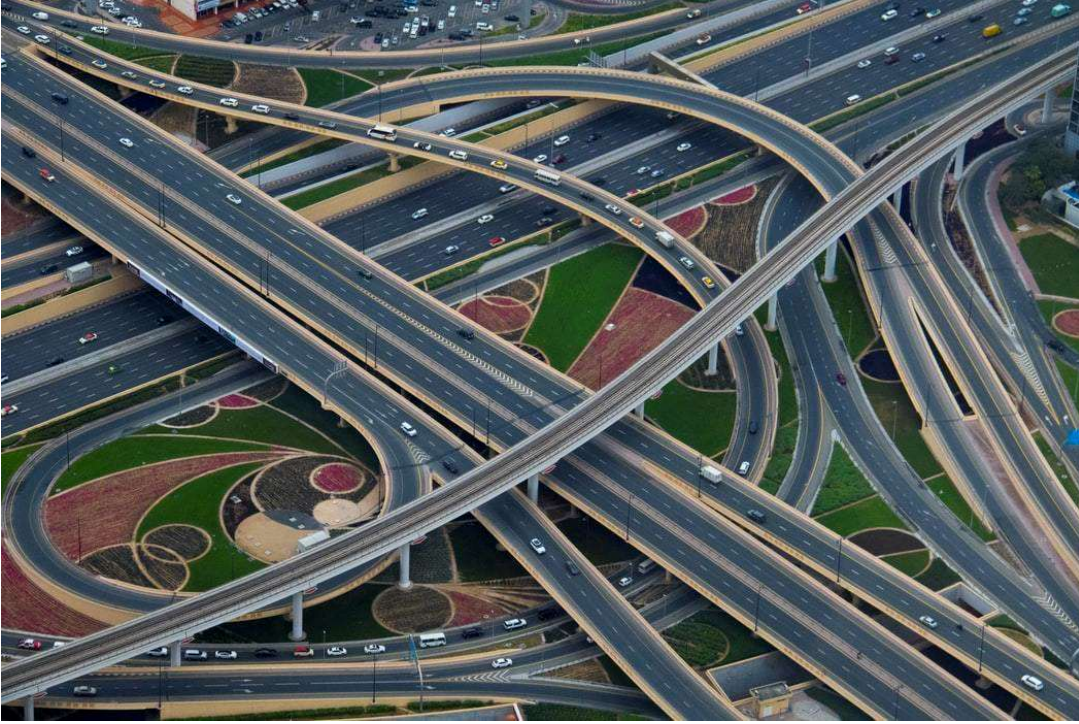
Gri altyapı, temel kentsel ve endüstriyel işlevleri destekleyen temel mühendislik yapılarından oluşur. Bu altyapılar modern toplumların istikrarı ve verimliliği için kritik öneme sahiptir. Bu sistemler arasında su ve kanalizasyon tesisleri, ulaşım ağları, enerji altyapısı ve atık yönetim sistemleri yer almaktadır. Gri altyapı terimi genellikle, daha doğal süreçleri ve unsurları içeren "yeşil altyapı" teriminin zıttı olarak kullanılır. Su ve kanalizasyonun toplanması, taşınması, arıtılması ve imha edilmesi için gerekli olan su ve kanalizasyon sistemleri, bu sistemlerin boru hatları, arıtma tesisleri ve pompa istasyonları gri altyapının elemanlarıdır (ABD Çevre Koruma Ajansı, EPA, 2019). Kentsel su yönetimi, geniş boru ağları, pompalar ve arıtma tesislerinden oluşan gri altyapının önemli bir bileşenidir. Bu sistemler, halk sağlığı ve çevresel sürdürülebilirlik için çok önemli olan suyun sağlanması ve sanitasyonunu sağlamak üzere tasarlanmıştır (Birleşmiş Milletler İnsan Yerleşimleri Programı, 2020).



Şekil 2.1. Drenaj sistemleri (Url-57)

Su arıtma tesisleri ve kanalizasyon sistemleri, insan atıklarının doğal su kütleleri üzerindeki etkisini azaltarak hastalıkları ve kirliliği azaltır (Dünya Sağlık Örgütü, 2019). İnsanların ve malların hareketini kolaylaştıran yollar, köprüler, tüneller, demiryolları ve

havaalanları, gri altyapının parçası olan ulaşım altyapısını oluşturur (Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği, ASCE). Bununla birlikte, ulaşım altyapısı, emisyonlar ve habitat bozulması nedeniyle önemli çevresel bozulmalarla da ilişkilidir (Avrupa Komisyonu, 2018). Kömür, doğal gaz ve nükleer tesisler gibi elektrik üretim tesisleri ve elektrik dağıtım altyapısı, gri altyapının parçası olan enerji altyapısını oluşturur (Uluslararası Enerji Ajansı, IEA, 2020). Verimliliklerine rağmen, bu yapılar karbon emisyonları ve kaynakların tükenmesi gibi çevresel sorunlara katkıda bulunmaktadır (Uluslararası İklim Değişikliği Paneli, 2021). Katı atıkların bertarafı ve yönetimi için tasarlanmış düzenli depolama sahaları ve imha tesisleri gri alt yapının parçası olan atık yönetim sistemlerini oluşturur. Bu tesisler atık yönetiminde etkili olmakla birlikte, uygun şekilde yönetilmediği takdirde hava ve toprak kirliliğine yol açabilmektedir (ABD Çevre Koruma Ajansı, EPA, 2019).



Şekil 2.2. Gri Altyapının önemli parçalarından olan yol sistemleri (Url-58)

Gri altyapı, faydalı olmakla birlikte, önemli çevresel ve sürdürülebilirlik zorlukları ortaya çıkarmaktadır. Bu tesislerin inşası ve işletilmesi genellikle yüksek enerji kullanımı, sera gazı emisyonları ve peyzaj değişikliği de dahil olmak üzere önemli ekolojik ayak izlerine yol açmaktadır (Global Footprint Network, 2020). Gri altyapının katı yapısı, değişen iklim ve şehir koşullarına uyum sağlamayı da zorlaştırmaktadır (National Research Council, 2019). Gri altyapının yaygın kullanımı yollar, otoparklar ve çatılar gibi

geçirimsiz yüzeylerin artmasına neden olur; bu durum yağış suyu akışını şiddetlendirmesi, infiltrasyonu azaltması sebebiyle, kentsel sellere, erozyona ve su kalitesinin bozulmasına neden olabilmektedir (Dünya Bankası, 2019). Barajlar, rezervuarlar ve kanal modifikasyonları gibi gri altyapının inşası ve işletilmesi, su ekosistemleri ve riparian habitatları üzerinde kademeli etkilerle birlikte, akış modelleri, tortu taşınımı, yeraltı suyu şarjı ve taban akışına etkileri dahil olmak üzere doğal hidrolojik süreçleri önemli ölçüde değiştirebilmektedir (Vörösmarty vd., 2010). Büyük barajlar ve rezervuarlar nehir ekosistemlerini parçalamakta, doğal akış rejimlerini bozmakta, sediman taşıma modellerini değiştirmekte ve balık göçünü engelleyerek baraj alanlarının etrafında habitat kaybına, türlerin azalmasına, habitat parçalanmasına ve ekolojik bozulmaya yol açmaktadır (Ren vd., 2016).

Arıtma tesisleri kirleticileri gidererek, patojenleri dezenfekte ederek ve besin yüklerini azaltarak su kalitesinin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynarken, aynı zamanda çamur üretmekte ve sera gazı emisyonlarına ve diğer olumsuz çevresel etkilere neden olan yoğun enerji gerektiren süreçler gerektirmektedir (Gleick, 2002). Gri altyapı projelerinin inşası, işletilmesi ve bakımı, kamu bütçelerini zorlayabilecek, kullanıcı ücretlerini artıracak ve diğer temel altyapı ve hizmetler için finansmanı sınırlayabilecek önemli sermaye yatırımları, işletme giderleri ve yaşam döngüsü maliyetleri gerektirir (Gleick, 2002).



Şekil 2.3. Gri Altyapımı sistemlerinden olan barajlar ekonomik faydalar sağlarken, su ekosistemleri ve riparian habitatlarına kalıcı zararlar verebilmektedir (AA, 2019)

Çeşitli fayda ve gerekliliklerine rağmen, gri altyapı projeleri habitat kaybı, su kalitesinin bozulması, biyolojik çeşitliliğin azalması ve ekosistemin bozulması gibi önemli çevresel etkilere neden olabilir ve bu da olumsuz etkileri en aza indirmek ve ekolojik dayanıklılığı artırmak için dikkatli planlama, çevresel değerlendirme ve hafifletme önlemleri gerektirir (Vörösmarty vd., 2010). Gri altyapı varlıklarının sınırlı ömürleri vardır ve yapısal bütünlüğü, işlevselliği ve güvenliği sağlamak için düzenli inceleme, bakım, onarım ve değiştirme gerektirir; bu da varlık yönetimi, finansman tahsisi ve uzun vadeli sürdürülebilirlik için maliyetli zorluklar ortaya çıkarır (Gleick, 2002). Mühendislik tasarım standartlarına ve risk yönetimi uygulamalarına rağmen, gri altyapı sistemleri, tasarım kapasitelerini aşabilen, sistem arızalarına neden olabilen ve yaygın hasar, kesinti ve ekonomik kayıplarla sonuçlanabilen kasırgalar, seller, kuraklıklar ve fırtınalar gibi aşırı hava olaylarına karşı savunmasız kalmaktadır (Dünya Bankası, 2019).

2.1.2. Yeşil Altyapı – (Green Infrastructure)

Yeşil altyapı, Avrupa Komisyonu tarafından su arıtma, hava kalitesi, rekreasyon alanı ve iklim azaltma ve adaptasyon gibi çok çeşitli ekosistem hizmetleri sunmak üzere tasarlanmış doğal ve yarı doğal alanlardan oluşan stratejik olarak planlanmış bir ağ olarak tanımlanmaktadır (Avrupa Komisyonu, 2013). Bu altyapı parklar, ormanlar, sulak alanlar, yeşil çatılar, yağmur bahçeleri, geçirgen kaldırımlar gibi bileşenler içerir. Her bir bileşen belirli işlevlere hizmet eder ve toplu olarak kentsel ortamların ekolojik ve sosyal sağlığına katkıda bulunur.

Yeşil Altyapı terimi 20. yüzyılın sonlarında ve 21. yüzyılın başlarında, özellikle şehir planlama, peyzaj mimarlığı ve çevre mühendisliği alanlarında önem kazanmaya başlamıştır. Akademik literatürde ve planlama söyleminde 1990'larda, özellikle sürdürülebilir kentsel kalkınma ve altyapı planlama ve tasarımına ekosistem temelli yaklaşımlar bağlamında ortaya çıkmaya başlamıştır. 2000'li yılların başında yağış suyu yönetimi, biyolojik çeşitlilik kaybı ve iklim değişikliği etkilerinin hafifletilmesi gibi çevresel zorlukları ele almak için doğal ve yarı doğal özellikleri kentsel peyzajlara entegre etme potansiyelini fark edildikçe bu kavram ilgi görmeye başlamıştır (Seiwert ve Röbler, 2020).



Şekil 2.4. Gri Altyapıdan Yeşile geçiş (EPA, 2024)

Yeşil altyapının temel işlevleri ve faydaları vardır. Yağmur bahçeleri, yeşil çatılar ve geçirgen yüzeyler gibi yeşil altyapı sistemleri yağış suyu akışını yönetmede etkilidir. Bu sistemler yağış suyunu emer ve filtreler, bu da taşkınları, erozyonu ve kanalizasyon sistemleri üzerindeki yükü azaltır ve su kalitesini artırır (ABD Çevre Koruma Ajansı, EPA, 2020). Doğal Kaynakları Koruma Konseyi (NRDC, 2010) yeşil altyapı bileşenlerinin, toplam su akış hacmini ve en yüksek akış oranlarını azaltarak kentsel sellerin etkilerini etkili bir şekilde hafifletebileceğini vurgulamaktadır. Ağaçlar ve bitki örtüsü, havadaki kirleticilerin filtrelenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Kent ormanları ve yeşil kuşaklar, kentsel alanlarda hava kirleticilerinin konsantrasyonunu önemli ölçüde azaltabilmektedir (Nowak vd., 2006). Yeşil altyapı, çeşitli türler için habitat, göç koridorları ve gen havuzları sağlayarak kentsel alanlarda biyoçeşitliliği destekler. Biyoçeşitliliğin bu şekilde entegrasyonu, ekosistemlerin çevresel değişikliklere karşı direncini de artırabilmekte olduğu için ekosistem hizmetleri açısından önemlidir (Benedict ve McMahon, 2006).



Şekil 2.5. Yeşil Altyapı kente estetik peyzajlar katmaktadır (Url-59)

Yeşil altyapı, karbondioksiti tutarak iklim değişikliğinin hafifletilmesine yardımcı olur. Ayrıca, yeşil çatılar ve artan ağaç örtüsü gibi özellikler kentsel ısı adası etkilerini azaltabilir ve böylece şehirlerin artan sıcaklıklara uyum sağlamasına yardımcı olabilir (Gill vd., 2007). Amerikan Peyzaj Mimarları Derneği (ASLA, 2012) tarafından yapılan bir çalışmaya göre, yeşil altyapı projeleri artan mülk değerleri, azalan altyapı maliyetleri ve daha düşük enerji tüketimi yoluyla ekonomik faydalar sağlayabilmektedir. Örneğin, yeşil çatıların kurulmasının binalarda iklimlendirme ihtiyacını azaltarak önemli ölçüde enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür. Yeşil alanlar rekreasyon ve ruh sağlığı için hayati önem taşımaktadır. Kentsel ortamlarda doğal alanlara erişimin fiziksel sağlığı iyileştirdiği, stresi azalttığı ve genel refahı artırarak sosyal ve rekreasyonel faydalar sağladığı görülmüştür. (Hartig vd., 2014).



Şekil 2.6. Yeşil Altyapı sürdürülebilir ve yaşanabilir şehirler yaratmak içindir (Url-60)

Yeşil altyapının mevcut kentsel alanlara entegre edilmesi esnek politikalar ve yenilikçi planlamalar gerektirmektedir. Yeşil altyapının tüm planlama ve kalkınma seviyelerine dahil edilmesini destekleyen politikalara ihtiyaç duyulmaktadır (Beatley, 2011). Yeşil altyapının uygulanması, arazi kullanımı çatışmaları, bakım maliyetleri ve disiplinler arası iş birliği ihtiyacı gibi çeşitli zorluklar içerir. Şehir planlamacıları, çevre mühendisleri ve peyzaj mimarları yeşil altyapıyı mevcut kentsel peyzajlara etkili bir şekilde entegre etmek için birlikte çalışmalıdır. Ayrıca, sürdürülebilir faydalar sağlamak için bu sistemlerin uzun vadeli bakımı ve ekolojik bütünlüğü sağlanmalıdır (Matthews vd., 2015).

2.1.3. Mavi Altyapı – (Blue Infrastructure)

Mavi altyapı, çevresel zorlukları yönetmek, biyoçeşitliliği artırmak ve ekolojik ve rekreasyonel faydalar sağlamak için kullanılan kentsel ve kırsal peyzajın su bazlı unsurlarını ifade etmektedir. İklim değişikliği etkilerini ve kentsel sürdürülebilirliği ele almak için su kütlelerinin kentsel ortamlara entegrasyonuna odaklanan, kentsel ekolojik planlamanın önemli bir bileşenidir. Mavi Altyapı, yağış suyunu yönetmek, kentsel ısı adası etkilerini azaltmak ve kentsel yaşanabilirliği ve biyoçeşitliliği artırmak için kentsel bağlamlarda hem doğal hem de yapay su bazlı sistemleri kapsamaktadır (Volker vd., 2013, Shah vd.,2021).

Mavi altyapı, kentsel yüzey akışını yönetmek ve su kalitesini artırmak için suya duyarlı tasarım tekniklerinin kullanılmasını içermektedir. Biyofiltrasyon sistemleri, kanallar ve geçirgen kaplamalar gibi teknikler, yağış suyunun kaynağında sızmasına ve arıtılmasına olanak tanıyarak yüzey akışını ve kirletici yüklerini azaltmaktadır (Voskamp ve Van de Ven, 2015). Kentsel mavi alanlar kentsel alanların soğutulmasına önemli ölçüde katkıda bulunarak kentsel ısı adası etkisini azaltmaktadır. Su kütleleri ısıyı emerek ve depolayarak, daha sonra yavaşça serbest bırakmaktadır, bu durum yerel sıcaklıkların ılımlı hale gelmesine yardımcı olmaktadır. Suyun buharlaşması da kentsel iklim koşullarının iyileştirilmesi için hayati önem taşıyan bir soğutma etkisi sağlamaktadır (Volker vd., 2013, Shah vd., 2021).



Şekil 2.7. Dünya'dan Mavi-Yeşil Altyapı örnekleri, Newcastle'da sürdürülebilir drenaj göleti, Ningbo Eko-koridoru, Portland'da gölete bağlanan bir yağmur bahçesi ve Rotterdam'da yeşil tramvay yolları (Url-61)

Mavi altyapı, hidrolojik bağlantıyı da koruyarak veya geliştirerek, kentsel ortamlardaki su ekosistemlerinin sürdürülmesine yardımcı olmaktadır. Bu, bağlantılı su yollarının

restorasyonunu ve biyoçeşitliliğin korunmasında ve çeşitli türler için habitat sağlanmasında önemli bir rol oynayan sulak alanların entegrasyonunu içermektedir (Gunawardena vd., 2017). Hem karasal hem de sucul ekosistemlere dayanan amfibiler de dahil olmak üzere çeşitli türler için hayati önem taşıyan habitatlar oluşturarak ve bunları birbirine bağlayarak biyolojik çeşitliliği desteklemektedir (Donati vd., 2022).

Mavi altyapı aynı zamanda önemli sosyokültürel faydalar da sunmaktadır. Kentsel su kütleleri genellikle rekreasyonel faaliyetlerin merkezinde yer almakta olup, kentsel peyzajlarda odak noktaları olabilmektedir, bu durum bölgenin estetik değerine katkıda bulunabilmekte olup, toplumun refahını ve sosyal uyumu desteklemektedir (Sharifi vd., 2021).



Şekil 2.8. Singapur'dan Mavi Altyapı örneği (Liao, 2019)

Mavi altyapı projelerinin başarısı büyük ölçüde bakımlarına ve benimsenen uygulamaların sürdürülebilirliğine bağlıdır. Mavi altyapının düzenli bakımı, etkin bir şekilde çalışmaya devam etmesini ve amaçlanan çevresel ve sosyal faydaları sağlamasını sağlamak için gereklidir. Mavi altyapıyı mevcut kentsel alanlara dahil etmek, alan kısıtlamaları ve kentsel sistemlerin karmaşıklığı nedeniyle zor olabilmektedir. Ancak yenilikçi tasarım ve planlama, yağmur bahçeleri ve geçirgen yüzeyler gibi mavi bileşenleri sokak peyzajlarına ve parklara entegre etmek bu zorlukların üstesinden gelmeye yardımcı olabilmektedir (Hansen vd., 2019; Van Zyl vd., 2021).

Sonuç olarak, mavi altyapı kentsel çevre yönetimi ve iklim adaptasyonunda çok önemli

bir rol oynarken, başarısı için kentsel planlamaya özenli bir entegrasyon, düzenli bakım ve ortaya çıkan zorluklara ve fırsatlara uyum sağlamak için sürekli değerlendirme ve gerekli müdahalelerin yapılması gerekmektedir.

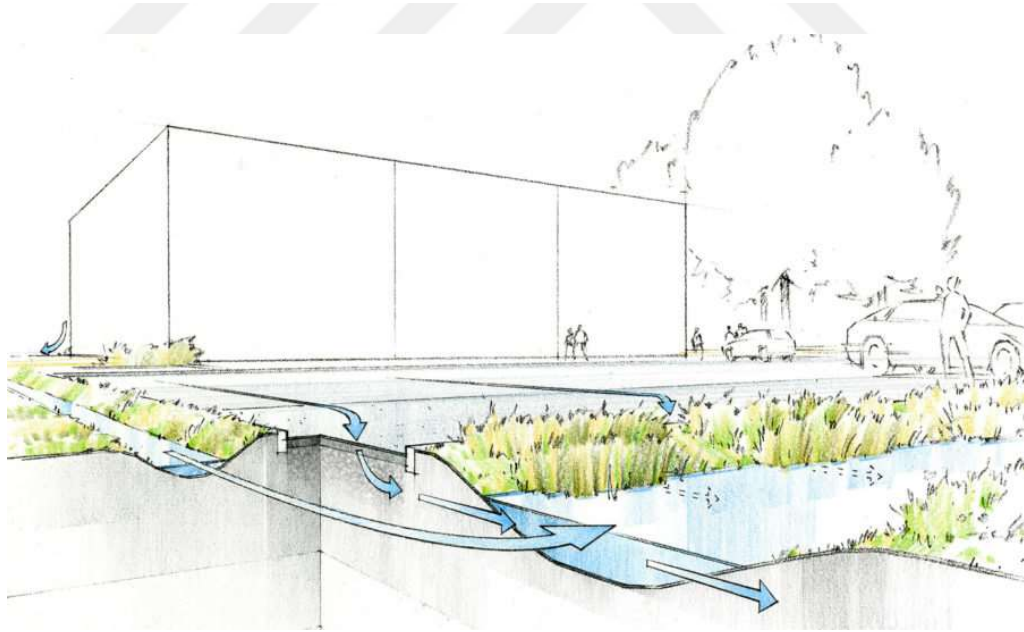
2.1.4. Düşük Etkili Gelişim – (Low Impact Development (LID))

Düşük Etkili Gelişim (LID), yağış suyunu yönetmek için hem miktarını hem de kalitesini kaynağında kontrol etmeyi amaçlayan Kanada ve ABD merkezli bir yaklaşımdır. Kentleşme, geçirimsiz yüzeylerin artmasına yol açarak doğal hidrolojik süreçleri değiştirmekte ve genellikle su kalitesinin bozulmasına ve sel risklerinin artmasına neden olmaktadır. Tipik olarak kentsel akışı boru ağları aracılığıyla doğrudan su kaynaklarına yönlendiren geleneksel yağış suyu yönetim sistemleri bu sorunları daha da kötüleştirmektedir. Düşük Etkili Gelişim (LID), merkezi olmayan ve doğaya dayalı çözümlerle yağışı kaynağında yönetmeye odaklanan yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Bu durum, peyzaj boyunca dağıtılmış mikro ölçekli yönetim uygulamalarını kullanarak, kalkınma öncesi hidrolojinin taklit edilmesiyle kentleşmenin doğal hidrolojik döngüler üzerindeki etkilerini azaltmayı amaçlayan, yağış suyu yönetiminde bir paradigma değişikliğini temsil etmektedir (Clar, 2002). Kentsel altyapı yönetimi, infiltrasyon ve doğal drenaj sistemi gibi doğal işlevleri korumayı amaçlayan bir arazi kullanım tanımıyla başlamalıdır (Macedo vd., 2021; Heidari vd., 2021). Düşük Etkili Gelişim (LID), kentleşmiş su havzalarında yağış suyu kirliliğini azaltmaya ve peyzaj hidrolojisini eski haline getirmeye yönelik stratejik bir yaklaşımdır (Dhakal ve Chevalier, 2015).



Şekil 2.9. ABD'den çeşitli LID örnekleri (NACTO, 2024)

LID, yağış suyunu kaynağına mümkün olduğunca yakın yönetmek için doğayla birlikte çalışır ve böylece kaynak kontrolü yoluyla kentsel hidrolojik geri dönüşümü sürdürür (Wang, 2013). LID stratejileri, infiltrasyon oranlarını artırmak ve yüzey akışını azaltmak için geçirimsiz örtünün azaltılmasını vurgular (Dietz, 2007). Mevcut doğal drenaj sistemlerini koruyarak doğal drenaj modellerinin korunmasını sağlar, ekolojik bozulmayı en aza indirir ve doğal su filtreleme süreçlerini sürdürür (Prince George's County, 1999). Kirleticileri kaynağında filtreleyerek sucul ekosistemlere giren kirlenici yüklerini azaltır (Dietz ve Clausen, 2006). LID teknikleri, yüzey akışını yerel olarak yöneterek pik akış hızlarını ve hacimlerini azaltır ve taşkın risklerini hafifletir (Roy vd., 2008). LID'in uygulanması, sızma, evapo-transpirasyon veya yağış suyunun yeniden kullanımı yoluyla orijinal saha hidrolojisinin korunması veya eski haline getirilmesi gibi faydalar sunmaktadır (Moncrief, 2010). Kentsel alanlardaki su kaynaklarının korunması için çok önemli olan akiferleri, artan infiltrasyon oranları sayesinde yeniler (Dietz, 2007). LID uygulamaları yağış suyu akışını yönetmek, su kalitesini iyileştirmek ve gelişmiş alanların çevresini ve hidrolojisini korumak için başarıyla kullanılmaktadır (Shafique ve Kim, 2015; Chiang ve Weinstein, 2015).



Şekil 2.10. Virginia, ABD’de bir LID uygulaması ve su akış şeması (Url-62)

Yeşil alanlar ve bitkilendirilmiş yüzeyler kentsel sıcaklıkları düşürür ve kentsel peyzajı iyileştirerek yaşam kalitesini artırır (Brown ve Clarke, 2007). Çeşitli LID planlama ve değerlendirme süreçleri, önlemlerinin seçilmesi ve uygun alanların analiz edilmesi için bir değerlendirme endeksi sistemi oluşturulmasını önermektedir (Hao-zheng, 2012). LID

ve diğerk makul çevresel çözümlerin kullanımının olumlu ekonomik etkileri de vardır (Roseen vd., 2012). Bu gelişim yaklaşımı türü, Amerika Birleşik Devletleri'nde Düşük Etkili Gelişim (Low Impact Development-LID), Avustralya'da ise Suya Duyarlı Kentsel Tasarım (Water-Sensitive Urban Design-WSUD) olarak adlandırılmıştır (Kim ve Ryu, 2020).

2.1.5. Düşük Etkili Kentsel Tasarım ve Gelişim (Low Impact Urban Design and Development (LIUDD))

Düşük etkili kentsel tasarım ve gelişim (LIUDD), 2003 yılından bu yana Yeni Zelanda'da geliştirilen ve uygulanan bir kentsel gelişim yaklaşımıdır. Ana araştırma ve uygulama programı, Yeni Zelanda devletine ait çeşitli araştırma enstitüleri tarafından finanse edilerek 2003-2009 yılları arasında yürütülmüştür (Van Roon, M. Vd., 2006). LIUDD, çeşitli çalışmalar vasıtasıyla uluslararası tanınırlık ve uygulama imkanı bulma yolunda ilerlemiştir. LIUDD yaklaşımlarının bazılarının Yeni Zelanda dışındaki ülkelerde çeşitli planlama araçlarıyla uyarlanması ve uygulanması tartışılmıştır (Jayawardena, H.M.I.D.P. vd., 2015).



Şekil 2.11. Auckland, Yeni Zelanda'dan çatı bahçesi uygulaması (AUC, 2024)

LIUDD, Yeni Zelanda'nın genel ve resmi 'sürdürülebilirlik' tanımı olan: "Gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama kabiliyetinden ödün vermeden şimdiki neslin ihtiyaçlarını karşılamak" cümlesine uygun bir kalkınma türünü teşvik etmektedir. Bunu yaparken LIUDD, tüm yoğunluklarda kentleşmeye izin verirken sucul ve karasal bütünlüğü koruyan, çeşitli ölçeklerde bir kalkınma türünü temsil etmektedir. LIUDD, bireysel parsel, mahalle, alt havza, havza, alıcı su ve nihai alıcı çevre kapsamlarında sürdürülebilir kalkınma ve tasarımı teşvik etmektedir (Van Roon M ve Van Roon H

2009).

LIUDD, her türlü gelişmeye uygulanacak temel bir ilkeyi barındırmaktadır. Bu birincil ilke aynı zamanda diğer LIUDD ilkeleri için de öncelikli ilke niteliğindedir. Bu ilke 'Ekosistemlerin bütünlüğünü ve doğallığını korumak ve ekolojik ayak izlerini en aza indirmek için havza bazında doğanın döngüleriyle birlikte çalışmak' şeklindedir. LIUDD, birincil ilke doğrultusunda uygulanabilir ilkeler olarak çalışan üç ikincil ilkeye sahiptir. Bunlar: 'En az etki için saha seçimi; ekosistem hizmetlerinin ve altyapının verimli kullanımı; yerel kaynak kullanımının en üst düzeye çıkarılması ve atıkların en aza indirilmesi' olarak tanımlanır. LIUDD ayrıca uygulanabilir eylemler olarak çalışan beş üçüncül ilkeye de sahiptir. Bunlar: 'Doğaya alan yaratmak için alternatif kalkınma formları kullanmak; biyoçeşitliliği restore etmek, geliştirmek ve korumak; kirleticileri azaltmak ve kontrol altına almak; su yönetimini içerecek şekilde doğal toprak ve su döngülerini korumak; ve enerji verimliliğidir'. İkincil ve üçüncül ilkeler, kalkınmanın yerel sorunları da göz önünde bulunduracağı şekilde uygulanmalıdır (Van Roon M ve Van Roon H, 2009).



Şekil 2.12. Te Ara Awataha Yeşil Koridoru Yenilenmesi, Yeni Zelanda (ICSI, 2024)

Yeni Zelanda'da, LIUDD ilkeleri ve uygulama süreci bir dereceye kadar kaynak onayı sürecine dahil edilmiştir. Ignatieva ve diğerleri (Ignatieva, M. 2008) ve Auckland Konseyi (CoA, 2021), kaynak onayı sürecinden geçecek kalkınma projelerinde LIUDD'nin uygulanmasına yönelik kılavuzlar hazırlayarak bunları sağlayan iki taraftır.

Bu iki grup, su akıntıları ve ovalar, doğal bitki örtüsü, yeşil/ekolojik koridorlar, topografya ve yeryüzü şekilleri gibi doğal özelliklerin anlaşılmasının aciliyetini vurgulamışlardır. Bazı özellikler yerel yönetimlerin CBS veri tabanında belgelenirken, bazıları da çoğunlukla saha gözlemi yoluyla anlaşılmaktadır. Yerel doğal özelliklerin anlaşılması için yerel halkla beraber çalışılması önerilmektedir. Ayrıca, su ile ilgili yerel hizmetlerin LIUDD ilkeleri doğrultusunda planlanması ve gerekli durumlarda yeniden tasarlanması için yerel kamu hizmetleri yetkilileri ile iş birliği yapılması önerilmiştir. Tüm bu süreçler, Düşük etkili kentsel tasarım ve gelişimi, dünyadaki benzer uygulamalardan farklı kılmakta olan özellikle yerel halkla çalışma konusundaki nüansları içermektedir.

2.1.6. Doğal Taşkın Yönetimi (Natural Flood Management (NFM))

Doğal Taşkın Yönetimi (Natural Flood Management, NFM), yağış suyu yönetimi kavramına benzer şekilde taşkın risklerini azaltmak ve taşkın suyunu sürdürülebilir bir şekilde yönetmek için doğal süreçleri kullanmayı amaçlayan strateji ve yaklaşımları içermektedir. Bu uygulama, doğaya karşı değil doğayla birlikte çalışmayı vurgulamakla beraber, biyolojik çeşitliliği ve ekosistem hizmetlerini geliştirirken taşkın riskinin azaltılmasına katkıda bulunabilecek çeşitli teknikleri içermektedir (Thomas and Nisbet, 2007). Doğal Taşkın Yönetimi'nin çeşitli uygulamaları bulunmaktadır. Bunlardan ilki taşkın yatağı restorasyonudur. Taşkın yatakları, fazla sel sularını emebilen doğal sistemlerdir. Restorasyon, bu doğal işlevlerin yeniden tesis edilmesini içermekte ve bu da sel risklerini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Restore edilen taşkın yatakları su depolama kapasitesini önemli ölçüde artırarak, potansiyel taşkın zirvelerini azaltabilmektedir (Acreman ve Holden, 2013).



Şekil 2.13. İskoçya'da kırsal bir taşkın (CREW, 2024)

Nehir restorasyonu da doğal taşkın yönetimi uygulamalarından biridir. Nehirleri daha doğal formlarına kavuşturmak, örneğin menderesleri yeniden oluşturmak ve daralmaları kaldırmak, su akışını yavaşlatabilmekte ve dolayısıyla sel etkilerini zayıflatabilmektedir. Angela, G. ve diğerleri (2016) tarafından yapılan çalışmalar, bu önlemlerin taşkın enerjisini dağıtmadaki ve taşkın süresini akış yukarı kısmında yönetilebilir bir seviyede tutarak uzatmadaki etkinliğini vurgulamaktadır; bu durum hassas akışın daha alçak bölgeler üzerindeki etkisini azaltabilmektedir. Sulak alan oluşturma ve restorasyonu, doğal taşkın yönetimi uygulamalarındandır. Sulak alanlar, sel sularını emen ve depolayan doğal su tamponları olarak işlev görmektedir. Stratejik sulak alan restorasyonu, en yoğun akış dönemlerinde sel suyunu depolayarak ve yavaşça serbest bırakarak sel risklerini azaltabilmektedir (Bullock ve Acreman, 2003).



Şekil 2.14. Nehir restorasyonu doğal taşkın yönetimi için önemlidir (URL-63)

Toprak yapısının iyileştirilmesi ve organik içeriğinin artırılması, su emme ve tutma kabiliyetlerini geliştirerek yüzey akışını azaltmaktadır. Doğal taşkın yönetimi uygulamalarının bu sürece katkıları sayesinde, yüzey akışını önemli ölçüde azaltabileceği ve böylece sel risklerini hafifletebileceği öngörülmektedir (Keesstra ve diğerleri, 2012). Havza bölgelerinde bitkilendirme çalışmaları ve ormanlık alanların restore edilmesi, toprak infiltrasyonunu artırarak ve yağış suyunu depolayarak sel risklerini

azaltabilmektedir. Aynı şekilde yayla alanlarında da stratejik bitkilendirme, sel şiddetlerinde önemli düşüşleri sağlayabilmektedir (Calder ve Aylward, 2006). Doğal taşkın yönetimi teknikleri yalnızca taşkın riskinin azaltılmasına yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda biyolojik çeşitliliği artırabilmekte, su kalitesini iyileştirmekte ve artan arazi değerleri ve rekreasyon fırsatları da dahil olmak üzere sosyo-ekonomik faydalar sağlamaktadır.



Şekil 2.15. Blythe Nehri güzergahında taşkın yönetimi için yeni sulak alanlar oluşturulması süreci, İngiltere (TVW, 2023)

Doğal taşkın yönetimi stratejilerinin çok işlevli faydaları, taşkın riski yönetiminin ötesine geçerek peyzaj kalitesinde ve biyolojik çeşitliliğin korunmasında iyileştirmeleri içermektedir (Thomas ve Nisbet, 2007). Doğal taşkın yönetiminin büyük ölçekte uygulanması, arazi yönetimi, kamu ve paydaş algıları ve kapsamlı izleme ve adaptasyon ihtiyacı ile ilgili zorlukları içermektedir. Doğal taşkın yönetiminin teşvik edilmesindeki sosyo-politik zorluklar, özellikle de bu uygulamaların daha geniş su yönetimi politikalarına entegre edilmesi ihtiyacı, bu uygulamanın en büyük zorluklarıdır (Morris ve diğerleri, 2008). Doğal taşkın yönetimi, geleneksel mühendislik çözümlerini tamamlayan sürdürülebilir bir taşkın yönetimi yaklaşımını temsil etmektedir. Ek çevresel ve sosyal faydalar sağlarken taşkın riskini azaltmak için doğal süreçlerle birlikte çalışmanın bir yolunu sunmaktadır. Doğal taşkın yönetimi uygulamalarını iyileştirmek ve farklı ortamlarda etkinliklerini en üst düzeye çıkarmak için yeni çalışmalar yapılması ve benzer uygulamalarla esnek ve uyarlanabilir bir yönetim önem arz etmektedir (Buijse ve diğerleri, 2002).

2.1.7. Entegre Havza Yönetimi (Integrated Watershed Management (IWM))

Entegre Havza Yönetimi (IWM), bir havza içindeki su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini amaçlayan kapsamlı bir yaklaşımdır. Bu strateji, ekosistemin sağlığını korurken ve geliştirirken ekonomik ve sosyal faydaları en üst düzeye çıkarmak için arazi, su ve diğer çevresel kaynakların yönetimini entegre eder. Entegre Havza Yönetimi, toprak ve su kaynaklarını olumsuz etkilemeden istenen hizmetleri sağlamak için bir havzadaki arazi, su ve diğer kaynak kullanımını düzenleme süreci olarak tanımlanmaktadır (). Entegre havza yönetiminin temel bazı ilkeleri bulunmaktadır, bunlar; Ekolojik, sosyal, ekonomik ve kurumsal faktörler de dahil olmak üzere su havzasının tüm yönlerinin dikkate alınmasını içeren bütüncül yönetim (Biswas, 2004), yerel toplulukların, paydaşların ve hükümetlerin planlama ve karar alma sürecine dahil edilmesi sürecini yöneten katılımcı yaklaşım (Mitchell, 2005), yeni bilgilere ve değişen koşullara yanıt olarak gelişebilen esnek yönetim stratejilerinin uygulanması olan uyarlanabilir yönetim (Pahl-Wostl, 2007) olarak sıralanabilir. Entegre havza yönetiminde istenen hedeflere ulaşmak için çeşitli metotlar kullanılmaktadır. Bunlardan biri hidrolojik modellemedir. Bu yöntem, Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (SWAT) veya Hidrolojik Modelleme Sistemi (HEC-HMS) gibi araçları, bir havzadaki su akışını ve kalitesini simüle etmek için kullanılmaktadır. (Neitsch vd., 2011). Kullanılan bir diğer yöntem coğrafi bilgi sistemleridir. CBS arazi kullanımı, hidroloji ve diğer çevresel özelliklerin haritalanması ve analiz edilmesi için kullanılmaktadır (Bateman vd., 2002). Kullanılan önemli bir yöntem de Çok Kriterli Karar Analizidir (MCDA). Bu yöntem, doğal kaynakların yönetiminde çok önemli olan, birbiriyle çelişen birden fazla kriteri içeren kararların alınmasına yardımcı olmaktadır.



Şekil 2.16. Şev Yüzey Stabilizasyonu ve Koruması, Entegre Havza Yönetimin önemli bir parçasıdır, Keelung, Tayvan'dan bir uygulama (URL-64)

Dünya’da entegre hava yönetiminin uygulandığı çeşitli örnekler bulunmaktadır. Avustralya’nın Murray-Darling havzasında, su haklarının yeniden dağıtımı ve kullanım sınırlarını içeren, kapsamlı su kaynakları yönetimi, aşırı su çekimi ve su kirliliği ele almak için kullanılmıştır (Grafton vd. 2010). ABD’de Chesapeake Körfezi Programı, Chesapeake Körfezi’ne giren besin maddesi ve tortu yüklerini azaltmak için entegre havza yönetimini uygulamış ve tarım yönetimi, kentsel planlama ve kirlilik kontrolü alanlarındaki birleşik çabalar sayesinde su kalitesinde önemli gelişmeler göstermiştir (Boesch vd., 2001).



Şekil 2.17. Chesapeake Körfezi'ne akan Nanticoke Nehri ve sulak alanları, Entegre Havza Yönetimi stratejilerinin uygulandığı alanlara örnektir (URL-65)

Sağladığı çeşitli faydalara rağmen, entegre havza yönetimi süreci çeşitli zorluklarla da karşı karşıya kalmaktadır. Bunlardan en önemlisi veri erişilebilirliği ve kalitesidir. Yeterli ve yüksek kaliteli veri, etkili havza yönetimi için büyük önem taşımaktadır ancak özellikle gelişmekte olan ülkelerde veri kalitesi ve miktarında eksiklik bulunmaktadır. Farklı kullanıcıların su kullanımı ve arazi yönetimine ilişkin çatışan çıkarları da olabilmektedir, bu durum etkili havza yönetimi uygulanması için uzlaşma sağlanmasını zorlaştırabilmektedir (Steelman vd., 2005). İklim değişikliği nedeniyle hava modellerindeki değişkenliğin artması, su kaynakları yönetiminde belirsizliği artırmakta, bu durum daha sağlam ve uyarlanabilir yönetim stratejilerini gerektirmektedir (Milly vd., 2008).

2.1.8. Entegre Su Kaynakları Yönetimi (Integrated Water Resources Management (IWRM))

Entegre Su Kaynakları Yönetimi (IWRM) yaklaşımının gerekçesi, dünyanın sınırlı su kaynaklarının verimli, adil ve sürdürülebilir bir şekilde geliştirilmesi ve yönetilmesi ve çatışan taleplerle başa çıkılması için ortak aksiyondur. Birçok az gelişmiş ülke ve bazı gelişmiş ülkeler, demografik, ekonomik ve iklimsel baskılar nedeniyle giderek artan talepleri karşılamak için arz yönlü çözümlerin tek başına yeterli olmadığını görmektedir; yetersiz arzın zorluklarına karşı koymak için atık su arıtma, su geri dönüşümü ve talep yönetimi önlemleri alınmaktadır. Su miktarına ilişkin sorunların yanı sıra su kalitesine ilişkin sorunlar da bulunmaktadır. Su kaynaklarının kirlenmesi, su kullanıcıları için olduğu kadar doğal ekosistemlerin korunması için de büyük sorunlar yaratmaktadır. Birçok bölgede suyun hem miktar hem de kalite olarak mevcudiyeti, farklı bölgelerde daha fazla veya daha az yağış ve daha aşırı hava olayları ile iklim değişikliği ve iklim değişikliğinden ciddi şekilde etkilenmektedir. Yine birçok bölgede, nüfus artışı ve diğer demografik değişiklikler ile tüketim ve üretim modellerindeki değişiklikleri takiben tarımsal ve endüstriyel genişlemenin bir sonucu olarak talep artmaktadır. Sonuç olarak, bazı bölgeler artık sürekli olarak arzın üzerinde bir talep durumundadır ve daha birçok bölgede yılın kritik zamanlarında veya suyun az olduğu yıllarda bu durum söz konusu olmaktadır (UN-Water, 2007, UN-Water, 2008).



Şekil 2.18. Güneybatı Çin'deki Datengxia su kaynakları yönetim tesisi (MWR, 2023)

IWRM, uygulayıcıların sahadaki deneyimlerinden yola çıkılarak oluşturulmuş ampirik bir kavramdır. Kavram 1977'de Mar del Plata'da düzenlenen ilk Küresel Su Konferansından beri kullanılıyor olsa da, kavramın pratikte ne anlama geldiğine dair kapsamlı tartışmalar ancak Gündem 21 ve 1992'de Rio'da düzenlenen Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi'nden sonra yapılmıştır. Küresel Su Ortaklığı'nın IWRM tanımı yaygın olarak kabul görmektedir. Buna göre "IWRM, hayati önem taşıyan ekosistemlerin sürdürülebilirliğinden ödün vermeden, ortaya çıkan ekonomik ve sosyal refahı adil bir şekilde en üst düzeye çıkarmak amacıyla su, toprak ve ilgili kaynakların koordineli bir şekilde geliştirilmesini ve yönetilmesini teşvik eden bir süreçtir (Birleşmiş Milletler Dünya Su Değerlendirme Programı, 2009).

2.1.9. Suya Duyarlı Kentsel Tasarım (Water-Sensitive Urban Design)

Suya Duyarlı Kentsel Tasarım (WSUD), sürdürülebilirliği ve iklim etkilerine karşı dayanıklılığı artırmak için kentsel su döngüsü yönetimini kentsel gelişime entegre eden yenilikçi bir yaklaşımdır. Avustralya'da 1990'larda ortaya çıkan WSUD, peyzaj, altyapı ve bina tasarımlarında yağış suyu, atık su ve su tedarikini yöneterek ısı, sel ve kuraklık gibi kentsel zorlukları ele almaktadır. Bu uygulama, içme suyu talebinin azaltılmasını, atık su üretiminin en aza indirilmesini ve suyun kendi kendine yeterliliğinin artırılmasını teşvik etmekte, böylece kentsel iklim adaptasyonuna ve çevresel etkilerin azaltılmasına önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır (Schulze vd. 2024).

Suya Duyarlı Kentsel Tasarım, infiltrasyonu teşvik eden ve yüzey akışını azaltan stratejileri içermektedir. WSUD ayrıca, kentsel ısı adalarıyla mücadele etmede, evapotranspirasyon ve soğutma için bitki örtüsünün önemini vurgulamaktadır. İçilebilir su kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmak için hasat edilmiş yağış suyu ve arıtılmış gri su kullanımını içermektedir, böylece kentsel alanlarda suyun kendi kendine yeterliliğini artırmaktadır. Bu multidisipliner yaklaşım su yönetimini ele almakla beraber, aynı zamanda sürdürülebilir kentsel kalkınmayı da sağlamak için toplum katılımını ve düzenleyici çerçeveleri de entegre etmeyi amaçlamaktadır (Fletcher vd., 2015; Wong ve Brown, 2009).

Yağış suyu yönetimi kavramının çeşitli varyantlarında olduğu gibi suya duyarlı kentsel tasarımın temel amaçlarından ilki, yağış suyu akışının su yollarına kontrolsüz bir şekilde akmasına izin vermek yerine düştüğü yere yakın bir yerde yönetilmesidir. Biyolojik tutma sistemleri, yağmur bahçeleri ve geçirgen zeminler gibi teknikler yağış suyunun emilmesi,

filtrelenmesi ve yavaşça çevreye geri salınması için kullanılmaktadır (Fletcher vd., 2015).



Şekil 2.19. Melbourne'un Ana Çıkış Kanalizasyonunun eski hali ve Suyu Duyarlı Kentsel Tasarım yaklaşımında dönüştürülmüş yeni hali (URL-66)

WSUD uygulamaları, kirleticileri daha büyük su kütlelerine ulaşmadan önce doğal süreçlerle filtreleyerek suyun kalitesini artırmaktadır. Bu, su ekosistemlerini korumak ve güvenli su kalitesi standartlarının karşılanmasını sağlamak için çok önemlidir (Wong, 2006). Suyu Duyarlı Kentsel Tasarım sadece bir dizi mühendislik çözümü olmayıp, kentsel alanların görsel ve rekreasyonel niteliklerini geliştirmek için de peyzaj ve kentsel tasarıma entegre edilmiştir (Roy vd., 2008). Doğal bitki örtüsü ve su kütlelerinin kullanımıyla çeşitli habitatlar yaratarak kentsel biyoçeşitliliğe katkıda bulunmakta ve şehir peyzajlarında çeşitli türler için habitatlar sunmaktadır (Brown, R., Keath, N., Wong, T. 2008). Diğer yeşil alt yapı yaklaşımlarında olduğu gibi Suyu Duyarlı Kentsel Tasarım uzun vadede tasarruf ve çevresel faydalar sunarken, ilk uygulama geleneksel gri drenaj sistemlerine göre daha maliyetli olabilmektedir (Fletcher vd., 2015).



Şekil 2.20. Batı Avustralya, Perth şehri, içinden geçen Swan nehri odağında Suya Duyarlı Kentsel Tasarım yaklaşımında yoğun uygulamalar yapmıştır (WSCA, 2021)

Ayrıca mevcut kentsel çevrelere entegre edilmesi, genellikle yerel yönetmeliklerde ve bina yönetmeliklerinde değişiklik yapılmasını gerektirebildiği için, bu değişikliklerin üstesinden gelmek bu yaklaşımın zorluklarından (Farrelly and Brown, 2011).

2.1.10. Sürdürülebilir Drenaj Sistemleri (Sustainable Drainage Systems (SuDS))

Sürdürülebilir Drenaj Sistemlerinin (SuDS) geliştirilmesi ve benimsenmesi, geleneksel kentsel drenaj sistemlerinden kaynaklanan çevresel zorlukları ele alma ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Birleşik Krallık'ta ortaya çıkan SuDS kavramı, yalnızca suyun hızlı bir şekilde uzaklaştırılmasına odaklanan geleneksel sistemlerin aksine, yağış suyunu doğal süreçleri taklit edecek, sızmayı teşvik edecek, yüzey akışını azaltacak ve su kalitesini artıracak şekilde yönetmeyi amaçlamaktadır (Charlesworth, 2010). Yeşil altyapı, Yağış Suyu Yönetimi gibi SuDS'yi içeren kavramlar, parklar, yeşil çatılar, yeşil

koridorlar gibi kentsel yeşillendirmenin tüm yönlerini kapsayan daha geniş kavramlardır.



Şekil 2.21. İngiltere’den Sürdürülebilir Drenaj Sistemi olarak biyolojik hendek haline getirilmiş bir su kanalı örneği (URL-67)

Yeşil altyapı ve benzeri yaklaşımlar, ekolojik hizmetler sağlamaya ve kentsel yaşam kalitesini genel olarak artırmaya odaklanırken, SuDS özellikle su yönetimini hedeflemektedir. SuDS'ler yeşil altyapı gibi bu tür daha geniş kavramların bir bileşeni olup özellikle sürdürülebilir drenaj ve su kalitesinin iyileştirilmesini amaçlamaktadır. Bu kavramlar sürdürülebilir ve dirençli kentsel su yönetimi ortak hedefini paylaşmakta ancak odak, kapsam ve uygulama yöntemleri açısından farklılık göstermektedir. SuDS, özellikle kentsel su yönetimi zorluklarına pratik, yerelleştirilmiş bir çözüm sunmakta, sürdürülebilirliği ve kentsel gelişim ile entegrasyonu vurgulamaktadır (Oladunjoye, 2022, Chapman, 2022).

2.1.11. Kırsal Sürdürülebilir Drenaj Sistemleri (Rural Sustainable Drainage Systems (RSuDS))

Sürdürülebilir Drenaj Sistemleri (SuDS) ile aynı temel prensiplere sahiptir. Aynı yaklaşımın kırsala uyarlanmış varyantıdır. RSuDS, kırsal havzalardaki akan suyu toplayarak, depolayarak ve kalitesini artırarak su akışını zayıflatmak üzere tasarlanmış, doğal süreçleri taklit eden tekli veya çoklu bağlantılı bileşen yapılarından oluşmaktadır.

Basit bir tanımla, kırsal alanlardaki yüzey sularını sürdürülebilir bir şekilde yönetmek için tasarlanmış mühendislik çözümleridir. Biyohendekler, yağmur bahçeleri gibi biyotutma sistemleri, yapay sulak alanlar, geçirimli zeminler ve yağmur suyu hasadı sistemleri gibi bileşenleri kullanmaktadır (Çevre Ajansı, 2012, Dietz, 2007, Vymazal, 2010).



Şekil 2.22. İskoçya'dan Kırsal Sürdürülebilir Drenaj Sistemi olarak yapay sulak alan haline getirilmiş bir yeşil alan (SEPA, 2024)

RSuDS'nin uygulanması arazi mevcudiyeti, bakım gereksinimleri ve mevcut arazi kullanımı üzerindeki potansiyel etkiler gibi zorlukları bulunmaktadır. Etkili uygulama, SuDS gibi benzer yaklaşımlarda olduğu gibi paydaşlarla etkileşim ve daha geniş arazi yönetimi stratejilerine entegrasyon gerektirmektedir (Çevre Ajansı, 2012., Zhou, 2014).

2.1.12. Biyo-Ekolojik Drenaj Sistemleri (Bio-ecological Drainage Systems (BIOECODS))

Malezya'da ortaya çıkmış bir kavram olan Biyo-Ekolojik Drenaj Sistemi (BIOECODS) depolama, akış yavaşlatma ve infiltrasyon mühendisliği unsurlarından oluşmaktadır. Kuru havuzlar, tutma havuzları ve sulak alanlar, akış yavaşlatma ve su kalitesi artırmak için arıtma araçları olarak işlev gören BIOECODS'un ana bileşenleridir. BIOECODS, Malezya için Yağış Suyu Yönetimi Kılavuzunun gerekliliklerini karşılayan bir pilot projedir ve ülkede çeşitli lokasyonlarda uygulanmaktadır. BIOECODS, kentsel alanlarda

yağış suyu miktarını ve kalitesini yönetmek için geleneksel sert mühendislik tabanlı drenaj sistemine dünyada benzer örnekleri olduğu gibi bir alternatif olarak geliştirilmiştir (Zakaria, vd. 2003).



Şekil 2.23. Malezya Bilim Üniversitesi'nde kampüsün çeşitlik yerlerinde uygulanan Biyo-Ekolojik Drenaj Sistemi örneği (USM, 2024)

BIOECODS kavramı, Malezya'da sürdürülebilir kentsel drenaj sistemlerine (SUDS) ve En İyi Yönetim Uygulamalarına (BMPs), yani kentsel planlamaya entegre edilen ve birden fazla hedefe ulaşmak için tasarlanan 'kaynakta kontrol' yaklaşımına dayanmaktadır (Juiani, vd. 2022)

2.1.13. Doğal Drenaj Sistemleri (Natural Drainage Systems (NDS))

Yeşil altyapı ve sürdürülebilir drenaj sistemleri (SuDS) kavramlarıyla büyük ölçüde örtüşen Doğal Drenaj Sistemleri (NDS), doğal hidrolojik süreçlere benzer yaklaşımları amaçlayan ekolojik temelli yağış suyu yönetimi uygulamalarıdır. Bu sistemler, yüzey akış hacmini azaltmak, su kalitesini iyileştirmek ve kentsel ortamların esnekliğini ve estetiğini artırmak için tasarlanmıştır. Doğal Drenaj Sistemleri, yağışın düştüğü yerde yönetilmesi prensibiyle çalışmaktadır. Yağış suyunu geleneksel sistemler aracılığıyla doğrudan su kaynaklarına yönlendirmek yerine, NDS suyun önünü keserek, toplamayı ve toprağa sızması için zaman kazandırmayı amaçlar. Bu yaklaşım, kentleşme öncesi, yollar ve binalar gibi geçirimsiz yüzeyleri artırmadan önce daha yaygın olan doğal su döngüsüne uyacak şekilde dizaynları desteklemektedir (Fletcher vd., 2015).



Şekil 2.24. Washington, ABD, çatılardan gelen akışı yöneten bir Doğal Drenaj Sistemi
(URL-68)

Doğal drenaj sistemleri daha çok doğal peyzajları ve süreçleri korumaya ve geliştirmeye odaklanır, tipik olarak daha az kentleşmiş alanlarda veya restorasyon projelerinin bir parçası olarak kullanılmaktadır. Doğal drenaj sistemleri bir sahanın orijinal hidrolojik rejimini korumayı veya restore etmeyi amaçlarken, SuDS doğal süreçlerin yanı sıra modern mühendislik çözümlerini de içerebilen sürdürülebilir yollarla yüzey akışını yönetmek için tasarlanmıştır.



Şekil 2.25. Seattle, ABD, Doğal Drenaj Sistemleri (CoS, 2024)

Doğal Drenaj Sistemleri (NDS), kirleticileri filtreleyerek su kalitesini iyileştirmek, sel risklerini azaltmak, biyoçeşitliliği artırmak, kentsel ısı adalarını azaltmak ve estetik iyileştirmeler yoluyla toplum refahını ve mülk değerlerini artırmak gibi çok sayıda fayda sunmaktadır (Davis, 2007, Roy vd., 2008, Benton-Short ve Short, 2013, Gill vd., 2007, Wolf, 2004).

2.1.14. Doğa Tabanlı Çözümler (Nature-based Solutions (NbS))

Doğa tabanlı çözümler, doğal özelliklerin ve süreçlerin sürdürülebilir yönetimini ve kullanımını içermektedir. Uluslararası Doğa Koruma Birliği (IUCN) NbS'yi, doğal veya değiştirilmiş ekosistemleri koruyan, sürdürülebilir bir şekilde yöneten ve restore eden, toplumsal zorlukları etkili ve uyarlanabilir bir şekilde ele alarak hem insan refahı hem de biyoçeşitlilik faydaları sağlayan eylemler olarak tanımlamaktadır. Bu geniş kapsam, NbS'yi çok çeşitli ortamlar ve zorluklar için uygulanabilir kılmaktadır (Cohen-Shacham vd., 2016). NbS'in çeşitli türleri vardır. Bunlardan biri, ekosistem sağlığını, karbon depolamayı ve biyoçeşitliliği iyileştirmek için ormanları, sulak alanları, kıyı sistemlerini ve turbalıkları restore eden Ekosistem Restorasyonudur (Aronson ve Alexander, 2013). Bunlardan bir diğeri şehirleri ısı adalarından korumak, sel baskınlarını azaltmak ve hava kalitesini iyileştirmek için bitki yaşamını ve diğer doğal özellikleri kentsel planlamaya dahil eden Yeşil Altyapıdır (Benedict ve McMahon, 2006). Bir diğer NbS türü ise, ürün rotasyonu, tarımsal ormancılık ve sürdürülebilir toprak yönetimi gibi biyoçeşitliliği ve ekosistem hizmetlerini geliştiren uygulamalar olan Sürdürülebilir Tarımdır (Altieri, 1999). Ağaçlandırma ve sulak alan restorasyonu gibi doğa tabanlı çözümler sadece

önemli miktarda karbondioksiti tutarak iklim değişikliğini azaltma çabalarını güçlendirmekle kalmaz (Smith vd., 2014), aynı zamanda sel risklerini azaltarak ve su kalitesini iyileştirerek iklim adaptasyonunu destekler (Seddon vd., 2020) ayrıca habitat restorasyonu ve yeşil kentsel koridorların oluşturulması yoluyla biyolojik çeşitliliğin korunmasını teşvik etmektedir (Mace vd., 2012).



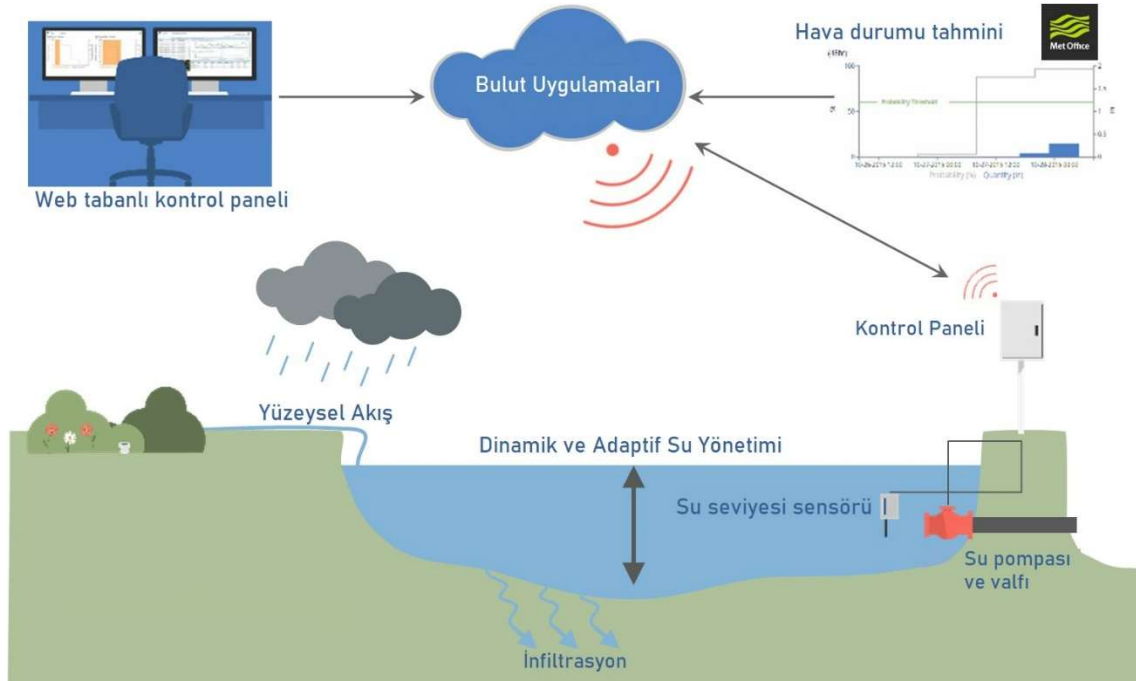
Şekil 2.26. Ontario, Kanada'dan Doğa Tabanlı Çözümler için örnekler (CAP, 2022)

Doğa tabanlı çözümlerin (NbS) etkinliği, yerel koşullara ve uygulama ölçeğine bağlı olarak önemli ölçüde değişebilmektedir, ayrıca uygun maliyetli olabilmelerine rağmen, ilk yatırımları ve arazi kullanımı değişiklikleri yerel ekonomileri etkileyebilmektedir, NbS'nin daha geniş politika çerçevelerine entegre edilmesi, sektörler arası işbirliği gerektirdiği için bu konuda zorluklar da ortaya çıkabilmektedir (Turner vd., 2016, Costanza vd., 2017, Cohen-Shacham vd., 2016).

2.1.15. Adaptif Kaynak Yönetimi (Adaptive Resource Management (ARM))

Uyarlanabilir Kaynak Yönetimi, Uyarlanabilir Çevresel Değerlendirme ve Yönetimi veya Uyarlanabilir Yönetim, sistem izleme yoluyla zaman içinde belirsizliği azaltmayı amaçlayan, belirsizlik karşısında sağlam karar vermenin yapılandırılmış, yinelemeli bir süreci olarak tanımlanmıştır. Adaptif Kaynak Yönetimi (ARM), değişen koşullara göre kaynak kullanımını dinamik olarak optimize etmek için çevre yönetimi, bilgi işlem ve telekomünikasyon dahil olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılan stratejik bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım özellikle kaynak mevcudiyetinin öngörülemediği veya oldukça değişken olduğu senaryolarda hayati önem taşımaktadır (Holling, 1978, Allan ve Stankey, 2009).

Çevre yönetiminde ARM, yeni bilgilere ve değişen koşullara yanıt olarak koruma ve kaynak kullanım stratejilerinin ayarlanmasını içermektedir. Bu yaklaşım genellikle yaban hayatı ve su kaynaklarının yönetiminde uygulanmaktadır. Walters ve Holling (1990), gelecekteki kararları ve politikaları iyileştirmek için, her bir yönetim eyleminden, öğrenmeye yönelik yapılandırılmış bir yöntem sağlayabildiğini savunarak, ekolojik sistemlerde adaptif kaynak yönetimi kavramını desteklemede öncü olmuşlardır. Adaptif Kaynak Yönetiminin temel ilkeleri arasında veri toplamak için sistemin sürekli olarak gözlemlenmesi, yönetim uygulamalarını ayarlamak için geri bildirim döngülerinin kullanılması ve sonuçlara ve yeni bilimsel bulgulara dayalı olarak stratejilerin öğrenilmesi ve güncellenmesi yer almaktadır.



Şekil 2.27. Adaptif Kaynak Yönetiminin, Yağış Suyu Yönetiminde kullanımı (URL-69)

ARM'nin çevre ve su yönetimindeki uygulaması, su tahsislerinin ve kullanım düzenlemelerinin su seviyeleri, kalitesi ve kullanım modelleri hakkındaki gerçek zamanlı verilere dayalı olarak ayarlanabildiği su kaynakları yönetiminde görülmektedir (Pahl-Wostl, 2007). Sürekli değişen bir dünyada adaptif yönetim, "türlerin, insan fırsatlarının, öğrenme kurumlarının ve ekonomik seçeneklerin çeşitliliğini koruyan ve besleyen" sürdürülebilir bir geleceği desteklemeyi öneren bir karar verme çerçevesi sunarak, sürdürülebilir çözümler arayan birçok uygulamaya hitap etmektedir (EAC, 2002).

2.1.16. Korumacı Alt Bölge Tasarımı (Conservation Subdivision Design)

Korumacı Alt Bölge Tasarımı, yeşil alan ve doğal ekosistemleri daha az arzu edilen alanlara bırakarak, tipik olarak maksimum konut yoğunluğuna öncelik veren geleneksel alt bölüm gelişimine yanıt olarak geliştirilen bir kavramdır. Buna karşılık, CSD, konut birimlerini barındırmaya devam ederken, bir alanın önemli bölümlerinin gelişmemiş, korunmuş açık alan olarak muhafazasını vurgulamaktadır. Koruma amaçlı tasarımın öncülerinden Arendt'e (1996) göre bu yaklaşım sadece doğal kaynakları korumakla kalmaz, aynı zamanda konut topluluklarına estetik, rekreasyonel ve ekonomik faydalar da sağlamaktadır. Korumacı gelişim 1980'lerin başında Randall Arendt tarafından formüle edilmiştir. Arendt, 1960'lardaki çeşitli kavramları bir araya getirmiştir. Küme ve açık alan tasarımı fikrini Ian McHarg'ın "doğa ile tasarım" felsefesiyle birleştirmiştir (Doyle, 2005).



Şekil 2.28. Korumacı Alt Bölge Tasarımı örneği (GADNR, 2022)

Korumacı alt bölge tasarımının ilkeleri birkaç temel stratejiye dayanmaktadır. Sulak alanlar, ormanlık alanlar ve vahşi yaşam habitatları gibi kritik çevresel alanların haritalanmasını ve alt bölüm planının bu alanlar üzerindeki etkiyi en aza indirecek şekilde tasarlanmasını içeren doğal özelliklerin belirlenmesi ve korunması (Arendt, 1996), evleri daha küçük alanlarda kümeleyerek, daha büyük bitişik arazi parçalarının açık alan olarak bırakılabildiği, böylece daha büyük ekosistemlerin korunduğu ve habitat parçalanmasının azaltıldığı küme gelişimi (Pejchar vd., 2007), doğal hendekler ve yağmur bahçeleri kullanılarak yağış suyu yönetimi gibi sürdürülebilir yönetim uygulamalarının, ekolojik bütünlüğü ve su kalitesini korumak için entegre edilmesi (Low Impact Development

Center, 2000), açık alanlara kamusal erişimin sağlanmasıyla, toplumun doğayla etkileşimini teşvik ederek, yönetim duygusunu ve koruma bilincini geliştirme (Arendt, 1996) bu temel stratejileri kapsamaktadır.

2.1.17. Noktasal Olmayan/Dağınık Kaynak Kirliliği Yönetimi (Nonpoint Source/Diffuse Pollution Management)

Avrupa'da daha çok dağınık kirlilik olarak tanımlanan, ABD'de ise noktasal olmayan kaynak kirliliği olarak kabul gören terim, tanımlanabilir tek bir kaynaktan kaynaklanmayan kirliliği ifade eder. Birçok dağınık kaynaktan gelmekte olan, kontrol edilmesi ve yönetilmesini zorlaştıran bir kirlilik türüdür. Bu tür kirlilik genellikle yağmur sularının veya kar erimesinin zeminde akışa geçmesinden kaynaklanır. Akış ilerledikçe, doğal ve insan yapımı kirleticileri alıp götürerek, bunları göllere, nehirlere, sulak alanlara, kıyı sularına ve hatta yer altı su kaynaklarına taşımaktadır. Dağınık veya noktasal olmayan kirliliğin kaynakları genellikle tek başına önemsizdir ancak toplu olarak önemli çevresel hasarlara neden olabilmektedir. Dağınık kirlilik, tek başına su ortamı üzerinde etkisi olmayan ancak birleşerek bir havza ölçeğinde önemli bir etkiye sahip olabilecek bir dizi faaliyetten kaynaklanan potansiyel kirleticilerin taşınması sürecidir. Noktasal olmayan (Dağınık) kaynak kirliliği yönetimi ise bu durumla mücadele etmek için uygulanan tedbirler bütünüdür (Amerikan Çevre Koruma Ajansı, EPA, 2024. İskoç Çevre Koruma Ajansı, SEPA, 2024).



Şekil 2.29. Tarım arazisinden akışa geçmiş toprak ve gübre karışımı (URL-70)

Tarımsal akış, birçok alanda noktasal olmayan kirliliğin önde gelen kaynağıdır. Tarım arazilerinden gelen akış, su kütlelerinde ötrofikasyona katkıda bulunan başta azot ve fosfor olmak üzere besin maddelerini taşıyabilmektedir. Ötrofikasyon, bazıları zararlı olabilen, su yaşamını ve insan sağlığını etkileyen toksinler üreten alg patlamalarına yol açabilmektedir (Carpenter vd., 1998).

Kentsel Akış, yollar, araç yolları ve çatılar gibi geçirimsiz yüzeylerin yağış suyunun doğal olarak toprağa karışmasını engellemesidir. Bunun yerine, su hızla akarak yağlar, ağır metaller ve kimyasallar gibi kirleticileri yüzeylerden toplayarak ve su sistemlerine taşımaktadır (Arnold ve Gibbons, 1996).

Ağaç kesimi gibi ormancılık faaliyetleri önemli miktarda noktasal olmayan kaynaklı kirlilik oluşturabilir. Bitki örtüsünü ve ağaçları kaldırmak için kullanılan ağır makineler toprağı açığa çıkararak erozyon riskini artırır. Buna ek olarak, tomrukları orman dışına taşımak için kullanılan geçici yollar olan patika yolların uygunsuz şekilde inşa edilmesi ve kullanılması da noktasal olmayan kaynaklı kirliliğe katkıda bulunabilir. Bir yamacın doğal konturuna karşı inşa edilen kızak yolları özellikle erozyona eğilimlidir (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi, NOAA, 2024). Ormancılık uygulamaları nedeniyle ağaç kesimi ayrıca akarsularda erozyon ve sedimantasyonun artmasına neden olabilir, bu da balık yumurtalarını boğabilir ve sucul yaşam için habitat kalitesini düşürebilir (Ice ve Stednick, 2004).



Şekil 2.30. Noktasal olmayan kaynak kirliliği sonucu çamurlaşmış bir nehir (URL-70)

Terk edilmiş madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan drenaj veya yüzey akışı genellikle noktasal olmayan kaynak kirliliğine katkıda bulunmaktadır. Örneğin şerit madenciliğinde, istenen cevheri ortaya çıkarmak için toprağın ve bitki örtüsünün üst katmanları kaldırılmaktadır. Şerit madenciliğinin yapıldığı bir alan, madencilik faaliyetleri sona erdikten sonra uygun şekilde ıslah edilmemişse erozyon meydana gelebilmektedir. Ayrıca, hava, su ve sülfür içeren kayaların karışması, sülfürik asit ve demir hidroksit oluşumuna yol açan kimyasal reaksiyonlara neden olabilmektedir. Bu asidik akış bakır, kurşun ve cıva gibi ağır metalleri çözer. Bu metaller de akarsuları ve diğer su kaynaklarını kirletebilmektedir (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi, NOAA, 2024).



Şekil 2.31. Terkedilmiş madenlerden akan sulardan kirlenen bir nehir (GGI, 2019)

Dünya’da noktasal ve noktasal olmayan kirliliğin önüne geçmek için bazı uygulamalar yürürlüğe geçirilmiştir. Örneğin ABD Çevre Koruma Ajansı'nın Yağış suyu Programı, küçük kentsel alanların ve inşaat sahalarının yağış suyu deşarjları için izin almalarını zorunlu kılar ve bu izin kirliliği kontrol etmek için çeşitli aşamaların uygulanmasını içermektedir (ABD Çevre Koruma Ajansı, EPA, 2024).

ABD Temiz Su Yasası (Clean Water Act, CWA) da dünyadaki suları koruyucu uygulamalara bir örnektir, kirleticilerin Birleşik Devletler sularına deşarjını düzenlemek ve yüzey suları için kalite standartlarını düzenlemek için temel yapıyı oluşturmaktadır.

Özellikle CWA Bölüm 319, noktasal olmayan kirliliği ele alan yönetim programlarını uygulamaları için eyaletlere finansman ve destek sağlayarak özellikle noktasal olmayan kirliliğin önlenmesini hedeflemektedir (CWA, 2024). Kentsel ve kırsal yağış suyu yönetimi sistemleri noktasal olmayan kirliliğin yönetiminde kullanılan başlıca bileşenler olduğu için çok önemli bir role sahiptir. Noktasal olmayan kirliliğin yönetiminde yağış suyu yönetimi ve ilgili uygulamaların yanı sıra halkı bilinçlendirme çalışmaları da yapılmaktadır. Septik sistemlerin bakımının nasıl yapılacağı, kişisel bahçelerde veya tarım alanlarında kimyasal kullanımının en aza indirilmesinin önemi gibi ev ve arazi sahiplerine yönelik bilinçlendirici programlar çok önem arz etmektedir. Kamu bilgilendirmeleri ve okul eğitim programları, noktasal olmayan kirliliğinin etkileri ve bunu azaltmanın yolları hakkında farkındalık yaratabilmektedir (EPA, 2024).

2.1.18. En İyi Yönetim Uygulamaları (Best Management Practices (BMPs))

En İyi Yönetim Uygulamaları (BMP'ler), yağış suyu deşarjının kirliliğini en aza indirmek için tasarlanmış bir dizi teknik, süreç, faaliyet veya yapıdır. Bu uygulamalar, etkinliklerini en üst düzeye çıkarmak için ayrı ayrı veya birlikte uygulanabilmektedir (Lufira 2024). BMP'ler, Yeşil Altyapı-En İyi Yönetim Uygulamaları (GI-BMP) gibi doğadan ilham alan yöntemlere odaklanarak yağış suyunu yönetmek ve sel riskini azaltmak için önemlidir (Saeedi vd., 2023). Kentsel yağış suyu BMP'leri, yağış suyu akışını etkili bir şekilde yönetmeye yardımcı olan mühendislik çözümleridir (Hall vd., 2021). Su havzalarındaki çeşitli BMP'lerin optimizasyonu, çevresel etkinlik ve ekonomik faydaların dengelenmesini de içermektedir (Shen vd., 2023). BMP'ler, özellikle su kütlelerindeki besin azaltımına odaklanarak, çevre kirliliğini azaltmak için yönetim kurumları tarafından teşvik edilmektedir (Ahsan vd., 2023). BMP kavramı ilk olarak 1970'lerin ortalarında Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı tarafından su kirliliğini önlemek amacıyla ortaya atılmıştır (Shu vd., 2021). Düşük etkili kalkınma BMP'leri, kentsel yüzey akışını arıtarak ve patojenler de dahil olmak üzere kirleticileri gidererek kent öncesi hidrolojiyi eski haline getirmektedir (Peng vd., 2016). BMP'ler, rezervuar havzalarındaki besin yüklerini azaltmak ve su kalitesini iyileştirmek için etkili önlemler olarak kabul edilmektedir (Chen vd., 2022). BMP'ler, tarımsal arazilerden gelen fosfor ve azot kaynaklarını yakalamak ve kontrol etmek için su havzalarında yaygın olarak uygulanmaktadır (Woznicki ve Nejadhashemi, 2011). BMP'nin benimsenmesinin faydaları iyi derece kanıtlanmıştır, ancak tarım endüstrisinde yaygın kabul ve uygulama hala bir zorluk olarak kalmaktadır (Edwards vd., 2016). BMP'ler ayrıca, orman dere

geçişlerinden kaynaklanan sedimantasyonu azaltmak ve ormancılık faaliyetlerinden kaynaklanan su kirliliğini en aza indirmek için de kullanılmaktadır (Sparkman vd., 2017). Koruma ile ilgili BMP'lerin su havzalarındaki su kalitesi üzerindeki etkileri giderek daha fazla belgelenmektedir (Shen vd., 2023). BMP'ler, noktasal olmayan kaynaklardan gelen kirletici yüklerini azaltmak ve çeşitli ortamlarda su kalitesini iyileştirmek için önemli uygulamalardır (Rampold, 2020). BMP'lerin kentsel su havzalarındaki stratejik konumlara yerleştirilmesi, yağış suyu yönetimi ve kirlilik kontrolüne yardımcı olabilmektedir (Morris vd., 2016). Sonuç olarak, En İyi Yönetim Uygulamalarının etkileri geniş kapsamlıdır ve çevresel sürdürülebilirliğin teşvik edilmesi, su kaynaklarının korunması ve insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkilerinin azaltılması için gereklidir.

2.1.19. Sünger Şehir (Sponge City)

Çin'de ortaya çıkan Sünger Şehir konsepti, çevresel değişikliklere ve doğal afetlere karşı dayanıklılığı artırmayı amaçlayan kentsel yağış suyu yönetimine yönelik kapsamlı bir yaklaşımdır. Su yönetimini iyileştirmek, sel riskini azaltmak ve sürdürülebilir kentsel kalkınmayı teşvik etmek için çeşitli strateji ve teknolojilerin uygulanmasını içerir. Konsept, şehrin yağış suyunu emme, depolama ve arıtma kapasitesini artırmak için yeşil altyapı ve geçirgen zeminler gibi doğaya dayalı çözümleri entegre eder. Sünger Şehirler, doğal süreçleri en üst düzeye çıkararak ve yüzey akışını en aza indirerek su kıtlığı, su kirliliği ve kentsel sel sorunlarını etkili bir şekilde ele alabilmektedir (Wang ve diğerleri (2019)).



Şekil 2.32. Sünger Şehir Haikou'da teraslanmış sulak alanlar, Çin (URL-71)

Sünger Şehirlerin temel fikri, süngerlerin doğal su emme ve tutma yeteneklerini taklit ederek kentsel alanların yağış suyunu daha yönetmesini etmesini sağlamak ve drenaj sistemleri üzerindeki baskıyı hafifletmektir. Sünger Şehirler, yeşil çatılar, yağmur bahçeleri ve geçirgen yüzeyler gibi özellikleri bir araya getirerek su depolama kapasitesini artırabilmekte, yeraltı suyunun yeniden şarj edilmesini teşvik edebilmekte ve doğal filtreleme süreçleri yoluyla su kalitesini artırabilmektedir (Deng ve Zhang, 2022). Bu şehirler, sel kontrolü ve drenaj güvenliğini sağlarken yağış suyunun doğal birikimine, nüfuzuna ve arıtılmasına öncelik vermekte, böylece yağış suyu kaynaklarının kullanımını ve ekolojik restorasyonu teşvik etmektedir (Deng ve Zhang, 2022).



Şekil 2.33. Şangay, Çin “Yıldızlı Gökyüzü Diyarı” isimli Sünger Park (CSCEC, 2021)

Sünger Şehir konsepti, kentsel yağış suyu yönetimini çevresel sürdürülebilirlikle bütünleştirmenin önemini vurgulamaktadır. Sünger Şehirler, yeşil alanlar ve su depolama tesisleri gibi doğal ve yapay önlemleri bir araya getirerek yağış suyu akışını etkili bir şekilde yönetebilir, kentsel selleri azaltabilmekle beraber su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını teşvik etmektedir. Bu konsept, ekolojik öncelik ilkeleriyle uyumludur ve kentsel dayanıklılığı ve ekolojik sağlığı artırmak için yağış suyunun birikimini, sızmasını ve arıtılmasını en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır (Kong vd., 2021). Özetle, Sünger Şehir kavramı kentsel su yönetiminde bir değişimi ifade etmekte ve daha dayanıklı ve çevre dostu şehirler geliştirmek için yeşil altyapı, sürdürülebilir drenaj sistemleri ve ekolojik restorasyonun entegre edilmesinin önemini vurgulamaktadır.

2.2. YAĞIŞ SUYU YÖNETİMİ KAVRAMININ DEĞİŞİMİ

Yağış suyu yönetimi kavramının evrimi, geleneksel, altyapı ağırlıklı yöntemler yerine çok yönlü, çevresel olarak entegre stratejileri benimsemeye yönelik dinamik bir değişimi yansıtmaktadır. Kentsel alanlar genişledikçe ve iklim değişikliğinin etkileri yoğunlaştıkça, yağış suyu yönetimi yaklaşımı da önemli ölçüde değişmiştir. Başlangıçta kentsel taşkınları önlemek için suyun yönünü değiştirmeye odaklanan kavram, daha geniş bir ekolojik ve sürdürülebilir uygulamalar yelpazesini içerecek şekilde büyümüştür. Bu modern yöntemler, doğal su döngüsünü korumayı ve kentsel peyzajların direncini artırmayı vurgulamakta, yağış suyunun çevre içinde emilmesini ve yeniden kullanılmasını teşvik etmektedir. Bu ilerici genişleme, yalnızca sel ve kirliliğin acil zorluklarını ele almakla kalmayıp, aynı zamanda uzun vadeli ekolojik sağlık ve sürdürülebilirliği kentsel planlamaya entegre ederek, şehirlerin doğal su sistemleriyle nasıl etkileşime girdiği konusunda önemli bir ilerlemeyi vurgulamaktadır. Alana eklenen her kavram, uygulama ve yaklaşım Yağış Suyu Yönetimi kavramını genişletip, daha yenilikçi, sürdürülebilir, entegre ve bütüncül çözümlere ulaştırmaktadır. Stratejileri yenilemeye ve iyileştirmeye devam ederken, yağış suyu yönetiminin süregelen evrimi, gelecek nesiller için daha sürdürülebilir ve yaşanabilir şehirler yaratma arayışında önemli bir yere sahip olmaya devam etmektedir. Bu mercekten bakıldığında, bu durum sadece teknik bir zorluk değil, toplumlarımızın çevresel, sosyal ve ekonomik sağlığını geliştirmek için hayati bir fırsattır.

Çizelge 2.1. Yağış Suyu Yönetimi ile İlgili Kavramlar, Menşei Ülkeleri, Kısa Tanımları ve Ayırt Edici Özellikleri

Kavram	Menşei Ülke	Kısa Tanımları ve Ayırt Edici Özellikleri
Gri Altyapı (Gray Infrastructure)	Global	Su yönetimi için kanalizasyonlar, borular ve atık su arıtma tesisleri gibi geleneksel, mühendislik ürünü yapıları içermektedir.
Yeşil Altyapı (Green Infrastructure)	Global	Suyu yönetmek, çevresel ve toplumsal faydalar sağlamak için doğal süreçleri kullanan veya taklit eden sistemler ve uygulamalardır. Çoğu yağış suyu yönetimi yaklaşımının ortak çatı terimidir.

Çizelge 2.2 (devamı). Yağış Suyu Yönetimi ile İlgili Kavramlar, Menşei Ülkeleri, Kısa Tanımları ve Ayırt Edici Özellikleri

<p>Mavi Altyapı (Blue Infrastructure)</p>	<p>Global</p>	<p>Nehirler, göller ve kıyı formları dahil olmak üzere su kütlelerini rekreasyonel ve ekolojik faydalar için kentsel gelişime entegre eden su yönetimi stratejileridir. Özellikle kentsel su kütlelerinin, şehirlerin rekreasyon faaliyetler alanlarına dönüşmesini sağlaması ile ön plana çıkmaktadır.</p>
<p>Düşük Etkili Gelişim (Low Impact Development (LID))</p>	<p>ABD ve Kanada</p>	<p>Yağış suyunu kaynağına mümkün olduğunca yakın yönetmek için çeşitli uygulamaları kullanan ve yeşil altyapı bileşenlerini içeren bir yaklaşımdır. Yağış suyu yönetiminde, estetik tasarımlar ve yeniden değerlendirilmiş işlevsiz alanların işlev kazandırılmasıyla fark yaratmaktadır.</p>
<p>Düşük Etkili Kentsel Tasarım ve Gelişim (Low Impact Urban Design and Development (LIUDD))</p>	<p>Yeni Zelanda</p>	<p>Kapsamlı arazi kullanım planlaması yoluyla çevresel etkiyi en aza indirmeyi ve sürdürülebilirliği artırmayı amaçlayan kentsel planlama ve tasarım stratejisidir. Diğer yaklaşımlardan ayrılan özelliği, kentsel gelişimde ekolojik korumanın birincil önceliği olmasıdır.</p>
<p>Doğal Taşkın Yönetimi (Natural Flood Management (NFM))</p>	<p>Birleşik Krallık</p>	<p>Taşkın riskini yönetmek için doğal hidrolojik ve morfolojik süreçleri, özellikleri ve karakteristikleri kullanmaya çalışan tekniklerdir. Sulak alanlar oluşturma, akarsu kıyısı tamponu gibi uygulamalarla suyu ve doğal araziyi kullanarak, suya karşı önlem alması diğer yaklaşımlardan ayıran özellikleridir.</p>
<p>Entegre Havza Yönetimi (Integrated Watershed Management (IWM))</p>	<p>Global</p>	<p>Bütün bir su havzası boyunca arazi ve su yönetimini koordine eden bir planlama süreci ve uygulamalar bütünüdür. Multidisipliner ve bütüncül bakış açısıyla tüm havzanın değerlendirilip yönetilmesi ile diğer yaklaşımlardan ayrılmaktadır.</p>

Çizelge 2.3 (devamı). Yağış Suyu Yönetimi ile İlgili Kavramlar, Menşei Ülkeleri, Kısa Tanımları ve Ayırt Edici Özellikleri

Entegre Su Kaynakları Yönetimi (Integrated Water Resources Management (IWRM))	Global	Sürdürülebilirlikten ödün vermeden ekonomik ve sosyal refahı en üst düzeye çıkarmak için su, toprak ve ilgili kaynakların koordineli bir şekilde yönetilmesini teşvik eden bir süreçtir. Özellikle sınırlı su kaynaklarının, çeşitli yollarla elde edilmesi sonrası, filtrelenip tekrar kullanılmasını sağlaması öne çıkan farklı yönüdür.
Suya Duyarlı Kentsel Tasarım (Water-Sensitive Urban Design (WSUD))	Avustralya	Kentsel planlamayı kentsel su döngüsünün yönetimi ile bütünleştiren disiplinler arası bir yaklaşımdır. Suyu ön planda tutan ve yeniden kullanımını teşvik eden süreçleriyle diğer yaklaşımlardan ayrılmaktadır.
Sürdürülebilir Drenaj Sistemleri (Sustainable Drainage Systems (SuDS))	Birleşik Krallık	Yüzey suyu drenaj deşarjları ile ilgili olarak yeni ve mevcut gelişmelerin potansiyel olumsuz etkilerini azaltmak için tasarlanmış sistemler ve uygulamalardır. Doğal bitki türlerini, yağış suyu yönetimi sistemlerine entegre ederek daha sürdürülebilir sistemler oluşturma önceliği benzer yaklaşımlardan ayrılan özelliğidir.
Kırsal Sürdürülebilir Drenaj Sistemleri (Rural Sustainable Drainage Systems (RSuDS))	Birleşik Krallık	SuDS'ye benzer, ancak özellikle kırsal alanlar için yüzey akışını yönetmek ve su kalitesini artırmak için uyarlanmış sistemlerdir. Spesifik olarak kırsal alanlara odaklanmalarıyla diğer uygulamalardan ayrılmaktadır.
Biyo-Ekolojik Drenaj Sistemleri (Bio-ecological Drainage Systems (BIOECODS))	Malezya	Özellikle kentsel alanlarda biyolojik filtrasyon ve ekolojik denge yoluyla doğal su arıtma süreçlerini taklit etmek için tasarlanmış sistemlerdir. Akademisyenler tarafından Üniversite ve kamu kurumlarında uygulanmaları farklı yönleridir.

Çizelge 2.4 (devamı). Yağış Suyu Yönetimi ile İlgili Kavramlar, Menşei Ülkeleri, Kısa Tanımları ve Ayırt Edici Özellikleri

Doğal Drenaj Sistemleri (Natural Drainage Systems (NDS))	ABD	Doğal hidrolojik modellerin taklidi yoluyla yağış suyu akışını yöneten yaklaşımlardır. Benzer uygulamalardan farklı olarak kullanılan sistemlerde daha doğal form, bitkilendirme ve peyzaj bulunmaktadır.
Doğal Tabanlı Çözümler (Nature-based Solutions)	Global	Toplumsal zorlukları etkili ve uyarlanabilir bir şekilde ele almak için doğal veya değiştirilmiş ekosistemleri koruyan, sürdürülebilir bir şekilde yöneten ve restore eden stratejilerdir. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı daha dirençli ekosistemler oluşturmak için benzer yaklaşımlardan daha geniş ve bütüncül bir bakış açısı sunmasıyla ayrılmaktadır.
Adaptif Kaynak Yönetimi (Adaptive Resource Management)	Global	Uygulanan stratejilerin sonuçlarından öğrenerek doğal kaynak yönetimi politikalarını ve uygulamalarını iyileştirmeye yönelik sistematik bir süreçtir. Geri dönüşler üzerinden kendini geliştirebilme ve daha verimli çözümler üretebilme kabiliyeti diğer yaklaşımlardan ayrılan özelliğidir.
Korumacı Alt Bölge Tasarımı (Conservation Subdivision Design)	ABD	Arazinin rekreasyon, ortak açık alan veya doğal alan olarak korunmasına izin vermek için konutları alanın bir bölümünde kümeleyen bir geliştirme tasarım stratejisidir. Arazi kullanımında sorunların oluşmadan çözülmesini hedeflemesi ile diğer yaklaşımlardan ayrılmaktadır.
Noktasal Olmayan/Dağınık Kaynak Kirliliği Yönetimi (Nonpoint Source (Diffuse) Pollution Management)	ABD ve Birleşik Krallık	Tarım arazileri ve kentsel alanlardan gelen yüzeysel akış gibi dağınık kaynaklardan gelen kirliliği azaltmaya yönelik stratejileridir. Su kütlelerine karışan kirleticilerin azaltılması ve önlenmesi üzerine spesifik bir amaca hizmet etmesiyle diğer yaklaşımlardan ayrılmaktadır.

Çizelge 2.5 (devamı). Yağış Suyu Yönetimi ile İlgili Kavramlar, Menşei Ülkeleri, Kısa Tanımları ve Ayırt Edici Özellikleri

En İyi Yönetim Uygulamaları (Best Management Practices (BMPs))	ABD ve Kanada	Yağış suyunun yönetimi ve noktasal olmayan kaynaklardan gelen kirliliğin önlenmesi ve azaltılması için etkili ve uygulanabilir araçlar olduğu belirlenen uygulama kombinasyonlarıdır. Şehirler için bu bağlamda kullanılabilir yol gösterici bir strateji ve uygulama kılavuzu olarak işlev sunmasıyla diğer kavramlardan ayrılır.
Sünger Şehir (Sponge City)	Çin	Yağış suyunu tutup yakalayarak, bunu yeraltı sularını yenilemek ve selleri azaltmak için kullanan, kentsel iklim etkilerine karşı dayanıklılığı artırmaya odaklanan bir yaklaşımdır. Kent ölçeğinde yağış suyunu yönetmesi ayırt edici özelliğidir.

2.3. DÜNYA'DAN ÖNEMLİ ÖRNEKLER

The High Line Park, New York City, ABD - Yükseltilmiş bir demiryolu olan bu doğrusal park, yağış suyunu emen, yüzey akışını azaltan ve şiddetli yağışlar sırasında kanalizasyon sistemi üzerindeki yükü azaltan doğal bir bitkilendirme stratejisine sahiptir.



Şekil 2.34. The High Line Park, Peyzaj mimarlığı, kentsel tasarım ve ekoloji gibi birçok disiplinden yararlanılarak “yaşayan bir sistem” olarak yeniden tasarlanmıştır. (Url-72)

Bishan-Ang Mo Kio Parkı, Singapur - Heykeltıraş, sanatçı, peyzaj mimarı ve disiplinler arası şehir planlamacısı olan Herbert Dreiseitl'in tasarladığı bu park, yağış suyu yönetimi çözümü olarak hareket eden doğallaştırılmış bir nehrin iyi bir örneğidir. Beton bir kanalı, taşkın yönetimi için çok etkili olan değişken su seviyelerini barındırabilen biyo-mühendislik ürünü nehir kenarları ile kıvrımlı bir nehre dönüştürmüştür.



Şekil 2.35. Bishan-Ang Mo Kio Parkı (Url)

Hamburg Su Döngüsü, Almanya - Hamburg'un Jenfelder Au bölgesinde, yağış suyu ve gri suyun ayrıldığı ve farklı şekilde arıtıldığı bir konsept uygulanmaktadır. Bölgede yağış suyunu toplayıp kanalizasyon sistemine gönderen, peyzaj sulamasında kullanan ve yeraltı suyunu yenileyen bir yağış suyu bulvarı ve çeşitli yağış suyu yönetimi bileşenleri bulunmaktadır.



Şekil 2.36. Hamburg, Jenfelder Au Bölgesi Yağış Suyu Bulvarı (HW, 2024)

Sünger Şehir Girişimi, Çin - Bu girişim, Çin genelinde yağış suyunun en az %70'inin emilmesi ve yeniden kullanılması için tasarlanmış çok sayıda projeyi içermektedir. Örneğin Qinghuangdao Şehri, kentsel taşkınları azaltmak ve su kalitesini artırmak için geçirgen kaldırımlar ve yeşil çatılar gibi bileşenleri yoğun olarak uygulamıştır.



Şekil 2.37. Qinghuangdao, Tanghe Nehri etrafına yapılan Red Ribbon Parkı (Url-73)

Yanweizhou Park, Jinhua, Çin - Çin'in Sünger şehir konseptinin bir parçası olarak Jinhua Şehrindeki Yanweizhou Parkı, büyük ölçekli sel yönetimine ekolojik bir çözüm olarak tasarlanmış doğal bir nehir kıyısı peyzaj parkını sergilemektedir.



Şekil 2.38. Yanweizhou Park, Sünger Şehir riparian peyzaj uygulaması (Url-74)

Tanner Springs Park, Portland, ABD - Portland'ın Pearl Bölgesi'ndeki bu park, doğal bir yağış suyu filtreleme sistemi olarak işlev görmektedir. Bir sulak alan ve su arıtma sistemi olarak ikiye katlanan bir sanat enstalasyonuna sahiptir.



Şekil 2.39. Tanner Springs Park, Sulak alan odaklı bir kent parkı (Greenworks, 2023)

Olimpik Orman Parkı, Pekin, Çin - 2008 Olimpiyatları için inşa edilen bu park, göllerini,

sulak alanlarını ve akarsularını yağış suyunu yönetmek, su kalitesini artırmak ve yerel vahşi yaşam için bir habitat oluşturmak için kullanılmaktadır.



Şekil 2.40. Pekin'deki Olimpik Orman Parkı'nın kuşbakışı görüntüsü (Url-75)

Prince's Island Park, Calgary, Kanada - Bu park Calgary'nin Şehir Merkezi Sel Bariyeri sisteminin bir parçasıdır. Yağış suyunu doğal olarak yöneten ve taşkınları azaltan geniş sulak alanlara ve doğal bitki örtüsüne sahiptir.



Şekil 2.41. Prince's Island Park içinden geçen Bow Nehri (Url-76)

Thammasat Üniversitesi, Bangkok, Tayland – Thammasat Üniversitesi'nin, yağış suyu akışını yavaşlatmak üzere tasarlanmış basamaklı çatıya sahip çatı tarlaları, kampüs için gıda yetiştirirken yağış suyunu emmeye, filtrelemeye ve arıtmaya yardımcı olmak üzere teras boyunca benzersiz mikro su havzaları kümeleri oluşturmaktadır.



Şekil 2.42. Thammasat Üniversitesi Çatı Tarlaları (WRI India, 2020)

Kronsberg, Hannover, Almanya - Bu banliyö sürdürülebilirlik göz önünde bulundurularak geliştirilmiştir ve yeşil çatılar, kanallar ve geçirgen kaplamalar içeren kapsamlı bir yağış suyu yönetim sistemi içermektedir.



Şekil 2.43. Kronsberg kapsamlı yağış suyu yönetimi sistemleri barındırmakta (Url-77)

Lurie Bahçesi, Millennium Park, Chicago, ABD - Bu bahçede yerel bitkiler ve yağış suyunu toplayıp filtreleyen, ek su ihtiyacını azaltan ve şehrin drenaj sistemine akışı en aza indiren sofistike bir alt sulama sistemi kullanılmaktadır.



Şekil 2.44. Lurie Bahçesi Orta Batı kırlarını temsil eden, sürekli gelişen bir renk ve doku paleti oluşturmaktadır (TCLF, 2024)

Cheonggyecheon Deresi, Seul, Güney Kore - Başlangıçta üstü kapalı bir otoyol olan bu restore edilmiş dere şimdi Seul'ün merkezi bir parçası haline gelmiştir. İnsanlar için popüler bir yürüyüş noktasıdır ve sık sık fener festivalleri ile diğer mevsimsel ve kültürel etkinliklere ev sahipliği yapmaktadır. Proje, taşkınları kontrol etmek ve su kalitesini artırmak için önemli su yönetimi stratejileri içermekte ve bölgeyi popüler bir kamusal alana dönüştürmektedir.



Şekil 2.45. Seul şehir merkezinde bulunan Cheonggyecheon Deresi estetik ve işlevsel özellikleri olan popüler bir alandır (Url-78)

King's Cross Pond Club, Londra, Birleşik Krallık - Kings Cross bölgesinin yenilenmesinin bir parçası olan bu insan yapımı havuzu, suyu temizlemek ve yağış suyu akışını yönetmek için bitkiler kullanmakta ve sürdürülebilir su yönetiminin canlı bir örneği olarak hareket etmektedir. Çevrilmiş alan, doğal çevreyi minyatür olarak, hareket halindeki bir peyzaj, su döngüsü, bitki döngüsü ve toprak döngüsü gibi ekolojik döngülerin bir tiyatrosu olarak sunmaktadır:



Şekil 2.46. King's Cross Pond Club'da Su, bitkiler ve doğal filtrelemeyi desteklemek için bir dizi filtre kullanılarak doğal süreçlerle arıtılır (OOZE, 2024)

Dockside Green, Victoria, Kanada - Bu mahalle, yeşil çatılar, yapay sulak alanlar ve su tasarruflu peyzajlar içeren kapsamlı bir yağış suyu yönetim sistemi ile tasarlanmıştır. Tüm suyun arıtıldığı ve yerinde yeniden kullanıldığı kapalı döngü bir su sistemi olmayı hedeflemektedir.



Şekil 2.47. Dockside Green, sürdürülebilir mahalle tasarımına kapsamlı bir örnektir
(Url-79)

Walnut Creek Sulak Alan Parkı, Raleigh, ABD - Park, rekreasyon ve yağış suyu kalitesinin artırılması gibi ikili bir amaca hizmet etmektedir. Yağış suyunu Walnut Creek'e girmeden önce doğal olarak arıtmak, su kalitesini artırmak ve vahşi yaşam için habitat sağlamak için sulak alanlar kullanır.



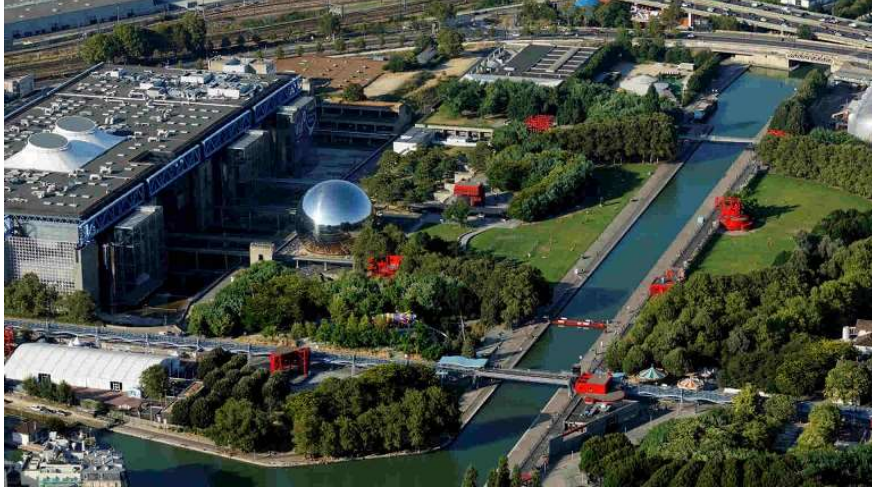
Şekil 2.48. Walnut Creek Sulak Alan Parkı, ekolojik faydalarının yanında eğitim merkezleri de barındırarak doğal yaşam hakkında farkındalık yaratmaktadır (PC, 2024)

Sürdürülebilir Kaldırımlar, Portland, ABD - Portland, yağış suyunu yönetmek için şehir genelinde yeşil sokak projeleri uygulamıştır. Bunlar arasında geçirgen kaldırımlar, sokak ağaçları ve yüzey akışını toplayan, filtreleyen ve emen yağmur bahçeleri yer almaktadır.



Şekil 2.49. Portland yeşil sokak uygulamalarından bir örnek (ASU, 2018)

Parc de la Villette, Paris, Fransa - Bu park, sanatsal enstalasyonları işlevsellikle bütünleştiren yenilikçi bir yağış suyu yönetim sistemine sahiptir. Yağış suyunu etkin bir şekilde yönetmek için park boyunca su kanalları, havzalar ve geçirgen yüzeyler kullanılmıştır.



Şekil 2.50. Paris'teki Parc de la Villette, dekonstrüktivizm hareketinin öncü ve en etkili projelerinden biridir (Url-80)

Waterplein Benthemplein, Rotterdam, Hollanda - Bu su meydanı, rekreasyon alanı ile yağmur suyu depolamayı birleştiriyor. Şiddetli yağışlar sırasında meydan, çevredeki caddelerden gelen fazla suyu toplayarak su baskınlarını önlüyor ve suyu daha sonra kullanmak veya yavaş salınmak üzere tutmaktadır.



Şekil 2.51. Benthemplein su meydanında kaykay pisti ve basketbol kortu aşırı yağış dönemlerinde suyu toplayarak su havzalarına dönüşmektedir (Url-81)

The Enabling Village, Singapur - Bu topluluk alanı, yeşil altyapı ve erişilebilirliği sürdürülebilirlikle bütünleştirmektedir. Geçirgen kaldırımlar, yağmur bahçeleri ve yüzey akışını azaltmak ve yeraltı suyunun yeniden şarj edilmesini teşvik etmek için kapsamlı bir yağış suyu yönetim sistemine sahiptir.



Şekil 2.52. Proje alanı, engelli insanları ve toplumu birbirine bağlayan kapsayıcı bir alan olan “Enabling Village” olarak yeniden tasarlanmıştır (Url-82)

Augustenborg Botanik Çatı Bahçesi, Malmö, İsveç - Avrupa'nın en büyük botanik çatı bahçelerinden biri olan bu yapı, yağış suyunu etkin bir şekilde yönetmek üzere tasarlanmıştır. Kullanılan yeşil çatı sistemleri yağış suyunu emmekte, yüzey akışını azaltmakta ve binaların yalıtımını iyileştirmektedir.



Şekil 2.53. İskandinav Yeşil Çatı Enstitüsü'ne kurulmuş Botanik Çatı Bahçesi (Url-83)

Rosedale Vadisi, Toronto, Kanada - Bu proje, yağış suyu yönetimini geliştirmek ve su habitatlarını restore etmek için dağ geçidi sisteminin bir bölümünün yeniden oluşturulmasını içermektedir. Su akışını yavaşlatmak ve kirleticileri filtrelemek için doğal peyzaj kullanılmaktadır.



Şekil 2.54. Toronto Vadi Strateji Planında önemli bir yeri olan Rosedale Vadisi (UofT, 2016)

Zollhallen Plaza, Freiburg, Almanya - Eski bir g m ruk sahasında yer alan bu kentsel plaza, yağış suyunu yönetmek için geçirgen zeminler ve infiltrasyonu ön planda tutan yenilikçi peyzaj tasarımları kullanmaktadır. Şiddetli yağışlar sırasında suyu tutabilen ve sel risklerini azaltan bir kamusal alan olarak hizmet vermektedir.



Şekil 2.55. Zollhallen Plaza'nın yağış su yönetimiyle 100 yıllık yağışlara bile dayanabileceği  ng r ld ğinden, plaza Şehrin drenaj sistemine bağlı değildir (Url-84)

Punggol Su Yolu, Singapur - Singapur'un ilk 'eko-kasabası' olarak bilinen Punggol, yağış suyunu yönetmek ve rekreasyon ve biyoçeşitlilik için mavi-yeşil bir ağ oluşturmak üzere suya duyarlı kentsel tasarımıyla entegre edilmiş, kasabayı boydan boya kesen 4,2 km insan yapımı bir su yoluna sahiptir.



Şekil 2.56. Punggol su yolu, eko-kasaba projesiyle, kentin içinden geçmektedir (Url-85)

Kopenhag İklim Uyum Planı, Kopenhag, Danimarka - Bu plan kapsamında şehir, yeşil çatılar, geçirgen zeminler ve şiddetli yağışlar sırasında su tutma alanı olarak işlev gören parklar gibi çeşitli yeşil altyapı projelerini hayata geçirmiştir.



Şekil 2.57. Kopenhag çeşitli ve kapsamlı yağış suyu yönetimi sistemlerini bir arada kullanmaktadır (Url-86)

Buffalo Bayou Parkı, Houston, ABD - Houston'daki bu kentsel park, sel kontrolü ve su arıtmaya yardımcı olan doğal peyzaj, biyolojik hendekler ve sulak alanlara sahiptir. Kentsel peyzaj alanlarının nasıl etkili yağış suyu yönetim sistemleri olarak işlev görebileceğini göstermektedir.



Şekil 2.58. Buffalo Bayou parkı şehrin içindeki 160 dönümlük yeşil alanı (Url-87)

Floodable Park Rio, Madrid, İspanya - Madrid Rio parkı bir otoyolu, köprüler, kentsel bir plaj ve şiddetli yağışlar sırasında kontrollü bir şekilde taşıyabilen, yağış suyunun yönetilmesine ve şehir kanalizasyonları üzerindeki baskının azaltılmasına yardımcı olan bir dizi bahçeyi içeren nehir kenarında bir parka dönüştüren büyük ölçekli bir kentsel projedir.



Şekil 2.59. Madrid'de bulunan Rio parkı otoyolun parka çevrilmesiyle oluşturulmuş aşırı yağışlar sırasında kontrollü taşıyabilen bir parktır (Url-88)

Swansea Körfezi Gelgit Lagünü, Swansea, Birleşik Krallık - Öncelikle yenilenebilir enerji projesi olmakla birlikte, mavi alt yapı olarak önerilen bu lagün aynı zamanda gelgit değişimleri ve bariyerleri kullanarak yağış suyunu yönetme ve sel risklerini azaltma kapasitesine sahip olacaktır.



Şekil 2.60. Swansea Gelgit Lagünü, altı millik deniz bariyeri görselleştirmesi (Url-89)

Corktown Common, Toronto, Kanada - Bu park, şehir merkezi için bir sel koruma bariyeri olarak hizmet vermektedir. Sulak alanlar, yerel bitkiler ve yağış suyunu doğal olarak filtreleyen ve yöneten bir bataklık içerirken aynı zamanda güzel bir rekreasyon alanı sağlamaktadır.



Şekil 2.61. Corktown Common, Yağış suyu yönetimi önceliğiyle yapılmış Kanada'nın örnek projelerindendir (Url-90)

The Lowline, New York City, ABD - Güneş ışığını yeraltına yönlendirerek bitki ve ağaçların gelişmesini sağlamak için yenilikçi teknoloji kullanmayı planlayan bir yeraltı parkı projesidir. Ayrıca, yeraltı su özelliklerini kullanarak kentsel akışı yönetmek için tasarımlar da içermektedir.



Şekil 2.62. Yeraltı parkı The Lowline'dan bir bitki adası (Url-91)

Västra Hamnen, Malmö, İsveç - Su akışını yönetmek ve su kalitesini artırmak için açık hendekler ve yeşil çatılar kullanan yağış suyu yönetim sistemleri de dahil olmak üzere sürdürülebilir tasarımıyla dikkat çeken bir kentsel gelişim.



Şekil 2.63. Västra Hamnen, Malmö Çatı Bahçeleri (Url-92)

Teardrop Park, New York City, ABD - Bu park, yağış suyunu doğal olarak toprağa süzen bir kaya kompozisyonuna sahiptir. Gerçirgen zeminler, jeotermal iklimlendirme, geri dönüştürülmüş malzemeler ve doğal bitkiler gibi çeşitli sürdürülebilir tasarım unsurları içermektedir.



Şekil 2.64. Kayaları kullanan eşsiz tasarımıyla Teardrop Park'tan bir bölüm (Url-93)

SMART Tünel, Kuala Lumpur, Malezya - Bu, şehir merkezindeki selleri kontrol etmeye yardımcı olan birleşik bir yağış suyu drenajı ve yol yapısıdır. Şiddetli yağmurlar sırasında tünel, sel suyunu yönlendirmek için bir kanal işlevi görürken, kuru koşullar sırasında bir otoyol olarak çalışır.



Şekil 2.65. SMART Tünel şiddetli yağışlar sırasında etkili bir yapıdır (Url-94)

Houtan Parkı, Şangay, Çin - 2010 Dünya Fuarı için inşa edilen Huangpu nehri kıyısındaki bu park, kentsel yüzey akışını temizleyen, taşkın kontrolü sağlayan ve nehir boyunca habitatı restore eden sürdürülebilir peyzajlar içermektedir.



Şekil 2.66. Houtan Parkında, suyun hareketini yavaşlatmak için otoyol ile nehir arasında riparian teraslar oluşturulmuştur (TCLF, 2024)

The Goods Line, Sidney, Avustralya - Kullanılmayan bir demiryolu hattı üzerine inşa edilen doğrusal park, yağış suyunu toplayan ve yeniden kullanan özelliklerin yanı sıra kentsel ısıyı azaltmak ve hava kalitesini iyileştirmek için doğal bitkileri de içermektedir.



Şekil 2.67. The Goods Line, bağlantılı, sürdürülebilir ve yenilikçi bir Sidney vizyonunun öncülerindedir (Url-95)

2.4. TÜRKİYE'DE YAĞIŞ SUYU YÖNETİMİ

Türkiye'de yağış suyu yönetimi konusunda çeşitli yasal düzenlemeler ve politikalar uygulanmaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, belediyeler ve diğer ilgili kurumlar bu konuda çeşitli projeler ve çalışmalar yürütmektedir. Konu ile ilgili Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın hazırladığı, Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik en kapsamlı yasal altyapıyı oluşturmaktadır. Yönetmelik genel olarak özetlendiğinde; Yönetmeliğin amacı, yağmursuyu toplama, depolama ve deşarj sistemlerinin planlanması, tasarımı, projelendirilmesi, yapımı ve işletilmesine ilişkin usul ve esasları düzenlemektir. Yönetmelik, halk sağlığı ve güvenliği, çevrenin korunması ve sistemin sürdürülebilirliğini esas alarak, içme suyu kaynaklarının suyla taşınan kirliliklerden korunmasını amaçlar. Dayanağı, 29 Haziran 2011 tarihli ve 644 sayılı Kanun Hükmünde Kararname'dir. Tanımlar kısmında, yağmursuyu sistemlerinin bileşenleri ve işleyişiyle ilgili çeşitli terimler açıklanır. Bu terimler arasında, akış süresi, alıcı ortam, ayırık ve birleşik sistemler, basınçlı sistemler, drenaj sistemi, fitting, hidrolik kapasite ve yüzeysel akış gibi kavramlar bulunur. Genel esaslar kısmında, yağmursuyu sistemlerinin planlanması, tasarımı, projelendirilmesi, yapımı ve işletilmesinde çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan en uygun sistemin seçilmesi gerektiği vurgulanır. Sistemlerin gürültü ve titreşimi en aza indirecek şekilde tasarlanması, malzemelerin geri dönüşüm ve tekrar kullanımının hesaba katılması, bakım ve onarım işlemlerinin güvenli ve sağlıklı bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Güzergah seçimi ve kent planlaması ile ilgili esaslarda, yağmursuyu kanallarının kamunun ortak kullanımına bırakılmış arazilerden geçirilmesi, mümkün değilse özel mülkiyete konu taşınmazlardan geçirilmesi, kamulaştırma ve irtifak hakkı tesisine ilişkin usuller açıklanır. Kent planlaması ile teknik altyapı planlaması birlikte ve koordineli olarak hazırlanır. Etüt, planlama ve fizibilite esaslarında, yağmursuyu projelerinin mevcut ve gelecekteki koşullar ile maliyet dikkate alınarak değerlendirilmesi gerektiği belirtilir. Etüt çalışmaları kapsamında yağış verileri, süre-şiddet-frekans eğrileri, taşkın riski gibi unsurlar incelenir. Planlama sürecinde ekonomik ve teknik karşılaştırmalar yapılarak alternatif sistemler belirlenir ve öneriler geliştirilir. Tasarım ve projelendirme esaslarında, yağmursuyu sistemlerinin güzergahı belirlenir ve sağlık ve güvenlik riski oluşturmadan planlanır. Tasarımda malzeme seçimi, hidrolik hesaplar ve kanal boyutlandırma kriterleri gibi teknik detaylar açıklanır. Yapım esaslarında, inşaat personeli ve diğer insanların sağlığı ve güvenliği ile mevcut altyapı sistemlerinin etkilenmemesi için uygun zamanlama ve çevresel koşullar dikkate alınır.

Boru hatlarının geometrisi, akış performansı, sızdırmazlık ve uygun yataklama gibi hususlar göz önünde bulundurulur. İşletme ve bakım esaslarında, yağmursuyu sistemi işletmeye alındıktan sonra temizlik ve bakım yapılması gerektiği, acil durum planları hazırlanması ve tıkanma gibi sorunların çözümü için uygun yöntemlerin uygulanması gerektiği belirtilir. Sistemin işleyişini etkileyen yapısal sorunların çözümü ve bakım işlemleri için belirli prosedürler izlenir. Yönetmelik, 23 Haziran 2017 itibarıyla yürürlüğe girmiştir ve hükümleri Çevre ve Şehircilik Bakanı tarafından yürütülmektedir (Resmi Gazete, 2023).

Yağış suyu yönetimi ile ilgili önemli bir örnek de, İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından 16/09/2022 tarihinde yürürlüğe giren, Türkiye'deki ilk sünger kent yönetmeliği olan ve İzmir sınırları içinde sünger kent oluşturma çalışmalarını kapsayan “Sünger Kent Uygulamaları Yönetmeliği” olmuştur. Bu yönetmelik, sünger kent yaklaşımı ve yeşil altyapı yöntemleri ile yağmur suyu yönetiminin sağlanmasını ve taşkın riskinin azaltılmasını amaçlar. İklim değişikliği nedeniyle artan şiddetli yağmur ve sel felaketlerine karşı kenti korumak için, geçirimsiz yüzeylerin oluşturduğu taşkın riskini azaltarak yağışları kontrollü bir şekilde toplayıp yeraltı sularını beslemeyi hedefler. Yönetmelik, İklim Değişikliği ve Sıfır Atık Dairesi Başkanlığı ile Su Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi tarafından hazırlanmıştır. Ayrıca SüngerKent İzmir Doğa Esaslı Altyapı Uygulama Kılavuzu yayınlanmıştır (İzmir Belediyesi, 2024).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. MATERYAL

3.1.1. Çalışma Alanı Özellikleri

Çalışma alanının içinde bulunduğu Düzce ili, Karadeniz kıyı dağlarının batı kesiminde yer almakta olup, 360,5 km²'lik ovası, 2.233 km² dağlık ve engebeli alanlar ile toplam 2.593 km²'lik bir yüzey alanına sahiptir. Dağlar, birçok yerde derin vadilerle yarılmıştır. Ayrıca; ova dışındaki akarsu vadileri, genel olarak derin vadilerdir. Ova, güneyinde Elmacık dağları, doğusunda da Bolu dağları ile çevrelenmiştir. 112 m rakımdan, en yüksek tepe olan 1.830 m rakımlı Kardüz yaylasına kadar yükseklik farklılığı ile dağ, ova, dere yapısı vejetasyon çeşitliliği sunmaktadır (Düzce Belediyesi, 2022). Klimatik, edafik ve fizyografik faktörlerin etkisiyle alanda birçok farklı habitatla karşılaşmakta ve alanın özgün peyzaj karakteri görülmektedir.

Düzce ovası, nitelikli tarım topraklarından oluşmaktadır. 12/12/2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan 2016/9620 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile Büyük Ova Koruma Alanı olarak ilan edilmiştir (Resmi Gazete, 2016). Düzce ovası, Kuzey Anadolu fay kuşağındaki yer hareketlerinin etkisiyle oluşmuş genç bir çöküntü havzasıdır. Ovanın genelinde alüvyal birikintiler bulunurken, kenar kısımlarında kolüvyal birikintiler görülmektedir. Bu durum riparian alanların ovanın büyük kısmında oluşmasını sağlamıştır. Ovanın güneybatısında yer alan 112 m rakımlı Efteni Gölü, batı (Aksu deresi), kuzeydoğu (Küçük Melen deresi) ve doğu (Asarsuyu ve Uğursuyu dereleri) yönünden akışa geçen derelerin birleşip döküldüğü yaban hayatı koruma sahası içerisinde önemli bir alandır. Göldeki su, kuzey yönünde Büyük Melen deresi ile Karadeniz'e dökülmektedir.

Çalışma alanı olarak, Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Araştırma Serası yanında bulunan seraya ait açık alan, seranın çatısından yağmur hasadı yapılması ve toplanan suyun yağmur bahçelerinde kullanılacak olması, alanın yeterli büyüklüğü, gerekli ekipmanlara ve laboratuvarlara kolay erişimi nedeniyle tercih edilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma Alanı

3.1.2. İklim Özellikleri

Düzce Ovası ve çevresinde genel olarak Karadeniz Bölgesi'nin etkileri görülmektedir. Ancak, Akdeniz ve Karasal iklimleri arasında geçiş özelliği göstermektedir. Topografik yapısı, iklim özelliklerini belirleyen önemli unsurlardandır. Doğu-batı yönünde alçalarak uzanan Batı Karadeniz dağ sıraları arasında, kuzeyinden ve güneyinden geçen faylarla sınırlandırılmış çöküntü hali, dağ sıralarının setler meydana getirmemesi ve Melen çayının kuzey-güney doğrultusunda açtığı yatak ile Karadeniz'e ulaşan koridor etkisiyle denizin hissedilmesi, nemli ve ılıman koşullar oluşmaktadır. Yazları sıcak, kışları ılık, her mevsim yağışlıdır; en çok yağış sonbahar ve kış aylarında görülmektedir. Yaz aylarında iki ay kadar kuraklık hissedilmektedir. Yıllık sıcaklık ortalaması 13,2 C°, yıllık toplam yağışların ortalaması 837,7 kg/m² olup, ortalama nispi nem %75'dir. (Özcan, 2004; Düzce Belediyesi, 2022; MGM 2024). Sıcaklığın iyice arttığı yaz döneminde özellikle Nisan-Ekim ayları aralığında yağışlar azalmaktadır. Bu 6 aylık aralıkta yağış ve sıcaklık değerleri kesişmekte olup, dolayısıyla kurak dönemin yaşanabileceği görülmektedir.

DÜZCE	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1959 - 2023)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	3,7	5,2	7,6	12,2	16,5	20,3	22,4	22,3	18,7	14,2	9,5	5,8	13,2
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	8,3	10,5	13,6	19,0	23,4	27,1	29,1	29,3	26,0	20,9	15,7	10,4	19,4
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	0,5	1,4	3,5	7,2	11,3	14,8	16,9	17,0	13,5	9,8	5,3	2,5	8,6
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2,0	3,0	3,8	5,3	6,7	7,9	8,6	8,2	6,6	4,3	2,8	1,9	5,1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	15,14	13,43	13,78	12,32	11,68	9,86	6,20	5,98	7,65	10,83	11,78	15,29	133,9
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	90,2	71,1	75,0	60,2	62,3	71,1	46,7	50,8	51,7	79,6	78,0	101,0	837,7
Ölçüm Periyodu (1959 - 2023)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	26,1	26,9	32,2	34,7	39,5	39,0	42,4	42,0	38,7	38,2	31,3	29,2	42,4
En Düşük Sıcaklık (°C)	-20,5	-17,3	-13,6	-3,0	0,4	6,6	8,8	7,6	4,5	-1,2	-6,8	-16,5	-20,5

Şekil 3.2. Düzce ili 1959-2023 yılları arası iklim verileri (MGM, 2024).

Çizelge 3.1. Çalışma süresince Düzce ili yağışlı günleri ve miktarları (MGM, 2024).

Yıl	Ay	Ayın Yağışlı Günleri ve Yağış Miktarları (mm)	Toplam (mm)
2023	1	6: 1, 7: 0,2, 24: 0,4, 28: 12,6, 29: 1,4, 30: 2,6, 31: 2	21,4
2023	2	1: 8,2, 2: 0,2, 3: 2,6, 5: 8,2, 6: 22, 7: 8,8, 8: 13,6, 9: 4,4, 10: 0,4, 13: 0,2, 15: 4,2, 20: 16,4, 28: 2,6	81,4
2023	3	1: 1, 2: 2,2, 3: 0,2, 5: 20,4, 6: 5, 8: 0,6, 11: 7,2, 12: 15,2, 16: 2,2, 17: 35, 18: 3,8, 19: 2, 23: 1,8, 26: 1,6, 27: 0,2, 28: 21,6, 29: 12,8, 30: 5,2, 31: 0,6	120,6
2023	4	2: 9,6, 3: 1, 4: 3, 5: 2,4, 6: 2, 7: 5,6, 10: 6,4, 12: 0,8, 13: 1,4, 16: 2, 17: 1,2, 18: 11,4, 19: 10, 20: 11,6, 21: 2, 22: 0,2, 26: 7,4, 27: 29, 28: 6,2, 29: 0,6	114,4
2023	5	5: 1,2, 6: 1,4, 10: 3,4, 12: 4,2, 17: 8, 18: 6,8, 19: 0,2, 23: 0,8, 24: 1,4, 27: 1,8, 28: 1,2, 30: 1,2	29
2023	6	3: 2, 4: 12,8, 12: 12,2, 13: 3,4, 17: 4, 18: 20, 19: 21,6, 20: 13,6, 21: 7,8, 27: 1,6, 29: 8	91,4
2023	7	7: 10,2, 8: 62,8, 9: 52, 24: 17,8, 27: 1,2	143
2023	8	10: 4,2, 11: 5,8, 14: 0,2	10,2
2023	9	3: 0,6, 4: 1,4, 27: 2, 28: 3, 29: 3,2, 30: 19,2	29,6

Çizelge 3.2 (devamı). Çalışma süresince Düzce ili yağışlı günleri ve miktarları (MGM, 2024).

2023	10	1: 23, 2: 33,4, 3: 0,2, 8: 0,2, 9: 19, 10: 1,6, 16: 4, 18: 7,6, 20: 0,2, 26: 1	85,4
2023	11	1: 0,2, 2: 6,8, 3: 0,2, 4: 0,2, 5: 4, 6: 0,2, 9: 8,8, 11: 7,4, 12: 17,2, 13: 13, 14: 0,2, 16: 19, 18: 25,2, 19: 19, 20: 2, 21: 0,4, 23: 6,6, 24: 0,4, 25: 0,2, 26: 9,2, 28: 2,4, 29: 21,8, 30: 12,2	186,2
2023	12	4: 0,8, 6: 2,2, 7: 0,6, 8: 21, 9: 25, 12: 0,6, 15: 0,2, 16: 12,4, 21: 1,4, 22: 12, 23: 10, 24: 17,2	99,2
2024	1	2: 5,4, 3: 2,8, 4: 0,8, 5: 7,6, 7: 4,8, 9: 19,4, 10: 7,4, 11: 0,2, 12: 6, 13: 1,6, 16: 14,8, 18: 0,2, 19: 1, 20: 10, 21: 4,8, 25: 2,2, 26: 22, 27: 1,4, 28: 9, 29: 1,2	94,2
2024	2	2: 0,2, 3: 1, 14: 17, 15: 8,4, 16: 4,8, 17: 2,4	32,8
2024	3	3: 1, 5: 4,4, 6: 6,2, 8: 5,6, 9: 2, 13: 0,2, 14: 3,4, 15: 8, 16: 1,6, 20: 9,2, 21: 4, 22: 7,8, 23: 1,4, 25: 13, 27: 0,8, 28: 1	59,2

3.1.3. Yağmur Bahçesi Modüllerinin Detayları

Araştırmada dış etken kaynaklı sapmaları minimuma indirmek, toprak altı besin ve kirleticilerin birbirine geçişi/sızması gibi etkenlerin önüne geçmek, farklı alanlarda kirleticiler ve su akışı farklarını ortadan kaldırarak, en doğru sonuçlara almaya yönelik homojen bir deney deseni oluşturulmasına imkan sağladığı için yağmur bahçeleri birbirinden izole modüller/variller formunda tercih edilmiştir. Yağmur bahçesi varillerinin, sonuçlara etkisini minimum düzeye indirmek için su, kimyasal ve aşınma direnci yüksek, gıdada kullanılabilir seviye, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzeme tercih edilmiştir. Kullanılan variller çalışma için gerekli bileşenleri içerebilecek yüksekliğe ve genişliğe sahip olacak büyüklükte seçilmiş olup, 90 cm yüksekliğinde, 56 cm çapında ve 220 litre hacminindedir. Deney deseni üçer tekrarlı altı farklı gruptan oluşan, toplamda on sekiz yağmur bahçesi modülü/varilinden oluşmaktadır.



Şekil 3.3. Yağmur Bahçesi Varilleri ve Grupları

3.1.4. Yağmur Bahçesi Varillerinin Kurulumu

Yağmur bahçesi varillerini kullanıma hazır hale getirmek için öncelikle varillere, vana yerleştirilecek delikler açılmıştır. Tortuların dibe çöküp tıkanmalara sebep olmalarını önlemek ve örnek numune alabilmek için vana yükseklikleri 15 cm olarak belirlenmiştir. Daha sonrasında variller yıkanarak kirleticilerden arındırılmıştır ve vanaları takılmıştır. Varillerin içine su doldurularak vanalara sızdırmazlık testi yapılmıştır.



Şekil 3.4. Varillerin Hazırlanma Aşamaları

Variller kullanıma hazır hale geldikten sonra, belirlenen çalışma alanına yerleştirilmiştir. Sonrasında çalışma için belirlenmiş olan deney desenini oluşturmak için kullanılacak bileşenlerin malzemelerini alana getirilmiştir.



Şekil 3.5. Alana Yerleştirme ve Malzemelerin Hazırlanması

Üçer tekrarlı altı farklı grup bulunan, toplamda on sekiz yağmur bahçesi varilinden oluşan grupların bileşenleri şekildeki gibidir.

Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Grup 5	Grup 6
<ul style="list-style-type: none"> • 30 cm toprak • 10 cm kum • İri çakıl 	<ul style="list-style-type: none"> • 50 cm toprak • 10 cm kum • İri çakıl 	<ul style="list-style-type: none"> • 30 cm toprak • 15 cm fındık kabuğu • 10 cm kum • İri çakıl 	<ul style="list-style-type: none"> • 50 cm toprak • 15 cm fındık kabuğu • 10 cm kum • İri çakıl 	<ul style="list-style-type: none"> • 30 cm toprak • 15 cm odun kömürü • 10 cm kum • İri çakıl 	<ul style="list-style-type: none"> • 50 cm toprak • 15 cm odun kömürü • 10 cm kum • İri çakıl

Şekil 3.6. Gruplar ve Bileşenleri

Varillerde kullanılacak malzemeler, gruplar ve bileşenler tablosunda verildiği şekliyle ölçülerek varillerin içine yerleştirilmiştir. En üst katmanda kullanılan toprak karışımı için, yağmur bahçeleri için Dünya’da bu konuda öncü ülkelerden olan ABD’de uygulanan yağmur bahçelerinin çeşitli inşa kılavuzlarında kullanılan standartlarda 45 – 60 cm kalınlığında kumlu toprak, Avustralya ve Yeni Zelanda’daki kılavuzlarda ise daha spesifik olarak 30 – 70 cm kalınlığında, %40-70 arasında kum, %10-20 arasında kil, %20-35 toz içeren, özel olarak hazırlanmış toprak karışımı istenmektedir. Çalışmada oluşturulan yağmur bahçesi modülleri için hazırlanan toprak karışımı bu standartlara uygun olarak, ortalama %57 kum, %14 kil, %29 toz içermekte olup, hazırlandıktan sonra varillere eklenmiştir. Çalışmada kullanılan ek katmanlar fındık kabuğu ve odun kömürü olarak seçilmiştir. Yerel ürünler olmaları, torf, kül, parçalanmış hindistan cevizi kabuğu ve aktif karbon gibi benzer malzemelerin farklı ülkelerde kullanılıyor olması, filtrasyon özelliklerinin bulunması, gelecekte kullanım potansiyelleri için erişilebilir ve düşük maliyetli olmaları bu malzemelerin seçiminde etkili olmuştur. Ara katman olarak hem kirleticilerin filtrelenmesine yardımcı olması amacıyla hem de toprak tabakasının alt tabakaya geçmesini engelleyen 10 cm kum katmanı kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Varillerin Katmanlarının Oluşturulması

3.1.5. Yağmur Bahçesi Bitki Seçimi

Her yağmur bahçesi varilinde, tutarlı sonuç alabilmek ve daha doğru kıyaslamayı mümkün kılabilmek için benzer boyutta, aynı bitki türleri ve kompozisyonu kullanılmıştır. Her varilde önden arkaya sırayla üçer adet *Teucrium fruticans*, *Carex testacea*, *Rosmanirus officinalis*, *Hypericum calycinum* bitkileri kullanılarak bir kompozisyon oluşturulmuştur. Bitki türlerinin seçiminde alanın iklim şartlarında yetişebilmeleri, kompozisyon ve çeşitlilik oluşturmak için farklı renk, doku, yaprak

şekline sahip olmaları ve yerli üreticilerden kolay temin edilebilmeleri tercih sebebi olmuştur.



Şekil 3.8. Bitki Kompozisyonu

3.1.6. Yağmur Hasadı Düzenegi

Araştırmada, sistemlere giren suyun tayininde referans olarak kullanmak, yetersiz yağışların olduğu zamanlarda ise yağmur bahçelerinin sulanmasında ve drenaj/infiltrasyon ölçümlerinde yararlanmak için yağmur suyu hasadı yapılmıştır. Yağmur suyu hasadı için Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Araştırma Serası yanına, seranın çatısına düşen yağışın yönlendirildiği, 220 litre kapasiteli vanalı varil sistemi kurulmuştur.



Şekil 3.9. Yağmur Varili ve Yağmur Hasadı

3.2. YÖNTEM

Fosfat ve nitrat, su ekosistemine karışıp, plankton ve alg varlığının aşırı şekilde çoğalmasına neden olmaları, sudaki çözülmüş oksijen miktarını azaltarak uzun vadede su ekosistemlerinin çöküşüne sebep olabilmeleri nedeniyle yağış suyundaki en kritik ana kirleticiler olarak belirlenmiştir. Çalışmada varillerden yağışlı dönemlerin ardından maksimum bir hafta içerisinde su örnekleri alınarak, ana kirleticiler olarak suda bulunan fosfat ve nitrat analizleri yapılarak, yağmur bahçesi varillerinin kirletici giderimi etkinliği ölçülmüştür.



Şekil 3.10. Su Analizleri için Örnek Alımı

Fosfat analizi için, Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (EPA) metot 365.2 ve Su ve

Atık Su Muayenesine İlişkin Standart Yöntemler, 20. baskı, 4500-PE, askorbik asit yöntemi uyarlaması kullanılmıştır. Amonyum molibdat ve potasyum antimon tartarat, asit ortamında ortofosfatla reaksiyona girerek bir heteropoli asit-fosfomolibdik asit oluşturur; bu asit, askorbik asit tarafından yoğun renkli molibden mavisine indirgenir. Fosfat içeren bir numuneye, Potasyum Pirosülfat, Askorbik Asit, Molibdat, tartarat reaktifinin eklenmesiyle, reaksiyon oluşturarak bir renk değişikliğinin başlatılmasına yönelik bir işlemdir. Fosfat konsantrasyonlarını tespit etmeye yönelik indirgeme yöntemi, renk değişimi derecesinin standart çözeltiler için kolorimetrik bir tabloyla veya kolorimetre cihazıyla belirlenmesi sağlanır.

Örneklerin fosfat analizinde “HI-713 Phosphate LR Checker HC” kolorimetre cihazı kullanılmıştır. Kalite kontrolü için “HI-713-11 LR Phosphate HC Standards Calibration Check Set” kalibrasyon setleri kullanılarak, ölçümlerin doğruluğu teyit edilmiştir.



Şekil 3.11. Fosfat Tayini

Nitrat analizi için, Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (EPA) metot 353.3'ün ve APHA Standart Metotlar, 23. baskı, Metot 4500-NO₃ – E, çinko indirgeme yöntemi uyarlaması kullanılmıştır. Nitrat, çinko varlığında nitrite indirgenir. Asidik bir çözeltide nitrit, birincil aromatik bir aminle diazotize olur ve daha sonra başka bir organik

molekülle birleşerek turuncu-kırmızı renkli bir azo boyası üretir. Nitrat içeren bir numuneye, çinko tozu, sülfanilik asit ve alfa-naftilamin reaktifinin eklenmesiyle, reaksiyona girerek kırmızı renge dönüşen değişikliğinin başlatılmasına yönelik bir işlemdir. Ortaya çıkan renk nitrat konsantrasyonuyla orantılıdır, renk değişimi derecesinin kolorimetrik bir tabloyla veya kolorimetre cihazıyla belirlenmesi sağlanır.

Örneklerin nitrat analizinde “HI-782 Nitrate HR Checker HC” kolorimetre cihazı kullanılmıştır. Kalite kontrolü için “HI-782-11 HR Nitrate HC Standards Calibration Check Set” kalibrasyon setleri kullanılarak, ölçümlerin doğruluğu teyit edilmiştir.



Şekil 3.12. Nitrat Tayini

Bitki gelişimi, bitkilerin yağmur bahçelerinin canlı materyalleri olarak estetik peyzaj elemanı fonksiyonu sağlamalarının yanı sıra kirletici giderimine de katkıda bulunmaları nedeniyle önemli bir ölçüttür. Bitkilerin hacmi ile biyokütleleri arasında güçlü ve lineer bir ilişki bulunması nedeniyle çalışma süresince bitki gelişimi için boy, genişlik ve derinliğin beraber ölçülerek, gelişimin ve kıyaslamanın daha tutarlı tespit edilebildiği, bitki gelişim endeksi (Plant Growth Index,PGI) yöntemi olarak da kullanılan, bitkilerin toprak üstü hacimlerinin tespiti ve kıyaslanması yapılmıştır.



Şekil 3.13. Bitki Ölçümleri

İnfiltrasyon hızı ölçümü için, yağmur bahçesi modülleri suya doygun hale ulaşmaya kadar su eklendikten sonra muslukları açık şekilde bekletilir. Suyu doymuş toprak drene olduktan sonra toprak tarla kapasitesine ulaşmış olur. Bu durumda varillere 60 mm göllenme yapacak kadar su eklenir. Su 45 mm (%75) seviyesine inince süre başlatılır, 15 mm (%25) seviyesine geldiğinde süre durdurulur. Çıkan sonuç 30 mm suyun infiltrasyonu için geçen süredir, mm/saat formuna çevirerek hesaplanmıştır.

Toprak analizleri Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Toprak Analiz Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Analizlerde kum, kil, toz oranları, pH, elektrik iletkenliği (EC), toplam kireç, inorganik karbon, organik karbon ve organik madde oranlarına bakılmıştır.

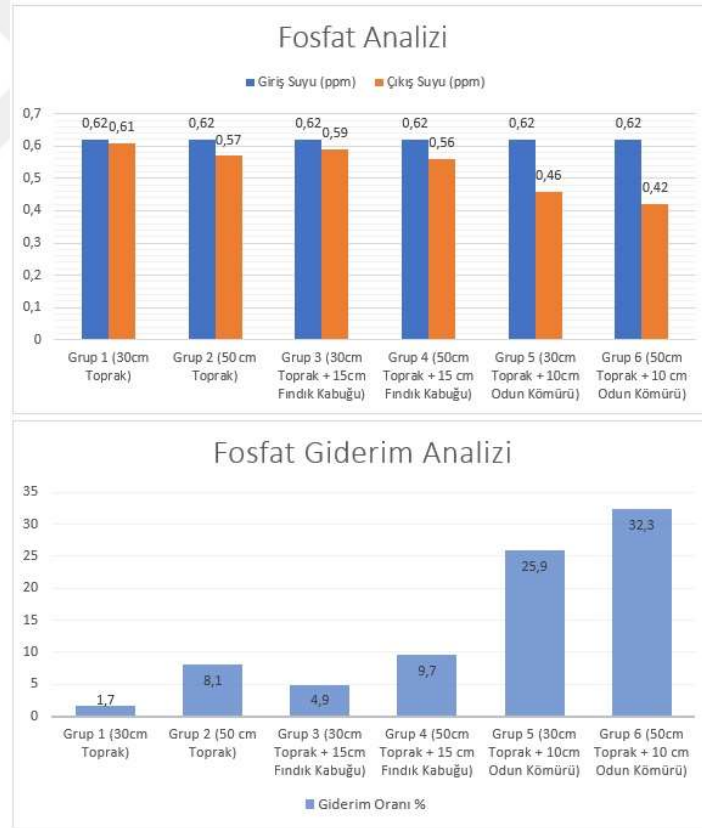
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma süresince elde edilen suda fosfat, nitrat ve giderimleri, bitki gelişimleri, infiltrasyon, bileşik verimlilik analizleri, toprak verileri, analizleri ve istatistiksel olarak anlamlılıkları bu bölümde verilmiştir.

4.1. SU ANALİZLERİ

4.1.1. Fosfat Analizleri

Çalışma süresince alınan su örnekleri üzerinde yapılan fosfat analizleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.1. Fosfat Analizi - 1



Şekil 4.2. Fosfat Analizi - 2



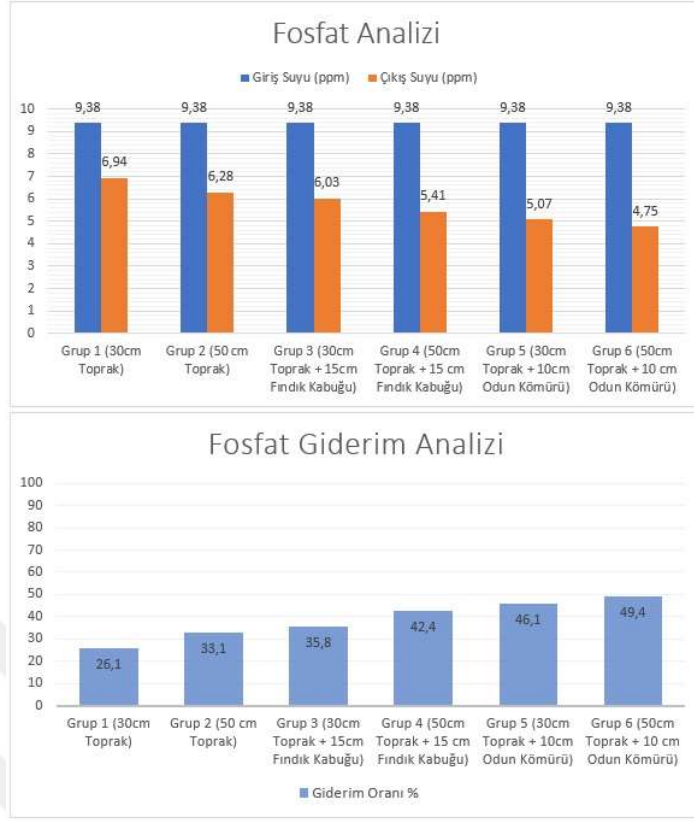
Şekil 4.3. Fosfat Analizi - 3



Şekil 4.4. Fosfat Analizi - 4



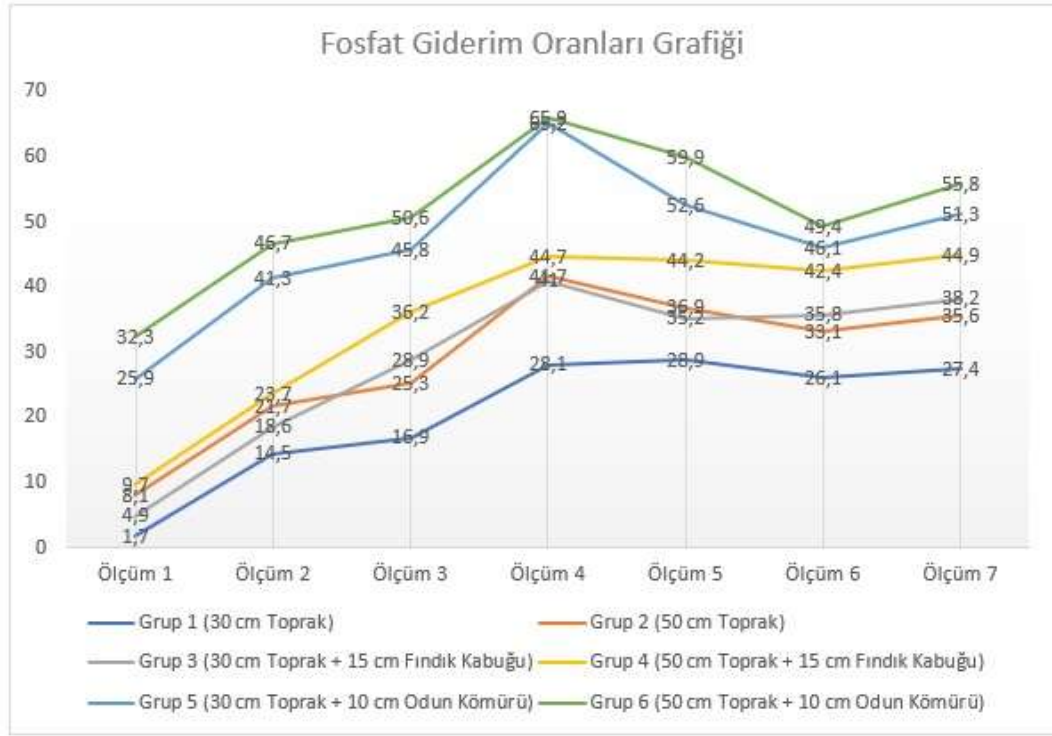
Şekil 4.5. Fosfat Analizi - 5



Şekil 4.6. Fosfat Analizi - 6



Şekil 4.7. Fosfat Analizi - 7

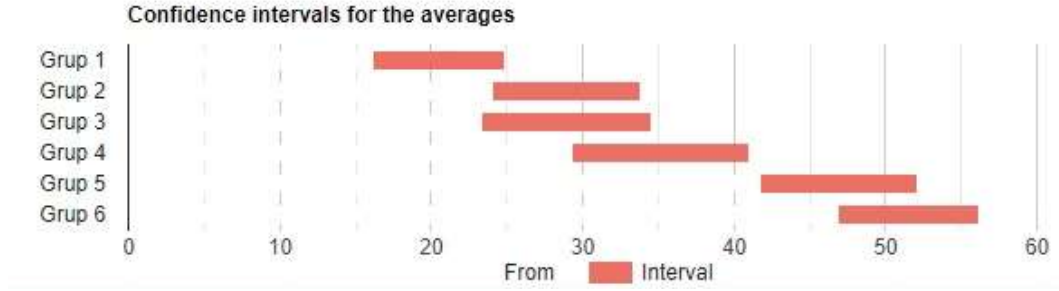


Şekil 4.8. Fosfat Giderim Oranları Grafiği

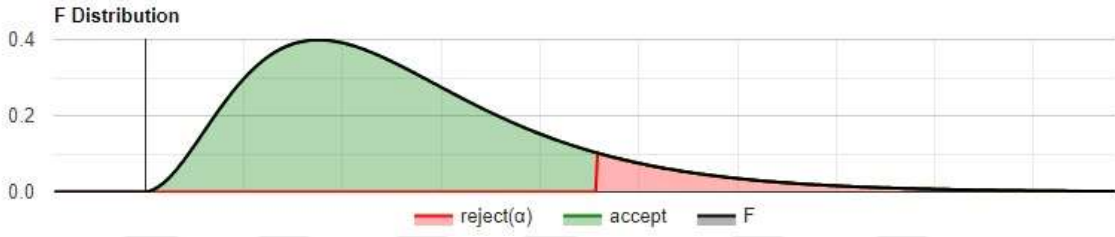
Çizelge 4.1. Fosfat Giderim Oranlarının İstatistiksel Analizi.

Pair	Difference	SE	Q	Lower CI	Upper CI	Critical Mean	p-value
x1-x2	8.4	2.45	3.42	-1.64	18.44	10.04	0.1572
x1-x3	8.428	2.45	3.43	-1.61	18.47	10.04	0.1545
x1-x4	14.6	2.45	5.95	4.55	24.64	10.04	<0.001
x1-x5	26.371	2.45	10.75	16.32	36.41	10.04	<0.001
x1-x6	31	2.45	12.63	20.95	41.04	10.04	<0.001
x2-x3	0.028	2.45	0.01	-10.01	10.07	10.04	1
x2-x4	6.2	2.45	2.52	-3.84	16.24	10.04	0.4779
x2-x5	17.971	2.45	7.32	7.92	28.01	10.04	<0.001
x2-x6	22.6	2.45	9.21	12.55	32.64	10.04	<0.001
x3-x4	6.171	2.45	2.51	-3.87	16.21	10.04	0.4832
x3-x5	17.942	2.45	7.31	7.89	27.99	10.04	<0.001
x3-x6	22.571	2.45	9.20	12.52	32.61	10.04	<0.001
x4-x5	11.771	2.45	4.79	1.72	21.81	10.04	<0.001
x4-x6	16.4	2.45	6.68	6.35	26.44	10.04	<0.001
x5-x6	4.628	2.45	1.88	-5.41	14.67	10.04	0.7654

P-değeri $< \alpha$ olduğu durumlarda H_0 reddedilmiştir. Tek Yönlü ANOVA testi, farklı gruplar arasında anlamlı bir fark olduğunu göstermiştir. Test sonucuna göre aşağıdaki çiftler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklı bulunmaktadır: **x1-x4, x1-x5, x1-x6, x2-x5, x2-x6, x3-x5, x3-x6, x4-x5, x4-x6.**



Şekil 4.9. Fosfat Giderim Oranlarının İstatistiksel Dağılışı



Şekil 4.10. F-Dağılımı

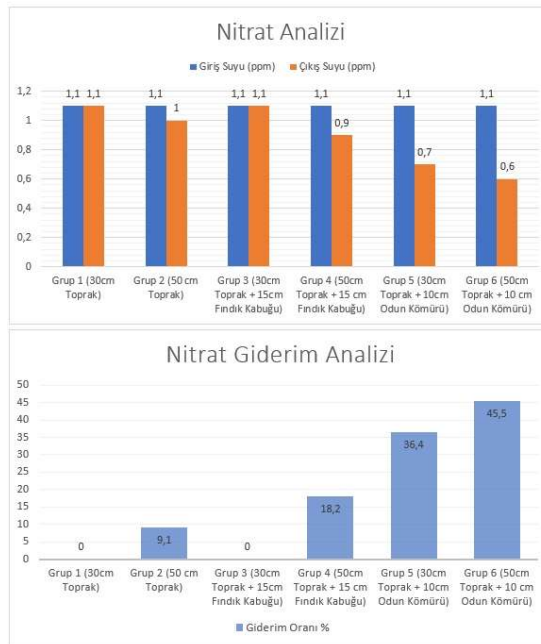
Çizelge 4.2. Fosfat giderim oranları ortalama değerlerinin gruplar arası kıyaslaması, (İstatistiksel olarak anlamlı farkı olan sonuçlar kalın gösterilmiştir)

	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Grup 5	Grup 6
Grup 1	-	40.96%	41.10%	71.18%	128.57%	151.15%
Grup 2	-29.06%	-	0.10%	21.45%	62.16%	78.17%
Grup 3	-29.13%	-0.10%	-	21.32%	61.99%	77.99%
Grup 4	-41.58%	-17.66%	-17.57%	-	33.52%	46.71%
Grup 5	-56.25%	-38.33%	-38.27%	-25.11%	-	9.88%
Grup 6	-60.18%	-43.87%	-43.82%	-31.84%	-8.99%	-

Altı grup için yapılan fosfat giderim oranı ölçümleri, verimlilikte belirgin farklılıklar ortaya koyarken, Grup 6 genel olarak en yüksek fosfat giderimi etkinliğini sergilemektedir. Grup 6, %32,3 ile %65,9 arasında değişen ve ortalama değeri %50,8 olan yüksek fosfat giderimi göstererek, fosfat giderimi için gruplar arasında en yüksek etkili bileşen kompozisyonu olduğunu göstermektedir. Grup 5, %25,9 ile %65,2 arasında değişen giderim oranları ve %46,1'lük ortalama değeri ile Grup 6'dan daha az verimli bir etkinlik göstererek fosfat gideriminde en etkili ikinci gruptur. Grup 4, %9,7 ile %44,9 arasında değişen ve %33,4'lik ortalama değeri ile Grup 1, 2 ve 3'ten daha iyi etkinlik gösteren ancak Grup 5 ve 6'nın gerisinde kalan orta düzeyde bir giderim verimliliği sergilemektedir. Grup 3, %4,9 ile %41,0 arasında değişen değerler ve %27,4 ortalama değer ile ortalamanın altında giderim oranları göstermekte olup Grup 1'den daha iyi ancak Grup 2, 4, 5 ve 6'nın gerisindedir. Grup 2, %8,1 ile %41,7 arasındaki oranlar ve %27,8'lik ortalama değer ile Grup 1 ve 3'den daha iyi etkinlik gösterirken Grup 4, 5 ve 6'dan önemli ölçüde daha az etkilidir. Grup 1, %1,7 ile %28,9 arasında değişen ve ortalama %20,8 değeriyle sürekli olarak en düşük giderim oranlarını göstermekte ve bileşen kompozisyonunun gruplar arasında fosfat giderimi için en elverişsiz grup olduğunu göstermektedir.

4.1.2. Nitrat Analizleri

Çalışma süresince su örnekleri üzerinde yapılan nitrat analizleri aşağıda verilmiştir.



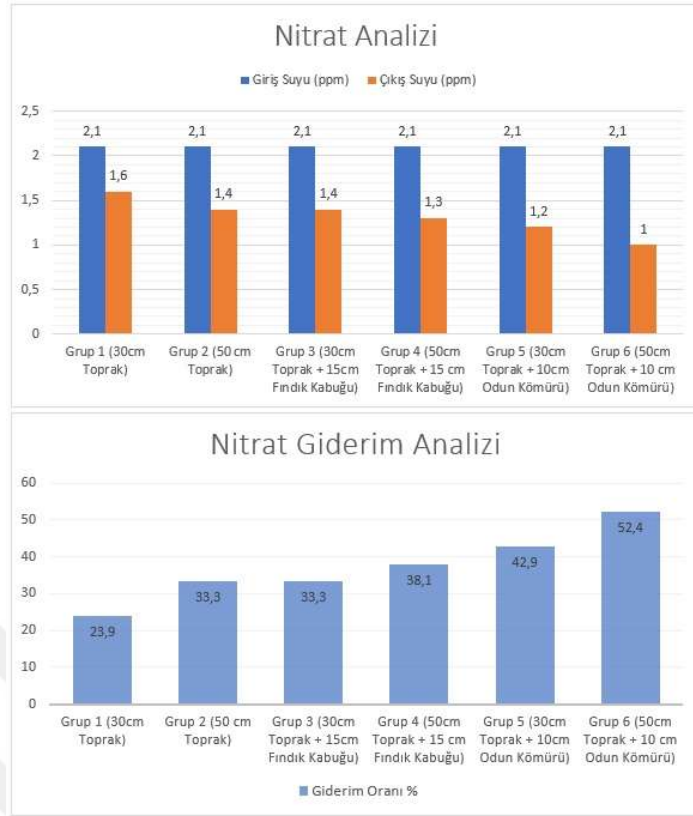
Şekil 4.11. Nitrat Analizi - 1



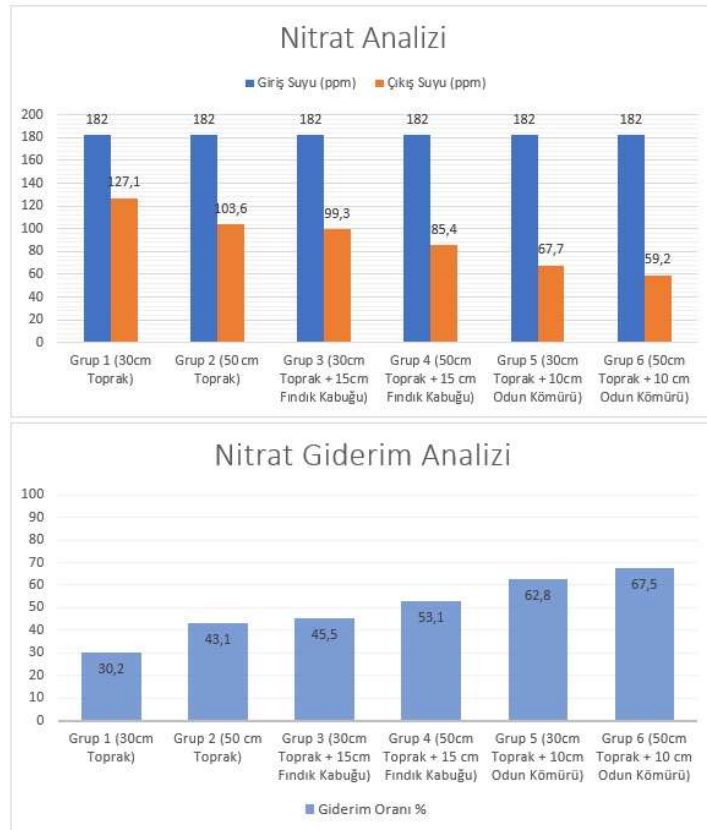
Şekil 4.12. Nitrat Analizi - 2



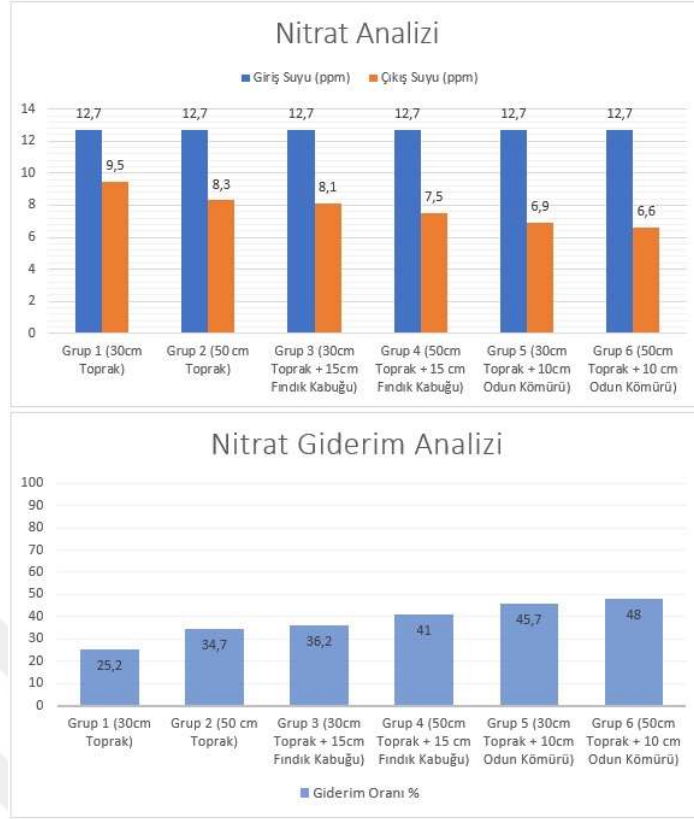
Şekil 4.13. Nitrat Analizi - 3



Şekil 4.14. Nitrat Analizi - 4



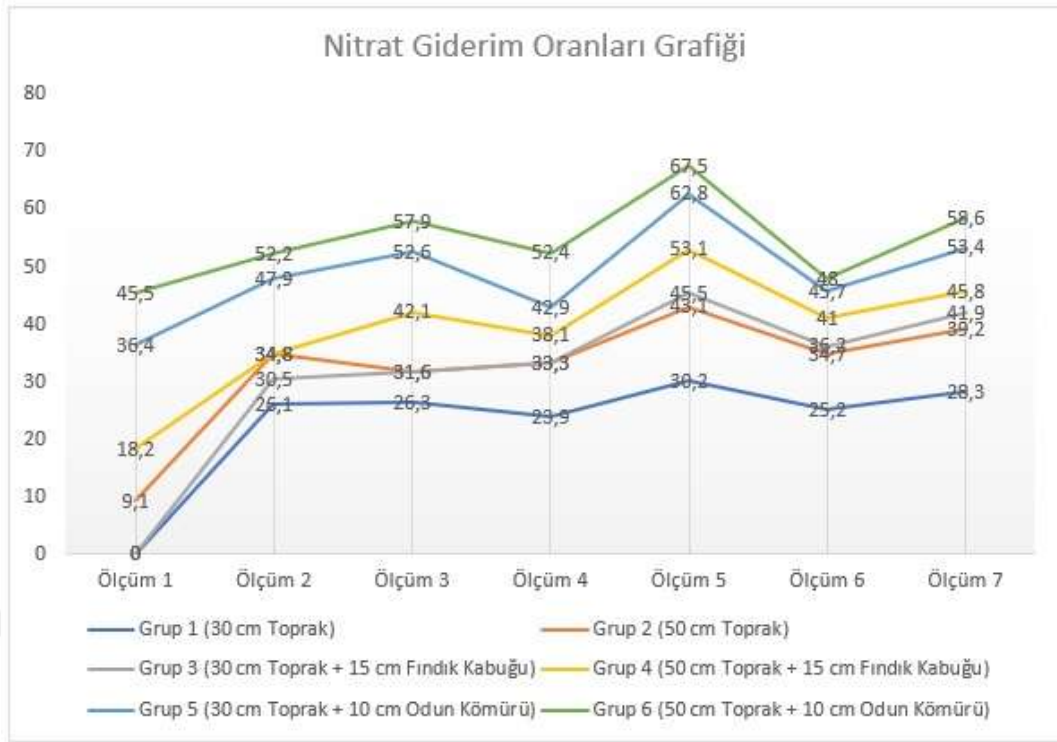
Şekil 4.15. Nitrat Analizi - 5



Şekil 4.16. Nitrat Analizi - 6



Şekil 4.17. Nitrat Analizi - 7

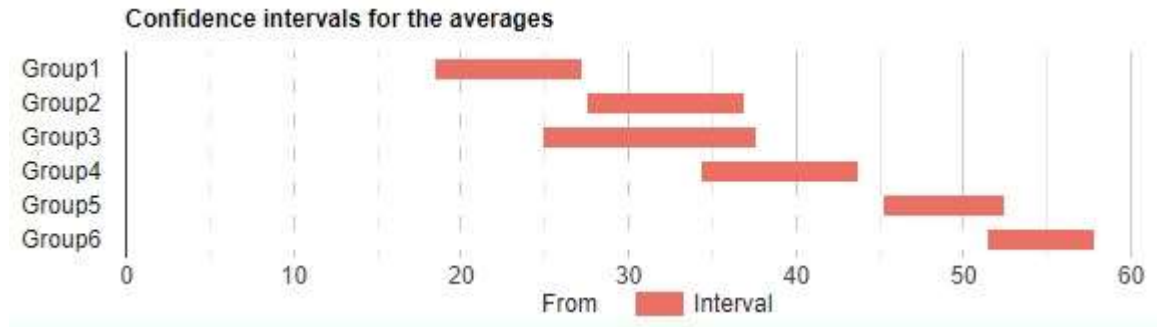


Şekil 4.18. Nitrat Giderim Oranları Grafiği

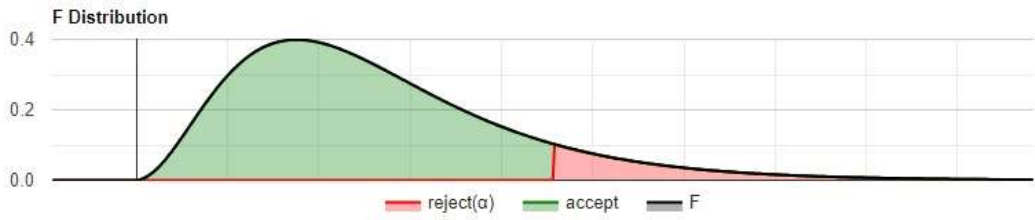
Çizelge 4.3. Nitrat Giderim Oranlarının İstatistiksel Analizi.

Pair	Difference	SE	Q	Lower CI	Upper CI	Critical Mean	p-value
x1-x2	9.4	2.22	4.23	0.30	18.49	9.09	0.0385
x1-x3	8.428	2.22	3.79	-0.66	17.52	9.09	0.0861
x1-x4	16.157	2.22	7.27	7.05	25.25	9.09	<0.001
x1-x5	25.957	2.22	11.68	16.85	35.05	9.09	<0.001
x1-x6	31.728	2.22	14.28	22.63	40.82	9.09	<0.001
x2-x3	0.971	2.22	0.43	-8.12	10.06	9.09	0.9996
x2-x4	6.757	2.22	3.04	-2.34	15.85	9.09	0.2687
x2-x5	16.557	2.22	7.45	7.45	25.65	9.09	<0.001
x2-x6	22.328	2.22	10.05	13.23	31.42	9.09	<0.001
x3-x4	7.728	2.22	3.47	-1.36	16.82	9.09	0.1444
x3-x5	17.528	2.22	7.89	8.43	26.62	9.09	<0.001
x3-x6	23.3	2.22	10.49	14.20	32.39	9.09	<0.001
x4-x5	9.8	2.22	4.41	0.70	18.89	9.09	0.0268
x4-x6	15.571	2.22	7.01	6.47	24.66	9.09	<0.001
x5-x6	5.771	2.22	2.59	-3.32	14.86	9.09	0.446

P-değeri $< \alpha$ olduğu durumlarda H_0 reddedilmiştir. Tek Yönlü ANOVA testi, farklı gruplar arasında anlamlı bir fark olduğunu göstermiştir. Test sonucunda aşağıdaki çiftler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklı bulunmaktadır: **x1-x2, x1-x4, x1-x5, x1-x6, x2-x5, x2-x6, x3-x5, x3-x6, x4-x5, x4-x6.**



Şekil 4.19. Nitrat Giderim Oranlarının İstatistiksel Dağılışı



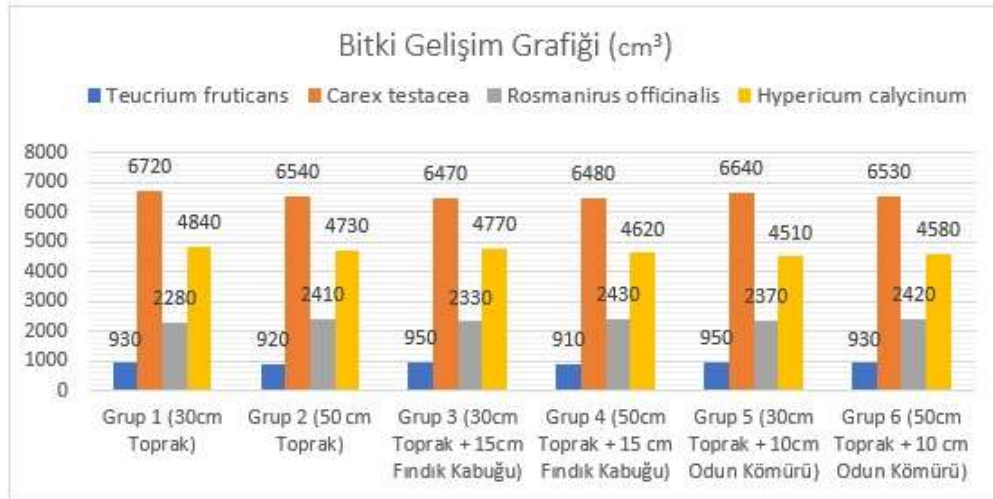
Şekil 4.20. F-Dağılımı

Çizelge 4.4. Nitrat giderim oranları ortalama değerlerinin gruplar arası kıyaslaması, (İstatistiksel olarak anlamlı farkı olan sonuçlar kalın gösterilmiştir)

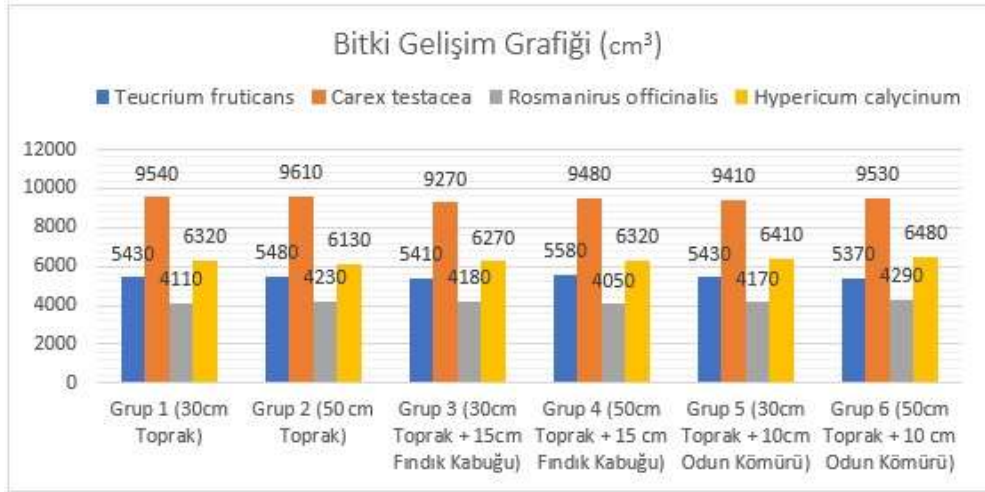
	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Grup 5	Grup 6
Grup 1	-	41.14%	36.89%	70.72%	113.61%	138.86%
Grup 2	-29.15%	-	-3.01%	20.96%	51.35%	69.24%
Grup 3	-26.95%	3.10%	-	24.71%	56.04%	74.49%
Grup 4	-41.43%	-17.33%	-19.82%	-	25.12%	39.91%
Grup 5	-53.19%	-33.93%	-35.91%	-20.08%	-	11.82%
Grup 6	-58.13%	-40.91%	-42.69%	-28.53%	-10.57%	-

Altı grup için yapılan nitrat giderim oranı ölçümleri, verimlilikte belirgin farklılıklar ortaya koyarken, Grup 6 genel olarak en yüksek etkinliği sergilemektedir. Grup 6, %45,5 ile %67,5 arasında değişen ve ortalama değeri %54,6 olan yüksek nitrat giderimi göstererek, nitrat giderimi için gruplar arasında en etkili bileşim kompozisyonu olduğunu göstermektedir. Grup 5, %36,4 ile %62,8 arasında değişen giderim oranları ve %48,8'lik ortalama değeri ile Grup 6'dan biraz daha az verimli bir etkinlik göstermektedir. Grup 4, %18,2 ile %53,1 arasında değişen ve %39,0'lık ortalama değeri ile Grup 1, 2 ve 3'ten daha iyi etkinlik gösteren ancak Grup 5 ve 6'nın gerisinde kalan orta düzeyde bir giderim verimliliği sergilemektedir. Grup 3, %0 ile %45,5 arasında değişen değerler ve %31,3'lük ortalama değeri ile grup ortalamalarının altında giderim oranları göstermekte olup Grup 1 ve 2'den daha iyi ancak Grup 4, 5 ve 6'nın gerisindedir. Grup 2, %9,1 ile %43,1 arasındaki oranlar ve %32,3'lük ortalama değeri ile Grup 1'den biraz daha iyi etkinlik gösterirken Grup 3, 4, 5 ve 6'dan önemli ölçüde daha az etkilidir. Grup 1, %0 ile %30,2 arasında değişen ve ortalama %22,9 değeriyle sürekli olarak en düşük giderim oranlarını göstermekte ve bileşen kompozisyonunun gruplar arasında fosfat giderimi için en elverişsiz grup olduğunu göstermektedir.

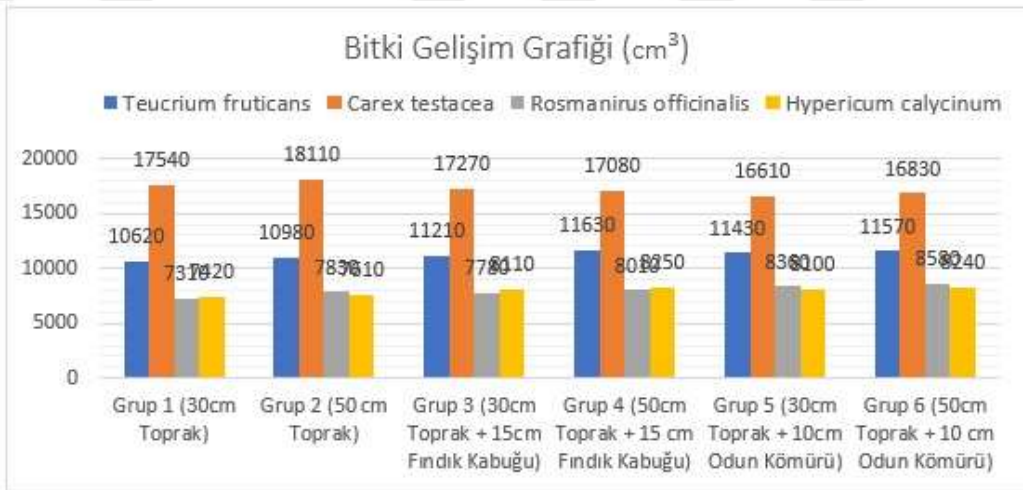
4.2. BİTKİ GELİŞİM ANALİZLERİ



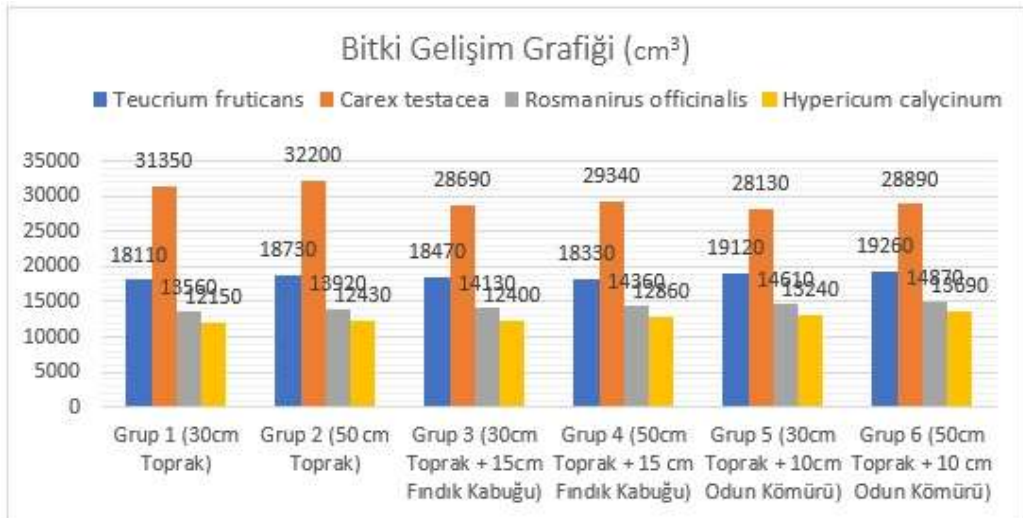
Şekil 4.21. Bitki Gelişim Grafiği-1 Dikim Günü



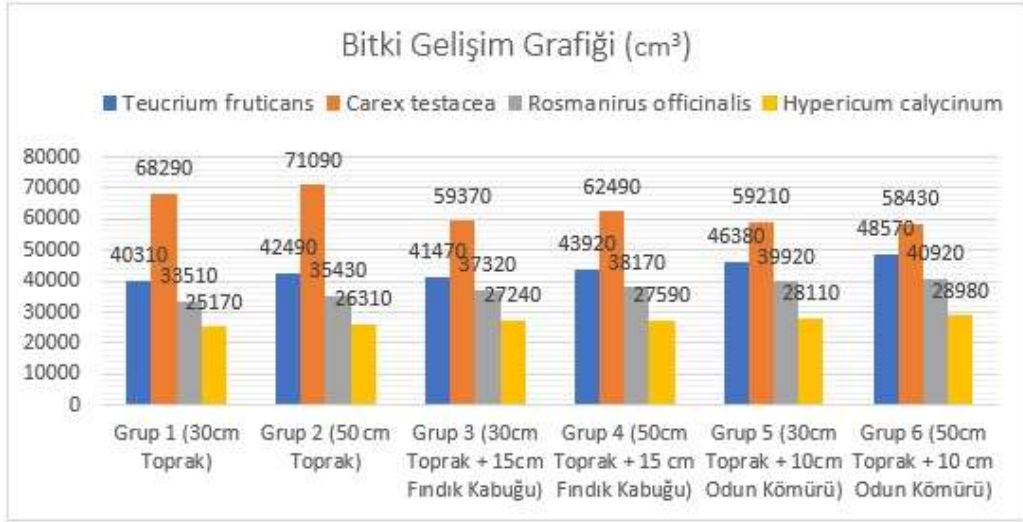
Şekil 4.22. Bitki Gelişim Grafiği-2 11.06.23 Tarihli ölçüm



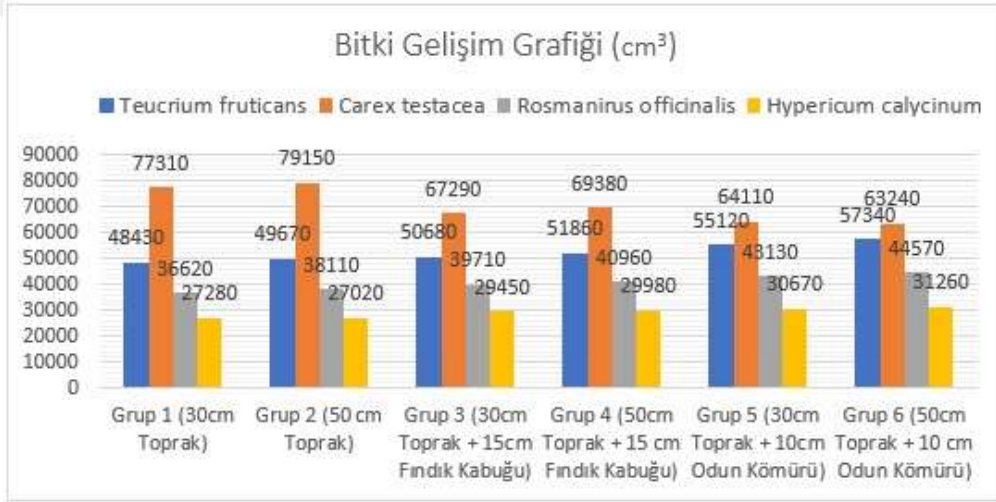
Şekil 4.23. Bitki Gelişim Grafiği-3 03.07.23 Tarihli ölçüm



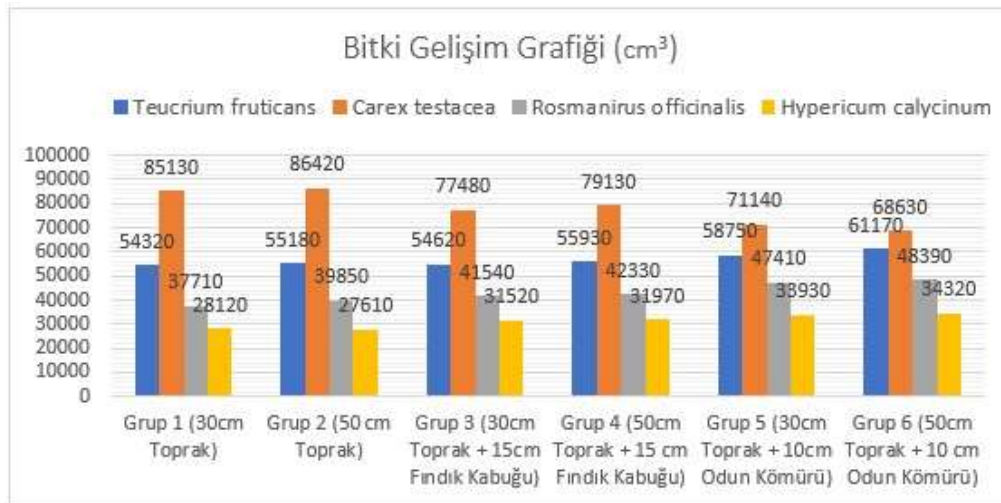
Şekil 4.24. Bitki Gelişim Grafiği-4 08.08.23 Tarihli ölçüm



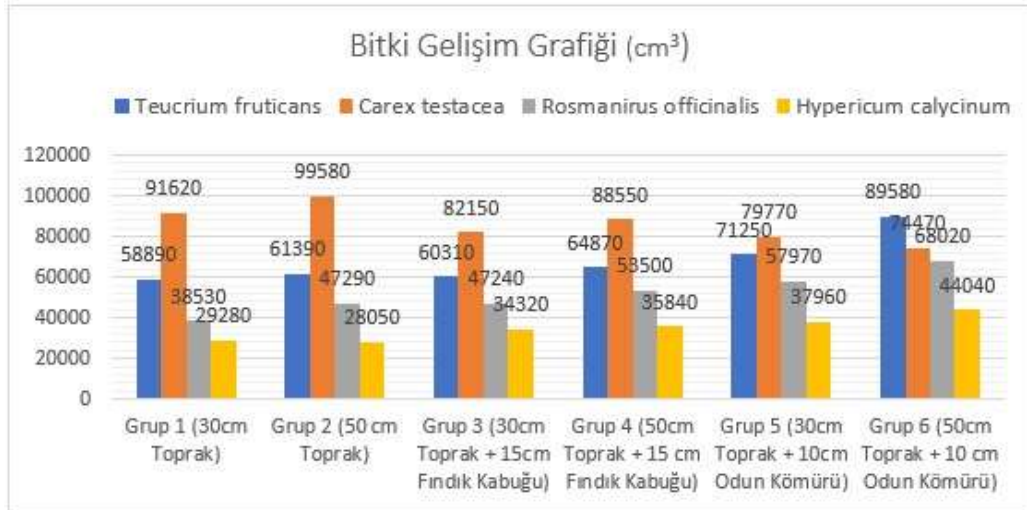
Şekil 4.25. Bitki Gelişim Grafiği-5 01.09.23 Tarihli ölçüm



Şekil 4.26. Bitki Gelişim Grafiği-6 03.10.23 Tarihli ölçüm



Şekil 4.27. Bitki Gelişim Grafiği-7 03.02.24 Tarihli ölçüm



Şekil 4.28. Bitki Gelişim Grafiği-8 11.04.24 Tarihli ölçüm



Şekil 4.29. Dikim günü ilk ölçüm



Şekil 4.30. Bitki Gelişim Süreci



Şekil 4.31. Bitki Gelişim Süreci – 08.08.23



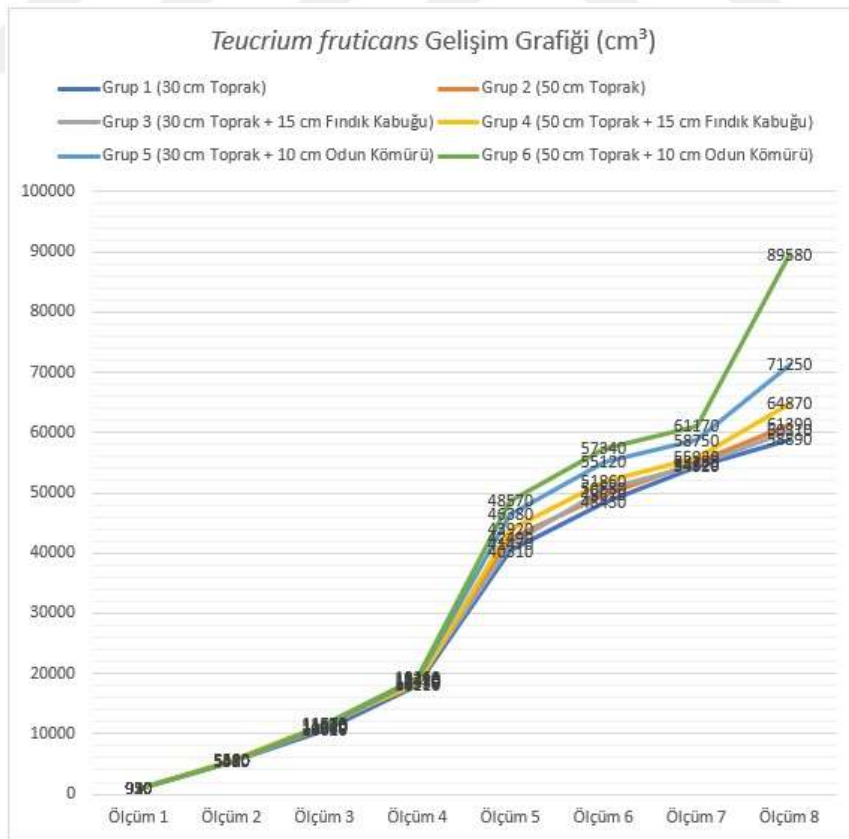
Şekil 4.32. Bitki Gelişim Süreci 03.10.23



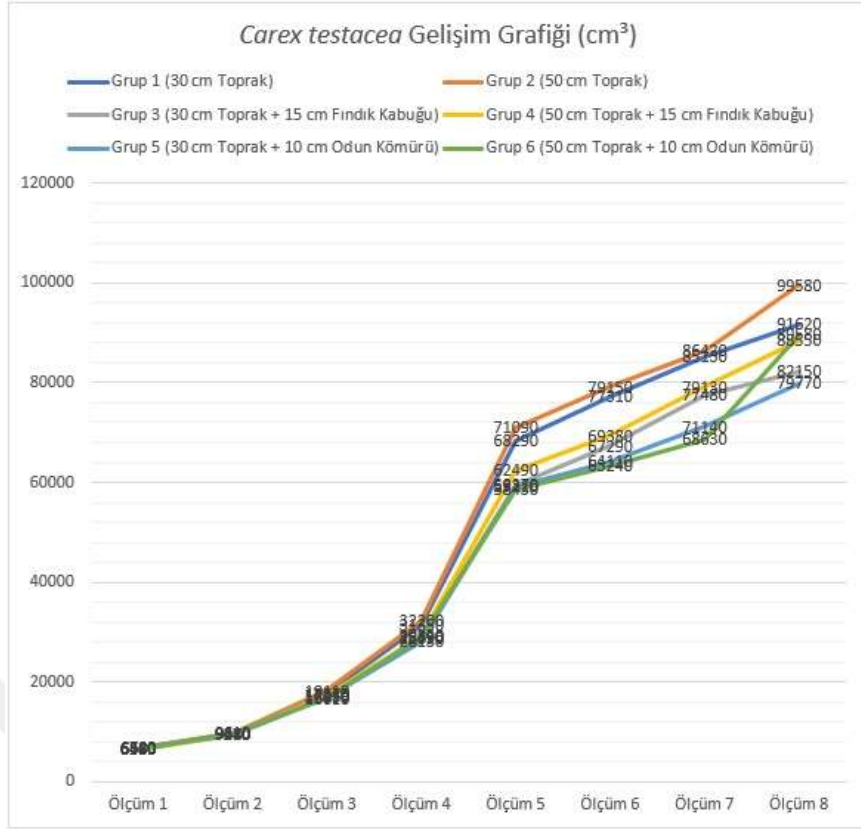
Şekil 4.33. Bitki Gelişim Süreci 03.02.24



Şekil 4.34. Bitki Gelişim Süreci 11.04.24



Şekil 4.35. *Teucrium fruticans* Gelişim Grafiği



Şekil 4.36. *Carex testacea* Gelişim Grafiği



Şekil 4.37. *Rosmarinus officinalis* Gelişim Grafiği



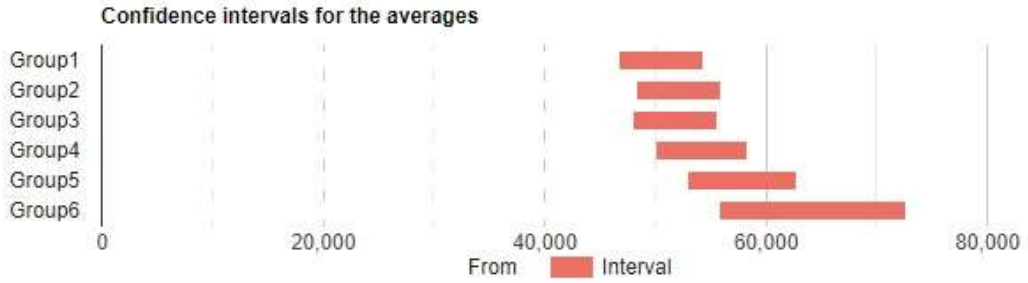
Şekil 4.38. *Hypericum calycinum* Gelişim Grafiği

4.2.1. *Teucrium fruticans* Gelişim Analizi

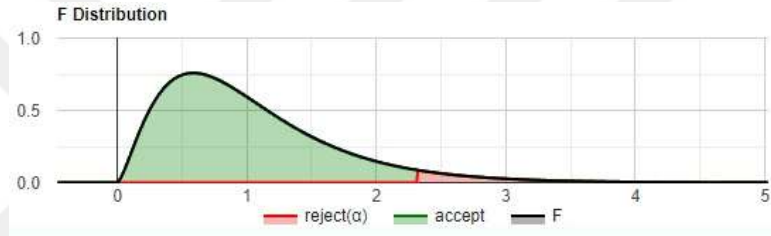
Çizelge 4.5. *Teucrium fruticans* Gelişimi İstatistiksel Analizi.

Pair	Difference	SE	Q	Lower CI	Upper CI	Critical Mean	p-value
x1-x2	1695	2396.46	0.7073	-8174.21	11564.21	9869.21	0.9961
x1-x3	1282.5	2396.46	0.5352	-8586.71	11151.71	9869.21	0.999
x1-x4	3657.5	2396.46	1.5262	-6211.71	13526.71	9869.21	0.8884
x1-x5	7387.5	2396.46	3.0827	-2481.71	17256.71	9869.21	0.2575
x1-x6	13677.5	2396.46	5.7074	3808.28	23546.71	9869.21	0.0015
x2-x3	412.5	2396.46	0.1721	-9456.71	10281.71	9869.21	1
x2-x4	1962.5	2396.46	0.8189	-7906.71	11831.71	9869.21	0.9922
x2-x5	5692.5	2396.46	2.3754	-4176.71	15561.71	9869.21	0.5487
x2-x6	11982.5	2396.46	5.0001	2113.28	21851.71	9869.21	0.0082
x3-x4	2375	2396.46	0.991	-7494.21	12244.21	9869.21	0.9814
x3-x5	6105	2396.46	2.5475	-3764.21	15974.21	9869.21	0.4701
x3-x6	12395	2396.46	5.1722	2525.78	22264.21	9869.21	0.0055
x4-x5	3730	2396.46	1.5565	-6139.21	13599.21	9869.21	0.8799
x4-x6	10020	2396.46	4.1812	150.78	19889.21	9869.21	0.0444
x5-x6	6290	2396.46	2.6247	-3579.21	16159.21	9869.21	0.4359

P-değeri $< \alpha$ olduğu durumlarda H_0 reddedilmiştir. Tek Yönlü ANOVA testi, farklı gruplar arasında anlamlı bir fark olduğunu göstermiştir. Test sonucuna göre aşağıdaki çiftler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklı bulunmaktadır: **x1-x6, x2-x6, x3-x6, x4-x6**.



Şekil 4.39. *Teucrium fruticans* Gelişimi İstatistiksel Dağılımı



Şekil 4.40. F-Dağılımı

Çizelge 4.6. *Teucrium fruticans* bitki gelişim ortalama değerlerinin gruplar arası kıyaslaması, (İstatistiksel olarak anlamlı farkı olan sonuçlar kalın gösterilmiştir)

	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Grup 5	Grup 6
Grup 1	-	3.36%	2.54%	7.25%	14.63%	27.09%
Grup 2	-3.25%	-	-0.79%	3.76%	10.91%	22.96%
Grup 3	-2.48%	0.80%	-	4.59%	11.79%	23.94%
Grup 4	-6.76%	-3.63%	-4.39%	-	6.89%	18.51%
Grup 5	-12.77%	-9.84%	-10.55%	-6.44%	-	10.87%
Grup 6	-21.32%	-18.68%	-19.32%	-15.62%	-9.80%	-

Teucrium fruticans gelişim değerlerinin farklı gruplar arasında karşılaştırılması, önemli farklılıklar ortaya koymaktadır. Grup 6, %9,80 ile %27,09 arasında değişen pozitif farklarla diğer tüm gruplardan daha iyi büyüme etkinliği göstererek en yüksek büyüme oranlarını sergilemektedir. Bu, Grup 6'da uygulanan bileşen kompozisyonunun, *Teucrium fruticans* için diğer gruplardan elverişli olduğunu göstermektedir. Grup 5, diğer gruplara kıyasla %6,44 ile %12,77 arasında değişen büyüme oranı farklarıyla onu takip etmektedir. Grup 4, Grup 1, 2 ve 3'ten daha iyi ancak Grup 5 ve 6'dan daha düşük olmak üzere orta düzeyde bir büyüme göstermektedir. Grup 3, Grup 1 ve 2'ye kıyasla pozitif farklarla ortalamanın altında büyüme oranı gösterirken Grup 4, 5 ve 6'dan daha düşüktür. Grup 2, Grup 3, 4, 5 ve 6'ya kıyasla daha düşük büyüme oranları göstermekte ancak Grup 1'den daha iyi performans sergilemektedir. Grup 1 en düşük büyüme oranlarını göstermekte, bu da bileşenlerinin *Teucrium fruticans* için en az elverişli olduğunu göstermektedir.

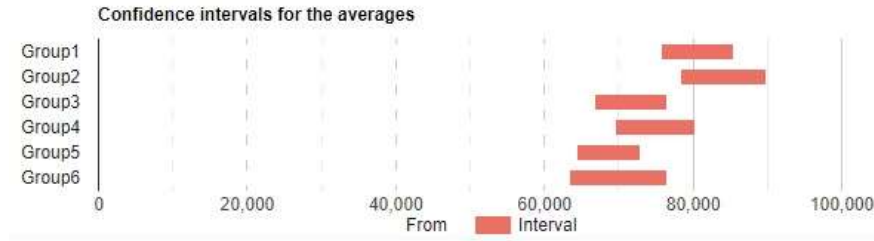
4.2.2. *Carex testacea* Gelişim Analizi

Çizelge 4.7. *Carex testacea* Gelişimi İstatistiksel Analizi.

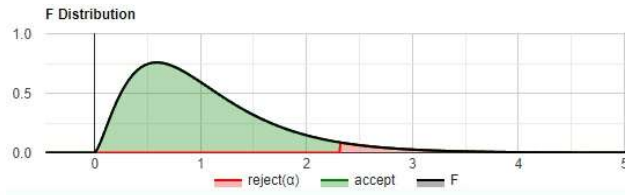
Pair	Difference	SE	Q	Lower CI	Upper CI	Critical Mean	p-value
x1-x2	3472.5	2500.09	1.3889	-6823.45	13768.45	10295.95	0.9225
x1-x3	9015	2500.09	3.6059	-1280.95	19310.95	10295.95	0.1209
x1-x4	5700	2500.09	2.2799	-4595.95	15995.95	10295.95	0.5928
x1-x5	12030	2500.09	4.8118	1734.04	22325.95	10295.95	0.0124
x1-x6	10617.5	2500.09	4.2468	321.54	20913.45	10295.95	0.0392
x2-x3	12487.5	2500.09	4.9948	2191.54	22783.45	10295.95	0.0083
x2-x4	9172.5	2500.09	3.6689	-1123.45	19468.45	10295.95	0.1093
x2-x5	15502.5	2500.09	6.2008	5206.54	25798.45	10295.95	0.0004
x2-x6	14090	2500.09	5.6358	3794.04	24385.95	10295.95	0.0018
x3-x4	3315	2500.09	1.326	-6980.95	13610.95	10295.95	0.9356
x3-x5	3015	2500.09	1.206	-7280.95	13310.95	10295.95	0.9565
x3-x6	1602.5	2500.09	0.641	-8693.45	11898.45	10295.95	0.9975
x4-x5	6330	2500.09	2.5319	-3965.95	16625.95	10295.95	0.4771
x4-x6	4917.5	2500.09	1.9669	-5378.45	15213.45	10295.95	0.7324
x5-x6	1412.5	2500.09	0.565	-8883.45	11708.45	10295.95	0.9986

P-değeri $< \alpha$ olduğu durumlarda H_0 reddedilmiştir. Tek Yönlü ANOVA testi, farklı gruplar arasında anlamlı bir fark olduğunu göstermiştir. Test sonucuna göre aşağıdaki çiftler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklı bulunmaktadır: **x1-x5, x1-x6, x2-x3, x2-**

x5, x2-x6.



Şekil 4.41. *Carex testacea* Gelişimi İstatistiksel Dağılımı



Şekil 4.42. F-Dağılımı

Çizelge 4.8. *Carex testacea* bitki gelişim ortalama değerlerinin gruplar arası kıyaslaması, (İstatistiksel olarak anlamlı farkı olan sonuçlar kalın gösterilmiştir)

	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Grup 5	Grup 6
Grup 1	-	4.31%	-11.19%	-7.07%	-14.93%	-13.17%
Grup 2	-4.13%	-	-14.86%	-10.91%	-18.44%	-16.76%
Grup 3	12.60%	17.45%	-	4.63%	-4.21%	-2.24%
Grup 4	7.61%	12.25%	-4.43%	-	-8.45%	-6.57%
Grup 5	17.55%	22.61%	4.40%	9.23%	-	2.06%
Grup 6	15.17%	20.14%	2.29%	7.03%	-2.02%	-

Carex testacea gelişim değerlerinin farklı gruplar arasında karşılaştırılması, büyüme oranlarında, gruplar arasında önemli farklılıklar ortaya koymaktadır. Grup 2, %4,13 ile %18,44 arasında değişen pozitif farklarla diğer tüm gruplardan daha iyi büyüme etkinliği göstererek en yüksek büyüme oranlarını sergilemektedir ve bu da bileşim kompozisyonunun bu türün büyümesine diğer gruplardan daha elverişli olduğunu göstermektedir. Grup 1, Grup 3, 4, 5 ve 6'dan daha iyi ancak Grup 2'den daha düşük

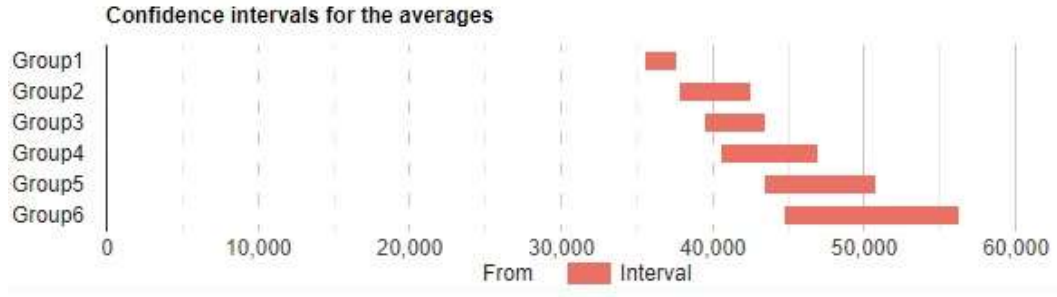
büyüme oranlarıyla onu takip etmektedir. Grup 4, Grup 3, 5 ve 6'dan daha iyi ancak Grup 1 ve 2'den daha düşük büyüme etkinliği göstererek orta düzeyde bir büyüme sergilemektedir. Grup 3, Grup 1, 2 ve 4'e kıyasla ortalamanın altında büyüme oranları gösterirken Grup 5 ve 6'dan daha iyi etkinlik sergilemektedir. Grup 6, Grup 1, 2, 3 ve 4'e kıyasla daha düşük büyüme oranları göstermektedir, ancak Grup 5'ten daha iyi etkinlik göstermektedir. Grup 5, *Carex testacea* için en düşük büyüme oranlarını göstermektedir, bu da bileşen bileşimin kompozisyonunun *Carex testacea* büyümesi için en az elverişli olduğunu göstermektedir.

4.2.3. *Rosmarinus officinalis* Gelişim Analizi

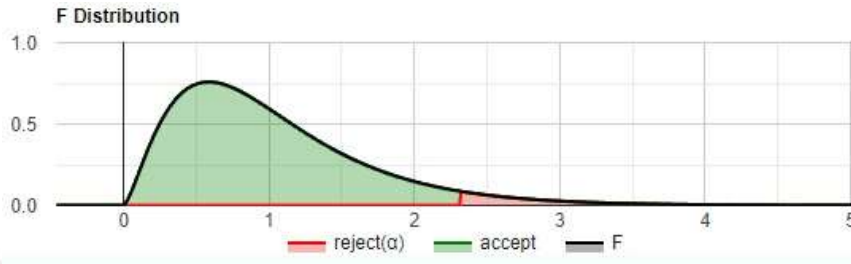
Çizelge 4.9. *Rosmarinus officinalis* Gelişimi İstatistiksel Analizi.

Pair	Difference	SE	Q	Lower CI	Upper CI	Critical Mean	p-value
x1-x2	3577.5	1585.99	2.255	-2953.99	10108.99	6531.49	0.604
x1-x3	4860	1585.99	3.0643	-1671.49	11391.49	6531.49	0.2636
x1-x4	7147.5	1585.99	4.5066	616.00	13678.99	6531.49	0.0235
x1-x5	10515	1585.99	6.6299	3983.50	17046.49	6531.49	<0.001
x1-x6	13882.5	1585.99	8.7532	7351.00	20413.99	6531.49	<0.001
x2-x3	1282.5	1585.99	0.8086	-5248.99	7813.99	6531.49	0.9926
x2-x4	3570	1585.99	2.251	-2961.49	10101.49	6531.49	0.6061
x2-x5	6937.5	1585.99	4.3742	406.00	13468.99	6531.49	0.0306
x2-x6	10305	1585.99	6.4975	3773.50	16836.49	6531.49	<0.001
x3-x4	2287.5	1585.99	1.4423	-4243.99	8818.99	6531.49	0.9101
x3-x5	5655	1585.99	3.5656	-876.49	12186.49	6531.49	0.1289
x3-x6	9022.5	1585.99	5.6889	2491.00	15553.99	6531.49	0.0016
x4-x5	3367.5	1585.99	2.1233	-3163.99	9898.99	6531.49	0.6643
x4-x6	6735	1585.99	4.2465	203.50	13266.49	6531.49	0.0392
x5-x6	3367.5	1585.99	2.1233	-3163.99	9898.99	6531.49	0.6643

P-değeri $< \alpha$ olduğu durumlarda H_0 reddedilmiştir. Tek Yönlü ANOVA testi, farklı gruplar arasında anlamlı bir fark olduğunu göstermiştir. Test sonucuna göre aşağıdaki çiftler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklı bulunmaktadır: **x1-x4, x1-x5, x1-x6, x2-x5, x2-x6, x3-x6, x4-x6.**



Şekil 4.43. *Rosmarinus officinalis* İstatistiksel Dağılımı



Şekil 4.44. F-Dağılımı

Çizelge 4.10. *Rosmarinus officinalis* bitki gelişim ortalama değerlerinin gruplar arası kıyaslaması, (İstatistiksel olarak anlamlı farkı olan sonuçlar kalın gösterilmiştir)

	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Grup 5	Grup 6
Grup 1	-	9.78%	13.28%	19.53%	28.74%	37.94%
Grup 2	-8.91%	-	3.19%	8.89%	17.27%	25.65%
Grup 3	-11.72%	-3.09%	-	5.52%	13.64%	21.77%
Grup 4	-16.34%	-8.16%	-5.23%	-	7.70%	15.40%
Grup 5	-22.32%	-14.73%	-12.00%	-7.15%	-	7.15%
Grup 6	-27.50%	-20.42%	-17.88%	-13.34%	-6.67%	-

Rosmarinus officinalis için farklı gruplar arasında gelişim değerlerinin karşılaştırılması, gruplar arasında önemli farklılıklar ortaya koymaktadır. Grup 6, %6,67 ile %27,50 arasında değişen farklarla diğer tüm gruplardan daha iyi etkinlik göstererek en yüksek büyüme oranlarını sergilemektedir. Grup 5, Grup 1, 2, 3 ve 4'ten daha iyi, ancak Grup 6'dan daha düşük büyüme oranları ile takip etmektedir. Grup 4, Grup 1, 2 ve 3'ten daha

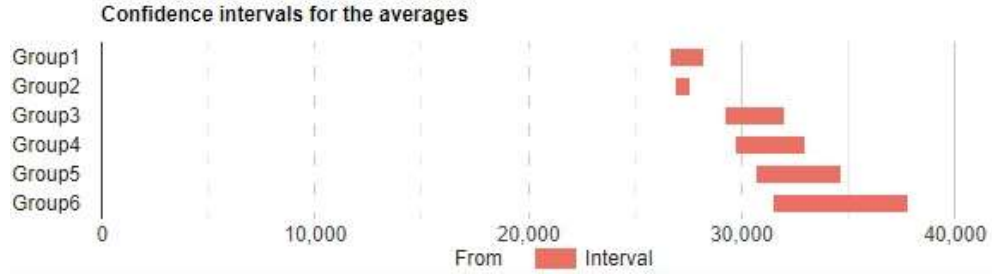
iyi, ancak Grup 5 ve 6'dan daha düşük etkinlik göstererek ortalamanın üzerinde büyüme göstermektedir. Grup 3, Grup 1 ve 2'den daha iyi ancak Grup 4, 5 ve 6'dan daha düşük etkinlik göstererek orta düzeyde büyüme oranları sergilemektedir. Grup 2, Grup 1 hariç diğer tüm gruplarla karşılaştırıldığında negatif farklarla ortalamanın altında büyüme sergilemektedir. Grup 1 en düşük büyüme oranlarını göstermektedir, bu da *Rosmarinus officinalis* için bileşen kompozisyonunun en az elverişli olduğunu göstermektedir.

4.2.4. *Hypericum calycinum* Analizi

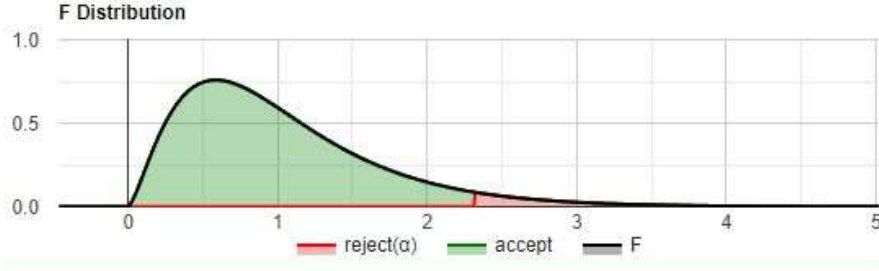
Çizelge 4.11. *Hypericum calycinum* Gelişimi İstatistiksel Analizi.

Pair	Difference	SE	Q	Lower CI	Upper CI	Critical Mean	p-value
x1-x2	215	851.25	0.2526	-3290.67	3720.67	3505.67	1
x1-x3	3170	851.25	3.7239	-335.67	6675.67	3505.67	0.0998
x1-x4	3882.5	851.25	4.5609	376.82	7388.17	3505.67	0.0210
x1-x5	5205	851.25	6.1145	1699.32	8710.67	3505.67	<0.001
x1-x6	7187.5	851.25	8.4434	3681.82	10693.17	3505.67	<0.001
x2-x3	3385	851.25	3.9765	-120.67	6890.67	3505.67	0.0646
x2-x4	4097.5	851.25	4.8135	591.82	7603.17	3505.67	0.0123
x2-x5	5420	851.25	6.3671	1914.32	8925.67	3505.67	<0.001
x2-x6	7402.5	851.25	8.696	3896.82	10908.17	3505.67	<0.001
x3-x4	712.5	851.25	0.837	-2793.17	4218.17	3505.67	0.9913
x3-x5	2035	851.25	2.3906	-1470.67	5540.67	3505.67	0.5417
x3-x6	4017.5	851.25	4.7195	511.82	7523.17	3505.67	0.0151
x4-x5	1322.5	851.25	1.5536	-2183.17	4828.17	3505.67	0.8807
x4-x6	3305	851.25	3.8825	-200.67	6810.67	3505.67	0.0763
x5-x6	1982.5	851.25	2.3289	-1523.17	5488.17	3505.67	0.5702

P-değeri $< \alpha$ olduğu durumlarda H_0 reddedilmiştir. Tek Yönlü ANOVA testi, farklı gruplar arasında anlamlı bir fark olduğunu göstermiştir. Test sonucuna göre aşağıdaki çiftler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklı bulunmaktadır: **x1-x4, x1-x5, x1-x6, x2-x4, x2-x5, x2-x6, x3-x6.**



Şekil 4.45. *Hypericum calycinum* Gelişimi İstatistiksel Dağılımı



Şekil 4.46. F-Dağılımı

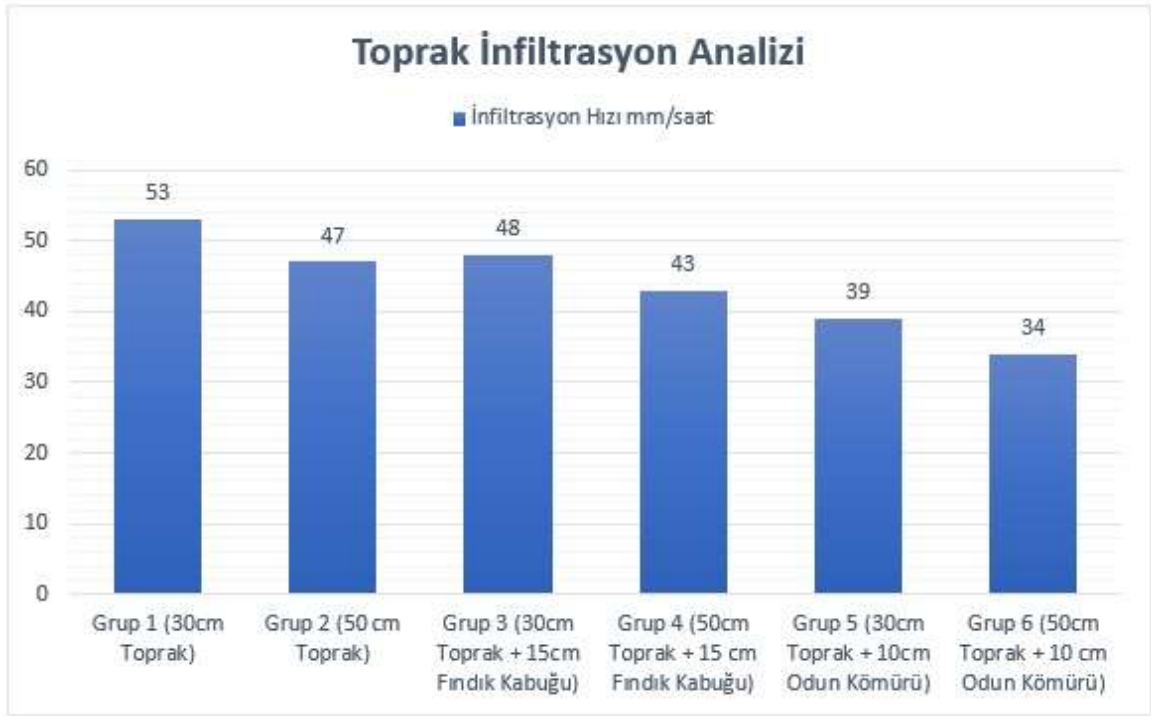
Çizelge 4.12. *Hypericum calycinum* bitki gelişim ortalama değerlerinin gruplar arası kıyaslaması, (İstatistiksel olarak anlamlı farkı olan sonuçlar kalın gösterilmiştir)

	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Grup 5	Grup 6
Grup 1	-	-0.78%	11.54%	14.14%	18.95%	26.17%
Grup 2	0.79%	-	12.42%	15.04%	19.89%	27.17%
Grup 3	-10.35%	-11.05%	-	2.33%	6.64%	13.12%
Grup 4	-12.39%	-13.07%	-2.27%	-	4.22%	10.54%
Grup 5	-15.93%	-16.59%	-6.23%	-4.05%	-	6.07%
Grup 6	-20.74%	-21.37%	-11.60%	-9.54%	-5.72%	-

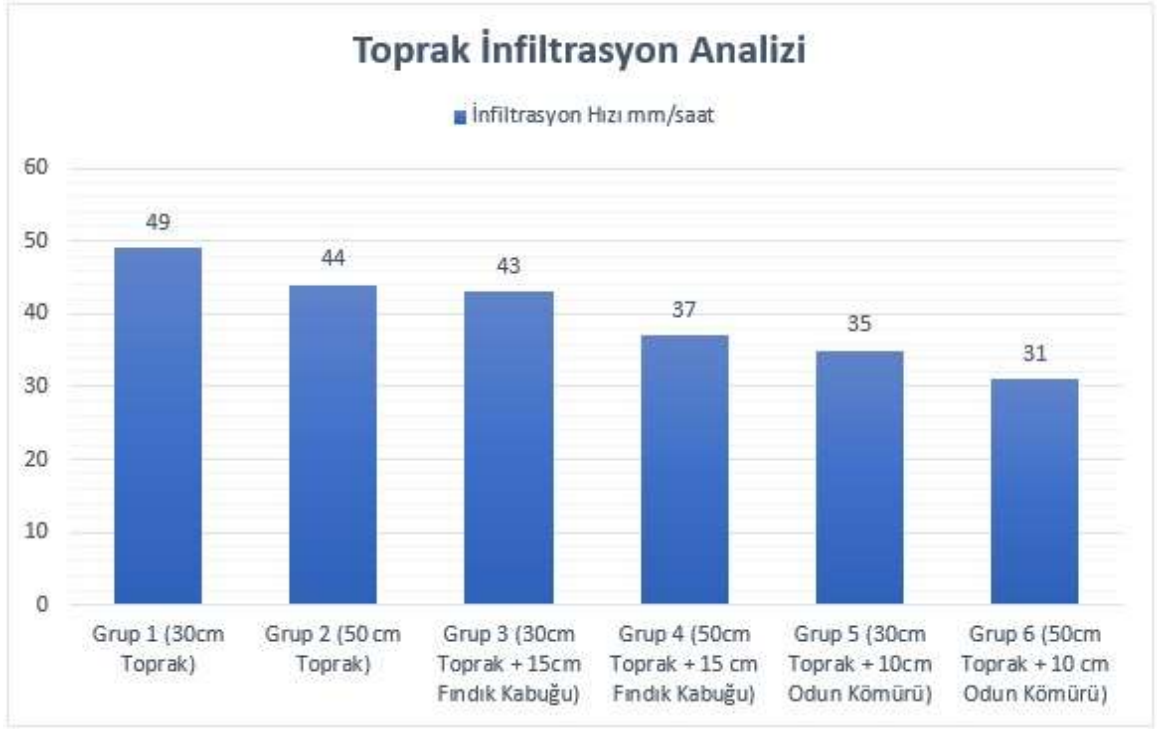
Hypericum calycinum için farklı gruplar arasında gelişim değerlerinin karşılaştırılması, gruplar arasında önemli farklılıklar ortaya koymaktadır. Grup 6, %6,07 ile %27,17 arasında değişen farklarla diğer tüm gruplardan daha iyi etkinlik göstererek en yüksek büyüme oranlarını sergilemektedir, bu durum bileşim kompozisyonunun bu türün büyümesine diğer gruplardan daha elverişli olduğunu göstermektedir. Grup 5, Grup 1, 2,

3 ve 4'ten daha iyi, ancak Grup 6'dan daha düşük büyüme oranları ile takip etmektedir. Grup 4, Grup 1, 2 ve 3'ten daha iyi, ancak Grup 5 ve 6'dan daha düşük etkinlik göstererek ortalamanın üzerinde büyüme göstermektedir. Grup 3, Grup 1 ve 2'den daha iyi ancak Grup 4, 5 ve 6'dan daha düşük etkinlik göstererek orta düzeyde büyüme oranları sergilemektedir. Grup 2, Grup 1 hariç diğer tüm gruplarla karşılaştırıldığında negatif farklarla ortalamanın altında bir büyüme sergilemektedir. Grup 1 en düşük büyüme oranlarını göstermekte, bu da bileşen bileşiminin *Hypericum calycinum* için en az elverişli olduğunu göstermektedir.

4.3. TOPRAK İNFİLTRASYON ANALİZİ



Şekil 4.47. 15.01.23 tarihli infiltrasyon analizi



Şekil 4.48. 26.03.24 tarihli infiltrasyon analizi

Çizelge 4.13. Çalışma başlangıcı 15.01.23 tarihli infiltrasyon analizi gruplar arası infiltrasyon hızı kıyaslaması

	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Grup 5	Grup 6
Grup 1	-	-11.32%	-9.43%	-18.87%	-26.42%	-35.85%
Grup 2	12.77%	-	2.13%	-8.51%	-17.02%	-27.66%
Grup 3	10.42%	-2.08%	-	-10.42%	-18.75%	-29.17%
Grup 4	23.26%	9.30%	11.63%	-	-9.30%	-20.93%
Grup 5	35.90%	20.51%	23.08%	10.26%	-	-12.82%
Grup 6	55.88%	38.24%	41.18%	26.47%	14.71%	-

Çizelge 4.14. 26.03.24 tarihli infiltrasyon analizi gruplar arası infiltrasyon hızı kıyaslaması

	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Grup 5	Grup 6
Grup 1	-	-10.20%	-12.24%	-24.49%	-28.57%	-36.73%
Grup 2	11.36%	-	-2.27%	-15.91%	-20.45%	-29.55%
Grup 3	13.95%	2.33%	-	-13.95%	-18.60%	-27.91%
Grup 4	32.43%	18.92%	16.22%	-	-5.41%	-16.22%
Grup 5	40.00%	25.71%	22.86%	5.71%	-	-11.43%
Grup 6	58.06%	41.94%	38.71%	19.35%	12.90%	-

Farklı katman kalınlıkları ve malzemeleri içeren gruplar arasında infiltrasyon oranlarının (mm/sa) karşılaştırılması, performans açısından önemli farklılıklar ortaya koymakta ve Grup 1 genel olarak en yüksek verimliliği göstermektedir. 30 cm toprak içeren Grup 1, 53 mm/saat ile en yüksek infiltrasyon oranlarını göstermekte ve diğer tüm gruplardan daha iyi etkinlik sergilemektedir. 50 cm toprak içeren Grup 2, 47 mm/sa infiltrasyon oranıyla Grup 1'den daha az verimli bir performans göstermektedir. 30 cm toprak, 15 cm fındık kabuğu içeren Grup 3, 48 mm/sa ile Grup 2'den daha yüksek düzeyde infiltrasyon verimliliği sergilemektedir; 50 cm toprak 15 cm fındık kabuğu içeren Grup 4, 15 cm kömür katmanı içeren grup 5 ve 6'dan daha iyi ancak Grup 1'den daha düşüktür. Grup 4, 43 mm/sa ile ortalamanın altında infiltrasyon oranları göstermektedir; Grup 5 ve 6'dan daha iyi ancak Grup 1, 2 ve 3'ten daha düşüktür. Grup 5, Grup 6'dan daha iyi ancak Grup 1, 2, 3 ve 4'ten daha düşük olan 39 mm/saat infiltrasyon oranıyla daha düşük verimlilik göstermektedir. Grup 6, 34 mm/sa ile en düşük infiltrasyon oranını göstermekte ve bileşen kompozisyonunun infiltrasyon için en az elverişli olduğunu göstermektedir.

4.4. TOPRAK ANALİZLERİ

Çalışma gruplarında yapılan toprak analizleri sonuçları aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 4.15. Çalışma başlangıcı 15.01.23 Toprak Analizi Sonuçları

	% İskelet	pH	EC	% Kum	% Kil	% Toz	% kireç	%Inorganik Karbon	%Organik madde	%Organik Karbon
Grup1	42,1	6,51	162,5	56	14	30	12,9	1,548	5,5	1,24
Grup2	41,8	6,53	169,1	57	14	29	13,0	1,553	5,6	1,20
Grup3	42,3	6,52	165,9	58	13	29	12,8	1,561	5,6	1,21
Grup4	42,0	6,55	160,8	58	14	28	12,9	1,547	5,4	1,22
Grup5	41,9	6,54	164,7	57	15	28	12,9	1,572	5,6	1,21
Grup6	42,2	6,52	161,2	56	13	31	12,8	1,566	5,7	1,19

Çizelge 4.16. 26.03.24 tarihli Toprak Analizi Sonuçları

	% İskelet	pH	EC	% Kum	% Kil	% Toz	% kireç	%Inorganik Karbon	%Organik madde	%Organik Karbon
Grup1	41,3	6,44	141,3	56	14	30	12,6	1,577	5,7	1,27
Grup2	41,1	6,45	147,4	57	14	29	12,8	1,566	5,8	1,24
Grup3	41,8	6,42	147,8	58	13	29	12,6	1,569	5,7	1,23
Grup4	40,9	6,43	145,2	58	14	28	12,6	1,558	5,6	1,24
Grup5	41,2	6,46	150,3	57	15	28	12,6	1,579	5,8	1,23
Grup6	40,8	6,42	140,2	56	13	31	12,4	1,576	5,9	1,22

4.5. BİLEŞİK VERİMLİLİK ANALİZİ

Kirlenici giderimi, infiltrasyon ve bitki gelişimi yağmur bahçelerinin temel işlevleri olduğundan üç değişkenin de beraber dahil edildiği genel bir etkinlik kıyaslaması için bileşik verimlilik analizi yapılmıştır. Bu analizde fosfat ve nitrat analizlerinin ortalama değerleri, infiltrasyon analizlerinin ortalama değerleri ve bitki gelişimlerinin ortalama değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 4.17. Bileşik Verimlilik Analizi

	Fosfat ve Nitrat Giderim Oranı Ortalaması (%)	İnfiltrasyon Hızı Ortalaması (mm/h)	Bitki Gelişimi Ortalaması (dm ³)	Bileşik Verimlilik (Oran x Hız x Büyüme)
Grup 1	21,1	51	51,3	55203,9
Grup 2	30,1	45,5	52,2	71490,5
Grup 3	29,3	45,5	51,2	68257,2
Grup 4	36,2	40	52,3	75730,4
Grup 5	47,4	37	52,7	92425,2
Grup 6	52,6	32,5	53	90603,5

Çizelge 4.18. Bileşik Verimlilik Analizi gruplar arası kıyaslaması

	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Grup 5	Grup 6
Grup 1	-	29.50%	23.65%	37.18%	67.43%	64.13%
Grup 2	-22.78%	-	-4.52%	5.93%	29.28%	26.74%
Grup 3	-19.12%	4.74%	-	10.95%	35.41%	32.74%
Grup 4	-27.10%	-5.60%	-9.87%	-	22.05%	19.64%
Grup 5	-40.27%	-22.65%	-26.15%	-18.06%	-	-1.97%
Grup 6	-39.07%	-21.10%	-24.66%	-16.42%	2.01%	-

30 cm toprak ve 10cm odun kömürü içeren Grup 5, yüksek fosfat ve nitrat giderimi, orta düzeyde infiltrasyon oranı ve güçlü bitki büyümesi ile en yüksek bileşik verimliliğe sahip olduğu görülmüştür. Grup 6, %1,97 daha düşük bileşik verimlilikle onu takip etmekte ve daha düşük bir infiltrasyon oranına rağmen yüksek giderim oranları ve bitki büyümesi göstermektedir. Grup 4, grup 5'ten %18,06 daha düşük bileşik verimlilik göstererek tüm ölçütler arasında dengeli bir etkinlik sergilemektedir. Grup 2 de grup 5'ten %22,65 daha düşük bileşik verimlilik göstermiş olup, fosfat ve nitrat giderim oranları, infiltrasyon ve

büyümede dengeli bir etkinliğe sahiptir. Grup 3, daha düşük nitrat ve fosfat giderim oranları ve daha düşük bitki gelişimi nedeniyle grup 5'ten %26,15 daha düşük bileşik verimliliğe sahiptir. Grup 1, en yüksek infiltrasyon oranına sahip olmasına rağmen grup 5'in %40,27 gerisinde en düşük kombine verime sahiptir; bu da özellikle fosfat ve nitrat giderim veriminin ve daha az ölçüde bitki büyümesinin diğer gruplara kıyasla daha düşük olduğunu göstermektedir.

4.6. TARTIŞMA

Yağış suyu yönetim sistemleri ve yağmur bahçelerinin genel faydaları düşünüldüğünde, bu yaklaşım ve sistemlerin kentsel sürdürülebilirlik ve çevre sağlığı açısından kritik bir rol oynadığı açıktır. Başlıca avantajlarından biri, sel ve erozyonu azaltma kapasiteleridir. Bu sistemler, fazla yağış suyunu etkili bir şekilde emerek ve yeniden yönlendirerek, aksi takdirde önemli altyapı hasarlarına ve toprak erozyonuna yol açabilecek yağış suyu taşmasını önlemeye yardımcı olmaktadır. Ayrıca, yağış suyu yönetim sistemleri su kalitesinin iyileştirilmesinde de etkilidir. Yağış suyu topraktan ve bu sistemlerdeki bitki köklerinden geçerken, kirleticiler doğal olarak filtrelenir, böylece yerel su yollarının kirlenmesi azaltılır ve su ekosistemleri korunur. Bir diğer önemli fayda ise yağış suyu yönetiminin yeraltı sularının yeniden şarj edilmesindeki rolüdür. Bu sistemler, yağış suyunun toprağa süzülmesini sağlayarak, özellikle su kıtlığı yaşanan bölgelerde sürdürülebilir su kaynaklarının korunması için gerekli olan yeraltı suyu kaynaklarının yenilenmesine yardımcı olur.

Yağmur bahçeleri ve benzeri sistemler, çevresel etkilerinin ötesinde kent estetiğine ve biyolojik çeşitliliğe de katkıda bulunmaktadır. Kentsel alanlara bu tarz yeşil alanların eklenmesi sadece görsel çekiciliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda çeşitli yaban hayatı türleri için habitatlar yaratarak daha fazla biyoçeşitliliği teşvik eder. Bu yeşil alanlar, rekreasyon fırsatları sunarak ve kent sakinlerinin genel refahına katkıda bulunarak toplumun farkına vardığı ve değer verdiği alanlar haline gelebilmektedir.

Genel olarak, yağış suyu yönetim sistemlerinin ve yağmur bahçelerinin uygulanması, kentsel çevre sorunlarının ele alınmasında çok yönlü bir yaklaşımı temsil etmektedir. Bu sistemler yalnızca şiddetli yağışların anlık etkilerini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda uzun vadeli ekolojik dengeye ve kentlerin iklimsel dayanıklılığına da katkıda bulunur. Bu sistemleri kentsel planlamaya entegre ederek, toplumlar iklim değişikliğinin yarattığı

artan zorluklara uyum sağlayabilen daha sağlıklı, daha sürdürülebilir ortamlar yaratabilmektedir.

Sharma ve Malaviya (2021) çalışmalarında, yeşil altyapı kullanarak yağış suyu kirliliğinin yönetimini, özellikle yağmur bahçelerinin yağış suyu hacmini azaltmadaki, varlıkların tahribatını önlemedeki, kentsel akıştaki kirleticileri gidermedeki ve yeraltı suyunu yeniden şarj etmedeki rolünü vurgulamaktadır. Fenner ve diğerleri (2019), yağış suyu yönetimi sistemleri ve yeşil altyapının entegre edilerek kentsel sel direncinin potansiyelini araştırmış ve bu tür bir entegrasyonun çevresel, toplumsal ve ekonomik iyileştirmeler için çok işlevli faydalarını vurgulamıştır. Nemirovsky ve diğerleri (2014) araştırmalarında, ABD'deki bir yağmur bahçesinin yeraltı suyu seviyesi üzerindeki etkisini araştırmış ve yağmur bahçelerinin sızma ve evapotranspirasyon gibi doğal süreçleri kullanarak yüzey akışını sürdürülebilir bir şekilde kontrolüne sağladığı etkileri göstermiştir. Ambrose ve Winfrey (2015) araştırmalarında, Güneydoğu Avustralya ve Güney Kaliforniya'daki yağış suyu biyofiltrasyon sistemlerini karşılaştırmış ve biyofiltrelerin yağış suyu akışını yönetmedeki etkinliğini göstermişlerdir. Strong ve Hudak (2015) çalışmalarında, atık su ve simüle edilmiş yağış suyu ile doldurulan bir yağmur bahçesinde azot ve fosfor giderimini incelemiştir ve yağmur bahçelerinin yağış suyunu yönetme ve su kalitesini iyileştirme konusundaki etkinliğini göstermiştir.

Morash ve diğerleri (2019) araştırmalarında, kirleticilerin yakalanmasını, biyolojik çeşitliliği ve ekosistem direncini iyileştirmek için yağmur bahçelerini kullanarak yerleşim alanlarında sürdürülebilirliği artırmaya odaklanmakta ve yağmur bahçelerinin kentsel yağış suyu yönetimindeki faydalarını ortaya koymaktadır. Guo ve diğerleri (2018) çalışmalarında, Kuzeybatı Çin'in Xi'an kentindeki yağmur bahçelerinin yedi yıllık etkisini değerlendirmekte ve yağmur bahçelerinin yüzey akış hacminin azaltılması ve kirletici maddelerin arıtılması konusunda etkili rolünü vurgulamaktadır. Chowdhury vd., (2020) araştırmalarında, yağış suyu yönetimi sistemlerini besin geri dönüşümü ve akış suyunda kirletici azaltma kapasiteleri açısından değerlendirmiş, toplam kirletici yükünde önemli bir azalma olduğunu ve su kalitesini artırdığını göstermiştir.

Yağış suyu yönetimi kavramı kentleşme, iklim değişikliği ve sürdürülebilir gelişim zorunluluğundan kaynaklanan küresel ölçekte önemli ve çok yönlü zorluklarla da karşı karşıyadır. Şehirler genişledikçe yollar ve binalar gibi geçirimsiz yüzeylerin çoğalması doğal infiltrasyonu azaltarak yüzeysel akış hacimlerinin artmasına neden olması, sel baskınını, erozyonu ve su kirliliğini arttırarak mevcut drenaj sistemlerini zorlamaktadır.

İklim değişikliğinin, yağış düzenlerini değiştirerek, fırtına olaylarının sıklığını ve yoğunluğunu artırarak bu sorunları daha da şiddetlendirmesi mevcut yağış suyu altyapılarının çoğunu yetersiz hale getirmektedir. Ayrıca, dünya çapında pek çok kentsel alandaki eskiyen altyapı, günümüzün talepleriyle ve gelecekteki iklim senaryolarıyla başa çıkacak şekilde tasarlanmamıştır, bu da altyapıda maliyetli ve kompleks iyileştirmeler gerektirmektedir.

Yağış suyu akışı çoğu zaman kentsel ve endüstriyel alanlardan gelen kirleticileri içerdüğinden bunlardan etkilenen su kalitesi tüm Dünya'da önemli bir endişe kaynağıdır. Bu kirleticilerin su kalitesini bozarak, su ekosistemlerine zarar vermesi, insanlar ve yaban hayatı için önemli sağlık riskleri oluşturabilmektedir. Mali ve insan kaynakları kısıtlamaları, özellikle gelişmekte olan bölgelerde belediyelerin etkili yağış suyu yönetim sistemlerini uygulama ve sürdürme yeteneğini daha da sınırlamaktadır. Altyapı geliştirmenin yüksek maliyetleri, sürekli bakım ve vasıflı personel ihtiyacı bu konuda önemli engeller oluşturmaktadır. Yağış suyu yönetimi için teknolojik entegrasyon ek engeller doğurmaktadır. Nesnelerin interneti ve yapay zeka gibi ileri teknolojiler, yağış suyu sistemlerinin gerçek zamanlı izlenmesi ve tahmine dayalı yönetimi için potansiyel sunarken, bunların uygulanması önemli teknik ve operasyonel zorlukları da beraberinde getirmektedir. Farklı teknolojilerin birlikte çalışabilirliğinin sağlanması, veri entegrasyonu ve bu sistemleri etkin kullanacak personelin eğitilmesi ve bu personellerin istihdamı ele alınması gereken kritik konulardır.

Yağış suyu yönetim sistemleri ve yeşil altyapı, çok sayıda fayda sunarken, aynı zamanda dikkate alınması gereken zorluklar ve dezavantajlar da sunmaktadır. Bu konu ile ilgili zorluklardan biri, yeşil alanların doğa koruma ve rekreasyon amaçlı kullanımının dengelenmesi gibi planlama sırasında ortaya çıkabilecek potansiyel çatışmalardır. (Artmann vd., 2019). Ayrıca, iklim değişikliğine uyum için yağış suyu yönetimi sistemleri ve yeşil altyapının benimsenmesi, mekansal planlamacılar tarafından uygulama ve benimseme engelleriyle karşılaşabilmektedir (Matthews vd., 2015). Ayrıca ekonomik açıdan bakıldığında kentsel yeşil altyapı projeleri iklim değişikliği, hızlı kentleşme ve gelişen yönetmeliklerin ortaya çıkardığı zorlukları ele almak için genellikle önemli yatırımlar gerektirmektedir (Kerkez vd., 2016).

Yağmur bahçeleri ve yağış suyu yönetim sistemleri gibi yeşil altyapı sistemlerinin birçok faydası olsa da, zorlukları ve sınırlamaları da bulunmaktadır. Sadece yeşil altyapıya veya sadece geleneksel gri altyapıya odaklanmak sorun yaratabilen bir durumdur.

Sürdürülebilirlik ve dayanıklılık açısından en iyi sonuçları elde etmek için iki yaklaşım arasında bir denge bulmak çok önemlidir (Depietri ve McPhearson, 2017). Yeşil altyapıyı kentsel alanlara dahil ederken karşılaşılan belirli zorluklar bulunmaktadır. Örneğin, bu projelerin çöpün atıldığı alanlara dönüşmeleri, ağaç köklerinin altyapıya zarar vermesi ve bazı ağaç türlerinden etrafa zarar verebilen maddeler salınabilmesi gibi sorunlara yol açabilmektedir. Bu sistemlerin başarısını sağlamak için bu sorunların dikkatle yönetilmesi gerekmektedir (Colunga vd., 2015).

Ayrıca, Çin'deki pilot sünger şehirlerde bakım için ödeme yapma istekliliği üzerine yapılan bir çalışmada vurgulandığı gibi, yağış suyu yönetim sistemleri ve yeşil altyapıyı bakımı maliyet açısından zor olabilmektedir (Qiao ve Randrup, 2022). Çalışma, yeşil altyapı projelerinin uzun vadede uygulanabilirliğini sağlamak için sürdürülebilir finansman mekanizmalarının önemini vurgulamaktadır. Yağış suyu yönetim sistemlerinin bir diğer dezavantajı da çevresindeki konut ve ticari alanlara karşı savunmasız olmasıdır; çevresindeki kullanımların bu sistemlere müdahaleleri, sistemlerin etkinliğini ve uzun ömürlülüğünü etkileyebilmektedir (Fineschi ve Loreto, 2020).

Yağmur bahçeleri, yaygın olarak benimsenmelerini ve etkinliklerini sınırlayan çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. Başlıca zorluklardan biri, uygun tasarım ve kurulum için gereken başlangıç maliyeti ve teknik uzmanlık olup, bu, ev sahipleri ve sınırlı bütçeli belediyeler için engel teşkil edebilmektedir. Yağmur bahçelerinin düzgün çalışmasını sağlamak için düzenli bakım gerektirmeleri bir diğer önemli konudur. Yağmur bahçelerinin performansından ödün verebilecek zayıf drenajlı veya yüksek yeraltı suyu seviyesine sahip alanlardan kaçınmak için yağmur bahçelerinin yerlerinin dikkatli şekilde seçilmesi gerekmektedir, bu yüzden doğru alan seçimi teknik uzmanlık isteyen bir konudur. Yağmur bahçelerinin faydaları ve bakım ihtiyaçları konusunda halkın farkındalığı ve anlayışı genellikle düşük olmaktadır, bu da yetersiz kullanıma ve bu bahçelerin korunmasında potansiyel ihmale yol açmaktadır. Ayrıca yağmur bahçeleri, alanın sınırlı olduğu ve rekabet halindeki arazi kullanımlarının bulunduğu kentsel ortamlarda, yer bulma konusunda dirençle karşılaşabilmektedir. Bu zorlukların üstesinden gelmek, yağmur bahçelerinin sürdürülebilir yağış suyu yönetimine etkili bir şekilde katkıda bulunabilmesini sağlamak için büyük öneme sahiptir.

Genel olarak, bu küresel zorluklar yağış suyu yönetimine yönelik bütünsel, uyarlanabilir ve iyi koordine edilmiş yaklaşımların gerektiğini göstermektedir. Bu sorunların ele alınması, uluslararası iş birliğini, sağlam politikaları, toplum katılımını ve gelecekteki

yağış suyu taleplerini yönetebilecek dirençli ve sürdürülebilir kentsel ortamlar oluşturmak için uygun yaklaşımların entegrasyonunu gerektirmektedir. Yağış suyu yönetimi sistemleri kentsel gelişim ve çevre yönetimine sürdürülebilir bir yaklaşım sunarken, planlama, uygulama ve bakımıyla ilgili zorlukları ve dezavantajları ele almak da önemlidir. Şehirlerde bu faktörler göz önünde bulundurularak ve uygun stratejiler uygulayarak yağış suyu yönetimi sistemlerinin faydaları en üst düzeye çıkarılabilir ve potansiyel dezavantajlarını azaltılabilir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında yağış suyu yönetimi kavramı, yağış suyu yönetimi bileşenleri ve Dünya'daki ilgili kavram, yaklaşım ve uygulamalar araştırılarak detaylı olarak incelenmiş, Dünya'da bu kavram ve stratejileri uygulayan çok sayıda önemli örnek, tasarımlarında kullanılan ve kendilerini farklı kılan yönleri belirtilerek incelenmiştir. Çalışmanın uygulama aşamasında, yağmur bahçelerini oluşturan katmanların yağmur bahçelerinin temel işlevleri olan kirletici giderimi, infiltrasyon ve bitki gelişimi üzerine etkilerini araştırmak amacıyla, üçer tekrarlı altı farklı gruptan oluşan 18 adet yağmur bahçesi modülleri kurulmuştur. Yağmur bahçesi modüllerinin katmanları oluşturulurken en alta ortak olarak çakıl katmanı, üzerine 10 cm kum katmanı yerleştirilmiş olup, birbirlerinden farklı olarak grup 1 için 30 cm derinliğinde toprak karışımı, grup 2 için 50 cm derinliğinde toprak karışımı, grup 3 için 30 cm toprak karışımı ve 15 cm fındık kabuğu katmanı, grup 4 için 50 cm toprak karışımı ve 15 cm fındık kabuğu katmanı, grup 5 için 30 cm toprak karışımı ve 15 cm odun kömürü katmanı, grup 6 için ise 50 cm toprak karışımı ve 15cm odun kömürü katmanı kullanılarak farklı bileşen kompozisyonlarının yağmur bahçelerinin temel işlevleri olan kirletici giderimi, infiltrasyon ve bitki gelişimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Suyun tarihsel kullanımı ve yönetimi üzerine düşünüldüğünde, insanın bu hayati kaynakla olan ilişkisinin hem toplumsal ilerlemenin itici gücü hem de gelişen değerlerin ve teknolojilerin bir aynası olduğu ortaya çıkmaktadır. Antik drenaj yöntemlerinden çağdaş yağış suyu yönetimi kavramına uzanan yolculuk, sürekli bir yenilik ve adaptasyon sürecini göstermektedir. Geçmişin zorluklarıyla yüzleşen insanlık, çevresel kısıtlamaların üstesinden gelmek için olağanüstü bir kapasite sergilemiştir. Yüzyıllardır süregelen yağış suyu yönetiminden çıkarılan dersler, temel bir kaynak olan suyu gelecek nesiller için koruyacak olan sürdürülebilir yaklaşımların geliştirilmesinin ve uygulanmasının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Yağış suyu yönetimi kavramı, basit ve tekil hedeflerden, zengin bir yaklaşım çeşitliliği ile kapsamlı, küresel olarak etkili bir disipline doğru genişleyerek derin bir dönüşüm geçirmiştir. Bu değişim büyük ölçüde kentsel ortamların artan karmaşıklığına ve iklim değişikliğinin çok yönlü etkilerine bir yanıt olmuştur. Başlangıçta bu kavramın

uygulanmasında, kentsel selleri önlemek için yağış suyunun hızlı bir şekilde yönlendirilmesine odaklanılmış ve genellikle daha geniş ekolojik ve sosyal etkileri göz ardı edilmiştir. Kentler genişledikçe ve çevresel sonuçlar daha belirgin hale geldikçe, yağış suyu yönetiminde daha sürdürülebilir ve bütüncül bir yaklaşıma duyulan ihtiyaç netleşmiştir. Bu farkındalık, yağış suyu yönetimi kavramının sadece taşkın azaltma değil, aynı zamanda su kalitesi, ekosistem sağlığı ve kentsel yaşanabilirliği de kapsayacak şekilde genişletilmesine yol açmıştır. Yağış suyu yönetiminde bu fonksiyonları kapsayan bütüncül bir bakış açısı, sürdürülebilir kentsel tasarım ve planlama, iklimin olumsuz etkilerine karşı dirençli sistemler oluşturma ve kentsel yeşil alanların iyileştirilmesi ile uyumlu stratejilerin dahil edilmesini teşvik etmiştir.

Küresel olarak yağış suyu yönetimi, yerel öncelikleri ve zorlukları yansıtan çeşitli iklimsel, coğrafi ve kültürel özellikleri içerecek şekilde de adapte olmuştur, bu durum ise yağış suyu yönetimi ile ilgili yerel ihtiyaçlara göre farklılaşan yaklaşımların oluşmasını sağlamıştır. Örneğin yoğun nüfuslu şehirlerde yağış suyu yönetimi uygulamalarının odak noktası, çok işlevli altyapı yoluyla yağış suyunu en üst düzeyde yönetmeye yönelebilenken, tayfun, kasırga, ani ve şiddetli yağışlar gibi aşırı hava koşullarına eğilimli bölgelerde, bu tür durumlara karşı dirençlilik ve hızlı müdahale yetenekleri ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, zengin biyoçeşitliliğe sahip bölgelerde, yağış suyu yönetiminde doğal su döngülerinin ve habitatların korunması öncelikli duruma gelebilmektedir.

Yağış suyu yönetimi ile ilgili yaklaşımların bu küresel çeşitliliği, yağış suyu yönetimini dinamik bir çalışma ve uygulama alanına dönüştürmüştür. Yağış suyu yönetimi bilim, politika ve toplum katılımını da bütünleştirerek sadece teknik bir kavram değil, aynı zamanda kentsel planlama ve çevre korumada önemli bir unsur haline gelmiştir. Bu süreçler, yağış suyu yönetimi kavramı gelişmeye devam ettikçe, dünya çapında farklı bölgelerin özel ihtiyaçlarını ve fırsatlarını karşılamak için uyarlanmış çeşitli uzmanlıkların ve yeni uygulamaların bir araya gelmesini sağlayacağını göstermektedir.

Yağış suyu yönetimi ve ilgili kavramlar daha spesifik olarak ele alındığında, Yirminci yüzyılın ikinci yarısında ABD’de En İyi Yönetim Uygulamaları (BMP’ler) ve Düşük Etkili Kalkınma (LID) yaklaşımlarının ortaya çıkması ile alanda önemli bir değişim yaşanmıştır. Bu yaklaşımlar, yağış suyunun bir atık ürün yerine bir kaynak olarak ele alınmasının önemini vurgulamıştır. Yağmur bahçeleri, biyolojik hendekler ve sulak alanlar gibi BMP’ler kirleticileri filtreleyerek su kalitesini artırırken, aynı zamanda geçirgen zeminler gibi LID teknikleri de sürece dahil edilerek doğal hidrolojiyi taklit

etmeyi ve infiltrasyonu teşvik etmeyi amaçlamıştır. 21. yüzyılın başlarında, Yeşil Altyapı (GI) ve Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri (SUDS) gibi kavramlar bu alanı daha da geliştirmiştir. Bu yaklaşımlar, yağış suyu yönetimini kentsel tasarıma entegre ederek, yağış suyunu kaynağına yakın bir yerde yönetmek için doğal sistemlerin ve sürdürülebilir uygulamaların kullanımını teşvik etmiştir. Avustralya'da ortaya çıkan Suya Duyarlı Kentsel Tasarım (WSUD) kavramı, bu bağlamda tüm su döngüsünü kentsel planlamaya dahil ederek bu fikirleri genişletmiş ve yağış suyunu sürdürülebilir bir şekilde yönetmek için doğal sistemlerin ve tasarımların kullanımını teşvik ederek bu alanı daha da geliştirmiş ve kentsel gelişimin tüm yönlerinde dikkate alınmasını sağlamıştır. Entegre havza yönetimi de, planlama ve karar alma süreçlerinde tüm havzaların dikkate alınmasının önemini vurgulayarak yukarı ve aşağı havza etkilerinin uyumlu bir şekilde ele alınmasını sağlamıştır. Yeşil Altyapı (GI), Mavi Altyapı ve Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri (SUDS) gibi mevcut yaklaşımlar, sürdürülebilirlik ilkelerini kentsel tasarıma entegre ederek, kentsel ortamları iyileştirirken yağış suyunu yöneten çok işlevli peyzajları teşvik etmektedir. Geleneksel boru ve kanalları içeren gri altyapı, büyük hacimlerde yağış suyunu yönetmek için önemini korumakla beraber daha esnek ve uyarlanabilir sistemler oluşturmak için yeşil ve mavi altyapı ile giderek daha fazla entegre olmaya devam ederek, bu sistemlerce desteklenmektedir. Doğal Taşkın Yönetimi (NFM) ve Doğa Tabanlı Çözümler (NbS), taşkın risklerini yönetmek ve su kalitesini artırmak için doğal süreçleri ve ekosistemleri kullanmaya odaklanarak, yağış suyu yönetiminde sulak alanların restore edilmesini, su havzalarının yeniden ağaçlandırılmasını ve nehirlerin taşkın yataklarına yeniden bağlanmasını sağlamaktadır, bu sayede noktasal olmayan kaynak kirliliğinin yönetilmesine ve doğal hidrolojik döngülerin eski haline getirilmesine de yardımcı olmaktadır. Uyarlanabilir kaynak yönetimi (ARM), yağış suyu sistemlerinin değişen çevresel koşullara ve ortaya çıkan verilere yanıt olarak gelişebilmesini sağlayarak, daha esnek ve dirençli tasarımları teşvik edecek şekilde kullanılmaktadır. Korumacı alt bölge tasarımı, doğal alanları koruyarak ve bunları konut topluluklarının tasarımına dahil ederek yağış suyu yönetimini arazi gelişimine entegre etmiştir. Bu yaklaşımlar sayesinde, geçirimsiz yüzeyler en aza indirilerek, infiltrasyonun teşviği sağlanmış ve şehir gelişimlerinde ekoloji ön plana alınmıştır.

Gelecekte yağış suyu yönetimi için yağış suyu akışını ve kalite yönetimini optimize eden akıllı, gerçek zamanlı duyarlı sistemler oluşturmak ve bu sistemlere Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Yapay Zeka (AI) gibi gelişmiş teknolojileri entegre etmek yağış suyu

yönetiminin ilerlemesi için önemli bir adım olacaktır. Sünger Şehirler kavramında kullanılan örnekler gibi merkezi olmayan, yağış suyu sorunlarını kendi içinde çözen çözümlerin artırılması, yerel toplulukları yağış suyunu kaynağında yönetme konusunda güçlendirerek merkezi altyapı üzerindeki yükü azaltmasını sağlayacak ve suyun yeniden kullanımını teşvik edecektir. Bu öneriler doğrultusunda oluşturulan şehirlerde, doğal hidrolojik süreçleri taklit ederek, yağış suyunu daha fazla emebilecek, depolayacak ve arıtacak sistemlerin tasarlanması ve uygulanmasına odaklanılacaktır.

Bu bilgiler doğrultusunda planlanan ve oluşturulan şehirlerde, ekolojik ve toplum temelli stratejiler benimsenerek doğal hidrolojik döngüler restore edebilecek, kentsel yeşil alanlar geliştirilebilecek ve iklim değişikliği gibi ekolojik krizlerin önlenmesinde toplum katılımının teşvik edilmesi sağlanabilecektir. Yağış suyu yönetimi ile ilgili tüm bu yaklaşımların uygulanması sadece taşkınları azaltmak ve su kalitesini iyileştirmekle kalmayacak, aynı zamanda biyoçeşitliliğe de katkıda bulunacak, kentsel ısı adalarını azaltmasını sağlayacak ve genel yaşam kalitesini artıracaktır. Bu uyarlanabilir ve sürdürülebilir stratejilerin bir araya gelmesi, yağış suyu yönetimini yeniden tanımlayarak gelecekteki iklim belirsizliklerine karşı daha dirençli şehirler ve peyzajlar yaratılmasına, canlı ve sağlıklı kentsel ekosistemlerin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

Teknolojideki ilerlemelere ve gelişen zorluklara yanıt olarak gelecekte yağış suyu yönetimi ile ilgili yeni yaklaşımların ve kavramların geliştirilmesi gerekeceği aşikardır. Örneğin, biyomimikri alanındaki gelişmeler, doğal su emme ve filtreleme süreçlerini daha yakından taklit eden malzeme ve sistemlerin yaratılmasına ve bu malzemelerin yağış suyu yönetiminde yeni bir yaklaşım olarak kullanılmasını sağlayabilme imkanını oluşturmaktadır. Yapay Zeka konusunda önemli olan makine öğrenimi ve büyük veri analitiğindeki ilerlemeler, bu sistemlerin yağış suyu yönetimi için kullanılarak, bu konudaki öngörü yeteneklerini artırabilir, bu sayede sel ve su kirliliğine karşı daha hassas ve öncü önlemler alınmasını sağlayabilir. Yağış suyu yönetimi yaklaşımları değişen iklim ve çevre koşullarına uyum sağlayarak, bu süreçlere karşı mücadele ve adaptasyonda etkili olmaya devam etmeli ve dünya çapında kentsel ve kırsal alanların sürdürülebilirliğine ve iklimsel dirençliliğine daha fazla katkıda bulunmalıdır. Nüfus artışı, kentleşme ve iklim değişikliği nedeniyle artan ve geleceğin en büyük sorunlarından biri olarak görülen küresel su talebi nedeniyle suyun filtrelenerek yeniden kullanımını teşvik eden yağış suyu yönetimi yaklaşımlarının önemi daha da artacaktır. Yağış suyu yönetimi sadece sel risklerini ele almakla kalmayarak, aynı zamanda yeraltı suyunun yeniden şarjını artırarak,

tatlı su kaynaklarına olan bağımlılığı azalttığı ve sürdürülebilir su kullanım uygulamalarını desteklediği için insanlar için temiz suların elde edilmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle yağış suyu yönetimi, kuraklığın her geçen gün arttığı, su kaynaklarının giderek tükendiği bir Dünya’da, esnek ve sürdürülebilir sistemler ve peyzajlar teşvik ederek, dünyanın su ihtiyacını karşılamada kritik bir rol oynamaktadır.

Yağış suyu yönetiminde, Dünya genelinde son dönemlerde yağmur bahçelerinin kullanımı giderek artmaktadır. ABD’nin 12000’i aşan sayısı ile en fazla yağmur bahçesine sahip olan New York şehri başta olmak üzere pek çok şehirde kullandığı ve öncülüğünü yaptığı bu sistemlerin, özellikle kentlerin farklı boyutlarda cadde ve sokaklarına entegre edilebilmesi, yapım ve bakım maliyetlerinin uygun olması, yağış suyu yönetiminde sağladığı faydaların yapılması için harcanan kaynaklardan çok daha fazla olması sayesinde Dünya’da giderek daha yaygın kullanımları görülmektedir. Yağış suyu yönetiminde, pek çok sisteme kıyasla daha yeni bir uygulama olmaları, Dünya genelinde, benzer bölgelerde bile farklı ölçülerde ve bileşenlerle yapılabilmesi, bileşenlerinin yarattığı farklılıklar açısından literatürde eksiklik olması, yağmur bahçelerini denemeye ve gelişmeye uygun bir sistem haline getirmektedir.

Bu esnek yapım kriterlerinden yola çıkarak çalışmanın uygulama aşamasında yağmur bahçelerinin içerisinde bulunan çeşitli bileşen katmanlarının yağmur bahçelerinin temel işlevleri olan kirletici giderimi, infiltrasyon ve bitki gelişimi üzerinde olan etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda oluşturulan yağmur bahçelerinde nitrat ve fosfat giderim, infiltrasyon, bitki gelişimi, toprak analizleri ve temel işlevlerin hepsini beraber ele alan bileşik verimlilik analizleri yapılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda, fosfat ve nitrat giderimi etkinliğinde, ek katmanların ve daha derin toprak karışımının fosfat ve nitrat gideriminde çalışma amacıyla öngörüldüğü gibi önemli ölçüde etkili olduğu görülmüştür. Kirletici gideriminin birincil öncelik olduğu durumlarda yağmur bahçeleri yapılırken, en yüksek giderime sahip olduğu ortaya çıkan bileşen kompozisyonlarının içerdiği ek odun kömürü katmanının kullanımı ve daha kalın toprak karışımı tabakasının kullanımı önerilmektedir.

Teucrium fruticans, *Rosmarinus officinalis* ve *Hypericum calycinum* gelişim değerlerinin incelendiğinde, 15 cm odun kömürü ek katmanına sahip bileşimlerin en iyi gelişim gösterdiği görülmüştür. Ek katman içermeyen ve 30 cm toprak katmanı bulunan bileşimler en düşük büyüme oranlarını göstermekte, bu da daha ek tabaka olmaması ve

ince toprak katmanının bulunduğu bileşimlerin *Teucrium fruticans*, *Rosmarinus officinalis* ve *Hypericum calycinum* gelişimi için en az elverişli ortam olduğunu göstermektedir. *Carex testacea* gelişim değerleri incelendiğinde ise ek katman içermeyen bileşimlerin en iyi gelişim gösterdikleri görülmüştür. 15 cm odun kömürü ek katmanına sahip bileşimlerin en düşük büyümü oranı gösterdiği, bu da ek katmanların *Carex testacea* gelişimi için en az elverişli olduğunu göstermektedir. Ek katmanların ve özellikle odun kömürünün genel olarak toprağa bitki gelişimi için sağladığı faydaların, Düzce'nin iklim koşullarında özellikle kuraklığa dayanıklı türler için faydalı olmadığı görülmektedir.

Genel olarak bitki gelişim performansındaki bu hiyerarşi, uygulanan bileşen farklılıklarının, değişen bitki türleri için farklı derecede etkinlik seviyeleri olduğunu göstermektedir. Gruplar arasında değişen gelişim performansları, toprak karışımının aynı özelliklere sahip olmasından dolayı, farklı kalınlıkta toprak karışımı ve ek katmanlardan oluşan bileşen kompozisyonlarının çalışma amacıyla öngörüldüğü gibi bitki büyümesinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Hedeflenen türlerde en yüksek performans gösteren başarılı bileşenlerin ayrıntılı analizi, daha düşük performans gösteren büyüme koşullarının optimize edilmesi için öngörü sağlayabilir. Yağmur bahçelerinin yapılacağı alanlarda, bitki türü seçiminde, bitkinin sadece iklim koşullarına uygunluğu değil, kullanılacak toprak karışımı kalınlığı ve ek katmanların bitki gelişimlerine üzerine edeceği etkilerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Hem başlangıç hem de çalışma sonu testinde farklı gruplar arasında infiltrasyon oranlarının karşılaştırılması, çalışma amacıyla öngörüldüğü gibi etkinlikte önemli farklılıklar ortaya koymaktadır; Ek katman içermeyen 30 cm toprak karışımı içeren grup, en yüksek infiltrasyon verimliliği göstermektedir. Ek katman içermeyen 50 cm toprak karışımı içeren grup ikinci en iyi performans gösteren gruptur. Ek katman olarak 15 cm odun kömürü içeren 30 cm toprak karışımı bileşimleri ve ek katman olarak 15 cm odun kömürü içeren 50 cm toprak karışımı bileşenleri en düşük infiltrasyon oranlarını göstermiştir.

Su infiltrasyon hızının birincil öncelik olduğu durumlarda, yağmur bahçeleri yapılırken, en yüksek hıza sahip olan daha ince toprak karışımına sahip bileşen kompozisyonlarının kullanımı önerilmektedir. Grup 5 ve 6'da görülen düşen infiltrasyon hızları nedeniyle infiltrasyonun birincil öncelik olduğu durumlarda odun kömürü ek katmanı uygulaması önerilmemektedir.

Yağmur bahçelerinin çalışmada incelenen temel işlevlerinin hepsi bileşik verimlilik analizi olarak hesaplamaya dahil edildiğinde, 30 ve 50 cm toprak karışımı ve 15cm odun kömürü içeren bileşimlerin, yüksek fosfat ve nitrat giderimi, daha düşük düzeyde infiltrasyon oranı ve güçlü bitki büyümesi ile en yüksek bileşik verimliliğe sahip olduğu görülmüştür. 50 cm toprak karışımı ve 15 cm fındık kabuğu içeren bileşim, %18.06 daha düşük bileşik verimlilik göstererek tüm ölçütler arasında dengeli bir etkinlik sergilemektedir. Ek katman içermeyen 30 cm toprak karışım içeren bileşim, en yüksek infiltrasyon oranına sahip olmasına rağmen en etkili bileşimlerin %40,27 gerisinde kalarak en düşük bileşik verimliliğe sahip olduğu görülmüştür, bunun da özellikle fosfat ve nitrat giderim etkinliğinin ve daha zayıf bitki büyümesini neden ile olduğu görülmektedir. Üst katman olarak 30 cm ve 50 cm toprak karışımı ve 15 cm odun kömürü içeren bileşimlerin, spesifik bir amaçla kurulmamış, yağmur bahçelerinin tüm temel işlevlerinin yerine getirilmesinin beklendiği tüm alanlarda kullanılmak için uygun bileşenlerden oluştuğu görülmekte ve bu tür alanlarda kullanılmaları önerilmektedir. Üst katman olarak 30 cm toprak karışımı içeren ve ek katman içermeyen bileşimin ise, bu tür alanlarda yeterince verimli olmayacağı görüldüğünden, kullanımı önerilmemektedir.

Toprak analizi, tüm gruplarda aynı toprak karışımı kullanıldığı için beklendiği üzere benzer sonuçlar vermiştir. Çalışma sonu yapılan toprak analizinde, toprakların pH'larında ortalama 6,53'ten 6,44'e hafif bir düşüş, elektrik iletkenliğinde muhtemel yıkanma sonucu tuzluluk ve kireç azalması sebebiyle ortalama 164'ten 145'e düşüş, % kireç oranında ortalama 12,9'dan 12,6'ya düşüş, % organik madde oranında ortalama 5,6'dan 5,75'e artış görülmüştür. İlerleyen süreçlerde yıkanma kaynaklı kireç oranının fazla düşmesi ihtimaline karşı kireç takviyesi yapılması gerekebilmektedir.

Bu çalışma ile yağış suyu akışını yönetme ve su kalitesini iyileştirmedeki etkinliğini belirlemek için farklı kalınlıkta katmanlar ve ek malzemeler kullanan yağmur bahçelerinin performansı kapsamlı bir şekilde değerlendirmiştir. Sonuçlar, öngörüldüğü şekilde bileşen kompozisyonlarının, yağmur bahçelerinin, infiltrasyon oranlarını değiştirme, bitki gelişim hızlarında değişiklik ve kirleticileri giderme yeteneğini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Bununla birlikte, optimum ortam bileşiminin toprak türü, yerel iklim ve akışta mevcut olan kirleticilerin türü gibi spesifik saha koşullarına bağlı olarak değişebileceğinin dikkate alınması gerekmektedir.

Genel olarak bu çalışma, bileşen kompozisyonu seçiminin yağmur bahçelerinin temel işlevlerinde oynadığı kritik rolü göstermektedir. Özellikle bu çalışmada kullanıldığı gibi

yerel ve doğal malzemelerin, yağış suyu yönetimi sistemlerinde denenerek kullanımlarının artırılması, hem yerel ürünlere kullanım alanı yaratmak, hem ürünlere kolay erişim ve düşük taşıma maliyeti, hem de yerel ekonomik faydaları sebebiyle önerilmektedir. Çalışma etkili yağış suyu yönetim sistemleri tasarlamak ve uygulamak isteyen peyzaj mimarları ve ilgili disiplinler için referans alınabilecek bilgiler sağlamaktadır. Gelecekteki çalışmalarda, yağmur bahçelerinin yağış suyu yönetimi için sürdürülebilir ve verimli bir çözüm olarak devam etmesi ve bileşen kompozisyonları seçimlerinin ve bakım uygulamalarının daha etkili olması için, bileşen malzemelerinin toprağın üstü, arası veya altı gibi farklı pozisyonlarda denemesi, farklı bileşen malzemeleri kullanılarak denemeler yapılması, hem toprak üstü hem altında aynı veya farklı malzemelerin denemesi, bileşenlerin daha uzun bir periyotta denenerek uzun vadeli etkinlikleri üzerine çalışılması ve maliyet-fayda analizlerinin yapılması, bu çalışma sonrasında bu alanda çalışmalarını ilerletecek inceleme konuları olarak önerilmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Abduljaleel, Y., Salem, A., Haq, F., Awad, A., ve Amiri, M. (2023). Improving detention ponds for effective stormwater management and water quality enhancement under future climate change: a simulation study using the pcswmm model. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32556-x>
- Acreman, M. C., ve Holden, J. (2013). How Wetlands Affect Floods. *Wetlands*, 33 (5). 773-786.
- Adeosun, F. (2019). effects of anthropogenic activities on water quality, and phosphate and nitrates in the sediment of river ogun at ijaye, isabo and oke-sokori, ogun state. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(3), 1261.
- Agrismart, 2024. Erişim adresi: <https://www.agrismart.co.uk/nitrates-phosphates-effects-water-quality/> (Erişim tarihi: 9 Ocak 2024).
- Ahilan, S., Melville-Shreeve, P., Kapelan, Z., ve Butler, D. (2018). The influence of household rainwater harvesting system design on water supply and stormwater management efficiency. *New Trends in Urban Drainage Modelling*, 369-374. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99867-1_62
- Ahmed, W., Hamilton, K., Gyawali, P., Toze, S., ve Haas, C. (2016). Evidence of avian and possum fecal contamination in rainwater tanks as determined by microbial source tracking approaches. *Applied and Environmental Microbiology*, 82(14), 4379-4386. <https://doi.org/10.1128/aem.00892-16>
- Ahmed, W., Hamilton, K., Toze, S., Cook, S., ve Page, D. (2019). A review on microbial contaminants in stormwater runoff and outfalls: potential health risks and mitigation strategies. *The Science of the Total Environment*, 692, 1304-1321. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.055>
- Ahsan, A., Das, S., Khan, M., Ng, A., Al-Ansari, N., Ahmed, S., ... & Shafiquzzaman, M. (2023). Modeling the impacts of best management practices (bmps) on pollution reduction in the yarra river catchment, australia. *Applied Water Science*, 13(4). <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01812-2>
- Allan, C., Stankey, G. H. (2009). Adaptive Environmental Management: A Practitioner's Guide. *Springer Science & Business Media* DOI:10.1007/978-1-4020-9632-7
- Allison, B., Fatula, S., & Wolanski, D. (2006). Evaluating riparian buffers for nonpoint source pollution control in an urban setting using the riparian ecosystem management model, remm. *Hydrology and Management of Forested Wetlands*

- Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1-3), 19-31.
- Ambrose, R. and Winfrey, B. (2015). Comparison of stormwater biofiltration systems in southeast australia and southern california. *Wiley Interdisciplinary Reviews Water*, 2(2), 131-146. <https://doi.org/10.1002/wat2.1064>
- American Society of Civil Engineers (2021). *2021 Infrastructure Report Card*.
- American Society of Landscape Architects (ASLA) (2012). "*Green Infrastructure and its Implementation*."
- Amin, M., Kim, T., Amin, M., & Han, M. (2013). Effects of catchment, first-flush, storage conditions, and time on microbial quality in rainwater harvesting systems. *Water Environment Research*, 85(12), 2317-2329. <https://doi.org/10.2175/106143013x13706200598433>
- Anadolu Ajansı, AA, (2019). Erişim adresi: <https://www.aa.com.tr/en/energy/hydro/dam-will-add-835m-to-turkish-economy-president/23691> (Erişim tarihi: 9 Mayıs 2023).
- Anadolu Ajansı, AA, (2021). Erişim adresi: <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/marmara-denizindeki-musilajin-tamamen-temizlenmesi-icin-7-24-esasiyla-acil-mudahale-calismasi-basliyor/2265557>. Fotoğraf: Yunus Emre Günaydın/AA (Erişim tarihi: 9 Mayıs 2023).
- Ancient Water Technologies. (2012). *Minoan water system at Tylissos, Crete*. Url-3. Erişim adresi: <https://ancientwatertechnologies.com/2012/12/26/minoan-water-system-at-tylissos-crete> (Erişim tarihi: 30 Mart 2022).
- Andenæs, E., Kvannd, T., Muthanna, T., & Lohne, J. (2018). Performance of blue-green roofs in cold climates: a scoping review. *Buildings*, 8(4), 55. <https://doi.org/10.3390/buildings8040055>
- Andenæs, E., Time, B., Muthanna, T., Asphaug, S., & Kvannd, T. (2021). Risk reduction framework for blue-green roofs. *Buildings*, 11(5), 185. <https://doi.org/10.3390/buildings11050185>
- Andersson, E., Langemeyer, J., Borgström, S., McPhearson, T., Haase, D., Kronenberg, J., ... & Baró, F. (2019). Enabling green and blue infrastructure to improve contributions to human well-being and equity in urban systems. *Bioscience*, 69(7), 566-574. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz058>

- Anim, D., Fletcher, T., Pasternack, G., Vietz, G., Duncan, H., & Burns, M. (2019). Can catchment-scale urban stormwater management measures benefit the stream hydraulic environment. *Journal of Environmental Management*, 233, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.023>
- AquaFab. (n.d.). *Track drainage: Pipes, bends & junctions*. Url-28. Erişim adresi: <https://www.aquafab.co.uk/track-off-track-drainage-systems/track-drainage-pipes-bends-junctions/tdx> (Erişim tarihi: 15 Aralık 2021).
- Aqua-lity. (n.d.). *CMAC: How it works*. Url-69. Erişim adresi: <https://www.aqua-lity.co.uk/wp-content/uploads/2015/09/CMAC-How-it-Works-1.jpg> (Erişim tarihi: 22 şubat 2023).
- ArchDaily. (2016). *Enabling Village by WOHA*. Url-82. Erişim adresi: <https://www.archdaily.com/801850/enabling-village-woha> (Erişim tarihi: 15 Ocak 2023).
- ArchDaily. (2021). *More highways, more problems: Planning the future of major road systems*. Url-58. Erişim adresi: <https://www.archdaily.com/958017/more-highways-more-problems-planning-the-future-of-major-road-systems> (Erişim tarihi: 10 Temmuz 2023).
- Architektura & Biznes. (n.d.). *Good for both in Sweden: District Vastra*. Url-92. Erişim adresi: <https://www.architekturaibiznes.pl/en/good-both-in-sweden-district-vastra,26892.html> (Erişim tarihi: 30 Mayıs 2022).
- Arendt, R. (1996). *Conservation Design for Subdivisions: A Practical Guide to Creating Open Space Networks*. Island Press.
- Arizona State University, ASU, (2018). *UREx Sustainability Research Network*. <https://sustainability-innovation.asu.edu/urbanresilience/2018/11/portland-oregon-green-streets-program/>
- Arkitera. (n.d.). *Gardensa Akilli Yesil Duvar Sistemleri*. Url-36. Erişim adresi: <https://www.arkitera.com/tanitim/gardensa-akilli-yesil-duvar-sistemleri/> (Erişim tarihi: 8 Mart 2023).
- Arnold, C. L. Jr., & Gibbons, C. J. (1996). Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator. *Journal of Environmental Management*, 48(4), 95-102.
- Aronson, J., & Alexander, S. (2013). Ecosystem restoration is now a global priority: Time to roll up our sleeves. *Restoration Ecology*, 21(3), 293-296.
- Artmann, M., Kohler, M., Meinel, G., Gan, J., & Iojă, I. (2019). How smart growth and green infrastructure can mutually support each other — a conceptual framework for compact and green cities. *Ecological Indicators*, 96, 10-22.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.001>

Asit K. Biswas (2004). "Integrated Water Resources Management: A Reassessment." *Water International*, Volume 29, Issue 2, Pages 248-256, June 2004. International Water Resources Association.

ASLA, 2024. *Awards*. Erişim adresi: <https://www.asla.org/2016awards/169669.html> (Erişim tarihi: 9 Ocak 2024).

ASLA. (n.d.). *Water and stormwater*. Url-12. Erişim adresi: <https://www.asla.org/waterandstormwater.aspx> (Erişim tarihi: 25 Kasım 2021).

Atlanta Regional Commission. Atlanta, GA. "Georgia Stormwater Management Manual." *Archived 2008-04-10 at the Wayback Machine Section 3.4.1: "Dry Detention/Dry ED Basins."* August 2001. <https://web.archive.org/web/20080410222514/http://www.georgiastormwater.com/vol2/3-4-1.pdf> (Erişim tarihi: 9 Mayıs 2023).

Auckland Council, AUC, (2024). *Auckland Plan 2050*. <https://www.aucklandcouncil.govt.nz/plans-projects-policies-reports-bylaws/our-plans-strategies/auckland-plan/environment-cultural-heritage/Pages/green-infrastructure.aspx> (Erişim tarihi: 9 Ocak 2024).

Auckland Council (2021). *Auckland Design Manual* www.aucklanddesignmanual.co.nz

Bai, Y., Liang, J., Liu, R., Hu, C., & Qu, J. (2014). Metagenomic analysis reveals microbial diversity and function in the rhizosphere soil of a constructed wetland. *Environmental Technology*, 35(20), 2521-2527. <https://doi.org/10.1080/09593330.2014.911361>

Barbosa, V., Pradilla, M., Chica-Mejía, J., & Bonilla, J. (2022). Functionality and value of green infrastructure in metropolitan sprawl: what is the city's future? a case study of the bogotá-sabana northern region. *Urban Green Spaces*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.104453>

Bateman, I., Jones, A., Lovett, A., Lake, I., Day, B.H.. (2002). Applying Geographical Information Systems (GIS) to Environmental and Resource Economics. *Environmental & Resource Economics*. 22. 219-269. 10.1023/A:1015575214292.

Bayrak, G., Keleş, E., Ölmez, Z. (2019). *Investigation of Green Infrastructure Applicationability in Edirne City Center*. XIth International Sinan Symposium Proceedings Book, 11-12 April 2019, (ss 853 – 866), Trakya University Faculty of Architecture, Edirne.

Beatley, T. (2011). *Biophilic Cities: Integrating Nature into Urban Design and Planning*. Island Press, Washington, D.C.

- Beery, T. (2018). Engaging the private homeowner: linking climate change and green stormwater infrastructure. *Sustainability*, 10(12), 4791. <https://doi.org/10.3390/su10124791>
- Benedict, M.A., and McMahon, E.T. (2006). "*Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities*." Island Press, Washington, D.C.
- Bentarzi, Y., Ghenaim, A., Terfous, A., Wanko, A., & Poulet, J. (2014). Quantifying mobile and immobile zones during simulated stormwater infiltration through a new permeable pavement material. *Environmental Technology*, 36(5), 628-637. <https://doi.org/10.1080/09593330.2014.954630>
- Benton-Short, L., & Short, J.R. (2013). *Cities and Nature* (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203103500>
- Bertuzzi, G. and Ghisi, E. (2021). Potential for potable water savings due to rainwater use in a precast concrete factory. *Water*, 13(4), 448. <https://doi.org/10.3390/w13040448>
- Björklund, K., Cousins, A., Strömvall, A.-M., & Malmqvist, P.-A.. (2009). Phthalates and nonylphenols in urban runoff: Occurrence, distribution and area emission factors. *Science of The Total Environment*. 407. 4665-4672. 10.1016/j.scitotenv.2009.04.040.
- Blue Green Futures. (n.d.). *Blue-green futures to tackle international urban water challenges*. Url-61. Erişim adresi: <https://blogs.nottingham.ac.uk/bluegreenfutures/2019/04/10/blue-green-futures-to-tackle-international-urban-water-challenges/> (Erişim tarihi: 5 Mayıs 2022).
- Boesch, D. F., Brinsfield, R. B., & Magnien, R. E.. Chesapeake Bay eutrophication: Scientific understanding, ecosystem restoration, and challenges for agriculture. *Journal of Environmental Quality*. 2001;30(2):303-320
- Bratieres, K. et al. (2008). Nutrient and sediment removal by stormwater biofilters: a large-scale design optimisation study. *Water Res.* 42 (14), pp. 3930-33
- Brears, R. (n.d.). *Innovative stormwater management: Unleashing potential*. Url-18. Erişim adresi: <https://www.linkedin.com/pulse/innovative-stormwater-management-unleashing-potential-robert-brears> (Erişim tarihi: 30 Mayıs 2021).
- Bressy, A., Gromaire, M.-C., Lorgeoux, C., & Chebbo, G. (2011). Alkylphenols in atmospheric depositions and urban runoff. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*. 63. 671-9. 10.2166/wst.2011.121.
- Broadmeadow, S. and Nisbet, T. (2004). The effects of riparian forest management on the freshwater environment: a literature review of best management practice. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(3), 286-305. <https://doi.org/10.5194/hess->

- Brown, R.A., & Clarke, J.M. (2007). Transitioning to Water Sensitive Cities: Historical, Current and Future Transition States. In: *11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgh, Scotland, UK.
- Brudler, S., Arnbjerg-Nielsen, K., Hauschild, M., & Rygaard, M. (2016). Life cycle assessment of stormwater management in the context of climate change adaptation. *Water Research*, 106, 394-404. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.10.024>
- Bruner, S., Palmer, M., Griffin, K., & Naeem, S. (2023). Planting design influences green infrastructure performance: plant species identity and complementarity in rain gardens. *Ecological Applications*, 33(7). <https://doi.org/10.1002/eap.2902>
- Buijse, A. D., Coops, H., Staras, M., Jans, L. H., Van Geest, G. J., Grift, R. E., Ibelings, B. W., Oosterberg, W., & Roozen, F. C. J. M. (2002). Restoration strategies for river floodplains along large lowland rivers in Europe. *Freshwater Biology*, 47(4), 889-907.
- Bullock, A., & Acreman, M. (2003). The role of wetlands in the hydrological cycle. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7(3), 358-389.
- Buro Happold. (n.d.). *Making the economic case for green infrastructure investment*. Url-60. Erişim adresi: <https://www.burohappold.com/articles/making-economic-case-green-infrastructure-investment/> (Erişim tarihi: 27 Ağustos 2023).
- Butler et al. (2018). *Urban Drainage*. CRC Press, London (4th ed), pp. 86-88, 91-92
- Caesarina, H. and Rahmani, D. (2021). *The alternatives for urban green space in riverside area of banjarmasin to create a sustainable city*. Proceedings of the 2nd Borobudur International Symposium on Science and Technology <https://doi.org/10.2991/aer.k.210810.012>
- Calder, I. R., & Aylward, B. (2006). Forests and floods: Moving to an evidence-based approach to watershed and integrated flood management. *Water International*, 31(1), 87-99.
- Campisano, A., Creaco, E., & Modica, C. (2011). A simplified approach for the design of infiltration trenches. *Water Science & Technology*, 64(6), 1362-1367. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.170>
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen. *Ecological Applications*, 8(3), 559-568.
- Casal-Campos, A., Sadr, S., Fu, G., & Butler, D. (2018). Reliable, resilient and

- sustainable urban drainage systems: an analysis of robustness under deep uncertainty. *Environmental Science & Technology*, 52(16), 9008-9021. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01193>
- Centre of Expertise for Waters, CREW, (2024). <https://www.crew.ac.uk/publication/natural-flood-management-farmers-view> (Erişim tarihi: 16 Mart 2024)
- Chahine, M. T. (1992). The hydrological cycle and its influence on climate. *Nature*, 359(6394), 373–380. <https://doi.org/10.1038/359373a0>
- Chandler, J., Preisendanz, H., Veith, T., Elkin, K., Elliott, H., Watson, J., ... & Kleinman, P. (2021). Role of concentrated flow pathways on the movement of pesticides through agricultural fields and riparian buffer zones. *Transactions of the Asabe*, 64(3), 975-986. <https://doi.org/10.13031/trans.14221>
- Chapman, C. and Hall J.W. (2022) The potential for sustainable drainage systems (SuDS) in a regional urbanization project. *Front. Sustain. Cities* 4:922890.
- Chen, J., Chen, T., Lecher, T., & Davidson, P. (2019). Measurement of permeability and comparison of pavements. *Water*, 11(3), 444. <https://doi.org/10.3390/w11030444>
- Chen, Y., Lu, B., Xu, C., Chen, X., Liu, M., Gao, L., ... & Deng, H. (2022). Uncertainty evaluation of best management practice effectiveness based on the annagnps model. *Water Resources Management*, 36(4), 1307-1321. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03082-8>
- Chiang, E., & Weinstein, N.A. (2015). *Low Impact Development for Industrial Areas*
- China Daily. (2019). *Swansea tidal lagoon plan*. Url-75. Erişim adresi: <https://www.chinadaily.com.cn/a/201908/20/WS5d5b2811a310cf3e35566a34.html> (Erişim tarihi: 14 Temmuz 2023).
- China State Construction, CSCEC, (2021). <https://english.cscec.com/CompanyNews/CorporateNews/202108/3387942.html>
- Chinese Architects. (n.d.). *The Red Ribbon: Tanghe River Park*. Url-73. Erişim adresi: <https://www.chinese-architects.com/en/turenscape-haidian-district-beijing/project/the-red-ribbon-tanghe-river-park> (Erişim tarihi: 17 Kasım 2021).
- Cho, J. and Lee, J. (2017). Stormwater runoff characteristics and effective management of nonpoint source pollutants from a highland agricultural region in the lake soyang watershed. *Water*, 9(10), 784. <https://doi.org/10.3390/w9100784>
- Choi, H., Reyes, N., Jeon, M., & Kim, L. (2021). Constructed wetlands in south korea: current status and performance assessment. *Sustainability*, 13(18), 10410.

<https://doi.org/10.3390/su131810410>

Chowdhury, S., Kain, J., Adelfio, M., Volchko, Y., & Norrman, J. (2020). Greening the browns: a bio-based land use framework for analysing the potential of urban brownfields in an urban circular economy. *Sustainability*, 12(15), 6278. <https://doi.org/10.3390/su12156278>

Chubaka, C., Whiley, H., & Ross, K. (2018). Microbiological values of rainwater harvested in adelaide. *Pathogens*, 7(1), 21. <https://doi.org/10.3390/pathogens7010021>

Cincinnati Universitesi, (2023). https://wasteflake.com/tiki-read_article.php?articleId=12 Photo Credit: University of Cincinnati (Erişim Tarihi: 1 Nisan 2023)

City of Columbia, COMO, (2022). Erişim adresi: <https://www.como.gov/utilities/sewer/constructed-wetlands-wastewater-treatment/> (Erişim Tarihi: 13 Nisan 2022)

City of Seattle, CoS, (2024). South Thornton Natural Drainage System (NDS) Project. <https://www.seattle.gov/utilities/neighborhood-projects/south-thornton-natural-drainage-system> (Erişim Tarihi: 19 Nisan 2024)

Clar, M.L., & Rushton, B.T. (2002). *Low Impact Development (LID) Case Studies*

Clark Nexsen. (n.d.). *High-impact, low-impact development*. Url-62. Erişim adresi: <https://www.clarknexsen.com/blog-high-impact-low-impact-development/> (Erişim tarihi: 30 Haziran 2023).

Clean Air Partnership, CAP, 2022. *Implementation of Nature-based Solutions by Municipalities to Advance Climate Action*. <https://www.cleanairpartnership.org/implementation-of-nature-based-solutions-by-municipalities-to-advance-climate-action/> (Erişim Tarihi: 11 Mart 2022)

Climate Council Australia, (2023). Erişim adresi: <https://www.climatecouncil.org.au/resources/floods-worsened-climate-change/> (Erişim Tarihi: 19 Nisan 2023)

Climate Water Project, (2024). Erişim adresi: <https://climatewaterproject.substack.com/p/roads-a-major-problematical-part> (Erişim Tarihi: 12 Ocak 2024)

Climate Water Project. (2023). Url-22. *Roads: A major problematical part*. Erişim adresi: <https://climatewaterproject.substack.com/p/roads-a-major-problematical-part> (Erişim tarihi: 11 Eylül 2023).

- Coelho, A., Menezes, G., Galvão, T., & Coelho, J. (2021). Performance of rolled erosion control products (recps) as bioswale revetments. *Sustainability*, 13(14), 7731. <https://doi.org/10.3390/su13147731>
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (2016). Nature-based solutions to address global societal challenges. *Gland, Switzerland: IUCN*. xiii + 97pp.
- Colunga, M., Cambrón-Sandoval, V., Suzán-Azpiri, H., Guevara-Escobar, A., & Luna-Soria, H. (2015). The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in querétaro city, mexico. *Atmósfera*, 28(3), 205-218. <https://doi.org/10.20937/atm.2015.28.03.05>
- Compasses World. (n.d.). *Down to the vertical gardens*. Url-38. Erişim adresi: <https://compassesworld.com/essays/down-to-the-vertical-gardens/> (Erişim tarihi: 30 Mayıs 2022).
- Convertino, F., Vox, G., & Schettini, E. (2019). Heat transfer mechanisms in vertical green systems and energy balance equations. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 14(1), 07-18. <https://doi.org/10.2495/dne-v14-n1-7-18>
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., Farber, S., & Turner, R. K. (2017). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 152-158.
- Cotterill, S. and Bracken, L. (2020). Assessing the effectiveness of sustainable drainage systems (suds): interventions, impacts and challenges. *Water*, 12(11), 3160. <https://doi.org/10.3390/w12113160>
- Danz, M., Buer, N., & Selbig, W. (2021). Subsurface temperature properties for three types of permeable pavements in cold weather climates and implications for deicer reduction. *Water*, 13(24), 3513. <https://doi.org/10.3390/w13243513>
- David, N., Leatherbarrow, J., Yee, D., & McKee, L. (2015). Removal efficiencies of a bioretention system for trace metals, pcbs, pahs, and dioxins in a semiarid environment. *Journal of Environmental Engineering*, 141(6). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ee.1943-7870.0000921](https://doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0000921)
- Davis, Allen. (2007). Field Performance of Bioretention: Water Quality. *Environmental Engineering Science*, 24. 1048-1064. 10.1089/ees.2006.0190.
- Demir D. (2012). ‘Konvansiyonel Yağmursuyu Yönetim Sistemleri ile Sürdürülebilir Yağmursuyu Yönetim Sistemlerinin Karşılaştırılması: İTÜ Ayazağa Yerleşkesi Örneği’. Yüksek Lisans Tezi, 2s, İstanbul Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Demirel Simay. (2020). *Parc de la Villette*. Url-80. Erişim adresi:

<https://demirelsimay.wordpress.com/2020/06/12/parc-de-la-villette/> (Erişim tarihi: 22 Temmuz 2023).

Deng, Y. and Zhang, C. (2022). Sponge city and water environment planning and construction in jibu district in changde city. *Sustainability*, 15(1), 444. <https://doi.org/10.3390/su15010444>

Depietri, Y. and McPhearson, T. (2017). Integrating the grey, green, and blue in cities, *nature-based solutions for climate change adaptation and risk reduction.*, 91-109. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5_6

Developer's Guide. (n.d.). *Blue roof*. Url-34. Erişim adresi: <https://developersguide.njfuture.org/bmp/blue-roof/> (Erişim tarihi: 14 Şubat 2023).

Dhakal, K.P., & Chevalier, L.R. (2015). Implementing Low Impact Development in Urban Landscapes: A Policy Perspective, *World Environmental and Water Resource Congress*, Austin, Texas.

Dietz, M.E. (2007). Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions. *Water, Air, & Soil Pollution*, 186, 351-363.

Dietz, M.E., & Clausen, J.C. (2006). Saturation to improve pollutant retention in a rain garden. *Environmental Science & Technology*, 40(4), 1335-1340.

Donati, G.F.A., Bolliger, J., Psomas, A., Maurer, M., & Bach, P.M. (2022). Reconciling cities with nature: Identifying local blue-green infrastructure interventions for regional connectivity enhancement. *Journal of Environmental Management*, 284, 112012

Double Stone Steel. (n.d.). *Planters and landscape architecture fixtures*. Url-52. Erişim adresi: <https://www.doublestonesteel.com/products/planters-and-landscape-architecture-fixtures/> (Erişim tarihi: 29 Ağustos 2021).

Doyle, Donna L. (2005). "Planning for Greener Development: Conservation Development and Landon Bay East". FES Outstanding Graduate Student Paper Series. 10 (2): 1–20.

Duncan HP. (1999). *Urban stormwater quality: a statistical overview* (Report 99/3). Melbourne, Australia: Cooperative Research Center for Catchment Hydrology.

Eckart, K.; McPhee, Z.; Bolisetti, T. (2017). Performance and implementation of low impact development—A review. *Sci. Total Environ.* 607–608, 413–432

Edwards, P., Wood, F., & Quinlivan, R. (2016). *Effectiveness of best management practices that have application to forest roads: a literature synthesis*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 171 p.

<https://doi.org/10.2737/nrs-gtr-163>

Elementi. (n.d.). *Vertical garden in Bangkok and indoor-outdoor design*. Url-37. Erişim adresi: <https://www.elementitd.com/vertical-garden-in-bangkok-and-indoor-outdoor-design/> (Erişim tarihi: 15 Kasım 2021).

Ely, M., Pitman, S. D. (2014). *Green Infrastructure: Life support for human habitats. The Compelling Evidence for Incorporating Nature into Urban Environments*, Green Infrastructure project, Department of Environment, Water and Natural Resources, Botanic Gardens of South Australia

Emerson, C., Wadzuk, B., & Traver, R. (2010). Hydraulic evolution and total suspended solids capture of an infiltration trench. *Hydrological Processes*, 24(8), 1008-1014. <https://doi.org/10.1002/hyp.7539>

Enviro-Friendly. (n.d.). *Water tanks*. Url-42. Erişim adresi: <https://enviro-friendly.com/water-tanks/> (Erişim tarihi: 4 Ocak 2024).

Environment Agency, EPA (2022). Erişim adresi: *Stormwater Management*. <https://www.epa.gov/greeningepa/epa-facility-stormwater-management> (Erişim Tarihi: 2 Nisan 2022)

Environment Agency, EPA, (2012). Erişim adresi: *Rural Sustainable Drainage Systems*. <https://www.gov.uk/government/publications/rural-sustainable-drainage-systems> (Erişim Tarihi: 2 Nisan 2022)

Environment Agency, EPA, (2014). Erişim adresi: *Green Infrastructure*. www.epa.gov/smartgrowth/green-infrastructure.html (Erişim Tarihi: 13 Nisan 2023)

Environment Agency, EPA, (2024). Erişim adresi: *Green and Gray infrastructure*. <https://www.epa.gov/water-research/green-and-gray-infrastructure-research> (Erişim Tarihi: 8 Ocak 2024)

Environmental Protection Agency, EPA, (2024). Erişim adresi: <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-water-act> (Erişim tarihi: 9 Ocak 2024).

Environmental Protection Agency, EPA, (2024). Erişim adresi: <https://www.epa.gov/npdes/npdes-stormwater-program> (Erişim tarihi: 9 Ocak 2024).

Environmental Protection Agency, EPA, (2024). Erişim adresi: <https://www.epa.gov/nps> (Erişim tarihi: 9 Ocak 2024).

Environmental Protection, EPA, (2024). Erişim adresi:

- <https://www.epa.gov/wetlands/constructed-wetlands> (Erişim tarihi: 9 Ocak 2024).
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., and Ledin, A., Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*. 4(1), p. 85–104, 2002
- Ernhardt, E. and Almer, A. (2007). Restoring streams in an urbanizing world. *Freshwater Biology*, 52(4), 738-751. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01718.x>
- Espíndola, J. and Flores, C. (2021). Challenges of water sensitive cities in mexico: the case of the metropolitan area of guadalajara. *Water*, 13(5), 601. <https://doi.org/10.3390/w13050601>
- European Commission (2013). "Building a Green Infrastructure for Europe." European Union, 2013. https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/index_en.htm (Erişim Tarihi: 2 Nisan 2023)
- European Commission (2018). *Impact of Transport on Environment*.
- Farrelly, M.A., & Brown, R.R. (2011). Rethinking Urban Water Management: Experimentation as a Way Forward? *Global Environmental Change*, 21(2), 721-732.
- Fenner, R., O'Donnell, E., Ahilan, S., Dawson, D., Kapetas, L., Krivtsov, V., ... & Vercruyse, K. (2019). Achieving urban flood resilience in an uncertain future. *Water*, 11(5), 1082. <https://doi.org/10.3390/w11051082>
- Fineschi, S. and Loreto, F. (2020). A survey of multiple interactions between plants and the urban environment. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00030>
- Fisch, J. (2014). 'Green Infrastructure and the Sustainability Concept: A Case Study of the Greater New Orleans Urban Water Plan'. Master's thesis: University of New Orleans.
- Fischer, J., Quist, M., Wigen, S., Schaefer, A., Stewart, T., & Isenhardt, T. (2010). Assemblage and population-level responses of stream fish to riparian buffers at multiple spatial scales. *Transactions of the American Fisheries Society*, 139(1), 185-200. <https://doi.org/10.1577/t09-050.1>
- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., ... Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525–542. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>
- Fletcher, T., Andrieu, H., Hamel, P. (2015). "Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art." *Advances in Water Resources*, 51, 261-279.

- Flickr. (n.d.). *Rain garden*. Url-68. Erişim adresi: <https://www.flickr.com/photos/svrdesignco/3679102056/> (Erişim tarihi: 15 Aralık 2022).
- Flickr. (n.d.). *Riparian buffer on Bear Creek in Story County, Iowa*. Url-65. Erişim adresi: <https://www.flickr.com/photos/chesbayprogram/22322608861> (Erişim tarihi: 29 Ekim 2021).
- Flores, C., Cromptvoets, J., Viniegra, M., & Farrelly, M. (2019). Governance assessment of the flood's infrastructure policy in san pedro cholula, mexico: potential for a leapfrog to water sensitive. *Sustainability*, 11(24), 7144. <https://doi.org/10.3390/su11247144>
- Foodcube. (n.d.). *MOS water-sensitive urban design*. Url-66. Erişim adresi: <https://foodcube.com.au/blogs/projects/mos-water-sensitive-urban-design> (Erişim tarihi: 3 Temmuz 2023).
- Fowdar, H.S.; Neo, T.H.; Ong, S.L.; Hu, J.; McCarthy, D.T. (2022). Performance analysis of a stormwater green infrastructure model for flow and water quality predictions. *J. Environ. Manag.* 316, 115259
- Freni, G., Mannina, G., & Viviani, G. (2009). Stormwater infiltration trenches: a conceptual modelling approach. *Water Science & Technology*, 60(1), 185-199. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.324>
- Gasperi, Johnny & Garnaud, Stéphane & Rocher, Vincent & Moilleron, Régis. (2008). Priority pollutants in wastewater and combined sewer overflow. *The Science of the total environment*. 407. 263-72. 10.1016/j.scitotenv.2008.08.015.
- GB 3838-2002, *Environmental quality standards for surface water* (EQSSW), China.
- Geberemariam, T. (2016). Post construction green infrastructure performance monitoring parameters and their functional components. *Environments*, 4(1), 2. <https://doi.org/10.3390/environments4010002>
- Geneva Graduate Institute, GGI, 2019. Erişim adresi: <https://globalchallenges.ch/issue/6/abandoned-mines-the-scars-of-the-past/> (Erişim Tarihi: 14 Nisan 2022)
- GeoAce. (n.d.). *Slope surface protection, Keelung, Taiwan*. Url-64. Erişim adresi: <https://www.geoace.com/case/Earthwork-Construction/Slope-Surface-Protection%2C-Keelung%2C-Taiwan> (Erişim tarihi: 23 Mart 2022).
- Geosyntec Consultants. (n.d.). *Infiltration trenches*. Url-24. Erişim adresi: <https://megamanual.geosyntec.com/npsmanual/infiltrationtrenches.aspx> (Erişim

tarihi: 14 Şubat 2024).

- Ghisi, E. (2009). Parameters influencing the sizing of rainwater tanks for use in houses. *Water Resources Management*, 24(10), 2381-2403. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9557-4>
- Gill, A., Lee, A., & McGuire, K. (2017). Phylogenetic and functional diversity of total (dna) and expressed (rna) bacterial communities in urban green infrastructure bioswale soils. *Applied and Environmental Microbiology*, 83(16). <https://doi.org/10.1128/aem.00287-17>
- Gill, A., Purnell, K., Palmer, M., Stein, J., & McGuire, K. (2020). Microbial composition and functional diversity differ across urban green infrastructure types. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00912>
- Gill, P.S. and Graedel, T.E., Organic films on atmospheric aerosol particles, fog droplets, cloud droplets, rain drops and snowflakes. *Rev Geophys Space Phys*, 21. p. 903–920, 1983.
- Gill, SE, Handley, JF, Ennos, AR & Pauleit, S 2007, 'Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure', *Built Environment*, vol. 33, no. 1, pp. 115-133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>
- Glazier, S., Campbell, E., & Campbell, W. (1998). Construction and characterization of nitrate reductase-based amperometric electrode and nitrate assay of fertilizers and drinking water. *Analytical Chemistry*, 70(8), 1511-1515.
- Gleick, P. H. (2002). "*Dirty water: Estimated Deaths from Water-Related Diseases 2000-2020*". Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security.
- Global Footprint Network (2020). *Ecological Footprint of Infrastructure*.
- Gold, A., Thompson, S., & Piehler, M. (2019). The effects of urbanization and retention-based stormwater management on coastal plain stream nutrient export. *Water Resources Research*, 55(8), 7027-7046. <https://doi.org/10.1029/2019wr024769>
- Golden, H. and Hoghooghi, N. (2017). Green infrastructure and its catchment-scale effects: an emerging science. *Wiley Interdisciplinary Reviews Water*, 5(1). <https://doi.org/10.1002/wat2.1254>
- Good Design. (n.d.). *The Goods Line*. Url-95. Erişim adresi: <https://good-design.org/projects/the-goods-line/> (Erişim tarihi: 15 Mayıs 2022).
- Goonetilleke, A., Thomas, E., Ginn, S., & Gilbert, D. (2005). Understanding the role of land use in urban stormwater quality management. *Journal of Environmental Management*, 74(1), 31-42. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.08.006>

- Grafton, Q., Miller, C., Duvnjak, A., Jared, D., Jiang, Q., Nikolakis, W., Ryan, P., Verity, F., Ward, P. and Zutshi, M. 2010, Potential Water Quality and Quantity Impacts in the Murray–Darling Basin from Communities and Industry Responding to Climate Change, *Murray–Darling Basin Authority*, Canberra.
- Green City Times. (n.d.). *Copenhagen*. Url-86. Erişim adresi: <https://www.greencitytimes.com/copenhagen/> (Erişim tarihi: 10 Haziran 2023).
- Green, O., Shuster, W., Garmestani, A., Thurston, H., & Rhea, L. (2012). *Engaging social capital for decentralized urban stormwater management*. <https://doi.org/10.3390/wsf2-00966>
- Greenroofs. (n.d.). *Augustenborg Botanical Roof Garden*. Url-83. Erişim adresi: <https://www.greenroofs.com/projects/augustenborg-botanical-roof-garden/> (Erişim tarihi: 9 Mart 2022).
- Greenworks, (2023). *Tanner Springs Park*. Erişim adresi: <https://greenworkspc.com/ourwork/tanner-springs-park> (Erişim tarihi: 10 Haziran 2023).
- Gunawardena, K. R., Wells, M. J., & Kershaw, T. (2017). Utilising green and blue space to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*, 584-585, 1040-1055.
- Guo, C., Li, J., Li, H., Zhang, B., Ma, M., & Li, F. (2018). Seven-year running effect evaluation and fate analysis of rain gardens in xi'an, northwest china. *Water*, 10(7), 944. <https://doi.org/10.3390/w10070944>
- Gurnell, A., Rinaldi, M., Belletti, B., Bizzi, S., Blamauer, B., Braca, G., Buijse, A. D., Bussetini, M., Camenen, B., Comiti, F., Demarchi, L., Garcia de Jalon, D., González del Tánago, M., Grabowski, R., Gunn, I., Habersack, H., Hendriks, D., Henshaw, A. J., Klösch, M., & Ziliani, L. (2016). A multi-Scale Hierarchical Framework for Developing Understanding of River Behaviour to Support River management. *Aquatic Sciences*. 78. 1-16. 10.1007/s00027-015-0424-5.
- Hall, N., Sikaroodi, M., Hogan, D., Jones, R., & Gillevet, P. (2021). The presence of denitrifiers in bacterial communities of urban stormwater best management practices (bmps). *Environmental Management*, 69(1), 89-110. <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01529-z>
- Hamburg Wasser, HW, (2024). *Hamburg Water Cycle*. Erişim adresi: <https://www.hamburgwasser.de/umwelt/vorsorge/hamburg-water-cycle> (Erişim Tarihi: 9 Ocak 2024)
- Hamidi, A.; Ramavandi, B.; Sorial, G.A. (2021). Sponge City—An emerging concept in sustainable water resource management: A scientometric analysis. *Resour. Environ.*

- Hansen, R., Frantzeskaki, N., McPhearson, T., Rall, E., Kabisch, N., Kaczorowska, A., ... & Pauleit, S. (2019). The uptake of the ecosystem services concept in planning discourses of European and American cities. *Ecosystem Services*, 31, 213-222.
- Hao-zheng, W. (2012). Discussion on Low Impact Development Planning Process Based on Dynamic Stimulation. *China Water & Wastewater*
- Hartig, T., Mitchell, R., de Vries, S., and Frumkin, H. (2014). "Nature and health." *Annual Review of Public Health*, 35, 207-228.
- Heidari, H., Arabi, M., Warziniack, T., & Sharvelle, S. (2021). Effects of urban development patterns on municipal water shortage. *Frontiers in Water*, 3.
- Heilweil, V., Benoit, J., & Healy, R. (2015). Variably saturated groundwater modelling for optimizing managed aquifer recharge using trench infiltration. *Hydrological Processes*, 29(13), 3010-3019. <https://doi.org/10.1002/hyp.10413>
- Herzog, S., Eisenstein, W., Halpin, B., Portmann, A., Fitzgerald, N., Ward, A., ... & McCray, J. (2019). Co-design of engineered hyporheic zones to improve in-stream stormwater treatment and facilitate regulatory approval. *Water*, 11(12), 2543. <https://doi.org/10.3390/w11122543>
- Hipel, K., Fang, L., Cullmann, J., & Bristow, M. (2015). *Conflict resolution in water resources and environmental management*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14215-9>
- Holling, C.S. (1978). *Adaptive Environmental Assessment and Management*. John Wiley & Sons.
- Hopkins, K., Woznicki, S., Williams, B., Stillwell, C., Naibert, E., Metes, M., ... & Bhaskar, A. (2022). Lessons learned from 20 y of monitoring suburban development with distributed stormwater management in clarksburg, maryland, usa. *Freshwater Science*, 41(3), 459-476. <https://doi.org/10.1086/719360>
- Hosseiny, S.H.; Bozorg-Haddad, O.; Bocchiola, D. Water, culture, civilization, and history. *Econ. Political Soc. Issues*, *Water Resour.* 2021, 189–216.
- Hu, M., Zhang, X., Siu, Y., Liu, Y., Tanaka, K., Yang, H., ... & Xu, Y. (2018). Flood mitigation by permeable pavements in chinese sponge city construction. *Water*, 10(2), 172. <https://doi.org/10.3390/w10020172>
- Hua, Z., Akita, N., Araki, S., & FUKUDA, M. (2022). Provision of allotment gardens and its influencing factors: a case study of tokyo, japan. *Land*, 11(3), 333. <https://doi.org/10.3390/land11030333>

- Hui, L., Ding, L., Ren, M., Li, C., & Wang, H. (2017). Sponge city construction in china: a survey of the challenges and opportunities. *Water*, 9(9), 594. <https://doi.org/10.3390/w9090594>
- Hung, F., Hobbs, B., McGarity, A., & Chen, X. (2022). A modeling framework for assessing the value of learning in dynamic adaptive planning: application to green infrastructure investment evaluation. *Water Resources Research*, 58(8). <https://doi.org/10.1029/2021wr031622>
- HydroPoint. (n.d.). *Benefits of green infrastructure*. Url-59. Erişim adresi: <https://www.hydropoint.com/blog/benefits-of-green-infrastructure/> (Erişim tarihi: 25 Aralık 2022).
- ICB Projects. (n.d.). *Blue roof systems*. Url-35. Erişim adresi: <https://www.icbprojects.co.uk/solutions/green-roof-systems/blue-roof-systems> (Erişim tarihi: 1 Ekim 2021).
- Ice, G.G.; Stednick, J.D. 2004. *A Century of Forest and Wildland Watershed Lessons*.
- Ignatieva M, Meurk C, Van Roon M, Simcock R and Stewart G. (2008). *How to Put Nature into Our Neighbourhoods*, Auckland: Manaaki Whenua Press.
- Illinois Groundworks, (2024). *Green Stormwater Infrastructure*. <https://illinoisgroundwork.org/design-process/implementation/> (Erişim Tarihi: 2 Nisan 2024)
- Integrated Water Resources Management in Action. WWAP, *DHI Water Policy*, UNEP-DHI Centre for Water and Environment. 2009
- International Atomic Energy Agency, IAEA, 2022. <https://www.iaea.org/newscenter/news/new-crp-development-of-radiometric-methods-for-the-measurement-of-constructed-wetlands-hydrodynamics-f22076> (Erişim Tarihi: 14 Haziran 2022)
- International Coalition for Sustainable Infrastructure, ICSI, (2024). <https://sustainability-coalition.org/case-study/te-ara-awataha-greenway-corridor-regeneration-new-zealand/> (Erişim tarihi: 23 Ocak 2024).
- International Energy Agency (2020). *World Energy Outlook 2020*.
- International Panel on Climate Change (2021). *Climate Change and Land*.
- Ishimatsu, K., Ito, K., Mitani, Y., Tanaka Y., Sugahara T., Naka Y. (2016) Use of rain gardens for stormwater management in urban design and planning. *International*

Consortium of Landscape and Ecological Engineering and Springer Japan 2016.

Islam, S., Lefsrud, M., Adamowski, J., Bissonnette, B., & Busgang, A. (2013). Design, construction, and operation of a demonstration rainwater harvesting system for greenhouse irrigation at mcgill university, canada. *Horttechnology*, 23(2), 220-226. <https://doi.org/10.21273/horttech.23.2.220>

İzmir Belediyesi, (2024). *SüngerKent İzmir*. Erişim adresi: <https://sungerkent.izmir.bel.tr/> (Erişim tarihi: 11 Mart 2024).

J.H. Lee, K.W. Bang characterization of urban stormwater runoff. *Water Resources*, 34 (6) (2000), pp. 1773-1780

Jackson Soil & Water Conservation District, JSWCD, 2022. https://www.jswcd.org/files/6fdbd3afa/Planter+Boxes+Factsheet.JSWCD_21-08-10.pdf (Erişim Tarihi: 1 Ekim 2022)

Jefferson, A., Bhaskar, A., Hopkins, K., Fanelli, R., Avellaneda, P., & McMillan, S. (2017). Stormwater management network effectiveness and implications for urban watershed function: a critical review. *Hydrological Processes*, 31(23), 4056-4080. <https://doi.org/10.1002/hyp.11347>

Jonas Berking (Ed.), *Water Management in Ancient Civilizations*, Berlin: Edition Topoi, 2018.

Juiani, S.F., Zakaria, N., Ab Ghani, A., Azizan, N., Yosuf, F., Zaki, M. (2022). Bio-ecological Drainage System (BIOECODS): A Sustainable Green University Drainage System. In: Leal Filho, W., Portela de Vasconcelos, C.R. (eds) Handbook of Best Practices in Sustainable Development at University Level. *World Sustainability Series*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04764-0_12

Jungels, J., Rakow, D., Allred, S., & Skelly, S. (2013). Attitudes and aesthetic reactions toward green roofs in the northeastern united states. *Landscape and Urban Planning*, 117, 13-21. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.04.013>

Keesstra, S., Pereira, P., Novara, A., Brevik, E. C., Azorin-Molina, C., Parras-Alcántara, L., Jordán, A., & Cerdà, A. (2012). Effects of soil management techniques on soil water erosion in apricot orchards. *Science of the Total Environment*, 551-552, 357-366.

Kennedy, G. and Mayer, T. (2002). Natural and constructed wetlands in canada: an overview. *Water Quality Research Journal*, 37(2), 295-325. <https://doi.org/10.2166/wqrj.2002.020>

Kent Stainless. (n.d.). *Drains*. Url-57. Erişim adresi: <https://www.kentstainless.com/drains/> (Erişim tarihi: 31 Ağustos 2021).

- Kerkez, B., Gruden, C., Lewis, M., Montestruque, L., Quigley, M., Wong, B., ... & Pak, C. (2016). Smarter stormwater systems. *Environmental Science & Technology*, 50(14), 7267-7273. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05870>
- Kidd, C. (1979). Stormwater management, quantity and quality. *Journal of Hydrology*, 41(3-4), 393. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(79\)90078-7](https://doi.org/10.1016/0022-1694(79)90078-7)
- Kim, H. and Tran, T. (2018). An evaluation of local comprehensive plans toward sustainable green infrastructure in us. *Sustainability*, 10(11), 4143. <https://doi.org/10.3390/su10114143>
- Kim, J. and Ryu, J. H. (2020). Decision-making of lid-bmps for adaptive water management at the boise river watershed in a changing global environment. *Water*, 12(9), 2436
- Kong, F., Sun, S., & Wang, Y. (2021). Comprehensive understanding the disaster-causing mechanism, governance dilemma and targeted countermeasures of urban pluvial flooding in china. *Water*, 13(13), 1762. <https://doi.org/10.3390/w13131762>
- Kordana, S. (2018). The identification of key factors determining the sustainability of stormwater systems. *E3s Web of Conferences*, 45, 00033. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184500033>
- Koutsoyiannis, D. (2020). Revisiting the global hydrological cycle: Is it intensifying? *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(8), 3899–3932. <https://doi.org/10.5194/hess-24-3899-2020>
- KQED, (2024). *Stormwater Runoff*. <https://www.kqed.org/science/573382/catching-storm-runoff-could-ease-droughts-but-it-wont-come-cheap> (Erişim tarihi: 17 Ocak 2024).
- Kuppusamy, V. (2016). Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 57. 740-752. 10.1016/j.rser.2015.12.119.
- Labat, D. (2006). Oscillations in land surface hydrological cycle. *Earth and Planetary Science Letters*, 242(1), 143–154. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.11.057>
- Land8. (n.d.). *How Zollhallen Plaza is ready for a 100-year flood*. Url-84. Erişim adresi: <https://land8.com/how-zollhallen-plaza-is-ready-for-a-100-year-flood/> (Erişim tarihi: 28 Ekim 2022).
- Landscaping Plus Crestview. (n.d.). *Retention pond maintenance*. Url-47. Erişim adresi: <https://landscapingpluscrestview.com/landscaping-services/retention-pond-maintenance/> (Erişim tarihi: 27 Ağustos 2023).

- LDP, Watersheds, 2022. *Bioswales*. <https://ldpwatersheds.org/bioswales-reduce-flooding-and-protect-waterways/> Credit: Aaron Volkening
- Leachate.us. (n.d.). *Wetlands*. Url-44. Erişim adresi: <https://www.leachate.us/wetlands/> (Erişim tarihi: 16 Kasım 2021).
- Li, Y. and Babcock, R. (2014). Green roofs against pollution and climate change. a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(4), 695-705. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0230-9>
- Liao, KH. The socio-ecological practice of building blue-green infrastructure in high-density cities: what does the ABC Waters Program in Singapore tell us?. *Socio Ecol Pract Res* 1, 67–81 (2019). <https://doi.org/10.1007/s42532-019-00009-3>
- Limbrunner, J., Vogel, R., Chapra, S., & Kirshen, P. (2013). Optimal location of sediment-trapping best management practices for nonpoint source load management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(5), 478-485. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000316](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000316)
- Liu, X. and Yamaguchi, K. (2023). issues and strategies for designing flood resilient public space to achieve a balance between public amenity and stormwater management infrastructure. *Urban and Regional Planning Review*, 10(0), 197-223. <https://doi.org/10.14398/urpr.10.197>
- Lloyd. S. D., et al. (2002). Water sensitive urban design—A stormwater management perspective. *Coop. Res. Ctr. for Catchment Hydrology*. Melbourne, Australia.
- Löhmus, M. and Balbus, J. (2015). Making green infrastructure healthier infrastructure. *Infection Ecology & Epidemiology*, 5(1), 30082. <https://doi.org/10.3402/iee.v5.30082>
- Lost Habitat. (n.d.). *Natural flood management in Devon*. Url-63. Erişim adresi: <https://www.losthabitat.uk/natural-flood-management-devon/> (Erişim tarihi: 16 Kasım 2021).
- Low Impact Development Center. (2000). *Low Impact Development (LID): A Literature Review*. U.S. Environmental Protection Agency.
- Lucke, T., Boogaard, F., & Ven, F. (2014). Evaluation of a new experimental test procedure to more accurately determine the surface infiltration rate of permeable pavement systems. *Urban Planning and Transport Research*, 2(1), 22-35. <https://doi.org/10.1080/21650020.2014.893200>
- Lufira, R. (2024). Enhancing adoption studies of lid-bmp's for storm water management drainage (swmd) national stadium in jayapura, indonesia. *Iop Conference Series*

Earth and Environmental Science, 1311(1), 012055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1311/1/012055>

Mace, G. M., Norris, K., & Fitter, A. H. (2012). Biodiversity and ecosystem services: A multilayered relationship. *Trends in Ecology & Evolution*, 27(1), 19-26.

Macedo, M. B. d., Júnior, M. N. G., Oliveira, T. R. P. d., Giacomoni, M., Imani, M., Zhang, K., ... & Mendiando, E. M. (2021). Low impact development practices in the context of united nations sustainable development goals: a new concept, lessons learned and challenges. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(14), 2538-2581

Macon Water Authority. (n.d.). *Stormwater management*. Url-13. Erişim adresi: <https://maconwater.org/operations/stormwater-management/> (Erişim tarihi: 14 Ağustos 2023).

Magnum Stone. (n.d.). *Stormwater conveyance: Drainage channels & stream banks*. Url-27. Erişim adresi: <https://magnumstone.com/design-options/stormwater-conveyance-drainage-channels-stream-banks/> (Erişim tarihi: 21 Ekim 2022).

Malaviya, P., Sharma, R., Sharma, P. (2019). *Rain Gardens as Stormwater Management Tool*. 10.1007/978-981-13-2772-8_7

Mallakpour, I., Villarini, G. (2017). Analysis of changes in the magnitude, frequency, and seasonality of heavy precipitation over the contiguous. *Theor. Appl. Climatol* 130 (1–2), pp. 345-36

Malyan, S., Yadav, S., Sonkar, V., Goyal, V., Singh, O., & Singh, R. (2021). Mechanistic understanding of the pollutant removal and transformation processes in the constructed wetland system. *Water Environment Research*, 93(10), 1882-1909. <https://doi.org/10.1002/wer.1599>

Maniquiz, M., Lee, S., & Kim, L. (2010). Long-term monitoring of infiltration trench for nonpoint source pollution control. *Water Air & Soil Pollution*, 212(1-4), 13-26. <https://doi.org/10.1007/s11270-009-0318-z>

Matthews, T., Lo, A.Y., and Byrne, J.A. (2015). "Reconceptualizing green infrastructure for climate change adaptation: Barriers to adoption and drivers for uptake by spatial planners." *Landscape and Urban Planning*, 138, 155-163

Mayer, P., Reynolds, S., McCutchen, M., & Canfield, T. (2007). Meta-analysis of nitrogen removal in riparian buffers. *Journal of Environmental Quality*, 36(4), 1172-1180. <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0462>

McCabe, K., Smith, E., Lang, S., Osburn, C., & Benítez-Nelson, C. (2021). Particulate and dissolved organic matter in stormwater runoff influences oxygen demand in urbanized headwater catchments. *Environmental Science & Technology*, 55(2), 952-

961. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c04502>

McPhillips, L., Earl, S., Hale, R., & Grimm, N. (2019). Urbanization in arid central arizona watersheds results in decreased stream flashiness. *Water Resources Research*, 55(11), 9436-9453. <https://doi.org/10.1029/2019wr025835>

MCWT, *Massachusetts Clean Water Toolkit*, (2024). Erişim adresi: <https://megamanual.geosyntec.com/npsmanual/rooftopdetentionbluerooofs.aspx> (Erişim Tarihi: 4 Mart 2024)

Mehring, A. and Levin, L. (2015). Review: potential roles of soil fauna in improving the efficiency of rain gardens used as natural stormwater treatment systems. *Journal of Applied Ecology*, 52(6), 1445-1454. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12525>

Melbourne Water, (2024). *Constructed Wetlands*. Erişim adresi: <https://www.melbournewater.com.au/building-and-works/developer-guides-and-resources/standards-and-specifications/constructed-wetlands> (Erişim tarihi: 22 Ocak 2024).

Melicher, J. and řpulerová, J. (2022). Application of landscape-ecological approach for greenways planning in rural agricultural landscape. *Environments*, 9(2), 30. <https://doi.org/10.3390/environments9020030>

Mentens, J., Raes, D., & Hermy, M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century. *Landscape and Urban Planning*, 77(3), 217-226. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010>

Michael Mercil. (n.d.). *Teardrop Park*. Url-93. Erişim adresi: <https://www.michaelmercil.com/teardrop-park> (Erişim tarihi: 11 Eylöl 2022).

Michael Minn. (n.d.). *Yale Ave rain garden*. Url-20. Erişim adresi: <https://michaelminn.net/cities/seattle/yale-ave-rain-garden/index.html> (Erişim tarihi: 12 Ocak 2022).

Millennial Cities. (n.d.). *Retention pond vs. detention pond: Which is better for stormwater?*. Url-48. Erişim adresi: <https://millennialcities.com/retention-pond-vs-detention-pond-which-is-better-for-stormwater/> (Erişim tarihi: 12 Ekim 2021).

Milly, P.C.D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R.M., Kundzewicz, Z.W., Lettenmaier, D.P., Stouffer, R.J., 2008. Stationarity is dead: Whither water management. *Science*, 319(5863): 573-574.

Ministry of Water Resources the People's Republic of China, *MWR*, (2023). http://www.mwr.gov.cn/english/Medianews/202309/t20230904_1681979.html (Erişim Tarihi: 24 Nisan 2023)

- Mishra, B.K. (2019). Storm water Management in the context of Climate Change and Rapid Urbanization: A case of Tokyo Metropolitan. *J. Eng. Technol. Plan.* 1, 32–44
- Mitchell, B. (2005). "Integrated Water Resource Management, Institutional Arrangements, and Land-Use Planning." *Environment and Planning A*, 37(8), 1335-1352.
- Mithen, S. (2010). The domestication of water: water management in the ancient world and its prehistoric origins in the Jordan Valley. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368(1931), 5249–5274. <http://www.jstor.org/stable/25753471>
- Moore, T., Rodak, C., & Vogel, J. (2017). Urban stormwater characterization, control, and treatment. *Water Environment Research*, 89(10), 1876-1927. <https://doi.org/10.2175/106143017x15023776270692>
- Morash, J., Wright, A., LeBleu, C., Meder, A., Kessler, R., Brantley, E., ... & Howe, J. (2019). Increasing sustainability of residential areas using rain gardens to improve pollutant capture, biodiversity and ecosystem resilience. *Sustainability*, 11(12), 3269. <https://doi.org/10.3390/su11123269>
- Morris, B., Bolding, M., Aust, W., McGuire, K., Schilling, E., & Sullivan, J. (2016). Differing levels of forestry best management practices at stream crossing structures affect sediment delivery and installation costs. *Water*, 8(3), 92. <https://doi.org/10.3390/w8030092>
- Morris, J., Hess, T. M., Posthumus, H., Neville, D., Phillips, E., & Baylis, A. (2008). The role of agricultural land use management in the reduction of flooding. *Natural Hazards*, 54(3), 951-973.
- National Association of City Transportation Officials, 2024. *Urban Street Design Guide*. Erişim adresi: <https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/street-design-elements/stormwater-management/bioswales/> (Erişim Tarihi: 9 Ocak 2024)
- National Association of City Transportation Officials, NACTO, 2024. *Sustainable Stormwater Management*. Erişim adresi: https://nacto.org/docs/usdg/sustainable_stormwater_management_hudson_county.pdf (Erişim Tarihi: 9 Ocak 2024)
- National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA (2024).
- National Research Council (2019). *Adapting Infrastructure to Climate Change*
- Natural Resources Defense Council (NRDC) (2010). "Rooftops to Rivers: Green Strategies for Controlling Stormwater and Combined Sewer Overflows." NRDC.

- Natural Stone Carpets. (n.d.). *Permeable paving ideas for tree-centric gardens*. Url-26. Erişim adresi: <https://www.naturalstonecarpets.com.au/blog/permeable-paving/permeable-paving-ideas-for-tree-centric-gardens.html> (Erişim tarihi: 6 Ağustos 2023).
- Neary, D. (2013). Best management practices for forest bioenergy programs. *Wiley Interdisciplinary Reviews Energy and Environment*, 2(6), 614-632. <https://doi.org/10.1002/wene.77>
- Neitsch, S. L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R. (2011). "Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009." Texas Water Resources Institute.
- Nemirovsky, E., Welker, A., & Fernander, C. (2014). *Influence of a rain garden in pennsylvania on the water table*. <https://doi.org/10.1061/9780784413272.393>
- Network Nature. (n.d.). *Case study 19515*. Url-46. Erişim adresi: <https://networknature.eu/casestudy/19515> (Erişim tarihi: 7 Nisan 2022).
- Northwest Environmental Advocates. (n.d.). *Toxic pollution in Puget Sound*. Url-55. Erişim adresi: <https://northwestenvironmentaladvocates.org/project/toxic-pollution-in-puget-sound/> (Erişim tarihi: 6 Ekim 2022).
- Nowak, D.J., Crane, D.E., and Stevens, J.C. (2006). "Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States." *Urban Forestry & Urban Greening*, 4(3-4), 115-123
- NSIDC, (2024). *National Snow and Ice Data Center*. Erişim adresi: <https://nsidc.org/learn/cryosphere-glossary/evaporation> (Erişim tarihi: 6 Ocak 2024).
- NTO Tank. (n.d.). *Above-ground vs. underground rainwater tanks*. Url-41. Erişim adresi: <https://www.ntotank.com/blog/above-ground-vs-underground-rainwater-tanks> (Erişim tarihi: 30 Ağustos 2021).
- O'Donnell, E., Lamond, J., & Thorne, C. (2017). Recognising barriers to implementation of blue-green infrastructure: a newcastle case study. *Urban Water Journal*, 14(9), 964-971. <https://doi.org/10.1080/1573062x.2017.1279190>
- Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R., Doshi, H., Dunnett, N., ... & Rowe, B. (2007). Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. *Bioscience*, 57(10), 823-833. <https://doi.org/10.1641/b571005>
- Oladunjoye O, Proverbs D, Xiao H. Retrofitting Sustainable Urban Drainage Systems (SuDS): A Cost-Benefit Analysis Appraisal. *Water*. 2022; 14(16):2521.

- OOZE, (2024). *Urban Prototype*. Erişim adresi: http://www.ooze.eu.com/en/urban_prototype/kings_cross_pond_club/ (Erişim tarihi: 9 Mart 2024).
- Organic NZ. (n.d.). *Rainwater harvesting*. Url-43. Erişim adresi: <https://organicnz.org.nz/magazine-articles/rainwater-harvesting/> (Erişim tarihi: 22 Temmuz 2023).
- Özdemir, A. (2017). Application of stormwater runoff estimation methods in the case of faculty of agriculture main campus. *International Journal of Sciences*, 3(07), 22-27.
- Pahl-Wostl, C. (2007). "Transitions towards Adaptive Management of Water Facing Climate and Global Change." *Water Resources Management*, 21(1), 49-62.
- Pahl-Wostl, C. (2007). The implications of complexity for integrated resources management. *Environmental Modelling & Software*, 22(5), 561-569.
- Pan, X., Ping, Y., Li, W., Zhang, X., Zhou, J., Yu, F., ... & Prinzing, A. (2017). Plant litter submergence affects the water quality of a constructed wetland. *Plos One*, 12(1), e0171019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171019>
- Papillion City, PC, (2024). *Walnut Creek Recreation Area*. <https://www.papillion.org/facilities/facility/details/walnutcreekrecreationarea-14> (Erişim tarihi: 13 Mart 2024).
- Patterns of roof runoff contamination and their potential implications on practice and regulation of treatment and local infiltration. *Water Sci Technology*, 33 (6) (1996), pp. 39-48
- Pejchar, L., Morgan, P.M., Caldwell, M.R., Palmer, C., & Daily, G.C. (2007). Evaluating the potential for conservation development: Biophysical, economic, and institutional perspectives. *Conservation Biology*, 21(1), 69-78. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00572.x>
- Peng, J., Cao, Y., Rippey, M., Afrooz, A., & Grant, S. (2016). Indicator and pathogen removal by low impact development best management practices. *Water*, 8(12), 600. <https://doi.org/10.3390/w8120600>
- Peng, L. and Jim, C. (2013). Green-roof effects on neighborhood microclimate and human thermal sensation. *Energies*, 6(2), 598-618. <https://doi.org/10.3390/en6020598>
- Pettit, T., Irga, P., & Torpy, F. (2018). The in situ pilot-scale phytoremediation of airborne vocs and particulate matter with an active green wall. *Air Quality Atmosphere & Health*, 12(1), 33-44. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0628-7>

- Pettit, T., Irga, P., Abdo, P., & Torpy, F. (2017). Do the plants in functional green walls contribute to their ability to filter particulate matter?. *Building and Environment*, 125, 299-307. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.09.004>
- Philadelphia Water Department, (2022). <https://water.phila.gov/pool/images/blue-roof-diagram.jpg> (Erişim tarihi: 13 Mart 2022).
- Pinpoint Korea. (n.d.). *Cheonggyecheon history travel guide*. Url-78. Erişim adresi: <https://www.pinpointkorea.com/cheonggyecheon-history-travel-guide/> (Erişim tarihi: 12 Haziran 2022).
- Pisano, W., O'Riordan, O., Ayotte, F., Carr, D., Travers, M., & Visconti, J. (2005). Implementation of sewer and drainage system solids deposition controls, cambridge, mass.. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2005(4), 624-652. <https://doi.org/10.2175/193864705784291628>
- Pittsburgh Water and Sewer Authority, (2024). Bioswales and rain gardens. Erişim adresi: <https://www.pgh2o.com/news-events/news/newsletter/2021-06-29-stormwater-tip-how-are-bioswales-and-rain-gardens-different> (Erişim tarihi: 13 Mart 2024).
- Pizza Travel. (n.d.). *Kronsberg district in Hannover*. Url-77. Erişim adresi: https://www.pizzatravel.com.ua/eng/germany/9/kronsberg_district_in_hannover (Erişim tarihi: 30 Eylul 2021).
- PlanOKC. (n.d.). *Riparian areas*. Url-51. Erişim adresi: <https://planokc.org/development-guide/land-use-plan/environmentally-sensitive-areas/riparian-areas/> (Erişim tarihi: 8 Temmuz 2023).
- Prince George's County (1999). *Low Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach*. Department of Environmental Resources, Prince George's County, MD.
- Priority pollutants in urban stormwater (2021): Part 1 – Case of separate storm sewers, *Water Research*, Volume 46, Issue 20.
- Prudencio, L. and Null, S. (2018). Stormwater management and ecosystem services: a review. *Environmental Research Letters*, 13(3), 033002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa81a>
- Purple Roof. (n.d.). *What is a green roof?*. Url-32. Erişim adresi: <https://www.purple-roof.com/what-is-a-green-roof> (Erişim tarihi: 7 Ocak 2023).
- Qiao, X. and Randrup, T. (2022). Willingness to pay for the maintenance of green infrastructure in six chinese pilot sponge cities. *Water*, 14(3), 428. <https://doi.org/10.3390/w14030428>

- Qiu, Z. (2013). Comparative assessment of stormwater and nonpoint source pollution best management practices in suburban watershed management. *Water*, 5(1), 280-291. <https://doi.org/10.3390/w5010280>
- Quiddity. (2020). *Buffalo Bayou Park slope stabilization and bench sediment removal*. Url-87. Erişim adresi: https://quiddity.com/wp-content/uploads/2020/03/Buffalo-Bayou-Park-Slope-Stabilization-Bench-Sediment-Removal_Gallery-1.jpg (Erişim tarihi: 12 Ağustos 2021).
- R. Field, R.E. Pitt, C. Fan, et al. Urban wet-weather flows, *Water Environ Res*, 69 (4) (1998), pp. 426-444
- Rampold, S. (2020). Exploring consumer financial support to inform communication about agricultural best management practices. *Journal of Agricultural Education*, 61(1), 60-73. <https://doi.org/10.5032/jae.2020.01060>
- Rare Book Division, The New York Public Library. (1817). Arts et métiers. Vue et détails de deux machines à arroser, appelées chadouf et mental. <https://digitalcollections.nypl.org/items/510d47e0-21b6-a3d9-e040-e00a18064a99> (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2022)
- Rast, M., Johannessen, J., & Mauser, W. (2014). Review of understanding of Earth's hydrological cycle: Observations, theory and modelling. *Surveys in Geophysics*, 35(3), 491–513. <https://doi.org/10.1007/s10712-014-9279-x>
- Rasul, H., Abdalqadir, K., & Sleman, S. (2021). The role of green infrastructure in achieving socio-spatial dimensions in housing sustainability.. <https://doi.org/10.24897/acn.64.68.29720214>
- Reasons to Be Cheerful. (n.d.). *Sponge cities: China climate change resilience*. Url-72. Erişim adresi: <https://reasonstobecheerful.world/sponge-cities-china-climate-change-resilience/> (Erişim tarihi: 2 Ocak 2023).
- Reddit. (n.d.). *Prince's Island Park*. Url-76. Erişim adresi: https://www.reddit.com/r/Calgary/comments/ayc9z5/princes_island_park/ (Erişim tarihi: 26 Şubat 2022).
- Reddy, S. M. (2007). University Botany- Iii : *Plant Taxonomy, Plant Embryology, Plant Physiology*. New Age International. ISBN 978-81-224-1547-6.
- Reisinger, A., Woytowicz, E., Majcher, E., Belt, K., Duncan, J., Kaushal, S., ... & Groffman, P. (2018). Changes in long-term water quality of baltimore streams are associated with both gray and green infrastructure. *Limnology and Oceanography*, 64(S1). <https://doi.org/10.1002/lno.10947>

- Ren, L., et al. (2016). "Three Gorges Dam: Experiment in habitat fragmentation?" *Science*, 353(6303), 988-989.
- Renewable Energy Hub. (n.d.). *Commercial non-pressurised system*. Url-40. Erişim adresi: <https://www.renewableenergyhub.co.uk/images/design/pages/Commercial-Non-Pressurised-System.jpg> (Erişim tarihi: 12 Eylöl 2022).
- Renima, Ahmed & Tiliouine, Habib & Estes, Richard. (2016). The Islamic Golden Age: A Story of the Triumph of the Islamic Civilization. *The State of Social Progress of Islamic Societies* (ss.25-52) 10.1007/978-3-319-24774-8_2.
- Rentachintala, L., Reddy, M., & Mohapatra, P. (2022). Urban stormwater management for sustainable and resilient measures and practices: a review. *Water Science & Technology*, 85(4), 1120-1140. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.017>
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığından: Yağmursuyu Toplama, Depolama Ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik (23 Haziran 2017). *T.C. Resmi Gazete*, Sayı: 30105.
- Revitt, D., Lundy, L., Coulon, F., & Fairley, M. (2014). The sources, impact and management of car park runoff pollution: a review. *Journal of Environmental Management*, 146, 552-567. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.05.041>
- Roadmapping for Advancing Integrated Water Resources Management (IWRM) Processes. *UN-Water, GWP*. 2007
- Rockland County Cornell Cooperative Extensive, RCEE, (2023). <https://rocklandcce.org/stormwater-consortium-water-quality-education/why-keep-storm-drains-clean> (Erişim Tarihi: 24 Eylöl 2023)
- Roozbahani, A., Behzadi, P., Bavani, A.M. (2020). Analysis of performance criteria and sustainability index in urban stormwater systems under the impacts of climate change. *Journal of Cleaner Production*, Volume 271
- Roseen, R. M., Janeski, T. V., Simpson, M., Houle, J. H., Gunderson, J., & Ballestero, T. P. (2015). Economic and adaptation benefits of low impact development. *Low Impact Development Technology: Implementation and Economics*
- Rowe, D. (2011). Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution*, 159(8-9), 2100-2110. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.029>
- Roy AH, Wenger SJ, Fletcher TD, Walsh CJ, Ladson AR, Shuster WD, Thurston HW, Brown RR. Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: lessons from Australia and the United States. *Environ Manage*. 2008 Aug;42(2):344-59. doi: 10.1007/s00267-008-9119-1. Epub 2008 Apr 30. PMID: 18446406.

- Roy, A.H., Wenger, S.J., Fletcher, T.D., Walsh, C.J., Ladson, A.R., Shuster, W.D., Thurston, H.W., Brown, R.R. (2008). Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: Lessons from Australia and the United States. *Environmental Management*, 42(2), 344-359
- Royal Oak Belediyesi. (2023). *Rain Garden Information*. Erişim adresi: <https://www.romi.gov/1333/Rain-Garden-Information> (Erişim tarihi: 12 Şubat 2023).
- Sa'at, S. K. B. M. (2006). *Subsurface flow and free water surface flow constructed wetland with magnetic field for leachate treatment* (master thesis). Faculty of Civil Engineering Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia.
- Sadeghi, K., Loáiciga, H., & Kharaghani, S. (2017). Stormwater control measures for runoff and water quality management in urban landscapes. *Jawra Journal of the American Water Resources Association*, 54(1), 124-133. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12547>
- Saedi, I., Tabrizi, A., Bahremand, A., & Salmanmahiny, A. (2023). Planning and optimization of green infrastructures for stormwater management: the case of tehran west bus terminal. *Natural Resource Modeling*, 36(4). <https://doi.org/10.1111/nrm.12378>
- Saiz, S., Kennedy, C., Bass, B., & Pressnail, K. (2006). Comparative life cycle assessment of standard and green roofs. *Environmental Science & Technology*, 40(13), 4312-4316. <https://doi.org/10.1021/es0517522>
- Samsó, Roger. (2014). *Numerical Modelling of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. 10.13140/2.1.1666.3366.
- Santos, P., Santos, E., Targa, M., Catelani, C., Dias, N., & Santos, M. (2020). Overflow risk analysis on the presidente dutra highway using the quota-volume curve in the una river basin in taubaté, sp, brazil. *Ambiente E Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 15(7), 1. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2580>
- Sarasota Water Atlas, (2021). *Retention Ponds*. Erişim adresi: <https://sarasota.wateratlas.usf.edu/upload/documents/Reten-DententionPonds.pdf> (Erişim tarihi: 12 Şubat 2023).
- Sartor JP, Boyd G. *Water pollution aspects of street surface contaminants*. In: EPA-R2-72-081, US. Washington DC, USA: Environmental Protection Agency; 1972.
- Schulze J, Gehrman S, Somvanshi A, Rudolph-Cleff A. From District to City Scale: The Potential of Water-Sensitive Urban Design (WSUD). *Water*. 2024; 16(4):582. <https://doi.org/10.3390/w16040582>

- Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C. A. J., Smith, A., & Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 20190120.
- Seiwert A., Rößler, S. (2020). Understanding the term green infrastructure: origins, rationales, semantic content and purposes as well as its relevance for application in spatial planning, *Land Use Policy*, Volume 97, 104785
- SEPA, (2024). *Diffuse Pollution*. Erişim adresi: <https://www.sepa.org.uk/regulations/water/diffuse-pollution/> (Erişim tarihi: 12 Şubat 2023).
- SEPA, (2024). *Wetlands*. Erişim adresi: <https://www.sepa.org.uk/media/131412/constructed-farm-wetlands-manual.pdf> (Erişim tarihi: 14 Şubat 2024).
- Shafique, M. and Kim, R. (2018). Recent progress in low-impact development in south korea: water-management policies, challenges and opportunities. *Water*, 10(4), 435. <https://doi.org/10.3390/w10040435>
- Shafique, M., & Kim, R. (2015). Low Impact Development Practices: A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 22, 543 – 563
- Shafique, M., Kim, R., & Kyung-Ho, K. (2018). Green roof for stormwater management in a highly urbanized area: the case of seoul, korea. *Sustainability*, 10(3), 584. <https://doi.org/10.3390/su10030584>
- Shafique, M., Kim, R., & Kyung-Ho, K. (2018). Rainfall runoff mitigation by retrofitted permeable pavement in an urban area. *Sustainability*, 10(4), 1231. <https://doi.org/10.3390/su10041231>
- Shah AM, Liu G, Meng F, Yang Q, Xue J, Dumontet S, Passaro R, Casazza M. A Review of Urban Green and Blue Infrastructure from the Perspective of Food-Energy-Water Nexus. *Energies*. 2021; 14(15):4583.
- Sharifi, A., Chelleri, L., Fox-Lent, C., Grafakos, S., Pathak, M., Olazabal, M., ... & Yamagata, Y. (2021). Conceptualizing dimensions and characteristics of urban resilience: Insights from a co-design process. *Sustainability*, 13(6), 3299.
- Sharma, A., Pezzaniti, D., Myers, B., Cook, S., Tjandraatmadja, G., Chacko, P., ... & Walton, A. (2016). Water sensitive urban design: an investigation of current systems, implementation drivers, community perceptions and potential to supplement urban water services. *Water*, 8(7), 272. <https://doi.org/10.3390/w8070272>

- Sharma, R. and Malaviya, P. (2021). Management of stormwater pollution using green infrastructure: the role of rain gardens. *Wiley Interdisciplinary Reviews Water*, 8(2). <https://doi.org/10.1002/wat2.1507>
- Shen, S., Qin, C., Zhu, L., & Zhu, A. (2023). Optimizing the implementation plan of watershed best management practices with time-varying effectiveness under stepwise investment. *Water Resources Research*, 59(6). <https://doi.org/10.1029/2022wr032986>
- Shu, L., Li, J., Hao, G., & Li, Y. (2021). Evaluation of best management practices for non-point source pollution based on the swat model in the hanjiang river basin, china. *Water Science & Technology Water Supply*, 21(8), 4563-4580. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.196>
- Shushunova N, Korol E, Luzay E, Shafieva D. Impact of the Innovative Green Wall Modular Systems on the Urban Air. *Sustainability*. 2023; 15(12):9732. <https://doi.org/10.3390/su15129732>
- Smith, P., Davis, S., Creutzig, F. et al. Biophysical and economic limits to negative CO2 emissions. *Nature Clim Change*, 6, 42–50 (2016). <https://doi.org/10.1038/nclimate2870>
- Snyder & Associates. (n.d.). *Street reconstruction project*. Url-53. Erişim adresi: <https://www.snyder-associates.com/projects/multiple-municipal-engineering-services-provided-street-reconstruction-project/> (Erişim tarihi: 13 Haziran 2023).
- Song, K., Kim, M., Kang, H., Ham, E., Noh, J., Khim, J., ... & Chon, J. (2022). Stormwater runoff reduction simulation model for urban flood restoration in coastal area. *Natural Hazards*, 114(3), 2509-2526. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05477-7>
- Song, K., Seok, Y., & Chon, J. (2023). Nature-based restoration simulation for disaster-prone coastal area using green infrastructure effect. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 3096. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043096>
- Sood, A. and Biswas, A. (2022). Introducing greenswales: a nature-based approach to preserve seasonal channels: learnings from chandigarh, india. *Geographica Pannonica*, 26(4), 385-395. <https://doi.org/10.5937/gp26-40126>
- Souza, E. and Ghisi, E. (2012). Potable water savings by using rainwater for non-potable uses in houses. *Water*, 4(3), 607-628. <https://doi.org/10.3390/w4030607>
- Sparkman, S., Hogan, D., Hopkins, K., & Loperfido, J. (2017). Modeling watershed-scale impacts of stormwater management with traditional versus low impact development design. *Jawra Journal of the American Water Resources Association*, 53(5), 1081-1094. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12559>

Status Report on Integrated Water Resources Management and Water Efficiency Plans.
UN-Water. 2008

Steelman, T., Brunner, R., Coe-Juell, L., Cromley, C., Edwards, C., Tucker, D. (2005).
Adaptive Governance: Integrating Science, Policy and Decision Making. Columbia
University Press

StormChambers. (n.d.). *Stormwater conveyance solutions*. Url-29. Erişim adresi:
<https://stormchambers.com/solutions/conveyance/> (Erişim tarihi: 9 Temmuz 2023).

Stormwater Partners Washington, (2022). *Permeable Pavers*.
<https://www.stormwaterpartners.com/facilities-permeable-pavers> (Erişim Tarihi: 13
Nisan 2022)

Strong, P. and Hudak, P. (2015). Nitrogen and phosphorus removal in a rain garden
flooded with wastewater and simulated stormwater. *Environmental Quality
Management*, 25(2), 63-69. <https://doi.org/10.1002/tqem.21447>

Sustainable Stormwater. (2007). *Infiltration trenches*. Url-23. Erişim adresi:
<https://sustainablestormwater.org/2007/05/23/infiltration-trenches/> (Erişim tarihi:
18 Kasım 2021).

Suszanowicz, D. and Wiğcek, A. (2019). The impact of green roofs on the parameters of
the environment in urban areas—review. *Atmosphere*, 10(12), 792.
<https://doi.org/10.3390/atmos10120792>

Taboni, B., Licata, M., Tebar, V., Bonasera, M., & Umili, G. (2022). Proposal for flood
risk mitigation in the upper tanaro valley (western alps—north-western italy).
Geosciences, 12(7), 260. <https://doi.org/10.3390/geosciences12070260>

Tame Valley Wetlands, TVW, (2023). *Creating Wetland Habitats on the River Blythe*.
[http://www.tamevalleywetlands.co.uk/creating-wetland-habitats-on-the-river-
blythe/](http://www.tamevalleywetlands.co.uk/creating-wetland-habitats-on-the-river-blythe/) (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)

Tassicker, N., Rahnamayiezekavat, P., & Sutrisna, M. (2016). An insight into the
commercial viability of green roofs in australia. *Sustainability*, 8(7), 603.
<https://doi.org/10.3390/su8070603>

The Archaeologist. (n.d.). *Sanitation of the Indus Valley Civilisation*. Url-2. Erişim
adresini: [https://www.thearchaeologist.org/blog/sanitation-of-the-indus-valley-
civilisation](https://www.thearchaeologist.org/blog/sanitation-of-the-indus-valley-civilisation) (Erişim tarihi: 19 Temmuz 2023).

The Collector. (n.d.). *Sumerian inventions that changed the world*. Url-1. Erişim adresi:
<https://www.thecollector.com/sumerian-inventions-changed-world/> (Erişim tarihi: 8
Mart 2023).

The Cool Down. (n.d.). *Permeable pavement: Flood and urban area temperature*. Url-

25. Erişim adresi: <https://www.thecooldown.com/green-tech/permeable-pavement-flood-urban-area-temperature/> (Erişim tarihi: 23 Mayıs 2022).
- The Cultural Landscape Foundation, TCLF, (2023). *Landscapes*. Erişim adresi: <https://www.tclf.org/landscapes/kaiser-center-roof-garden> (Erişim tarihi: 7 Şubat 2023).
- The Cultural Landscape Foundation, TCLF, (2024). *Lurie Garden*. Erişim adresi: <https://www.tclf.org/landscapes/lurie-garden> (Erişim tarihi: 12 Mart 2024).
- The Cultural Landscape Foundation, TCLF, (2024). *Shangai Houtan Park*. Erişim adresi: <https://www.tclf.org/landscapes/shanghai-houtan-park> (Erişim tarihi: 1 Şubat 2024).
- The Decorative Surfaces. (n.d.). *Design for everyone has reigned in Seoul since 2010*. Url-17. Erişim adresi: <https://www.thedecorativesurfaces.com/en/design-for-everyone-has-reigned-in-seoul-since-2010/> (Erişim tarihi: 7 Nisan 2022).
- The Environmental Advisory Council (2002). *Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformation*. Stockholm
- The Georgia Department of Natural Resources, *GADNR*, (2022). Erişim adresi: <https://gadnr.org/> (Erişim tarihi: 2 Şubat 2022).
- The Guardian. (2019). *Swansea tidal lagoon plan*. Url-89. Erişim adresi: <https://www.theguardian.com/environment/2019/feb/04/swansea-tidal-lagoon-plan-government> (Erişim tarihi: 2 Nisan 2023).
- The Star. (2022). *SMART tunnel mitigates 45% of KL floods*. Url-94. Erişim adresi: <https://www.thestar.com.my/news/nation/2022/02/12/smart-tunnel-mitigates-45-of-kl-floods> (Erişim tarihi: 8 Mart 2023).
- The Straits Times. (2020). *From rural village to waterfront town: How Punggol got its distinct HDB town*. Url-85. Erişim adresi: <https://www.straitstimes.com/singapore/housing/from-rural-village-to-waterfront-town-how-punggol-got-its-distinct-hdb-town> (Erişim tarihi: 14 Mayıs 2021).
- The Water Tank Factory. (n.d.). *R10000 Litre rainwater tank*. Url-39. Erişim adresi: <https://www.watertankfactory.com.au/water-tanks/r10000-litre-rainwater-tank/> (Erişim tarihi: 17 Temmuz 2023).
- Thermtest. (n.d.). *Green roof thermal conductivity*. Url-33. Erişim adresi: <https://thermtest.com/green-roof-thermal-conductivity> (Erişim tarihi: 20 Nisan 2021).
- Thomas, H., & Nisbet, T. R. (2007). An assessment of the impact of floodplain woodland

on flood flows. *Water and Environment Journal*, 21(2), 114-126.

Timur, Ö.B., and Karaca, E. (2013) Vertical Gardens. *Advances in Landscape Architecture*. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/55763>.

Turenscape. (n.d.). *The Red Ribbon*. Url-74. Erişim adresi: <https://www.turenscape.com/en/project/detail/4629.html> (Erişim tarihi: 8 Nisan 2022).

Turner, W. R., Brandon, K., Brooks, T. M., Costanza, R., da Fonseca, G. A. B., & Portela, R. (2016). Global biodiversity conservation and the alleviation of poverty. *BioScience*, 66(1), 71-79.

U.S. Environmental Protection Agency (2019). *Municipal Solid Waste in the United States*

U.S. Environmental Protection Agency (2020). "What is Green Infrastructure?" EPA. <https://www.epa.gov/green-infrastructure/what-green-infrastructure> (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)

U.S. Environmental Protection Agency. Washington, D.C. "Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices." Chapter 5.

UBC Sustainability. (n.d.). *Sustainable stormwater management: Addressing challenges*. Url-14. Erişim adresi: <https://www.ubc-sustainable.net/news/sustainable-stormwater-management-addressing-challenges> (Erişim tarihi: 3 Ekim 2022).

UK Flood Risk. (n.d.). *Single properties or large developments*. Url-67. Erişim adresi: <https://ukfloodrisk.co.uk/service/single-properties-or-large-developments/> (Erişim tarihi: 10 Eylül 2021).

Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi, NOAA, 2024. *Pollution*. Erişim adresi: https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_pollution/08forestry.html (Erişim Tarihi: 5 Şubat 2024)

United Nations Human Settlements Programme (2020). *Global Report on Urban Water and Sanitation*

United States Environmental Protection Agency. Washington, DC."National Menu of Stormwater Best Management Practices." Fact Sheet: "Dry Detention Ponds."

United States Geological Survey, *Water Cycle*. Erişim adresi: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Water_cycle_tr.jpg (Erişim Tarihi: 3 Nisan 2023)

- Universiti Sains Malaysia, USM, (2024). *Lestari Campus*. Erişim adresi: <https://www.eng.usm.my/index.php/ms/berita2/tunjang-lestari/932-peralihan-tenaga-lestari-kampus-kejuteraan-usm> (Erişim Tarihi: 3 Mart 2024)
- University of Illinois, Illinois Extension, (2024). *Rainfall Management*. Erişim adresi: <https://extension.illinois.edu/rainfall-management> (Erişim Tarihi: 23 Ocak 2023)
- University of Toronto, UofT, (2016). *Ecological Changes*. Erişim adresi: <https://www.utoronto.ca/news/saving-toronto-s-ravines-forestry-researchers-track-ecological-changes> (Erişim tarihi: 2 Şubat 2021).
- Urban Toronto. (2014). *Waterfront Toronto officially opens Corktown Common*. Url-90. Erişim adresi: <https://urbantoronto.ca/news/2014/07/waterfront-toronto-officially-opens-corktown-common.10249> (Erişim tarihi: 6 Haziran 2022).
- Urbanisten. (n.d.). *Benthemplein*. Url-81. Erişim adresi: <https://www.urbanisten.nl/work/benthemplein> (Erişim tarihi: 3 Eylül 2022).
- US EPA, United States Environmental Protection Agency, 2024. *Constructed Wetlands*.
- Van Roon M and Van Roon Henri 2009 *Low Impact Urban Design and Development: the big Picture*, Auckland: Manaaki Whenua Press.
- Van Roon M, Greenaway A, Dixon JE and Eason CT 2006. *Low Impact Urban Design and Development*
- Van Zyl, H., Davis, C., & Rivett, U. (2021). Exploring the integration of green-blue-grey infrastructure into the urban fabric for enhanced urban resilience. *Urban Water Journal*, 18(5), 340-348.
- VCA Green. (n.d.). *Low-impact development: Stormwater management tools*. Url-15. Erişim adresi: <https://vca-green.com/low-impact-development-stormwater-management-tools/> (Erişim tarihi: 22 Aralık 2021).
- Victor Toebosch. (2010). *Cloaca Maxima*. Url-8. Erişim adresi: <https://victortoebosch.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/10/cloaca-maxima-2.jpg> (Erişim tarihi: 5 Kasım 2021).
- Volker, S., Kistemann, T., & Völker, J. (2013). The impact of blue space on human health and well-being – Salutogenetic health effects of inland surface waters: A review. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 216(6), 701-713.
- Voskamp, I. M., & Van de Ven, F. H. M. (2015). Planning support system for climate adaptation: Composing effective sets of blue-green measures to reduce urban vulnerability to extreme weather events. *Building and Environment*, 83, 159-167

- Vörösmarty, C., McIntyre, P., Gessner, M. et al. (2010). "Global threats to human water security and river biodiversity". *Nature*, 467(7315), 555-561.
- Vymazal, J. (2010). Constructed wetlands for wastewater treatment: five decades of experience. *Environmental Science & Technology*, 45(1), 61-69.
- Wallace, C., McCarty, G., Lee, S., Brooks, R., Veith, T., Kleinman, P., ... & Sadeghi, A. (2018). Evaluating concentrated flowpaths in riparian forest buffer contributing areas using lidar imagery and topographic metrics. *Remote Sensing*, 10(4), 614. <https://doi.org/10.3390/rs10040614>
- Walters, C., & Holling, C. S. (1990). Large-scale management experiments and learning by doing. *Ecology*, 71(6), 2060-2068.
- Wang, C., Hou, J., Miller, D., Brown, I., & Jiang, Y. (2019). Flood risk management in sponge cities: the role of integrated simulation and 3d visualization. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 39, 101139. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101139>
- Wang, C.X. (2013). Low Impact Development (LID) Approaches in Sustainable Stormwater Management. *Applied Mechanics and Materials*, 368-370, 297 – 301.
- Wang, Y. (2023). The practice and potential of the sites v2 rating system for the sustainable design of a landscape: a case study of chicago's navy pier. *Frontiers in Environmental Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.966726>
- Wang, Y., Jiang, Z., & Lin, Z. (2022). Sponge city policy and sustainable city development: the case of shenzhen. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.772490>
- Washington State Department of Ecology. (2005). *Stormwater Management Manual for Western Washington*. <http://www.ecy.wa.gov/> (Erişim tarihi: 8 Mart 2023).
- Water Environment Federation, Alexandria, VA; and American Society of Civil Engineers, Reston, VA. "Urban Runoff Quality Management." WEF Manual of Practice No. 23; ASCE Manual and Report on Engineering Practice No. 87. 1998. ISBN 1-57278-039-8. Chapter 5.
- Water Sensitive Cities Australia, WSCA, (2021). Erişim adresi: <https://watersensitivecities.org.au/what-is-a-water-sensitive-city/> (Erişim tarihi: 8 Mart 2023).
- Water sensitive planning for cities in a tropical context*, (2023). Proc. Asia Pacific Stormwater Conf.

- Waterborne Environmental, 2023. *Bioswales*. Erişim adresi: <https://waterborne-env.com/field-studies/bioswales-a-natural-tool-in-the-war-against-urban-pollutants/> (Erişim tarihi: 8 Mart 2023).
- Waterbucket. (2009). *Integrated resource recovery case study: Dockside Green mixed-use development*. Url-79. Erişim adresi: <https://waterbucket.ca/gi/2009/10/07/integrated-resource-recovery-case-study-dockside-green-mixed-use-development/> (Erişim tarihi: 19 Mart 2023).
- Waterbucket. (2013). *Are rain gardens mini toxic cleanup sites?*. Url-19. Erişim adresi: <https://waterbucket.ca/gi/2013/02/02/are-rain-gardens-mini-toxic-cleanup-sites/> (Erişim tarihi: 9 Aralık 2022).
- Wendel, H., Downs, J., & Mihelcic, J. (2011). Assessing equitable access to urban green space: the role of engineered water infrastructure. *Environmental Science & Technology*, 45(16), 6728-6734. <https://doi.org/10.1021/es103949f>
- Wikimedia Commons. (2017). *Madrid in May 2017*. Url-88. Erişim adresi: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/cd/Madrid_in_May_2017_64_edited.jpg/1200px-Madrid_in_May_2017_64_edited.jpg (Erişim tarihi: 23 Temmuz 2023).
- Wikimedia Commons. (n.d.). *Dujiang Weir*. Url-5. Erişim adresi: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dujiang_Weir.jpg (Erişim tarihi: 24 Ocak 2023).
- Wikipedia. (n.d.). *Aqueduct of Valens*. Url-6. Erişim adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Aqueduct_of_Valens (Erişim tarihi: 14 Mart 2022).
- Wikipedia. (n.d.). *Bioswale*. Url-21. Erişim adresi: <https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Bioswale.jpg> (Erişim tarihi: 27 Ekim 2022).
- Wikipedia. (n.d.). *Canal du Midi*. Url-11. Erişim adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Canal_du_Midi (Erişim tarihi: 17 Temmuz 2021).
- Wikipedia. (n.d.). *Detention basin*. Url-49. Erişim adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Detention_basin (Erişim tarihi: 3 Kasım 2022).
- Wikipedia. (n.d.). *Eutrophication*. Url-56. Erişim adresi: <https://en.wikipedia.org/wiki/Eutrophication> (Erişim tarihi: 22 Nisan 2023).
- Wikipedia. (n.d.). *High Line*. Url-71. Erişim adresi: [https://en.wikipedia.org/wiki/High_Line#/media/File:The_High_Line,_New_York_\(17643199203\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/High_Line#/media/File:The_High_Line,_New_York_(17643199203).jpg) (Erişim tarihi: 14 Mayıs 2022).
- Wikipedia. (n.d.). *Lowline (park)*. Url-91. Erişim adresi:

- [https://en.wikipedia.org/wiki/Lowline_\(park\)#/media/File:Lowline_Lab.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Lowline_(park)#/media/File:Lowline_Lab.jpg)
(Erişim tarihi: 17 Ocak 2023).
- Wikipedia. (n.d.). *Nonpoint source pollution*. Url-70. Erişim adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Nonpoint_source_pollution (Erişim tarihi: 18 Ekim 2021).
- Wikipedia. (n.d.). *Puquios*. Url-4. Erişim adresi: <https://en.wikipedia.org/wiki/Puquios> (Erişim tarihi: 5 Haziran 2022).
- Wikipedia. (n.d.). *Qanat*. Url-9. Erişim adresi: <https://en.wikipedia.org/wiki/Qanat> (Erişim tarihi: 15 Kasım 2021).
- Wikipedia. (n.d.). *Retention basin*. Url-45. Erişim adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Retention_basin (Erişim tarihi: 9 Aralık 2022).
- Wikipedia. (n.d.). *Riparian buffer*. Url-50. Erişim adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Riparian_buffer#/media/File:Riparian_buffer_on_Bear_Creek_in_Story_County,_Iowa.JPG (Erişim tarihi: 18 Mart 2022).
- Wikipedia. (n.d.). *Stormwater detention vault*. Url-54. Erişim adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Stormwater_detention_vault#/media/File:Parking_lot_stormwater_detention_system.jpg (Erişim tarihi: 19 Kasım 2021).
- Wikipedia. (n.d.). *Thermae*. Url-7. Erişim adresi: <https://en.wikipedia.org/wiki/Thermae> (Erişim tarihi: 9 Ağustos 2022).
- Wikipedia. (n.d.). *Watermill*. Url-10. Erişim adresi: <https://en.wikipedia.org/wiki/Watermill> (Erişim tarihi: 5 Mayıs 2022).
- Williams, N., Lundholm, J., & MacIvor, J. (2014). Forum: do green roofs help urban biodiversity conservation. *Journal of Applied Ecology*, 51(6), 1643-1649. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12333>
- WLA. (2023). *Student project: Monitoring design stormwater management process visualisation and evaluation – Huaiyu Zhou*. Erişim adresi: <https://worldlandscapearchitect.com/student-project-monitoring-design-stormwater-management-process-visualisation-and-evaluation-huaiyu-zhou/?v=3a1ed7090bfa> (Erişim tarihi: 9 Mayıs 2023).
- Wolf, K. L. (2004). Nature in the retail environment: Comparing consumer and business response to urban forest conditions. *Landscape Journal*, 23(1), 40-51.
- Wong, T. H. F., & Brown, R. R. (2009). "The water sensitive city: Principles for practice." *Water Science and Technology*, 60(3), 673-682.

- World Bank. (2019). "Reaching for the sun: How green infrastructure can complement and catalyze gray infrastructure for improved urban water management in Africa". World Bank Group.
- World Green Infrastructure Network. (n.d.). *Key definition: Green roof*. Url-31. Erişim adresi: <https://worldgreeninfrastructurenetwork.org/key-definition-green-roof/> (Erişim tarihi: 26 Ağustos 2023).
- World Health Organization (2019). *Drinking-water, Sanitation, and Hygiene*.
- Woznicki, S. and Nejadhashemi, A. (2011). Sensitivity analysis of best management practices under climate change scenarios1. *Jawra Journal of the American Water Resources Association*, 48(1), 90-112. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2011.00598.x>
- WRI India, (2020). *Living with water: integrating blue, green and grey infrastructure to manage urban floods*. <https://wri-india.org/pt/blog/living-water-integrating-blue-green-and-grey-infrastructure-manage-urban-floods> (Erişim Tarihi: 4 Haziran 2020)
- Wu, T., Song, H., Wang, J., & Friedler, E. (2020). Framework, procedure, and tools for comprehensive evaluation of sustainable stormwater management: a review. *Water*, 12(5), 1231. <https://doi.org/10.3390/w12051231>
- Xiao, W. (2024). Case study of optimizing low impact development strategy in school: allocation by the drainage distance. *Journal of Physics*, 2706(1), 012084. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2706/1/012084>
- Xiong, L., Xu, Z., & Xu, J. (2022). Combined optimization of lid patches and the gray drainage system to control wet weather discharge pollution. *Acs Es&t Water*, 2(10), 1734-1746. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.2c00259>
- Yang, W., Shi, X., Wang, J., Chen, W., Zhang, L., Zhang, W., ... & Lu, J. (2019). Fabrication of a novel bifunctional nanocomposite with improved selectivity for simultaneous nitrate and phosphate removal from water. *Acs Applied Materials & Interfaces*, 11(38), 35277-35285
- Ying, J., Zhang, X., Yi-qi, Z., & Bilan, S. (2021). Green infrastructure: systematic literature review. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 35(1), 343-366. <https://doi.org/10.1080/1331677x.2021.1893202>
- Young, S., Pitawala, H., & Gunatilake, J. (2009). Fate of phosphate and nitrate in waters of an intensive agricultural area in the dry zone of sri lanka. *Paddy and water Environment*, 8(1), 71-79. <https://doi.org/10.1007/s10333-009-0186-6>
- Yuan, Y., Bingner, R., & Locke, M. (2009). A review of effectiveness of vegetative

- buffers on sediment trapping in agricultural areas. *Ecohydrology*, 2(3), 321-336. <https://doi.org/10.1002/eco.82>
- Zakaria, N. A., Ab Ghani, A., Abdullah, R., Mohd. Sidek, L., & Ainan, A. (2003). Bio-ecological drainage system (BIOECODS) for water quantity and quality control. *International Journal of River Basin Management*, 1(3), 237–251. <https://doi.org/10.1080/15715124.2003.9635210>
- Zamani, M.G., Saniei, K., Nematollahi, B., Zahmatkesh, Z., Mog, M. (2023). Developing sustainable strategies by LID optimization in response to annual climate change impacts. *Journal of Cleaner Production*, Volume 416
- Zhang, X., Wu, Q., Cui, J., Liu, Y., & Wang, W. (2018). “source–sink” landscape pattern analysis of nonpoint source pollution using remote sensing techniques. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15(10), 2253-2268. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1683-1>
- Zhang, Y. (2019). Understanding organic nonpoint-source pollution in watersheds via pollutant indicators, disinfection by-product precursor predictors, and composition of dissolved organic matter. *Journal of Environmental Quality*, 48(1), 102-116. <https://doi.org/10.2134/jeq2018.06.0228>
- Zhou Q. A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts. *Water*. 2014; 6(4):976-992. <https://doi.org/10.3390/w6040976>
- Zhou, J., Bloorchian, A., Nassiri, S., & Osouli, A. (2021). A simplified model for predicting the effectiveness of bioswale’s control on stormwater runoff from roadways. *Water*, 13(20), 2798. <https://doi.org/10.3390/w13202798>
- Zhou, Q. (2014). A review of sustainable urban drainage systems considering the climate change and urbanization impacts. *Water*, 6(4), 976-992. <https://doi.org/10.3390/w6040976>
- Zinco. (n.d.). *Urban climate roof*. Url-30. Erişim adresi: <https://zinco-greenroof.com/systems/urban-climate-roof> (Erişim tarihi: 3 Kasım 2022).
- Žuvela-Aloise, M., Koch, R., Buchholz, S., & Früh, B. (2016). Modelling the potential of green and blue infrastructure to reduce urban heat load in the city of vienna. *Climatic Change*, 135(3-4), 425-438. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1596-2>

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mertkan Fahrettin TEKİNALP

Yabancı Dili : İngilizce - Japonca

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Doktora	Peyzaj Mimarlığı	Düzce Üniversitesi	2024
Y. Lisans	Peyzaj Mimarlığı	Düzce Üniversitesi	2017
Lisans	Peyzaj Mimarlığı	Düzce Üniversitesi	2015
Lise		Alparslan Anadolu Lisesi	2009

YAYINLAR

Tezden Üretilmiş Yayınlar

Uluslararası Bildiri

Tekinalp, M. F. and Demir, Z., (2023). Stormwater Management Concept and Rain Gardens. *IV-International Rural Areas and Ecology Congress Within the Framework of Sustainable Development (ss.456-461)*, 05-06 October 2023, Girne, Kıbrıs.

Tekinalp, M. F. and Demir, Z., (2023). Functions of Rain Gardens in Rural Areas. *IV-International Rural Areas and Ecology Congress Within the Framework of Sustainable Development (ss. 463-468)*, 05-06 October 2023, Girne, Kıbrıs.

Diğer Yayınlar

Uluslararası Makale

Tekinalp M. F., Demir Z. (2024). The Potential Uses of Rain Gardens in Mitigating Nonpoint Source Pollution: An Integrative Approach. *Journal of Scientific and*

Engineering Research, 11(5):35-39.

Tekinalp M. F., Demir Z. (2024). The Role of Stormwater Management in the Context of Gray, Green and Blue Infrastructure Paradigm. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 11(5):40-46.

Tekinalp M. F., Demir Z. (2024). Black to Green: Charcoal's Role in Advancing Environmental Sustainability. *Chemistry Research Journal*, 9(2):108-113.

