

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

ÖNSÖZ

Kentsel Peyzaj Altyapısının Geliştirilmesinde En Uygun Yağmur Suyu Yönetimi Stratejisinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Belirlenmesi ‘Rize Örneği’ başlıklı bu çalışma K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı’nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır

Bu tezin oluşması sürecindeki çalışmalarımın her anında bana yardımcı olan, fikir vermekle kalmayıp bana örnek ve öncü olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Cengiz ACAR’a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ek olarak tezimin sonuçlanması aşamasına kadar değerli fikirleri ve yönlendirmeleriyle yardımcı olan Tez İzleme Komitesi üyeleri Doç. Dr. Emrah YALÇINALP ve Dr. Öğr. Üyesi Osman ÜÇÜNCÜ’ye teşekkür ederim.

Doktora sürecim boyunca ilk günden beri her konuda yardım ve desteklerini esirgemeyen abim Dr. Öğr. Üyesi Zafer BEKİRYAZICI’ ya sonsuz teşekkür ederim. Aynı zamanda çalışmalarımda desteklerini esirgemeyen, alan bilgisi ve yol göstermeleriyle bana büyük katkı sağlayan kıymetli Dr. Ali KÖSEOĞLU’na teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım esnasında, sürekli desteğini gördüğüm ve ihtiyacım olan konularda yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Deryanur DİNÇER’e teşekkür ederim. Değerli arkadaşım Arş. Gör. Hüseyin ÖGÇE’ye bana destekleri ve çalışmamı ileriye götürdüğünü düşündüğüm fikirleri sebebiyle teşekkür ederim.

En önemlisi de her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen başta kıymetli annem Kadriye BEKİRYAZICI olmak üzere, kardeşlerim Emre BEKİRYAZICI ve Sümeyra ATALAR, eşim Nurdan BEKİRYAZICI ve tüm aileme en derin şükranlarımı sunarım.

Fatih BEKİRYAZICI

Trabzon 2023

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum Kentsel Peyzaj Altyapısının Geliştirilmesinde En Uygun Yağmur Suyu Yönetimi Stratejisinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Belirlenmesi ‘Rize Örneği’ başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Cengiz ACAR’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 12/ 01 / 2023

Fatih BEKİRYAZICI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. ÇALIŞMANIN AMACI.....	3
1.3. ALTYAPI OLARAK PEYZAJ.....	6
1.4. KENTSEL PEYZAJ ALTYAPISINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	7
1.4.1. KENT EKOLOJİSİ	9
1.4.2. KENT MORFOLOJİSİ	10
1.4.3. KENT HİDROLOJİSİ	11
1.5. YAĞMUR SUYU YÖNETİMİ KAVRAMI	13
1.5.1. Taşkın Yönetimi	16
1.5.2. Yüzey Akış Kontrolü.....	19
1.5.3. Su kirliliği	20
1.5.4. Yağmur Suyu Hasadı.....	22
1.6. YAĞMUR SUYU YÖNETİMİ STRATEJİLERİ	24
1.6.1. Geleneksel Yağmur Suyu Yönetimi Uygulamaları	25
1.6.2. Yeşil Altyapı.....	26
1.6.3. En İyi Yönetim Uygulamaları	29
1.6.4. Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri	30
1.6.5. Düşük Etkili Gelişme	31
1.6.6. Düşük Etkili Kentsel Tasarım ve Gelişme	32
1.6.7. Sünger Şehirler	33
1.6.8. Doğa Temelli Çözümler	35
1.7. YAĞMUR SUYU ALTYAPILARI UYGULAMALARI	36
1.7.1. Biyolojik Tutma Alanları	36
1.7.2. Yağmur Bahçeleri.....	40
1.7.3. Biyo Hendekler.....	42
1.7.4. Geçirgen Kaplamalar.....	44
1.7.5. Yeşil Çatılar/Çatı Bahçeleri.....	47
1.7.6. Diğer Yağmur Suyu Yönetim Uygulamaları.....	49
1.8. DÜNYA'DAN YAĞMUR SUYU YÖNETİMİ UYGULAMALARI	51
1.9. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ	54
1.10. TOPSIS YÖNTEMİ.....	57
1.11. TOPSIS YÖNTEMİNİN YAĞMUR SUYU YÖNETİMİNDE KULLANIMI	58
1.12. LİTERATÜR TARAMASI	59
2. MATERYAL VE METOT.....	69
2.1. ARAŞTIRMANIN GENEL KURGUSU	69

2.2.	ÇALIŞMA ALANI	71
2.3.	VERİLERİN TOPLANMASI.....	84
2.4.	RİZE’NİN KENT HİDROLOJİSİ	84
2.5.	ÇALIŞMA ALANLARININ ALAN TİPOLOJİLERİNE GÖRE SINIFLANDIRILMASI	91
2.5.1.	Çalışma Alanı 1 (Rize Sahil Parkı)	92
2.5.2.	Çalışma Alanı 2 (Rize-Güneysu Otoyolu)	96
2.6.	TOPSIS YÖNTEMİ.....	101
2.7.	TOPSIS YÖNTEM TERCİHİNİN MOTİVASYONU	108
2.8.	METOT.....	110
2.9.	SWMM PROGRAMI İLE YÜZEY AKIŞ SİMÜLASYONU	111
3.	BULGULAR	115
3.1.	RİZE KENT HİDROLOJİSİ VE PEYZAJ İLİŞKİSİNE AİT BULGULAR.....	115
3.2.	YAĞMUR SUYU YÖNETİMİNDE ÇKKV VE KULLANIMINA AİT BİLGİLER.....	118
3.3.	SAHİL PARKI UYGULAMASINA AİT BULGULAR	118
3.3.1.	Karar Matrisi.....	118
3.3.2.	Normalize Edilmiş Karar Matrisi	119
3.3.3.	Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi.....	121
3.3.4.	Pozitif ve Negatif İdeal Çözümler	122
3.3.5.	Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlere Uzaklıklar	122
3.3.6.	İdeal Çözüme Yakınlık.....	124
3.3.7.	Alternatiflerin Sıralanması	125
3.4.	DERE KENARI OTOYOL UYGULAMASI: GÜNEYSU-RİZE BAĞLANTI YOLU.....	125
3.4.1.	Karar Matrisi.....	126
3.4.2.	Normalize Edilmiş Karar Matrisi	126
3.4.3.	Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi.....	128
3.4.4.	Pozitif ve Negatif İdeal Çözümler	129
3.4.5.	Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlere Uzaklıklar	130
3.4.6.	İdeal Çözüme Yakınlık.....	131
3.4.7.	Alternatiflerin Sıralanması	132
3.5.	TOPSIS İLE ALTERNATİFLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	133
3.5.1.	Rize Sahil Parkı için Olası Senaryolar	133
3.5.2.	Güneysu-Rize Bağlantı Yolu için Olası Senaryolar	136
3.6.	SWMM PROGRAMI İLE YÜZEY AKIŞ MİKTARLARININ HESAPLANMASI	138
3.6.1.	Rize Sahil Parkı Yüzey Akış Simülasyonu	138
3.6.2.	Güneysu Rize Otoyolu Yüzey Akış Simülasyon.....	142
4.	TARTIŞMA.....	147
5.	SONUÇLAR.....	153
6.	ÖNERİLER	160
7.	KAYNAKLAR.....	163
8.	EKLER	189
Ek 1.	UZMAN MESAJI (TÜRKÇE-İNGİLİZCE)	189
Ek 2.	UZMAN LİSTESİ.....	191
Ek-3	BAZI UZMAN DÖNÜTLERİ.....	194
	ÖZGEÇMİŞ.....	196

Doktora Tezi

ÖZET

KENTSEL PEYZAJ ALTYAPISININ GELİŞTİRİLMESİNDE EN UYGUN YAĞMUR SUYU YÖNETİMİ STRATEJİSİNİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ ‘RİZE ÖRNEĞİ’

Fatih BEKİRYAZICI

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Cengiz ACAR
2023, 195 Sayfa

Bu çalışmada yağmur suyu yönetimi stratejisi seçimi için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılmaktadır. Bu bağlamda TOPSIS yöntemi Rize ilinden veriler kullanılarak sunulmaktadır. Resmi verilere göre Türkiye’nin en yağışlı ili olan Rize’de sel ve heyelan gibi afetlerde son 40 yılda yaklaşık 127 kişinin hayatını kaybetmesi ve son 10 yılda 500 milyon TL’nin üzerinde maddi zarar oluşması yağmur suyu yönetimini Rize için önemli kılmaktadır. Tez kapsamında en uygun yağmur suyu yönetimi uygulamalarının ÇKKV yöntemleri içinden konuya uygun yapıda olan TOPSIS yöntemi ile Rize sahil parkı ve Güneysu-Rize bağlantı yolu için belirlenmesi detaylı olarak sunulmaktadır. Bu kapsamda kentsel alan kullanımına uygun ve benzer alanlarda yaygın olarak kullanılan uygulamalar ele alınmıştır. Seçilen uygulamaların değerlendirilmesi için kullanılacak kriterler ve bu kriterlerin ağırlıkları, yağmur suyu yönetimi alanında dünyada önde gelen araştırmacıların uzman görüşüne başvurarak belirlenmiştir. Rize sahil parkı ve Güneysu-Rize bağlantı yolu için uygulamaların maliyetinde veya alanlara düşen yağmur miktarında değişim olması gibi farklı senaryolarda en uygun yağmur suyu yönetimi uygulamaları TOPSIS yöntemi ile tespit edilmiştir. SWMM programında yapılan yüzey akış simülasyonlarıyla TOPSIS çıktıları doğrulanmıştır. TOPSIS algoritmasının MATLAB programı ile oluşturulması sonrası strateji seçimi ve alternatif senaryo analizinin kolaylıkla yapılabildiğini gösteren bu çalışmanın farklı alanlarda yapılacak incelemelere kaynak oluşturması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kentsel Peyzaj Altyapısı, Yağmur Suyu Yönetimi, Yeşil Altyapı, Düşük Etkili Gelişme, Kent Hidrolojisi, Çok Kriterli Karar Verme, TOPSIS, SWMM

PhD. Thesis

SUMMARY

DETERMINING THE MOST SUITABLE STORMWATER MANAGEMENT STRATEGY IN DEVELOPING URBAN LANDSCAPE INFRASTRUCTURE WITH MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING METHODS 'RİZE EXAMPLE'

Fatih BEKİRYAZICI

Karadeniz Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Landscape Architecture Graduate Program
Supervisor: Prof. Cengiz ACAR
2023, 195 Pages

In this study, Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods are used for stormwater management strategy selection. In this context, the TOPSIS method is presented using data from the province of Rize. According to official data, approximately 127 casualties in the last 40 years in disasters such as floods and landslides in Rize, the city with the highest precipitation in Turkey, and the material damage of approximately more than 500 million TL in the last 10 years makes rainwater management important for Rize. Within the scope of the thesis, the determination of the most appropriate stormwater management practices for the Rize coastal park and Güneysu-Rize highway with TOPSIS method, which is suitable MCDM method for this problem, is presented in detail. In this context, common applications suitable for urban area use are discussed. The criteria to be used for the evaluation of the selected applications and the weights of these criteria were determined by consulting the expert opinion of the world's leading researchers in the field. The most suitable stormwater management applications in different scenarios such as changes in the cost of the applications or the amount of rainfall on study areas were determined with TOPSIS. Results were verified by simulations in SWMM. It is aimed that this study, which shows that strategy selection and alternative scenario analysis can be done easily with TOPSIS algorithm in MATLAB, will be a source for further investigations.

Key Words: Urban Landscape Infrastructure, Stormwater Management, Green Infrastructure, Low Impact Development, Urban Hydrology, Multi Criteria Decision Making, TOPSIS, SWMM

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Genel bilgiler akış şeması	4
Şekil 2.	Kentleri tehdit eden risk faktörleri	5
Şekil 3.	Kentsel peyzaj altyapısının kazanımları (URL-3'den revize edilmiştir.)	9
Şekil 4.	Doğal su döngüsü (URL-4).....	12
Şekil 5.	Geçirimsiz yüzeylerin artışıyla yağmur suyu akışlarının değişimi (URL-5).....	14
Şekil 6.	Nehir taşkını örneği, Meriç Nehri/ Edirne (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı) 17	
Şekil 7.	Kentsel Akış Kirliliğinin kaynağı ve etkileri	21
Şekil 8.	Biyo tutma alanı en kesiti ve detayları (Hinman ve Wulkan, 2012).....	38
Şekil 9.	Alt drenaja sahip bir biyo tutma alanı (URL-8).....	39
Şekil 10.	Bir yağmur bahçesinin çalışma prensibi (URL-9)	41
Şekil 11.	Yol ve Otopark arasına tasarlanmış bir biyo hendek	44
Şekil 12.	Bir Geçirgen kilitli beton kaplama en kesiti (URL-11), *Açık gradasyonlu malzemeler, büyük hava boşluklu yapıya sahip olup malzemenin içerisinde suyun hareketini kolaylaştıran karışımlardır. No. 57 vb. ifadeler Amerika Test ve Malzeme kurumunun uluslararası geçerliğe sahip sınıflandırmasını ifade eder.....	46
Şekil 13.	Bir geçirgen beton en kesiti (URL-11)	46
Şekil 14.	Bir Gözenekli asfalt en kesiti (URL-11).....	47
Şekil 15.	Bir Yeşil Çatı detayı (URL-12).....	50
Şekil 16.	Hannover/Kronsberg'te bulunan biyo hendek uygulaması (URL-14).....	52
Şekil 17.	Water Park - Rotterdam (URL-15)	53
Şekil 18.	Bishan-Ang Mo Kio Park (URL-16)	53
Şekil 19.	İngiltere Sheffield'daki "Green to Gray" projesinden bir görüntü (URL-17)....	54
Şekil 20.	Yönteme ait akış şeması.....	70
Şekil 21.	Çalışma Alanlarının Rize Ve Türkiye Haritasındaki Konumları.....	72
Şekil 22.	2019 Yılında Rize ili Muradiye Beldesi'nde gerçekleşen sel felaketi.....	73
Şekil 23.	2019 Yılında Rize ili Muradiye Beldesi'nde gerçekleşen sel felaketi-2.....	73
Şekil 24.	2019 Yılında Rize ili Salarha Beldesi'nde gerçekleşen sel felaketi.....	74
Şekil 25.	2019 Yılında Rize ili Salarha Beldesi'nde gerçekleşen sel felaketi-2	75
Şekil 26.	2018 Yılında Rize ili Boğaz Mahallesi'nde aşırı yağışlar sonrası çöken bir istinat duvarı.....	75
Şekil 27.	Drenajı olmayan bir refüjde herhangi bir yağış sonrası oluşan su birikintileri... 76	
Şekil 28.	2021 yılında Rize ili Güneysu ilçesi'nde oluşan selden bir görüntü... 76	
Şekil 29.	Rize ilinde 1970-2019 yılları arasında meydana gelen afetler sonucu oluşan can kayıplarının Rize ili haritası üzerine dağılımı	79
Şekil 30.	Rize ili kent merkezi uydu görüntüsü	85
Şekil 31.	Rize kent merkezinin kuzey cepheden görünüşü.....	86
Şekil 32.	Alınan kesit ve yükseklik profili	86
Şekil 33.	Alınan kesit ve yükseklik profili	87
Şekil 34.	Alınan kesit ve yükseklik profili	87

Şekil 35. Rize kent merkez sınırları içerisindeki akarsular	88
Şekil 36. Rize dereleri (DSİ Trabzon Bölge Müdürlüğü)	90
Şekil 37. Rize'nin akarsu havzaları (DSİ Trabzon Bölge Müdürlüğü)	91
Şekil 38. Çalışma alanı 1 görsellerinin fotoğraf çekim noktaları	93
Şekil 39. Çalışma Alanı 1 batı sınırı	93
Şekil 40. Alanda kafe ve çay bahçelerinin yoğun olduğu çalışma alanının kuzey tarafı ...	94
Şekil 41. Alandaki lunapark	94
Şekil 42. Alanın batı tarafındaki boylu ağaçların olduğu kısım	95
Şekil 43. Spor alanlarının olduğu kısım	95
Şekil 44. Hobi atölyesi, dernek ve oyun alanının olduğu çalışma alanının doğu tarafı	96
Şekil 45. Çalışma alanından bir kesit	96
Şekil 46. Çalışma alanı 2 görsellerinin fotoğraf çekim noktaları	98
Şekil 47. Çalışma alanı 2 kuzey tarafından başlangıcı	98
Şekil 48. Alandaki büyük refüj	99
Şekil 49. Alandaki refüjün yeşil alan kısmının bitiş noktası	99
Şekil 50. Alanın orta noktasından kuzeye doğru bakışı	100
Şekil 51. Alandaki dere ve yol üstü donatıların görünümü	100
Şekil 52. Alana güney batı noktasından bakış	101
Şekil 53. Çalışma alanından bir kesit	101
Şekil 54. Çalışmada kullanılan TOPSIS yöntemine ait akış şeması	113
Şekil 55. Kesit yerlerinin uydu görüntüsü üzerindeki konumları	115
Şekil 56. A-A' kesiti	116
Şekil 57. B-B' kesiti	116
Şekil 58. C-C' kesiti	117
Şekil 59. D-D' kesiti	117
Şekil 60. Rize sahil parkı için TOPSIS yöntemi ile elde edilen benzerlik katsayıları	125
Şekil 61. Güneysu-Rize bağlantı yolu için benzerlik katsayıları	133
Şekil 62. Rize sahil parkı için alternatif senaryolarda benzerlik katsayıları	136
Şekil 63. Güneysu-Rize bağlantı yolu için alternatif senaryolarda benzerlik katsayıları	138
Şekil 64. Çalışma alanı 1 zaman serisi ve yağış verileri	139
Şekil 65. Rize Sahil Parkı çalışma alanının SWMM'ye tanımlanması	140
Şekil 66. Alanın mevcut durumdaki yüzey akış simülasyonu	140
Şekil 67. Bioretention uygulaması sonrası yüzey akış simülasyonu	140
Şekil 68. Yağmur bahçesi uygulaması sonrası yüzey akış simülasyonu	141
Şekil 69. Geçirgen kaplama uygulaması sonrası yüzey akış simülasyonu	141
Şekil 70. Biyo hendek uygulaması sonrası yüzey akış simülasyonu	141
Şekil 71. Çalışma alanı 2 zaman serisi ve yağış verileri	143
Şekil 72. Rize Güneysu otoyolu çalışma alanının SWMM'ye tanımlanması	144
Şekil 73. Alanın mevcut durumdaki yüzey akış simülasyonu	144
Şekil 74. Bioretention uygulaması sonrası yüzey akış simülasyonu	145
Şekil 75. Biyo hendek uygulaması sonrası yüzey akış simülasyonu	145
Şekil 76. Geçirgen kaplama uygulaması sonrası yüzey akış simülasyonu	145
Şekil 77. Yağmur bahçesi uygulaması sonrası yüzey akış simülasyonu	146

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Taşkınların sınıflandırılması (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı).....	16
Tablo 2. Literatürde yer alan bazı çok kriterli karar verme yöntemleri (Köseoğlu, 2019).....	57
Tablo 3. Rize ilinde 1970-2019 yılları arasında meydana gelen bölgesel ölçekli afetler ve etkilenen havzaların yaklaşık büyüklükleri.....	77
Tablo 4. Rize ilinde 1970-2019 yılları arasında meydana gelen afetler sonucu oluşan can kayıpları (AFAD).....	78
Tablo 5. Rize iline ait genel istatistiksel veriler	80
Tablo 6. Rize iline ait Mevsim Normalleri Ölçüm Periyodu 1991-2021.....	81
Tablo 7. Rize ili özel idareler ait bölgelerde 2010-2019 yıllarında meydana gelen heyelan ve sel ile ilgili altyapı hasarları.....	82
Tablo 8. Rize ili belediyelere ait bölgelerde 2010-2019 yıllarında meydana gelen heyelan ve sel ile ilgili altyapı hasarları.....	83
Tablo 9. Rize’de 2020 yılında gerçekleşen sel, su baskını ve heyelan kaynaklı altyapı hasarları.....	83
Tablo 10. Rize ilinin akarsuları (T.C. Rize Valiliği, 2022).....	89
Tablo 11. Rize ilinin başlıca gölleri (T.C. Rize Valiliği, 2022)	89
Tablo 12. Rize ilinin başlıca akiferleri (T.C. Rize Valiliği, 2022).....	90
Tablo 13. Çalışma alanı 1’in toplam büyüklüğü ve yüzey alanlarına göre dağılımı.....	92
Tablo 14. Çalışma alanı 2’in toplam büyüklüğü ve yüzey alanlarına göre dağılımı.....	97
Tablo 15. Çalışma Alanı 1 için oluşturulan Karar Matrisi	114
Tablo 16. Çalışma Alanı 2 için Güneysu için oluşturulan Karar Matrisi	114
Tablo 17. Mevcut durum ve uygulama simülasyonlarının yüzey akış miktarları	142
Tablo 18. Mevcut durum ve uygulama simülasyonlarının yüzey akış miktarları	146

SEMBOLLER DİZİNİ

YSY	: Yağmur Suyu Yönetimi
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions
DEĞ	: Düşük Etkili Gelişme
YSA	: Yağmur Suyu Altyapısı
EİYU	: En İyi Yönetim Uygulamaları
SKDS	: Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri
DTÇ	: Doğa Temelli Çözümler
DEKTG	: Düşük Etkili Kentsel Tasarım ve Gelişme
NOKK	: Noktasal Olmayan Kaynak Kirliliği
SWMM	: Storm Water Management Model
KDS	: Kentsel Drenaj Sistemi
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
Ha	: Hektar
CFS	: Cubic Feet Per Second

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

21. yüzyılda kentleşmenin artması küresel ölçekte kritik bir konu haline gelmiştir. Dünyada kentsel nüfus 2009'da 3.4 milyar insan iken 2050 yılında bu rakamın 6.3 milyara çıkması yani %84 civarında artış göstermesi beklenmektedir (United Nations, 2010). Benzer şekilde ülkemizde de kentsel alan nüfusu sürekli artış halindedir. Birleşmiş Milletler verilerine göre Türkiye'nin kentsel nüfusu 1950 yılında 5.3 milyon insan iken 2015 yılında 57.6 milyon olmuş, 2019 yılında ise yaklaşık 63.8 milyona ulaşmıştır (United Nations, 2019). Kentsel nüfusun toplam nüfusa oranı ise Türkiye için 1950 yılında %24.8 iken, 2015 yılında %73.6'ya çıkmış, 2019 yılında ise %76.1 olmuştur. Bu veriler ülkemizde kentsel alanların ve kentsel nüfusun dramatik bir artış gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Kentsel nüfusun artması birçok problemi beraberinde getirmektedir. Kentsel alanların gelişimi ve büyümesi kentsel yeşil alanların ve toprak yüzeylerinin geçirimsiz yüzeylere dönüşümünü; bu süreç de ekosistemlerde bozulma, gıda döngüsü, hidrolojik süreç, iklim değişikliği ve biyolojik çeşitlilik üzerinde olumsuz etkiler bırakılmasına sebep olmaktadır. Geçirimsiz yüzeylerin artmasıyla yağışla yeryüzüne inen suyun kontrol edilebilirliği azalmakta bu da sel, su baskınları, alıcı su kaynaklarında oluşan kirlilikler gibi birtakım problemlere yol açmaktadır. Yüzey akış miktarının artması, infiltrasyonu azaltırken, kirleticilerin ve tortuların kentsel alanlardan hızlı bir şekilde su kaynaklarına taşınmasına ve kaynakların kirliliğinin artmasına ve aynı zamanda yer altı su kaynaklarının azalmasına neden olmaktadır (Niemczynowicz, 1999). Böylece kentler, sadece kent içinde değil, aynı zamanda kentle ilişkili hidrolojik sistemleri, akış düzenini ve ekolojik sistemleri etkilemektedir. Bir diğer problem ise geçirimsiz yüzeylerin artması sebebiyle kontrol edilebilirliği azalan yağış sularının, sel, su baskını, heyelan vb. afetlere sebep olmasıdır.

Dünyanın dört bir yanındaki kentler, artan kentleşme ve küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkileri nedeniyle sıklıkla sel ve su baskını problemleri yaşamaktadır (Petit-Boix vd., 2017). Kentsel alanlardaki geçirimsiz yüzeylerin artması, yüzeysel akış miktarının artmasına yol açar (Dhakal ve Chevalier, 2016). Bu da geleneksel yağmur suyu yönetimi (YSY) ve kanalizasyon sistemlerinin, kısa sürede oluşan akışı kontrol edememesine ve özellikle yaz aylarında sık sık görülen sel olaylarına yol açmaktadır (Pitt, 2008).

Kentsel alanlarda yaz mevsimindeki sel risklerinin artması, dünyanın birçok bölgesinde büyük bir endişe kaynağıdır (Wheater ve Evans, 2009). Birleşmiş Milletler, selin dünyanın en büyük kentlerinin 633'ü için en büyük tehlike olduğunu rapor etmiştir (United Nations, 2012). Çin'de pek çok kentleşmiş bölge (Pekin, Guangzhou, Shanghai gibi) kısa vadede şiddetli yağışlar nedeniyle son yıllarda giderek su basmaya eğilimli hale gelmiştir. Bu nedenle, akış hacmini azaltmak için geleneksel ve yenilikçi YSY uygulamalarını geliştirmeye ve geçirgen yüzey sayısını arttırmaya odaklanılmıştır (Pitt, 2008; Wheater ve Evans, 2009).

Ülkemizde de durum dünyadakinden çok farklı değildir. Türkiye ılıman kuşak ile subtropikal kuşak arasında yer alır. Türkiye'nin üç tarafının denizlerle çevrili olması, dağların uzanışı ve yeryüzü şekillerinin çeşitlilik göstermesi, farklı özellikte iklim tiplerinin doğmasına yol açmıştır. Yurdumuzun kıyı bölgelerinde denizlerin etkisiyle daha ılıman iklim özellikleri görülür. Kuzey Anadolu Dağları ve Toros sıradağları deniz etkilerinin iç kesimlere girmesini engeller. Bu yüzden yurdumuzun iç kesimlerinde karasal iklim özellikleri görülür. Bölgeden bölgeye değişiklikler göstermekle beraber Türkiye birim metre kareye 574 mm ortalama yağış almaktadır (URL-1, 2021). Bu rakam karadeniz bölgesinde 696.5 mm, iç Anadolu bölgesinde 406.5 mm'dir. Ülkemizin en çok yağış alan ili Rize'de ise birim metre kareye 2302.1 mm'dir. Küresel iklim değişikliği, mevsimlerin farklılaşmasına ve düzensiz yağış rejimlerinin artmasına yol açmıştır. Bu da Rize ilinin yağış potansiyeliyle birleşince, son yıllarda aşırı yağışlara dayalı sel ve heyelan olayları sıklıkları artmıştır. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verilerine göre aşırı yağışlara bağlı olarak son 40 yıl içerisinde Rize'de gerçekleşen sel ve heyelan olayları sonucu 127 kişi vefat etmiş, milyonlarca TL maddi hasar gerçekleşmiştir (AFAD, 2020).

Küresel iklim değişikliğinin etkilerinin giderek arttığı düşünülürse YSY konusunun Rize'nin en önemli planlama önceliklerinden biri olduğu söylenebilir. Bu noktada YSY'nin Rize için zorunlu bir durum olduğu açıkça ortada olduğu gibi mevcut uygulamalarının yetersiz olduğu ve daha sürdürülebilir, daha kesin çözümler verecek ve bu olumsuzluğu en aza indirecek uzun vadeli yönetim prensiplerinin ortaya koyulması gerekliliği de aynı şekilde göze çarpmaktadır. Kentsel peyzaj altyapısı ekosistemlerden maksimum fayda sağlamayı ve kentlerdeki mavi-yeşil altyapıları optimum seviyede kullanmayı amaçlar. YSY kentsel peyzaj altyapılarının sunduğu en önemli faydalardan biridir. YSY literatürde farklı terminolojilerle sunulmuş olsa da bunların birçoğu benzer uygulamalarla ortaya çıkmıştır. Örneğin ilerleyen bölümlerde bahsedilecek olan *Green Infrastructure* (Yeşil Altyapı), *Low*

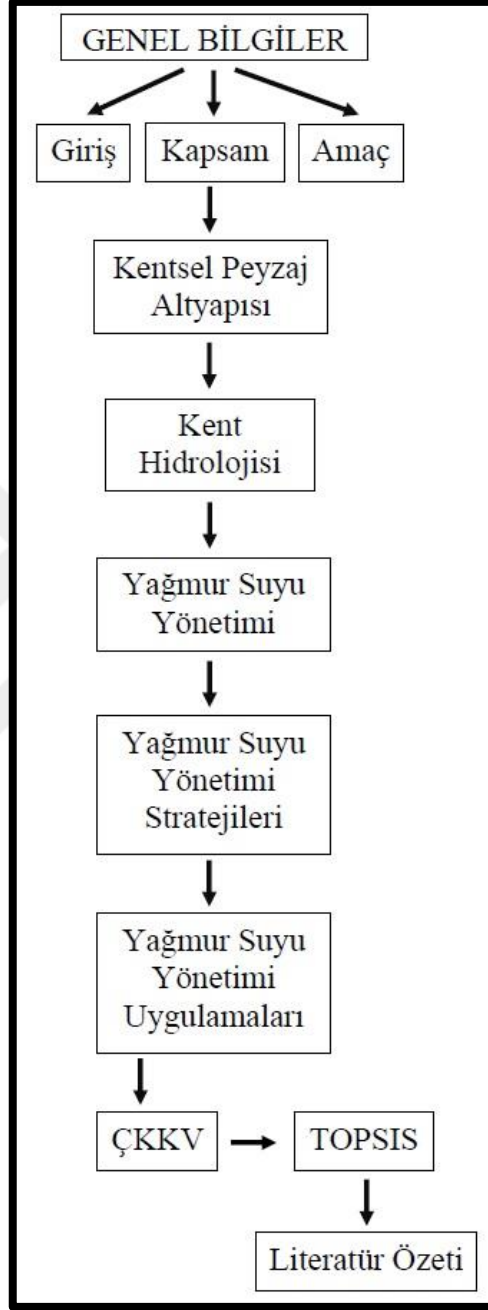
Impact Development (Düşük Etkili Gelişme), *Best Management Practices* (En İyi Yönetim Uygulamaları) gibi stratejilerin uygulamaları incelendiğinde hepsinde benzer olarak, yağmur bahçeleri, geçirgen kaplamalar, biyo hendekler gibi uygulamalarla karşılaşılmaktadır. Bu uygulamaların hepsi son yıllarda dünyanın farklı yerlerinde tekil veya bir kaçı bir arada olacak şekilde kullanılmakta ve YSY için sürdürülebilir çözümler sunmaktadır. Herhangi bir çalışma alanı için ise en ideal uygulamayı belirlemek çoğu zaman tasarımcıların inisiyatifinde gerçekleşmektedir. Ancak bu uygulamalar detaylarıyla farklı işlevdeki alanlarda farklı sonuçlar ortaya koyabilmektedir. Bu çalışmada YSY literatürü detaylı olarak irdelenmiş, stratejiler ve uygulamalar sunulmuş, Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri TOPSIS yardımıyla Rize’de belirlenen alan tipolojileri üzerinden en uygun ve sürdürülebilir YSY uygulamaları belirlenmiş ve bunların etkileri SWMM programında simule edilerek ortaya koyulmuştur. Çalışmanın genel bilgiler kısmına ait akış şeması aşağıda verilmektedir (Şekil 1).

1.2. Çalışmanın Amacı

YSY günümüzde tüm kentlerin ve kentsel alanların mücadele etmek zorunda olduğu önemli bir sorundur. Küresel iklim değişikliğiyle çok sık görmeye başladığımız düzensiz yağış rejimleri ve aşırı yağışlar Dünya’nın neresinde olursa olsun kentleri tehdit etmektedir. Son yıllarda çöl ikliminin hâkim olduğu coğrafyalarda bile can kayıplarına ve büyük miktarda maddi hasarlara neden olan birçok sel felaketi meydana gelmiştir. Bunlar küresel iklim değişikliğinin geçirimsiz yüzey miktarı artan kentler üzerindeki olumsuz etkilerinden bir tanesidir. Sılaydın Aydın ve Kahraman (2022) kentlerin aşırı yağışlar kaynaklı oluşan sellere karşı kırılganlık düzeylerini belirledikleri çalışmalarında Rize ili en yüksek kırılganlık düzeyine sahip iller arasında yer almaktadır. Dolayısıyla YSY Rize ili için göz ardı edilebilecek bir konu değildir ve bu konuya duyarlı kent planlamaları yapılmadığı sürece kentler sürekli risk altında olacaktır. Kentleşmenin ve küresel iklim değişikliğiyle artan aşırı yağışların kentsel YSY konusunda kentler üzerinde oluşturduğu riskler şekil 1’de gösterilmektedir.

YSY kapsamlı bir şekilde ele alınması gereken bir konudur. Çalışılacak alana ait, fiziksel ve coğrafik özellikler, iklimsel veriler, nüfus vb. demografik ögeler, hatta bölge insanların kültürel ve sosyolojik özellikleri gibi çok geniş ölçekte farklı parametreler YSY’den bağımsız düşünülemez. Planlama ölçeğinde çalışılan ve kentlerle ilgili kararların

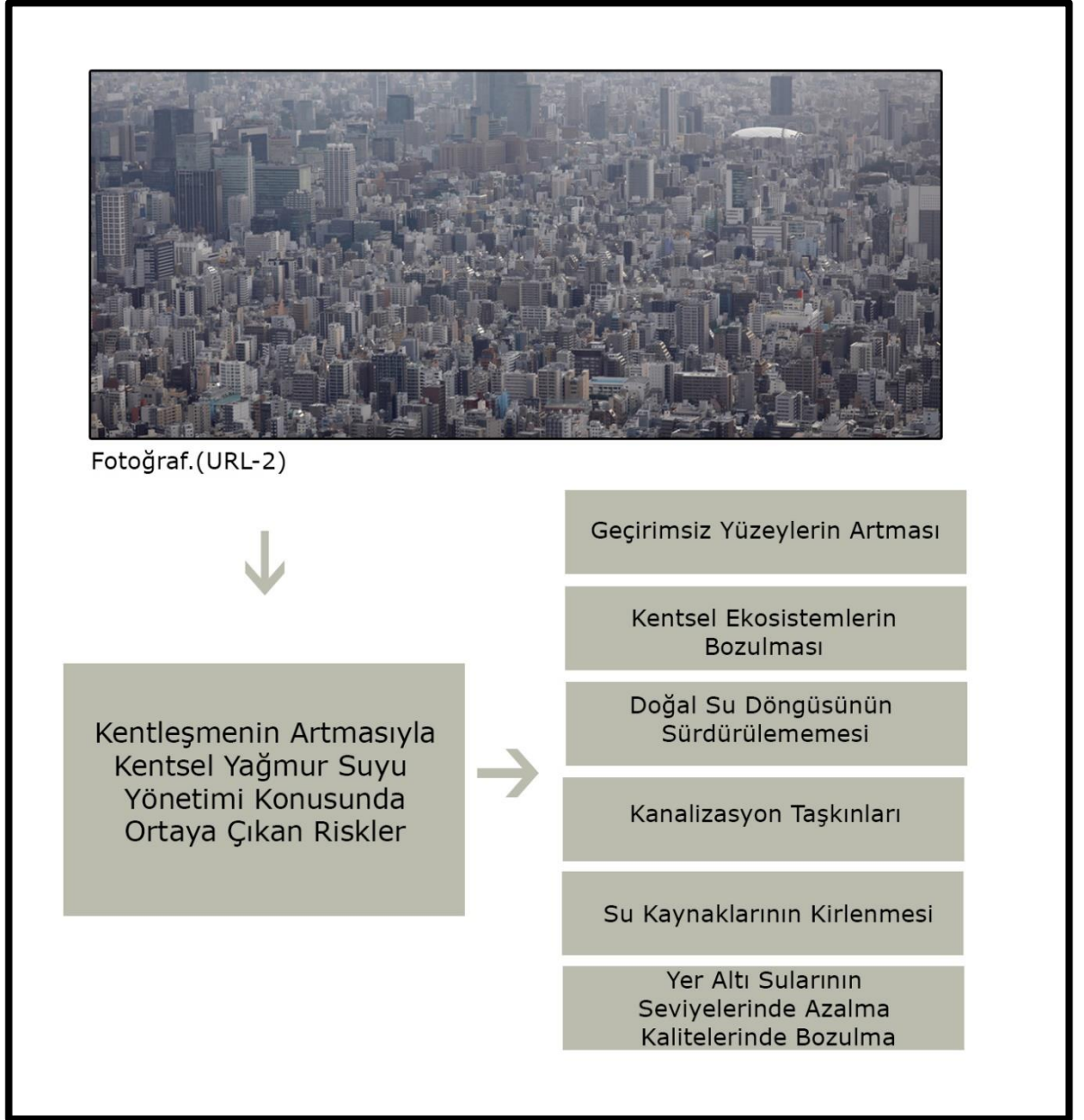
verileceği bu tip çalışmalardan olumlu sonuçlar elde edebilmek ancak tüm bu parametrelerin doğru kullanımı şeklinde gerçekleşebilir.



şekil 1. Genel bilgiler akış şeması

Ülkemiz YSY konusunda en hassas davranması gereken ülkelerden bir tanesidir. 2019 yılında yayınlanan ve Akdeniz’e kıyısı olan 8 ülkenin dahil edildiği bir çalışmada 1980-2018 yılları arasında bu ülkelerdeki sel kaynaklı ölümler araştırılmış, bu çalışma sonucu bahsi

geçen 38 yıllık dilimde toplam 2466 sel kaynaklı ölüm gerçekleşirken bunların 1242'si yani %50.4'ünün Türkiye'de gerçekleştiği belirtilmiştir (Petrucchi vd., 2019). Bu çalışma Türkiye'de yağmur suyu ve taşkın yönetiminin ne kadar önemli olduğunu gözler önüne sermektedir.



Şekil 2. Kentleri tehdit eden risk faktörleri

Rize ili ise 2302.1 mm yağışla Türkiye'nin en çok yağış alan ilidir ve özellikle akarsu yataklarına yakın yerleşimler sebebiyle sel, taşkın vb. felaketlere karşı sürekli bir risk

altındadır. Rize kenti bu nedenle YSY'ye en fazla önem veren ve bu konuda en çok önlem alan il olması gerekse de bilhassa son yıllarda maruz kalınan felaketler ve bunların ortaya çıkardığı bilançolar şuana kadar yapılan çalışmalar ve alınan önlemlerin yeterli olmadığını açıkça ortaya koymaktadır. Son yıllarda küresel ölçekte yapılan YSY çalışmaları incelendiğinde geleneksel önlemlerin yerini ekolojik ve sürdürülebilir uygulamalara bıraktığı görülmektedir. Bu uygulamalar çalışmanın ileriki bölümlerinde detaylı olarak ele alınmıştır. Peyzaj Mimarlığı meslek disiplini kentsel alanların ekolojik ve sürdürülebilir planlama ve tasarımı en sorumluluk sahibi alanlardan biri olarak YSY konusunda da diğer meslek disiplinleriyle ortak çalışarak kentlerin bu konuda daha dirençli hale gelmesi için daha nitelikli çalışmalar ortaya koyabilir. Bu çalışmanın amacı son yıllarda bilimsel literatürde sıklıkla kullanılan sürdürülebilir YSY çalışmaları ışığında Rize'de belirlenen çalışma alanları özelinde peyzaj mimarlığı perspektifinden Rize'nin hidrolojik özellikleri doğrultusundan en uygun stratejinin belirlenmesidir.

1.3. Altyapı Olarak Peyzaj

Günümüzde kentleşmenin giderek artması, kentlerin yoğun nüfus kalabalığı, küresel iklim değişikliği gibi sebepler, ortaya çıkan ekolojik tahribatlar ve çevresel sorunlar göz önüne alındığında kentsel alanların bu sorunlara çözüm üretecek şekilde planlanması gerekmektedir. 19. yüzyıldan itibaren kentsel alanlardaki tüm nehir koridorları insan müdahalesine maruz kalmış, demiryolu, karayolu, enerji altyapıları veya yapılaşma amacıyla doğal peyzajlar kentsel, lojistik, endüstriyel ve atık peyzajlara dönüşmüştür (Cioc, 2002; Nijhuis ve Jauslin, 2015; Disco, 2008). Jeopolitik ve ekonomik amaçlar açısından başarılı gibi görünse de genellikle altyapıları tek amaç için tasarlama eğilimi peyzajların bozulmasına ve doğanın tahribatına sebep olmaktadır (Strang, 1996). Bununla birlikte zaman içerisinde bu tahribatın geri döndürülemez etkilerinin farkına varılması küresel ölçekte yankılar uyandırmış, kamu otoritelerinin altyapı yatırımlarını birincil yatırım alanı olarak kabul etmeleri ile sonuçlanmıştır (European Commission, 2011;2012). Altyapı tasarımı kentlerin gelişimini ve yerleşimlerin düzenini yönlendirmenin en önemli yollarından biridir. Strang (1996) altyapı tasarımlarının sorumluluğunun inşaat mühendisleri, mimarlık, kentsel tasarım, peyzaj mimarlığı ve peyzaj ekolojisi gibi birçok disiplinin ortak çalışması sonucu yapılması gerektiğini vurgulamaktadır (Strang, 1996). Aksi

durumda günümüzde karşılaştığımız mevcut altyapı çözümleri çağdaş eleştiri ve tartışmaların odağında yer almaya devam edecektir (Nijhuis ve Jauslin, 2015).

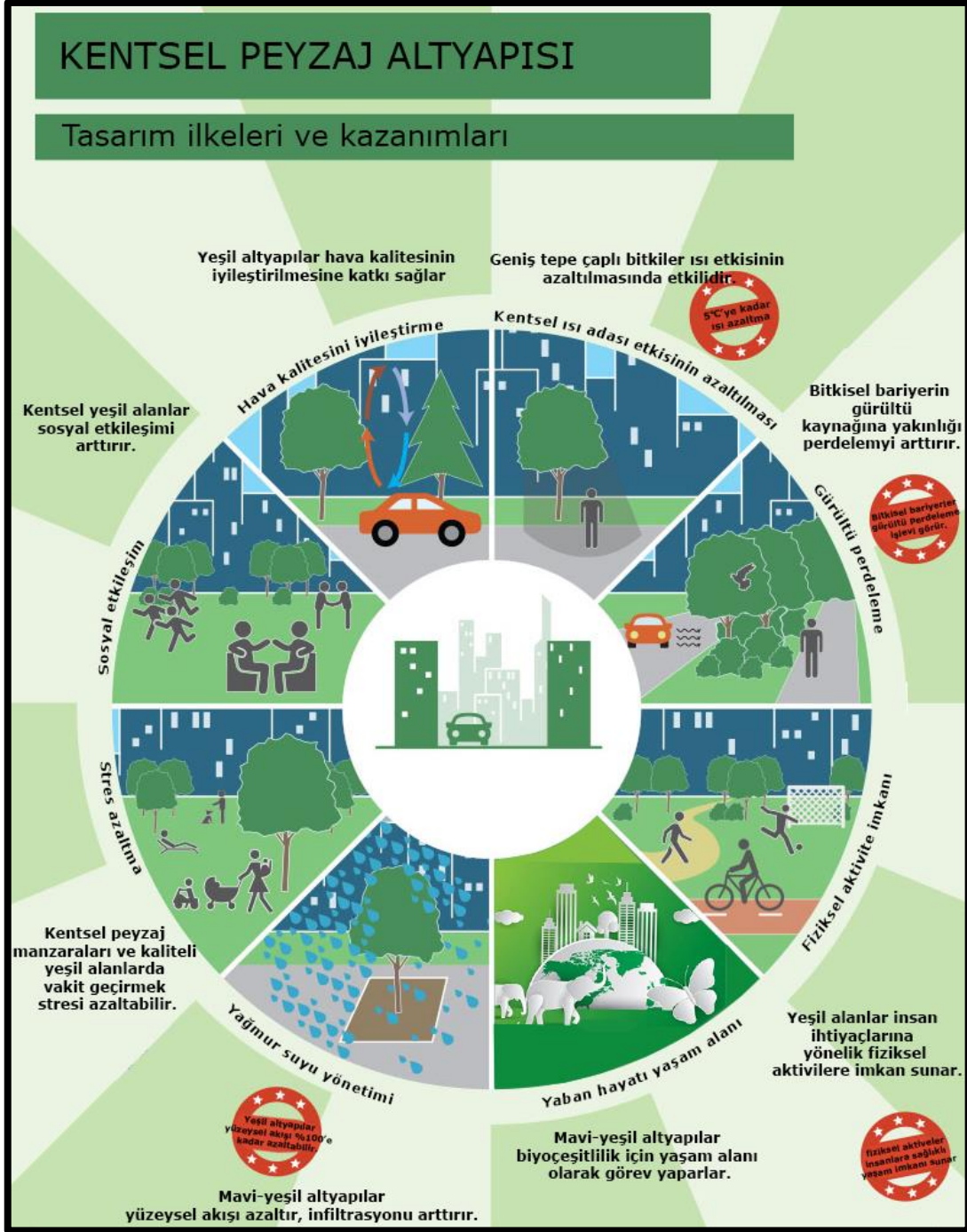
Altyapı tasarımları, bölgesel planlama ve kentsel gelişimin temel özelliğidir. Altyapılar kentlerin en önemli unsurlarıdır ve şehirler altyapılarının işlevselliği nispetinde şehirlilere olumlu veya olumsuz deneyimler sunar. Otoyollar, havaalanları, enerji santralleri ve çöplükler, günümüzde modern kentlerin dominant ögeleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu unsurların büyüklüğü her birinin ayrı ayrı birer sistem olarak anlaşılmasını zorlaştırır da bunların bütününe oluşturduğu mekanizma kentsel ve endüstriyel ekonomilerin sürdürülebilirliğini ve sorunsuz olarak işlemesini sağlayabilir. Özellikle 21. yüzyılda teknolojinin kentsel yaşam dinamiklerini etkilemesi, kentlerde altyapıların varlığının etkilerini görünür kılmaya başlamıştır. Özellikle kentlerde meydana gelen elektrik kesintileri, deprem, sel vb, büyük çaplı olumsuzluklar altyapıların insan hayatını ne derece etkilediğini gözler önüne sermektedir (Belanger, 2013). Ancak günümüzde altyapılar geleneksel halden modern haline evrilmek durumundadır. Bilhassa küresel iklim değişikliğinin dayatmaları, ekonomik ve ekolojik zorluklar, altyapıyı kentliler için yeni bir meydan okuma haline dönüştürmüştür. Dolayısıyla günümüzde kentlerde altyapılar, ekolojik, ekonomik ve sürdürülebilir olmak zorundadır. Bu etkileşimler niteliğinde ortaya çıkan *Urban Landscape Infrastructure* (Kentsel Peyzaj Altyapısı) kavramı “maddi faydalar ve hizmetler sunan, enerji malzemelerinin geri dönüşümünü sağlayan peyzajın doğal veya fiziksel yapısıdır” şeklinde tanımlanmıştır (Belanger, 2013; Görmüş vd., 2019). Kentsel peyzaj altyapısının faydalarını gösteren grafik anlatımı şekil 3’de yer almaktadır.

Peyzaj altyapısı kavramıyla benzer şekilde son yıllarda literatürde sıklıkla kullanılan bir diğer terminolojik ifade olan *Blue-Green Infrastructure* (Mavi-Yeşil Altyapı) terimi küresel iklim değişikliği karşısında YSY önlemlerini ve çalışmalarını içeren bir ifadedir. Mavi-Yeşil Altyapı doğal ve tasarlanmış peyzaj bileşenleriyle, sulama ve endüstriyel kullanım için su depolama, taşkın kontrolü, yaban hayatı yaşam alanı gibi işlevleri sağlayan sulak alanları birbiriyle ilişkilendiren bir ağ olarak tanımlanmaktadır (Ghofrani vd., 2017).

1.4. Kentsel Peyzaj Altyapısını Etkileyen Faktörler

21. yüzyılın başlarından itibaren insanlığı küresel ölçekte etkileyen üç temel zorluk ortaya çıkmıştır. Bunlardan birincisi dünya nüfusunun giderek artması, ikincisi kentsel alanların kontrolsüz büyümesi, gelişmesi, nüfus dağılımının kentsel alanlara

yoğunlaşması ve üçüncüsü ise ilk ikisine bağlı olarak kentsel ekosistemlerin tahribatı olarak açıklanabilir (Steiner, 2014). Tüm bunlar kentsel çevrelerde peyzajların tasarım ve planlamasının güncel gerekliliklere uygun olarak yeni anlayışlarla değişimini gerektirir. Bu doğrultuda peyzaj mimarları ve kent plancılarının ekolojik ve sürdürülebilir tasarımlar konusunda yeterli donanıma sahip olması gerekmektedir (Steiner, 2014). Aksi takdirde gündelik yaşamı olumsuz etkileyen zorlukların (nüfus yoğunlukları sebebiyle oluşan kalabalık, kirlilik, trafik, gürültü vb.) veya kentsel çevreleri daha büyük ölçekte tehdit eden afetlerin etkileri daha ağır olabilir. Bu sebeple kent sakinlerinin refahı ve ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından kentsel peyzaj altyapısı son derece önemlidir. Kentsel peyzaj altyapısını daha iyi anlayabilmek için basitçe üç temel kavram üzerinden irdelenmek mümkündür. Bunlar kent ekolojisi, kent hidrolojisi ve kent morfolojisidir. Bu kavramlar kentsel alanlara ait neredeyse tüm bileşenleri içerisinde barındırmaktadır. Sonraki bölümlerde bu kavramlar irdelenecektir.



Şekil 3. Kentsel peyzaj altyapısının kazanımları (URL-3'den revize edilmiştir.)

1.4.1. Kent Ekolojisi

Kent ekolojisi 20. yüzyılın sonlarına doğru kentsel alanların iklimi, toprak yapısı, flora ve faunası, kentsel yaşam alanları ve kentsel yeşil alanlar hakkında yapılan araştırmaları bünyesinde barındıran bir araştırma alanı olarak literatüre girmiştir (Rebele, 1994). Kent

ekolojisi insanlar ve diğer organizmalar için yaşam alanı olan kentsel alanların; değişen kentsel çevre koşullarında tüm bu organizmalar arasındaki ilişkilerin; ve canlıların hem kasten hem de kazara gelişen doğal ve insan yapımı enerji, su ve malzeme akışlarıyla etkileşimleri incelemektedir (Douglas ve Philip, 2014).

Kent ekolojisi, insan yerleşimi ve insan faaliyetlerinin egemen olduğu yerleşik alanlar bağlamında çevre ve organizmalar ile ilgilenen ekoloji dalıdır. Kent ekolojisi bir anlamda insanlar tarafından büyük ölçüde değiştirilen bu çevrenin bitki ve hayvan topluluklarını nasıl etkilediğini inceler; bir diğerinde, kentsel alanları insanlar da dahil olmak üzere tüm yaşam formları için bir yaşam alanı olarak ele alır ve diğer türlerle insanların arasındaki etkileşimleri ve bunların çevresel yansımalarını inceler (Douglas ve Philip, 2014).

Küresel iklim değişikliği, kentsel nüfusların giderek artması, kentsel alanların kontrolsüz ve plansız bir şekilde büyümesi ve gelişmesi kentlerin ekosistem varlığını ciddi anlamda tehdit eden tahribatlara sebep olmaktadır. Kentlerde yaşayan insanların konforu ve kentsel çevrelerdeki yaşam formlarının sürdürülebilirliği açısından kent ekolojisi kentlerin planlanmasında en önemli önceliklerinden biri olmalıdır. Kentlerdeki mavi-yeşil altyapılar kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, biyoçeşitliliğe destek olması, iklim düzenleme, gürültü bariyerleri oluşturma, insanlar için rekreasyonel etkinliklere ve sosyal ihtiyaçlara yönelik imkan sağlama, karbon depolama, oksijen üretme, hava kirliliğini düzenleme, estetik değer sunma, stres azaltma, yüzey akış kontrolü, infiltrasyonu artırma, yaban hayatı için yaşam alanı oluşturma vb. birçok ekosistem hizmeti sağlarlar. Kentlerin bunlardan maksimum ölçekte faydalabilmesi için kentlerde mavi-yeşil altyapıların sürdürülebilir bir şekilde planlama süreçlerine dahil edilebilmesi gerekmektedir. Bu nokta peyzaj mimarları, kent plancıları, kentsel tasarımcılar, ekologlar gibi meslek gruplarının, mimar ve inşaat mühendisleriyle oluşturdukları çalışma gruplarının yerel yönetimlerle ortaklaşa çalışabilmeleri ve kentsel planlamalarda söz sahibi olabilmeleri, kentlerin sürdürülebilirliği ve ekolojik bütünlüklerinin sağlanabilmesi açısından çok önemlidir.

1.4.2. Kent Morfolojisi

Kent morfolojisi insan yerleşmelerinin formunu, oluşum ve dönüşüm süreçlerini, mekânsal yapı ve karakterini tarihsel gelişim süreçleri ve yerleşmeleri oluşturan bileşen parçalarını analiz ederek anlamayı sağlayan bir yaklaşım olarak tanımlanabilir (Kubat ve Topçu, 2009). Kentsel alanların zaman içerisindeki değişimleri, nüfus artışıyla paralel olarak

büyümleri, mekânsal ve işlevsel olarak farklılaşmaları kentlerin morfolojik yapılarını değiştiren etmenlerdir.

Sokak örüntüleri, bina formları ve ölçekleri, yerleşim dokuları, açık ve yeşil alan sistemleri morfolojik analizin ana elemanlarıdır. Bu öğeler zaman içerisinde dönüşüme uğrayan ve yaşanan birer organizma olarak kabul edilirler. Kentteki doluluklar boşlukları etkilediği gibi boşluklar da dolulukları şekillendirir. Bu karşılıklı dinamik ilişki kentin fiziksel yapısını belirlediği gibi aynı zamanda fiziksel formun da ne tür bir sosyal yapı ürettiğinin anlaşılmasını sağlar ve kentsel morfolojinin çalışma konularını oluşturur (Sınmaz ve Özdemir, 2016). Kevin Lynch (1960) ise, kent bileşenlerini belirlemede kent imgelerini ön plana çıkartarak insanların, zihinlerinde çevrenin imgesini oluştururken beş ana bileşeni kullandığını belirlemiştir. Lynch'e göre bu bileşenler: yollar, sınırlar, bölgeler, düğüm noktaları ve işaret öğeleridir. Smailes ise kent morfolojisini "Kentsel Peyzaj" (Urban Landscape) veya "Kentsel Görünüm" (*Townscape*) olarak nitelemiştir ve "Kentsel Peyzaj"ı kentin fiziksel formu, alan ve binaların yerleşme alanı üzerindeki düzeni olarak tanımlamıştır (Smailes, 1957). Kentsel peyzaj kuşkusuz kentin morfolojisinin ayrılmaz bir parçası ve uzantısıdır. Kütleler mimarlık ile (Rossii, 1992), mekânlar peyzaj ile yaşam kazanır ve bir kentsel peyzaj (Cullen, 1964) diline dönüşür. Lynch (1981)'e göre kent formu, sadece binalar, caddeler, tepeler, akarsular, bitkiler gibi fiziksel öğelerle ilgili değildir. Asıl problem formu oluşturan unsurlara karar vermektir. Bu unsurlar ise yaşayan organizmalar, insan aktiviteleri, sosyal yapı, ekonomik sistem, ekolojik sistem, mekânsal formlar ve onların değişimleridir (Sınmaz ve Özdemir, 2016).

Kent morfolojisi bir kentin fiziksel özellikleri ve hidrolojik özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Kentin hidrolojik ve topoğrafik yapısı kuşkusuz kentsel yerleşimlerin belirlenmesinde ve morfolojik yapısının oluşmasında en önemli etkenlerdendir.

1.4.3. Kent Hidrolojisi

Hidroloji; suyun bütün fiziksel olgularını; yeryüzünde, yeraltında ve atmosferde çevrimini, dağılımını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini; cansız çevreyle ve canlıların çevresiyle karşılıklı ilişkilerini inceleyen temel ve uygulamalı bir bilim dalıdır (Üçüncü, 2022). Suyun bulunduğu kaynaklardan çeşitli etkenler nedeniyle sıvı halden gaz haline geçerek atmosfere ulaşması ve oradan da tekrar yoğunlaşarak yeryüzüne dönmesi sırasında takip ettiği olaylar zincirine Hidrolojik Çevrim (Su Döngüsü) denir (URL-4) (Şekil 4).



Şekil 4. Doğal su döngüsü (URL-4)

Kentsel nüfus sürekli artarken su kaynaklarının hem miktarının hem de kalitesinin aynı anda düşüyor olması küresel ölçekte insanlığın mücadele etmesi gereken en önemli sorunlardan bir tanesidir (Niemczynowicz, 1999). Kentsel alanların büyümesi, arazi yüzeyinin fiziksel özelliklerinde önemli değişiklikleri beraberinde getirmektedir. Kentsel alanlarda geçirimsiz yüzeylerin artışı nedeniyle toprağın geçirimsizliği, infiltrasyon azalırken yüzey akışı hızlanır. Bir kentin herhangi bir alanındaki bu tür doğal rejim değişiklikleri, etkileşimde olduğu tüm akarsu havzası üzerinde önemli değişikliklere ve olumsuzluklara sebep olabilir (Niemczynowicz, 1999). Kent hidrolojisi insanlara temiz su temini, taşkın koruması, çevrenin ve kentlerin yaşanabilirliğinin korunması için kentsel su sistemlerinin yönetimini iyileştirmeyi amaçlayan bir bilim alanıdır (Fletcher vd., 2013). Küresel ölçekte kentsel nüfusun sürekli büyümesi karşısında, artan su talebini karşılamak için gerekli olan yeni su kaynaklarının bulunması ve kullanılması giderek zorlaşmaktadır. Bu durum özellikle kentlerin çevrelerinde ve gecekondü bölgelerinde yaşayanlar için yoksulluk, temiz sudan yoksun olma durumunu daha da kritik hale getirir. Bu tür yoksulluğu ortadan kaldırmak, tüm insanlar ve özellikle kentsel alanlarda su yönetimi ile uğraşan insanlar için birinci öncelikli hedef olmalıdır (Niemczynowicz, 1999). Bu noktada bir kentin kent hidrolojisi ve bunu etkileyen parametreler çok iyi hesaplanmalı ve kentsel nüfusun tamamının ihtiyacını karşılayabilecek temiz su temini noktasında gerekli önlemler alınmalıdır.

Küresel iklim değışikliğı ile birlikte yağış miktarları ve sıklıklarındaki değışiklikler, kentsel arazi yüzeyleri ve faaliyetleri tarafından kirleticilerin üretilmesiyle birlikte, alıcı sularda su kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Kent hidrolojisi konusundaki çalışmalar son 20-30 yılda genellikle yağmur suyu sistemlerindeki kirleticilerin oluşumu, taşınması ve bunun sonuçları üzerinde yoğunlaşmaktadır (Fletcher vd., 2013).

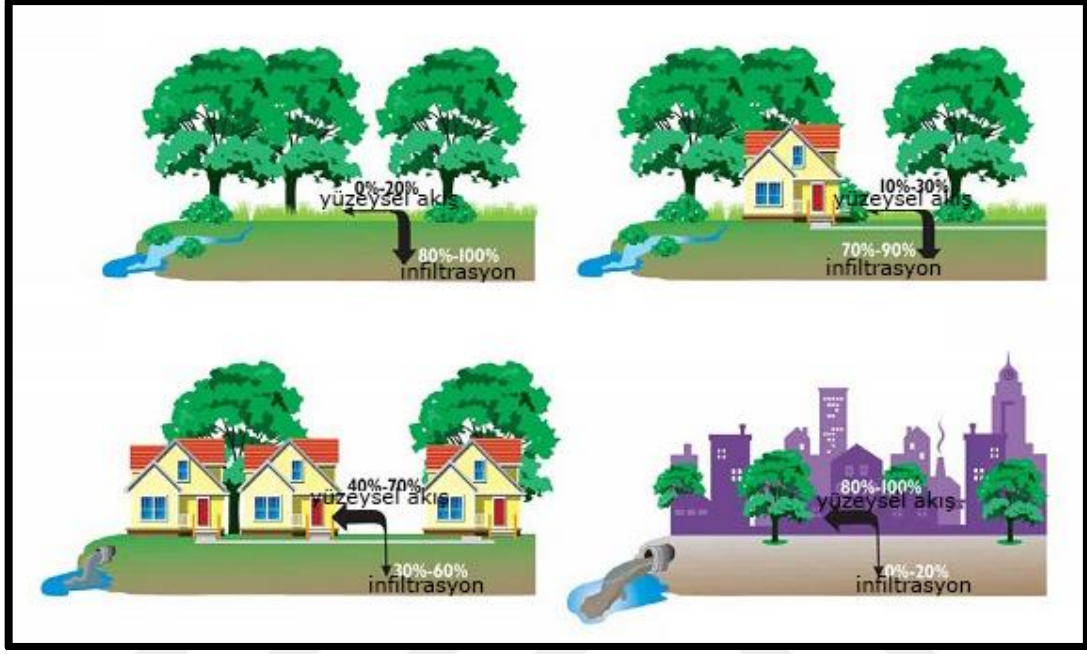
Kentsel alanlarda yağışlarla beraber yeryüzüne inen suların bir kısmı buharlaşır, bir kısmı yumuşak yüzeylerden yer altına sızar, bir kısmı ise yollar, çatılar, otoparklar vb. geçirimsiz yüzeyler üzerinden akışa geçer. Geçirimsiz zeminler üzerinden akan yağmur suyu “yüzeysel akış” olarak adlandırılır (Whitford, 2001). Yüzey akışı kontrolü yağmur suyu yönetiminin en önemli ve temel bileşenlerinden biridir ve iyi bir planlama gerektirir. Aksi halde kentlerde sel, su baskını gibi birçok problemi getirmesinin yanı sıra yüzeydeki kirleticilerin alıcı su kaynaklarına taşınmasıyla ve ya sızmayla yer altına sularına ulaşmasına neden olabilir. Dolayısıyla yüzey akış kontrolü doğru bir planlama dahilinde yapılmazsa su kaynaklarını kirlilikle tehdit eden bir sonuç doğurabilmektedir. Burada sözü edilen planlama bir kentin kent hidrolojisi ve yağmur suyu yönetiminin planlamasıdır. Bu iki kavramı birbirinden ayrı düşünmemek gerekir. Çünkü kent hidrolojisi yağışlarla yeryüzüne inen sular da dahil olmak üzere bir kentteki tüm suları, bunların doğal döngüler sırasındakini hareketlerini ve değışimlerini de inceler (Fletcher vd., 2013).

1.5. Yağmur Suyu Yönetimi Kavramı

Kentleşmenin artması, kentsel alanlarda arazi örtüsünün sertleşmesine yani yeşil örtü, toprak vb. zeminlerin yerini geçirimsiz yüzeylerin hakim olduğu zeminlere bırakmasına neden olmuştur (Birkholz vd., 2014). Bu durum yağmur suyu akış hacimlerinin artmasına yani yüzeysel akışın kontrol edilebilirliğinin zorlaşmasına neden olmaktadır. Yüzey geçirimsizliğinin değışimiyle birlikte yağmur suyu akışlarının değışimini şekil 5’te yer almaktadır. Kentsel alanlardaki insan aktiviteleri, yeryüzünde biriken atık ve kirleticilerin yağışlarla beraber su yüzeylerine taşınmasına neden olur (Barbosa vd., 2012). Bu da çevre kirliliğini artıran insan sağlığını ve ekosistemi tehdit eden bir durumdur.

Kentsel alanlardaki deşarjlar, yağmur suyu ve kar suyu akışlarını, ayrı ve birleşik kanalizasyon taşmalarını içerebilirler (Burton ve Pitt, 2002). Bu deşarjların nispi kalite ve miktarları, kanalizasyon taşmalarını içerip içermediğine göre farklı içerikteki kombinasyonları temsil eden atık sulara bağlı olarak değışmektedir. Ancak bazı

araştırmacılara göre yağmur sularının büyük miktarda kirleticileri su yüzeylerine taşıdığı ve bu sebeple alıcı suların (deniz, okyanus vs.) en büyük kirletici kaynaklarının başında geldiği bilinmektedir (Burton ve Pitt, 2002; German vd., 2005; Huang vd., 2010).



Şekil 5. Geçirimsiz yüzeylerin artışıyla yağmur suyu akışlarının değişimi (URL-5)

YSY kentsel hidrolojiyi doğrudan etkiler. Geçirimsiz yüzeyler kentsel alanlarda hidrolojik akış rejimini değiştirir ve kentsel çevreselerde geçirimsiz yüzeylerin oranı %5-%10 dahi olsa bile yüksek kirletici taşıma kapasitesine sahiptir (Brabec vd., 2002). Akış rejimindeki değişiklikler, düşük su kalitesi, kanal erozyonu ve bozulmuş akarsu habitatları, kentsel akarsularda bulunan en yaygın sorunlardandır (Walsh vd., 2005). Kentsel yağmur suyu akışındaki kirleticiler, çatılardan (ağır metaller, organikler, patojenler), yol ve otopark akışından (ağır metaller, hidrokarbonlar), park alanlarından (besin maddeleri, organikler, patojenler) kaynaklanır (Laurenson vd., 2013). Geleneksel yöntemler, taşkınları önlemek için yağmur suyunu kentsel alanlardan uzaklaştırmayı amaçlayan bir drenaj sistemi üzerine kurulu sistemlerdir. Bu sistem tek işlevli bir yaklaşım olup, sağlıklı havza-ekosistem işleyişi için gerekli olan doğal hidrolojik ve jeomorfik süreçleri göz ardı eden bir sistemdir (Brierley ve Fryirs, 2009).

Günümüzde, özellikle gelişmiş ülkelerde kentsel yağmur suyu akışı bir kaynak olarak görülmektedir. Kentler, su kaynağını artırmak, termal konforu artırmak, rekreasyonel

aktivitelere imkan sağlamak, ekolojik yaşam alanları ve estetik peyzaj görünümleri ile ön plana çıkan ve yağmur suyu akışını düzenleme işlevleri bulunan tasarımları giderek daha fazla kullanmaya başlamıştır (Davis vd., 2010; Hamel vd., 2013). Suya duyarlı şehirler, kentlerin daha sürdürülebilir, iklim değişikliğinin ve aşırı olayların (aşırı yağışlar vb.) etkilerine karşı daha dirençli olduğu büyük bir akıllı kentsel büyüme felsefesinin parçasıdır (Novotny, 2009; Morgan vd., 2013; Lim ve Lu, 2016).

YSY son yıllarda peyzaj mimarlığı, inşaat mühendisliği, ekoloji, kent planlaması, çevre mühendisliği vb. alanlarda bilimsel literatürde ciddi yer tutan bir çalışma alanı haline gelmiştir. Ülkemizde de son yıllarda konuyla ilgili bazı çalışmalar yapılmış ve yönetmelikler hazırlanmıştır. Her ne kadar bu yönetmeliklerin uygulamaları denetimlere muhtaç olsa da başlı başına var olmaları bile ülkemiz için önemli bir adımdır. Türkiye’de o dönemki adıyla Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 2017 yılında Resmi Gazete’de yayınlanan ‘Yağmursuyu Toplama, Depolama Ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik’ adlı yönetmelik bu alanda yayınlanmış ilk resmi yönetmelik olma özelliğini taşır. Bu Yönetmeliğin amacı; yağmursuyu toplama, depolama ve deşarj sistemlerinin planlanmasına, tasarımına, projelendirilmesine, yapımına ve işletilmesine ilişkin usul ve esasları düzenlemektir (URL-6). Yönetmelik; halk sağlığını ve güvenliğini, çevrenin korunmasını, sistemin sürdürülebilir olmasını, içmesuyu kaynaklarının suyla taşınan kirliliklerden korunmasını esas alarak yağmursuyu toplama, depolama ve deşarj sistemlerinin planlanmasına, tasarımına, projelendirilmesine, yapımına ve işletilmesine ilişkin usul ve esasları kapsar. Ayrıca yönetmeliğin eklerinde

- 1- Yağmur suyu kanalizasyon sistemlerinin Etüt, planlama ve projelendirilmesine ilişkin usul ve esaslar,
 - 2- Yağmur suyu sistemlerinin yapımına ilişkin usul ve esaslar,
 - 3- Yağmur suyu sistemlerinin işletme ve bakımına ilişkin usul ve esaslar,
- olmak üzere 3 ayrı ek bulunur.

2017 yılında YSY yönetmeliğinden sonra 2021 yılında ise Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca, Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği’nde yapılan değişiklikle, çatıda toplanan yağmur suyunun bahçe zemini altında bir depoda toplanmasını sağlamak amacıyla yeni binalara "yağmur suyu toplama sistemi" kurulması zorunluluğu getirildi. Yönetmelikle, kuraklık sorununun giderek artması da dikkate alınarak artık 2 bin metrekareden büyük parsellerde inşa edilecek tüm binaların çatılarında toplanan yağmur sularının, bahçe sulama veya arıtılarak bina ihtiyacında kullanılmak üzere bahçe zemini altında bir depoda toplanması

amacıyla "yağmur suyu toplama sistemi" yapılması zorunluluğu getirildi. Bu şekilde yönetmelik kapsamında yer alan hükümlerin kentlerde uygulanması ve hayata geçirilmesi ile ilgili adımlar atılmış oldu. Ancak günümüzde bu uygulamaların tamamı denetlenmeye ve gerekli kontrollerin sağlanmasına ihtiyaç duymakta ve yönetmeliklerin, literatüre uygun şekilde ekolojik, hidrolojik ve doğal süreçleri göz ardı etmeksizin güncellenerek, kapsamlarının geliştirilmiş bir şekilde uygulanması gerekmektedir.

1.5.1. Taşkın Yönetimi

Bilimsel literatürde YSY kentsel alanlarda farklı konular dahilinde çalışılmaktadır. Taşkın yönetimi bunların en önemlilerinden bir tanesidir. Bir süreç olarak taşkın veya taşkın riski yönetimi, sürece dahil olan parametrelere bakılmaksızın literatürde kapsamlı bir şekilde yer almaktadır (Plate, 2002).

Taşkın yönetiminden bahsetmeden önce kısaca sel ve taşkın kavramlarından bahsetmek gerekir. Sel; maddi ve manevi zarara yol açan, dik eğimli yukarı havzalarda şiddetli ve sürekli yağışlarla birlikte oluşan ve taşkın sularına oranla çok daha büyük hız ve kinetik enerji ile dere mecralarında akarak beraberinde taş, çakıl ve büyük kayaları da sürükleyen akımlardır. Taşkın ise, bir akarsu yatağındaki sarfiyatın hızla artması ve bu artış sonucunda yatak civarında arazilere, mülkiyete ve bu bölgede yaşayan insanlara zarar verebilir bir duruma gelmesidir (Balcı ve Öztan, 1987; Korkanç ve Korkanç, 2006).

Taşkınlar; oluşma sürelerine, oluşma mevsimlerine ve oluş yerlerine göre üç ana grup altında sınıflandırılırlar (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2017) (Tablo 1).

Tablo 1. Taşkınların sınıflandırılması (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı)

Oluşma Sürelerine Göre Taşkınlar	Oluşma Mevsimlerine Göre Taşkınlar	Oluş Yerlerine Göre Taşkınlar
Uzun Sürede Oluşan Taşkınlar	Yaz Taşkınları	Nehir Taşkınları
Ani Taşkınlar	Kış Taşkınları	Kıyı Taşkınları
	İlkbahar Taşkınları	Dağlık Alan Taşkınları
		Yer Altı Suyu Taşkınları
		Göl Taşkınları

Yağmur suyu akışı, ayrı ayrı veya birlikte iki süreç vasıtasıyla kentsel alanlarda taşkınlara ve etkilere neden olabilir.

1. Nehir kenarındaki alanların taşması: havza alanındaki yağış ve akıştaki zamansal ve mekansal farklılıklar nedeniyle nehirlerin taşkın ovalarında meydana gelen doğal taşkınlar (Şekil 6),
2. Kentleşmeden kaynaklanan su baskını: Toprak geçirimsizliği, kanalizasyon veya su akışının engellenmesinin etkisiyle kentsel drenaj sisteminden su basması (Tucci, 2007).



Şekil 6. Nehir taşkını örneği, Meriç Nehri/ Edirne (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı)

Taşkınlar, küresel iklim değişikliğinin etkileriyle her geçen gün insan yaşamını daha fazla etkileyen önemli bir problemdir (Birkholz vd., 2014). 1900 ve 2006 yılları arasında, dünyadaki tüm doğal afetlerin yaklaşık üçte biri taşkınlardan oluşmaktaydı ve doğal afetlerden etkilenen tüm insanların yaklaşık yarısını oluşturuyordu (Adikari ve Yoshitani, 2009). Ayrıca, sel olaylarının sıklığı ve neden oldukları zarar miktarı da artmaktadır (Schanze, 2006; Adikari ve Yoshitani, 2009). Son araştırmalar, Kuzey Yarımküre'de yağışlı havanın yoğunluğundaki genel artışın yanı sıra belirli sel olaylarını, artan sera gazı seviyelerinin ve küresel iklim değişikliğinin etkileriyle ilişkilendirmiştir (Schiermeier,

2011). Bu eğilimle birleştğinde, mutlak sel önleme veya korumanın ulaşması çok zor bir hedef olduğunun giderek daha fazla kabul görmesi, bilim insanlarını sel risklerini daha bütünsel bir bakış açısıyla yönetmeye kaydırmıştır (Schanze, 2006; Scott vd., 2013). Bu gözlem, afetlerden kaynaklanan hasarın nasıl ve neden meydana geldiğini, kimlerin etkilendiğini ve etkileri yönetmek ve azaltmak için hangi stratejilerin, önlemlerin ve müdahalelerin uygulanabileceğinin anlaşılmasına daha fazla odaklanan afet riski ve yönetimi hakkındaki çalışmaları içermektedir (Birkholz vd., 2014). Bu araştırmalar, “risk” anlayışındaki gelişmelerle ve insanların belirsizlikle nasıl yaşadıklarıyla yakından bağlantılıdır (Tversky ve Kahneman, 1982; Douglas, 1985; Wisner vd., 2014).

“Risk algısı” tanımları kaçınılmaz olarak risk karakterizasyonlarından çıkarılmalıdır. Riskin “tehlike önlemleri” olarak daha basit tasvirleri, tehlikeler daha sonra “insanlara ve değer verdikleri şeylere yönelik tehditler” olarak tanımlanır (Kates ve Kaspersen, 1983, s. 7029), riski kesişme noktası olarak betimleyen daha karmaşık tanımlar zamanla ortaya çıkmıştır. Tehlike, maruz kalma, kırılganlık, doğal afetler hakkındaki araştırmalar da dahil olmak üzere çok çeşitli alanlarda var olan risk anlayışlarının temelini oluşturan unsurlardır (örneğin Wisner vd., 2014; Nott, 2006).

Risk algısı, bireylerin ve toplulukların riske nasıl tepki verdiği konusunda önemli rol bir oynar ve bu durum genel risk yönetimi literatüründe yaygın bir kabul görmüştür. 2012 yılında yayınlanan bir araştırmada “risk algıları ve riskle ilgili davranışların afetlerin sosyal, politik ve ekonomik etkilerini doğrudan sonuçlarının çok ötesinde artırabileceğini” ortaya koymaktadır (Burns ve Slovic, 2012). Aynı çalışmada ayrıca daha etkili risk iletişimi ve afet yönetimi politikaları geliştirmenin öncüsü olarak duygular, risk algıları ve davranışlar arasındaki bağlantıların daha iyi anlaşılması ihtiyacı da vurgulanmaktadır. Bununla birlikte odak genel riskten sel riski yönetimine kaydığında, literatürde risk algısının rolüyle ilgili daha az sayıda çalışma bulunmaktadır (Birkholz vd., 2014). Tarihsel olarak taşkın yönetimi yaklaşımları fiziksel taşkın savunmalarına dayalıyken, halkın tehlike farkındalığı ve risk algısı gibi taşkınların sosyal boyutlarını nispeten göz ardı etmektedir (Brown ve Damery, 2002). Bununla birlikte taşkın riski algısı, bir süredir, etkili taşkın yönetimi stratejileri geliştirmede çok önemli bir faktör olarak kabul edilmiştir. İnsanların (haneler, işletmeler, yönetim organları vb.) sel riskini algılama ve anlama biçimleri sel olaylarına hazırlanmak ve bu olaya tepki için verdikleri kararları ve yaptıkları eylemleri şekillendirir. Bu alana yönelik araştırma ilgisi gün geçtikçe artmaktadır ve literatürde doldurulması gereken boşluklar bulunmaktadır (Raaijmakers vd, 2008).

Arazi kullanımları ve yerleşimler taşkın yönetiminin önemli unsurlarından bir tanesidir. Arazi kullanımları özellikle yanlış ve izinsiz arazi kullanımı, Türkiye'de doğal afet hasarları ve özellikle sel hasarlarına sebep olan en önemli faktörlerden biridir. Taşkınların sonuçları birçok bölgenin ticari gelişimi ve kentleşmesinden direkt etkilenir. Artan nüfus nedeniyle birçoğu izinsiz olarak yeni yerleşim yerleri inşa edilmiş, ancak plansız yerleşme ve yetersiz altyapı, kentlerdeki drenaj kanalları ve taşkın alıkoyma yapılarının kapasitesinin ihtiyacı karşılayamayıp, büyük taşkınları kontrol etme konusunda yetersiz kalmasına neden olmuştur (Yüksek vd., 2013). Bu tür meteorolojik olmayan faktörler taşkınların etkilerini ağırlaştırmaktadır. 1955-2005 yılı arasında sadece Doğu Karadeniz Bölgesi'nde kayda geçen sel hasarı 258 ölüm ve mali olarak yaklaşık 500 milyon dolardır (Yüksek vd., 2013).

1.5.2. Yüzey Akış Kontrolü

Küresel alanlarda yaşanan nüfus artışları kentlerin arazi kullanımı ve örtü değişiklikleriyle ilişkilidir (Jha vd., 2012). Nüfus artışları geçirimsiz yüzeylerin artışına neden olmaktadır ve bu da kent hidrolojisini önemli ölçüde etkiler, yağmur suyu sızmasını azaltabilir ve yüzey akışını artırabilir (Leopold, 1968; Whitford vd., 2001; Paul ve Meyer, 2001). Benzer yağış koşulları altında, geçirimsiz yüzeylere sahip kentsel peyzajlarda yağışın ortalama %40-%50'si yüzey akışına geçerken, ormanlık alanlardaki akış %13 civarındadır (Bonan, 2015). Kentsel alanlarda daha fazla yüzey akışı, yerel ölçekte gıda ve su döngülerini olumsuz etkiler ve kentlerde sürdürülebilir kalkınma ile kentsel yaşam için tehdit oluşturur (Walsh vd., 2005; Pataki vd., 2011).

Öte yandan, kentlerdeki bitkilendirilmiş alanlar, çim alanlar, tarım arazileri kısacası mavi-yeşil altyapı unsurları, toprakta su depolama, infiltrasyon ve bitkilerin gövde, sürgün, tepe tacı gibi toprak üstü kısımları ile intersepsiyon yoluyla kentsel hidrolojiyi olumlu yönde etkiler (Gill vd., 2007; Zhang vd., 2012). Kentsel alanlardaki yapılan bazı saha çalışmalarıyla, yeşil alanların yüzey akışını azaltmada etkili olduğu bulunmuştur (Yang vd., 2013). Benzer şekilde, Armson vd., (2013) tek bir "ağaç biriminin" (tek bir ağaç ve çukuru) sert bir yüzeye (asfalta) kıyasla yüzey akışını %50 oranında azalttığını göstermiştir. Daha büyük bir ölçekte bitkilendirilmiş alanlar, kentsel havzalardaki akışta ve kirleticileri azaltmada önemli etkilerle sonuçlanır (Sanders, 1986; Matteo vd., 2006). Bir başka çalışmada ağaçlandırılmış bir yeşil alanın, on yıllık bir maximum yağış olayında %32 ile %69 arası (30 dakikada 24,5 mm) ve iki yıllık bir maximum yağış olayında %100'e kadar

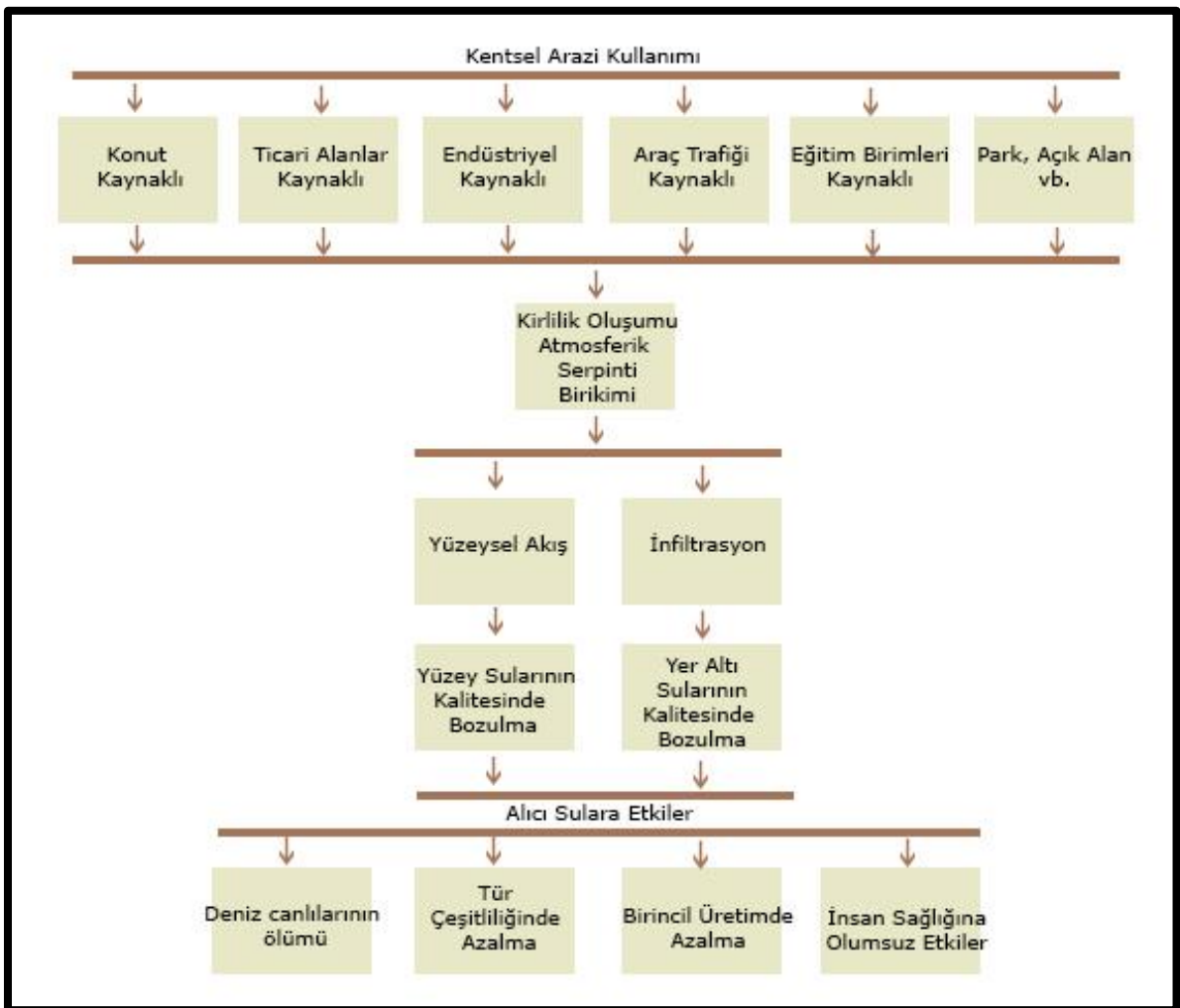
(13 dakikada 48 mm/h) yüzeysel akışı azaltabildiği bulunmuştur (Ellis vd., 2006). Joffre ve Rambal (1993) ise çalışmalarında çimlendirilmiş yamaçlara dikilen ağaçların, tepe taçları altında su depolamasını artırdığını, erozyonu ve yüzey suyu akışını azalttığını belirtmişlerdir. Bu çalışmalar yeşil alanların ve bitkilerin yağışın toprak altına sızmasını arttırmada, yüzey akışını azaltmada oynadığı önemli rolü vurgulamıştır (Armson vd., 2013). Aynı şekilde yeşil alanların kentsel su yönetiminin en önemli bir unsurlarından biri olduğu söylenebilir (Yao vd., 2015).

1.5.3. Su Kirliliği

Yağmur suyu yeryüzüne düştüğü andan alıcı su kütlelerine ulaştığı ana kadar çeşitli kirletici kaynaklarla karşılaşır (Tsihrintzis ve Hamid, 1997). Noktasal olmayan kaynak kirliliği (*non-point source pollution*) yüzeye düşen yağışların alıcı sulara taşıdığı tüm kirleticilerin birçok farklı kaynaktan gelmesi sebebiyle oluşan kirlilik şeklinde tanımlanmaktadır. Noktasal olmayan kaynak kirliliğini (NOKK) tanımlamanın çok basit bir yolu, nokta kaynaklı kirliliğin genellikle tek bir kirli akış kaynağından oluştuğu halde noktasal olmayan kirliliğin birçok dağınık ve çeşitlendirilmiş kaynaktan oluşması şeklinde açıklanabilir (Ongley vd., 2010). NOKK tarımı, yüzeysel akışı, atmosferik kirleticilerin birikmesini, maden sahalarını, karayolu ve demiryolları gibi ulaşım koridorlarını vb. içerir (Tsihrintzis ve Hamid, 1997). Su kirliliği için iki tür NOKK özellikle önemlidir, bunlardan biri tarımsal/kırsal NOKK ve diğeri de kentsel NOKK'tur. Bununla birlikte tarımsal NOKK, Amerika Birleşik Devletleri'nde ve diğer batılı ülkelerde su kalitesi için büyük bir endişe kaynağı olmaya devam etmektedir (US-EPA, 2003).

Kentsel akış miktarı ve kalitesi, akış hızının büyüklüğünü ve zaman dağılımını ve ayrıca kirletici konsantrasyonlarını belirleyen çeşitli faktörlere bağlıdır. Bunlar arasında (Chui vd., 1982) yağış düzenleri, hacim, yoğunluk, kuru gün sayısı, trafik yoğunluğu, arazi kullanımı, bölgenin coğrafi ve jeolojik özellikleri, bakım uygulamaları, ve drenaj sisteminin yapısı gibi faktörlerden bahsedilebilir. Fırtınadan önceki kuru günlerin sayısı yüzeyde kirletici birikimini belirleyen faktörlerden biridir (Huber ve Dickinson, 1988). Bu biriken kirleticilerin yoğunluğu, uzaklaştırma hızı ve seyreltme etkileri ve bunların alıcı su kütlelerine taşınması yağış süresi boyunca yağış yoğunluğuna ve akış hacmine bağlıdır. Otoyol akışı durumunda yol kenarında trafiğe bağlı kirletici birikimi ve yağmur suyu ile yıkama trafik

hacmi ile orantılıdır. Arazi kullanımı kentsel yağmur suyu akışında NOK kirleticilerini belirlemek için en önemli faktörlerden biridir. İnşaat gibi arazi faaliyetleri yağmur suyu akışında önemli miktarda ek kirliliğe neden olur (Boyd ve Gardner, 1990; Gupta vd., 1981). Su kalitesi verileri havza geçirimsizliğinin de kirletici verimini etkileyen önemli bir parametre olduğunu göstermiştir (Griffin vd., 1980). Tsihrintzis ve Hamid (1997) çalışmaları temel alınarak revize edilen Şekil 7 tipik kentsel NOKK sürecini özetlemektedir. Buradan anlaşılabacağı gibi yeşil altyapı önlemleri NOKK'ı azaltmada etkili olabilir (Tsihrintzis ve Hamid, 1997).



Şekil 7. Kentsel Akış Kirliliğinin kaynağı ve etkileri

1.5.4. Yağmur Suyu Hasadı

Bilinçsiz ve aşırı su tüketimi, küresel iklim değişikliği, su kirliliği, plansız ve sürdürülebilir olmayan su kaynakları tüketimi gibi faktörler nedeniyle su kıtlığı dünya genelinde giderek daha ciddi bir sorun haline gelmektedir. Mevcut koşullar altında yağmur suyu gibi geleneksel veya alternatif su kaynağı biçimleri su kaynaklarının tüketimini azaltmak için cazip seçenekler olarak değerlendirilmektedir (Zhang vd., 2009). Binaların çatılarından toplanan yağmur suyu genellikle mevcut en temiz alternatif su kaynağıdır ve çok çeşitli kullanımlara uygun olmadan önce çok az arıtma gerektirir (Apostolidis ve Hutton, 2006). Yağmur suyunun toplanması, su kaynaklarının tüketiminin azalması, kentsel alanlardaki yüzeysel akışın azalması, taşkın ve sel risklerinin azalması, su kirliliğinin azalması gibi birçok faydalar sağlar (Zhang vd., 2009).

İklim değişikliği ve nüfus artışı gibi etkenler su kaynakları üzerindeki baskıyı artırarak, dünyayı büyük bir zorlukla baş başa bırakmaktadır (Traves vd., 2008). Avustralya'da yapılan bir çalışmada konut içi su tüketiminin yaklaşık %12'sinin, tuvaletlerin sifonu için kullanıldığı belirtilmiştir (Standards Australia, 2003). Bu tür bir kullanım yüksek kaliteli içme suyu gerektirmez. Tuvalet sifonu, bahçe sulaması, araçların yıkanması vb. toplanan yağmur sularıyla yapılabilecek bazı kullanımlardır.

Dünyadaki birçok şehir binalar için alternatif bir kaynak olarak yağmur suyunu toplama sistemlerini kullanmaktadır. Appan (1999), Nanyang Teknoloji Üniversitesi'nde (Singapur) (20 ha toplama alanı) kurulan sistemle çatılardan toplanan yağmur sularının tüm kampüsün tuvalet kullanım suyu ihtiyacı için kullanıldığını ve bunun da içme suyu tüketimini %12.4'e kadar azalttığını belirtmiştir.

Yağmur Suyu Hasadı su temini ihtiyaçlarını karşılamak için dünyada kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Son yıllarda, yeni teknolojik olanakların bir sonucu olarak, birçok ülke iklimsel, çevresel ve toplumsal değişikliklerle ilgili olarak su ihtiyacı konusunda artan baskılar nedeniyle su hasadı ile ilgili yeni ve sürdürülebilir uygulamaları desteklemektedir. (Amos vd., 2016).

Kentsel alanlarda yağmur suyu hasadı yerinde kullanım için çatılardan, teraslardan, avlulardan ve diğer geçirimsiz bina yüzeylerinden gelen yağmur suyunun, toplanması, depolanması ve arıtılmasından oluşur. Toplanan yağmur suyunun kullanımları farklıdır (örneğin tuvalet sifonu, çamaşırhane, bahçe sulama, teras temizliği ve araba yıkama gibi dış mekan kullanımları), ancak tümü kaynaklardan sağlanan içilebilir suyun tüketimini

azaltmayı amaçlamaktadır (Campisano vd., 2017). GhaffarianHoseini vd., (2016), çalışmalarında bu kullanımların küresel ölçekte toplam evsel su tüketiminin %80-%90'ını oluşturabileceğini öne sürmüş ve yağmur suyu hasadı uygulamasıyla önemli miktarda su tasarrufu yapılabileceğini belirtmişlerdir.

Yağmur suyu hasadı su kıtlığı ve su temininin artırılmasına ek olarak kentsel alanlardaki yüzeysel akış miktarının kontrol edilebilirliğine katkı sağlar. Literatürde yağmur suyu hasadı konusu alıkoyma temelli Düşük Etkili Gelişme (DEG) veya Sürdürülebilir Drenaj Sistemi (SKDS) yaklaşımları arasında incelenmiş ve kentsel YSY için bir önlem olarak kabul edilebilmiştir (Campisano vd., 2017). Depolama tankı tabanlı yağmur suyu yönetim sistemlerinin yaygınlaşması kentleşmenin artması sebebiyle yağmur suyu drenaj sistemi üzerindeki olumsuz etkilerini azaltabilir (Brodie, 2008; Burns vd., 2015) ve muhtemelen alıcı su kütleleri üzerindeki çevresel etkilerin ve kirliliğin azalmasını sağlayabilir (Hamel ve Fletcher, 2014).

Küresel iklim değişikliği ile giderek daha belirgin hale su kıtlığı dünyada olduğu gibi ülkemizde de yağmur suyu hasadını çok kritik bir konu haline getirmiştir. Türkiye yarı kurak iklim bölgesinde yer aldığından, su kalitesinin iyileştirilmesi, kullanılabilir su miktarının artırılması ile koruma ve kullanma dengesinin sürdürülebilirliğinin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Karasal iklim karakteri gösteren ülkemizde 1981-2017 yılları arasında alansal yıllık ortalama yağış miktarı 574 mm olarak gerçekleşmiş olup, bu yağış, yılda ortalama 450 milyar m³ yağış hacmine karşılık gelmektedir. Ülkemizde su kaynakları bölgeler arasında miktar açısından yıl içerisinde değişiklikler göstermektedir. Yıllık yağış miktarı Doğu Karadeniz Bölgesi'nde ortalama 2.500 mm olarak ölçülürken, Orta Anadolu'da bu değer 230 mm'ye kadar düşebilmektedir. Bu yağışın akışa geçen kısmı Ülke genelinde yaklaşık 172 milyar m³ olarak gerçekleşmektedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019). Türkiye'nin yüzölçümü 779.500 km² ve yıllık ortalama yağış hacmi 450 milyar m³ olup, yıllık tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli toplamı 112 milyar m³ 'tür (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019). Ülkenin toprak ve su kaynaklarının geliştirilmesinden sorumlu olan kamu kurum ve kuruluşlarının geliştirdikleri projeler neticesinde çeşitli maksatlara yönelik yıllık su tüketimi 54 milyar m³'e (%48,2) ulaşmıştır (DSİ, 2018). Bu suyun 40,0 milyar m³'ü (%74) sulama, 7 milyar m³'ü (%13) içme-kullanma, 7 milyar m³'ü (%13) sanayi suyu ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılmaktadır. 2017 yılında yapılan bir çalışma, 2017 yılında tüketilen suyun toplam 54 milyar m³ suyun 39 milyar m³'ü (%72,2) yerüstü

sularından ve 15 milyar m³'ü (%27,8) yeraltı sularından sağlandığını belirtmektedir (DSİ, 2017). Tüm bu veriler yağmur suyu hasadına olan ihtiyacı ortaya koymaktadır.

1.6. Yağmur Suyu Yönetimi Stratejileri

Kentleşmenin artması sebebiyle arazi kullanımlarının ve arazi örtülerinin değişmesi, yüzey akışlarının artması ve kontrol edilebilirliğinin zorlaşması kentsel alanlardaki sel, taşkın ve su kirliliğinin artmasına neden olmaktadır (Behroozi vd., 2018; Liu vd., 2015). İklim değişikliği, arazi örtüsü ve arazi kullanımı değişikliklerinin yol açtığı kentsel alanlardaki artan akışlar nedeniyle 1980'li yıllardan sonra bu konuya çözüm arayan birçok strateji ortaya çıkmıştır (Luan vd., 2019). Bu stratejilerin birçoğu esasında birbirine benzer yöntemlere dayansa da farklı terminolojilerle birbirinden ayrılmaktadır. Düşük Etkili Gelişme (*Low Impact Development*) (USEPA, 2000) ve En İyi Yönetim Uygulamaları (*Best Management Practices*) (Schueler, 1987) ortaya atıldığı yıllardan itibaren birçok gelişmiş ülkede kabul görmüş ve uygulanmaya başlamıştır. Birleşik Krallık'ta Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri (*Sustainable Urban Drainage System*) (D'Arcy, 1998), Avustralya'da Suya Duyarlı Kentsel Tasarım (*Water Sensitive Urban Design*) (Mouritz, 1992) ve Yeni Zelanda'da ortaya çıkan Düşük Etkili Kentsel Tasarım ve Gelişme (*Low Impact Urban Design and Development*) (Eason vd., 2006) stratejileri de zamanla ortaya çıkmış ve kabul görmüştür. 2014 yılında küresel kentleşmenin merkezi kabul edilen Çin'de ortaya çıkan Sünger Şehir (*Sponge City*) girişimi o tarihten itibaren çokça kabul gören bir strateji haline gelmiştir (Yu ve Jia, 2015; Jia vd., 2017). Bu stratejilerin tamamı gri teknolojilerin (yeraltı boruları ve kanalları) yerine daha avantajlı olarak kabul edilen ekolojik çözümler sunan bir dizi yeşil altyapı uygulamasına dayanır (Lucas ve Sample, 2015; Luan vd., 2017).

Fletcher vd., (2014), kentsel drenaj alanında kullanılan farklı terminolojilerin uygulamalarını ve farklılıklarını şu şekilde ortaya koymuştur. DEG, tasarımda bir alanın doğal özelliklerini göz önünde bulundurarak yağmur suyu yönetim maliyetlerini düşürmeyi amaçlar. Sızmayı ve buharlaşmayı teşvik eden ve akış kaynağında veya yakınında bulunan küçük ölçekli yağmur suyu arıtma sistemleri ile çalışır. SDKT, su dengesini yönetmeye, su kalitesini iyileştirmeye, suyun korunmasını teşvik etmeye ve suyla ilgili çevresel fırsatları sürdürmeye çalışan bir metodolojidir. DEG'e benzer şekilde kentsel gelişimin hidroloji üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmeyi amaçlar. SKDS'ler, yağmur suyunu geleneksel sistemlerden daha sürdürülebilir bir şekilde kontrol etme amacı için uygulanan

bir dizi teknik ve teknolojidir. SKDS'ler, bir sahada kentsel gelişim öncesi doğal çevresel koşulları taklit etmeyi amaçlar. En İyi Yönetim Uygulamaları (EİYU), kirliliği önlemek için uygulanan bir uygulamayı veya tekniği tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Yeşil Altyapı (GI), kentsel planlamaya mümkün olduğunca fazla yeşil alan dahil etmeye çalışır ve bu yeşil alanlardan maksimum faydayı sağlamayı amaçlar (Fletcher vd., 2014).

1.6.1. Geleneksel Yağmur Suyu Yönetimi Uygulamaları

Kentsel drenaj sistemleri uzun süredir yağmur suyunu ve atık suyu kentsel alanlardan uzaklaştırmak ve toplamak için kentlerin en önemli altyapısı bileşenlerinden biri olarak var olmuştur (Chocat vd., 2007). Yıllar içindeki gelişmelere rağmen etkin işleyen bir drenaj sistemi tasarlamak önemli bir zorluk olmaya devam etmektedir. Özellikle dünyanın birçok bölgesinde kentsel alanlardaki sellerin sıklığı ve büyüklüğünde önemli bir artışa neden olabilecek iklim değişikliği ve kentleşmeden kaynaklanan etkiler geniş çapta kabul görmüştür (Huong ve Pathirana, 2013). Aynı zamanda kentleşmenin bir sonucu olarak alıcı su kütlelerinde besin maddelerinin çeşitliliğini olumsuz etkileyen, miktarı giderek artan kirleticiler kaynaklı bir su kalitesi sorunu da ortaya çıkmaktadır (Zhuo, 2014).

Geleneksel yağmur suyu drenaj sistemi, genel olarak yağmur suyu akışını uzaklaştırmaya odaklanan, tek amaca yönelik bir tasarımdır. Ancak drenaj çözümlerini sürdürülebilir kılan özellikler, aynı zamanda, akış kalitesi, görsel rahatlık, rekreasyonel değer, ekolojik koruma ve çoklu su kullanımı gibi kentsel su yönetimindeki diğer önemli hususları daha bilinçli bir şekilde benimseme ihtiyacını da sağlayan özelliklerdir (France, 2002; Chocat vd., 2007). Sürdürülebilirliğin politik olarak daha geniş çevrelerde tanınmasının bir sonucu olarak kentsel drenaj sistemleri tasarımında su kalitesi giderek daha önemli bir hale gelmiştir. Kentsel alanlarda, akarsu ve su yollarını ekolojik açıdan korumayı ve iyileştirmeyi hedefleyen Avrupa Birliği Su Çerçeve Yönetmeliği bunun bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır (Zhuo, 2014). Bu, su ortamının korunmasına ilişkin mevcut sorunu ve alıcı su kütlelerine kirleticilerle başa çıkmak için acil stratejiler geliştirme talebini göstermektedir (European Commission, 2000; Ellis vd., 2002). Çevresel kaygıların yanı sıra, geleneksel kanalizasyon sistemlerinin gelecekteki iklim değişikliği ve kentleşmeye uyum sağlama konusundaki sınırlı kapasitesi ve esnekliği konusunda da artan eleştiriler bulunmaktadır.

1.6.2. Yeşil Altyapı

Yeşil altyapı yeni bir terimdir, ancak insanlar yaşam alanlarını oluşturmak için her zaman peyzaj koşullarına bağımlı olmuşlardır. Uygarlık tarihinin başlangıcından beri insanlar doğayla iç içe yaşamış ve sürekli etkileşim içinde olmuşlardır. Mezopotamya, Mısır, Yunanistan ve Roma'daki ilk şehirler, mimari ve doğanın yakın bir bütünleşmesiyle inşa edilmiştir. Babil'in asma bahçelerinden Atina'daki parklara ve meyve bahçelerine kadar antik kentler her zaman doğal peyzajın potansiyeli ile bağlantılı olmuştur. Bu da doğal çevrenin ve yeşil ve mavi unsurlarının zenginliğinin bir şehrin yaratılması için bir gereklilik olduğunu göstermektedir (Stankovic ve Maksimovic, 2019).

İlk kez 19. yüzyılda park sistemleri biçimindeki doğal peyzajların, yalnızca estetik ve kültürel önemi nedeniyle değil, aynı zamanda teknik faydaları için de kentsel çevrenin ayrılmaz bir parçası olduğu anlaşılmaya başlanmıştır. Amerikalı peyzaj mimarı Frederick Law Olmsted, kent sakinlerine temiz hava, ışık, bitki örtüsü ve güzel manzara biçiminde doğanın faydalarını sağlamak için teknik bir nesne olarak kent parkı fikrini kullanmayı teşvik etmiştir (Czechowski ve Hauck, 2015). Bu şekilde yoğun yapısal bloklar arasında sıkışan kentlilere kentin tam da ortasında doğayla iç içe zaman geçirme fırsatı sunarken aynı zamanda bir kent parkının işlevsel olarak kente katkılarını gözler önüne sermiştir.

Olmsted'in ilkeleri, serbest dolaşım, toplumun tüm sınıfları için erişilebilirlik ve insanların ihtiyaçları için toplanmaya açık alanlardan oluşmaktadır. Kentsel yeşil alanların kentsel nüfusun sağlığına olumlu etki edebilmesi için temiz hava, güneş ışığı ve bitkisel çeşitlilik sağlayacak büyüklükte olması, geniş açık yeşil alanlarla yeterli bir aydınlatma ve hava sirkülasyonu sağlaması, kolay erişilebilir olması esastır. Park yolları sistemlerine yönelik önerisi insanları daha önce izole edilmiş yeşil alanlara yaklaştırmayı ve sonuç olarak erişilebilirliği ve doğanın ilgili faydalarını iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Olmsted doğa ve insan refahı arasındaki bağlantıyı anladığı için şehirlerde doğal manzaraların dahil edilmesini savunmaktadır. Bu anlayış bugün Ekosistem Hizmetleri olarak adlandırdığımız olgunun temelidir (Eisenman, 2013).

Olmsted'in fikirleri birçok akademisyeni ve peyzaj mimarını etkilemiş ve yeşil yolların tasarım çeşitliliğine öncü olmuştur (Jongman vd., 2004). Little (1995) yeşil yolları “nehir kenarı, akarsu vadisi veya sırt çizgisi gibi doğal bir koridor boyunca ya da rekreasyon amaçlı kullanıma veya manzaralı bir yola dönüştürülmüş bir demiryolu boyunca kurulan doğrusal açık alan” olarak tanımlamaktadır. Diğer bazı bilim adamları ise benzer kavramları ekolojik

ağlar (Forman ve Godron, 1981), habitat koridorları (Noss, 1987) ve çevresel ağlar (McHarg, 1969) gibi terimlerle tanımlarlar. 90'lardan bu yana yeşil yollar hakkındaki söylem doğanın kentsel planlamadaki rolünün daha geniş bir anlayışına dönüşmüştür (Forman, 2014). Yeşil Altyapının çağdaş anlayışı bütüncül bir anlayıştır. Benedict ve McMahon (2006) bunu “doğal kaynak değerleri ve insan popülasyonlarına sağladığı ilgili faydalar için planlanmış ve yönetilen birbirine bağlı bir yeşil alan ağı” olarak tanımlamaktadır (Johannsen, 2021).

Her türlü kentsel arazi kullanımının peyzaj üzerinde büyük etkileri vardır. Kentsel alanların gelişimi kentsel peyzajların içeriğini, biçimini ve işlevini ve bunun sonucunda sağladıkları ekosistem hizmetlerini değiştirmektedir. Kentsel gelişim tarım ve ormancılık alanını azaltır, bu da toprak sızdırmazlığının artması nedeniyle ekosistem değerlerini azaltabilmektedir (Sanesi vd., 2017). Kentsel alanlarda yeşil dokunun azalması habitatlar arasında bağlantı kaybına yol açmaktadır. Bozulmuş ekosistemler, azaltılmış çeşitlilikteki habitatlar, daha az biyoçeşitlilik ve daha zayıf ekosistem faydaları ile sonuçlanmaktadır (Collingham ve Huntley, 2000; Geneletti, 2004).

Kentlerde ve bölgesel ölçekte yapılan stratejik planlamalarla oluşturulan doğal ve yarı doğal alanlar ağı tahrip olan ekosistem hizmetlerinin kaybını azaltabilmektedir. Bu planlama yaklaşımına yeşil altyapı planlaması adı verilmektedir (Benedict ve McMahon, 2002; Davies vd., 2015; Forman, 1995; Laforteza vd., 2013; Mell, 2010; Weber vd., 2006). Yeşil altyapı ile ilgili birçok tanımlamalar yapılmışsa da genel itibariyle çevremizdeki park, bahçe, ormanlık alanlar, sokak ve yol ağaçları, açık kırsal alanlar vb. dahil olmak üzere yeşil alanların en küçük birimlerinin de dahil olduğu tüm sistemler olarak tanımlanabilir (Davies vd., 2015)

Yeşil altyapı, kent hidrolojisi üzerinde sel oluşumunu önleme veya azaltma gibi olumlu etkiler yapar, (Watson ve Adams, 2010b) ayrıca kentsel ısı adası etkisini azaltma (Susca vd., 2011) ve yaban hayatı için yaşam alanı sağlama gibi kentsel çevrelere birçok ekolojik faydalar sağlamaktadır (Kazemi vd., 2011). Yeşil altyapı aynı zamanda birçok sosyal ve insan sağlığı yararını da beraberinde getirmektedir. Yeşil altyapının önemli bileşenleri olan kent parkları ve sokak ağaçları insan sağlığını desteklemektedir (Suppakittpaisarn vd., 2017; Kim ve Miller, 2019).

Kentsel ve kırsal ortamlardaki yeşil altyapılar yaşamı destekleyen en temel unsurların başında gelen suyun miktar ve kalitesinin sürekli sağlanmasında ve kontrolünde hayati bir rol oynar. Yeşil altyapının su miktarını düzenlemede oynadığı rol öncelikle hidrolojik döngüdeki rolünden kaynaklanmaktadır. Yeşil altyapı, yeraltı suyu depolarının beslenmesini

kolaylaştırma ve yüzey akış hacimlerini kontrol etme kabiliyeti nedeniyle su miktarı için de önemlidir. Yeşil altyapı, yağışlarla yüzeylere düşen, kentsel yüzeylerde var olan ve ayrıca yüzey akışında toplanan kirleticileri filtreleme özelliği sayesinde su kalitesini desteklemektedir (Coutts ve Hahn, 2015). Yeşil altyapı, özellikle ormanlar, suyun toprağa sızmasını ve depolanmasını kolaylaştırdığı ve terleme yoluyla suyu tekrar havaya saldığı için hidrolojik döngüde önemli bir rol oynamaktadır (Tyrväinen, vd., 2005). Devamında yağışla tekrar yeryüzüne inen su topraktan sızma ile yeraltı suyu rezervuarlarında birikmesine ve bu şekilde yer altı su kaynaklarının beslenmesine neden olur. Bu nedenle kentlerde yeşil altyapıların var olması ve geliştirilmesi hidrolojik döngüyü destekleyen ve en temel düzeyde halk sağlığına katkı sunan bir süreçtir (Coutts ve Hahn, 2015).

Araştırmalar genellikle yeşil altyapı ile insan sağlığı ve refahı arasında olumlu ilişkiler olduğunu göstermektedir (Kaplan vd., 1998; Hartig, vd., 2014). Örneğin, hava filtreleme teknikleri üzerine yapılan araştırmalar bitki örtüsünün havadaki partikül maddeleri uzaklaştırmanın etkili bir yolu olabileceğini göstermektedir (Yang vd., 2005; Yin vd., 2011; Nowak vd., 2006) ki bu durum yerel nüfusta solunum yolu hastalıklarını azaltmada olumlu bir etkiye sahiptir. Bazı araştırmalar, yeşil altyapının hakim olduğu alanlarda yaşayan kişilerde daha sağlıklı hamilelik ve doğum sonuçları ortaya çıktığını göstermektedir (Grazuleviciene vd., 2014). Konutların yeşil alanlara yakınlığının, bebeklerin bazı fizyolojik özelliklerini olumlu etkilediği ve hamile kadınlarda daha sağlıklı kan basıncı gibi durumlar ortaya çıkardığı gözlemlenmiştir (Grazuleviciene vd., 2014; Hystad vd., 2014; Dadvand vd., 2012; Grazuleviciene vd., 2015; Donovan vd., 2011). Bu durumların hava kirliliğine ve gürültüye maruz kalınmasına rağmen devam ettiği belirtilmektedir (Hystad vd., 2014). Yine günümüzde tüm dünyada çok yaygın bir sağlık problemi haline gelen obezite sorunu mevcuttur. Yalnızca ABD'de obeziteye bağlı doğrudan ve dolaylı yıllık maliyetlerin 2004 yılında yılda 117 milyar dolar olduğu ve giderek arttığı tahmin edilmektedir (Eyre vd., 2004; Wang vd., 2008; Young ve Nestle, 2002). Bunun nedeni daha sağlıksız beslenme problemleri ve hareketsiz yaşam tarzlarıdır. Bir araştırmaya göre 2016 yılında yaklaşık 2 milyar yetişkin bireyin fazla kilolu olduğu (vücut kitle indeksi $\geq 25 \text{ kg m}^{-2}$) ve 671 milyon kişinin ise obezite sınırları üstünde olduğu (vücut kitle indeksi $\geq 30 \text{ kg m}^{-2}$) belirtilmektedir (Abarca-Gomez vd., 2017; Loos ve Yeo, 2022). Yeşil yollar ve parklar gibi yeşil altyapı unsurları, yürüyüş, koşu ve bisiklete binme gibi egzersizlere imkan sunmaktadır ve bu sorunu çözmeye başlamanın bir yolu olarak düşünülebilir. Bazı araştırmalar, daha yürünebilir şehirlerin obezite oranlarının daha düşük olduğunu göstermektedir (Ewing vd.,

2003; Giles vd., 2003). Bazı araştırmalar yeşil altyapılarla iç içe yaşayan insanların, solunum yolu hastalıklarının azaldığını, daha düşük obezite oranlarına sahip olduğunu bildirmektedir (Donovan vd., 2013; Wolch vd., 2011; Lovasi vd., 2013).

Yeşil altyapı unsurları kentlerde doğanın yansımaları şeklinde etki yaparlar ve insanların bilişsel süreçleri üzerinde onarıcı etkileri olduğu bazı araştırmalarda ortaya konulmuştur (Kaplan ve Rogers, 2003; Kaplan vd., 1998). ‘Dikkat Restorasyon Teorisi’ne göre doğada, hatta kentsel ortamlardaki yeşil alanlarda, olmak yorgun haldeki dikkati restore etmektedir. Ayrıca insanlar bu alanlarda zihinsel olarak yorgun olduklarına kıyasla daha etkili bir şekilde işlev görüp ve karar verebilmektedirler (Kaplan, 1995). Bazı araştırmacılar, yeşil alanlarda zaman geçiren insanlara uygulanan kısa süreli hafıza testleri yoluyla yapılan ölçümler sonucu yeşil altyapı ve dikkat arasında önemli pozitif ilişkiler bildirmektedir (Pilotti vd., 2015). Bir çalışmada yeşil alan veya park manzarasına sahip bir hastane odasındaki hastaların diğer hastalara oranla iyileşme süreçlerinin daha hızlı olduğu, ameliyat sonrası daha az şikayetleri olduğu, daha az ağrı kesiciye ihtiyaç duydukları belirtilmiştir. (Ulrich, 1984). Günümüzde yoğun kentsel yaşam, fiziksel hastalığa yol açabilecek kronik strese neden olmaktadır. Stres azaltma teorisi, insanların daha doğal bir ortama maruz kaldıklarında stresten daha etkili bir şekilde kurtulmalarını sağladığını ortaya koymaktadır (Ulrich, 1983; Wells ve Evans, 2003). Yeşil altyapılar üzerine yapılan bazı deneylerde katılımcıların, yeşil altyapılarda geçirdiği zaman arttıkça cilt iletkenliği ve cilt sıcaklığı ile ölçülen strese karşı daha sağlıklı parasempatik tepki yaşadıklarını göstermiştir (Jiang vd., 2014; Li ve Sullivan, 2016; Wang vd., 2016). Yeşil altyapı ile ruh sağlığı arasında bir ilişki olduğunu bildiren iki çalışma, yeşil altyapılara yakın yaşamının anksiyete duygudurum bozukluğu tedavileri riskini ve antidepresan kullanım oranını azalttığını belirtmektedir (Nutsford vd., 2013; Taylor vd., 2015).

1.6.3. En İyi Yönetim Uygulamaları

Nüfus artışı ve kentsel/kentleşmiş alanların gelişimi, yüzeysel akıştaki kirleticilerin miktarını, geçirimsiz yüzeylerden gelen akış hacmini ve hızını önemli ölçüde artırmaktadır. Bununla birlikte kentsel ekosistemlerde habitat değişikliği ve kaybı, artan sel, su baskını, azalan su biyolojik çeşitliliği ve artan sedimantasyon ve su kalitesinde değişikliklere neden olabilir. Yağmur suyu akışı yönetiminin faydaları şunları içerebilir:

- Sulak alanların ve su ekosistemlerinin korunması,

- Alıcı su kütlelerinin kalitesinin artması,
- Su kaynaklarının korunması,
- Halk sağlığının korunması,
- Akış kontrolü.

Yağmur suyu akışı asfalt sokaklar, otoparklar ve bina çatıları gibi arazi veya geçirimsiz yüzeyler üzerinde akan yağmur ve kar erimesi olaylarından oluşur. Bilhassa kentsel alanlardaki akış, nehirler, akarsular, göller ve diğer tüm su kaynaklarına zarar verebilecek çöp, kimyasallar, yağlar ve kir/tortu gibi kirleticileri toplar. Bu kaynakları, dolayısıyla ekosistem sağlığını koruyabilmek için geliştirilen stratejilerden biri en iyi yönetim uygulamalarıdır (*Best Management Practices*/EİYU). Bu en iyi yönetim uygulamaları kirleticileri filtreler ve/veya kaynağında kontrol ederek kirliliği önler, yüzeysel akışı azaltma ve kontrolünde etkilidir (URL-7).

Yağmur suyunu kontrol etmek ve noktasal olmayan kaynak kirliliğini yönetmek, en iyi yönetim uygulamalarının (EİYU) en önemli iki amacıdır. EİYU kaynaklardaki kirlilikleri azaltmak, akış yollarını kesmek ve/veya kirli akışı akarsulara deşarj edilmeden önce arıtmak için kullanılabilir (Qiu, 2013). YSY için EİYU'lar yağmur suyunu kontrol etmek, yağmur suyu akışını azaltmak, akarsular üzerindeki etkilerini azaltmak ve su kalitesini iyileştirmekle mevcut yağmur suyu altyapısının güçlendirilmesini içerir. EİYU'ların su kaynakları üzerindeki etkileri çok fonksiyonludur. Bir EİYU'nun yalnızca noktasal olmayan kaynak kirliliğini değil, aynı zamanda yağmur suyu akışını da azaltma durumu söz konusudur (Qiu, 2013).

1.6.4. Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri

Kentsel alanların büyüme ve gelişim süreçleri ve iklim değişikliği, kentlerde sel olasılığının artmasına neden olan temel süreçlerdir (Fratini vd., 2012). Kentsel gelişim ve diğer arazi dönüşüm biçimleri, drenajı sağlayan toprak yeşil alan ve benzerlerinin geçirimsiz yüzeylere dönüşümüyle doğal drenaj sürecini değiştirir ve kent hidrolojisini olumsuz yönde etkiler (Goulden vd., 2018; La Rosa ve Pappalardo, 2020).

Bu süreçler su kaynakları üzerinde büyük baskılar uygulamakta, toprak tarafından emilebilecek yağış miktarını azaltmakta, toplam su akışını ve sel riskini arttırmaktadır (Woods-Ballard vd., 2007). Bu nedenle su akışı düzenlemesi kentsel sistemler için çok önemli bir ekosistem hizmeti ve kentsel planlamada su yönetimi için temel kavram olarak

kabul edilmektedir (Barbedo vd., 2014; Pappalardo, 2017). Su akışı düzenlemesinin ekonomik değeri ve çok sayıda sel riskinin azaltılması binalar, altyapı, ticari ve tarım üzerindeki hasarlar için kaçınılan maliyetlere ve ayrıca su arıtma için artan maliyete bağlıdır. Ayrıca sel felaketleri de ölümler, yaralanmalar, su ve tarımsal ürünlerin kirlenmesi gibi insan sağlığı için farklı ciddi sonuçlar doğurmaktadır (Ohl ve Tapsell, 2016).

Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri (*Sustainable Urban Drainage Systems*/SKDS) doğal ekosistem ilkelerini ve işlevlerini korumak, insanlara, yaban hayatına ve çevreye çok çeşitli faydalar sunmak için kullanılan, tasarlanmış bitkili alanlar ve açık alanlardan (yani yeşil çatılar, yağmur bahçeleri, geçirgen kaplamalar, vb.) oluşan entegre yeşil alan ağ sistemlerinin adıdır (Tang vd., 2021; Ferrans vd., 2022). SKDS kentleşmenin kent hidrolojisi üzerindeki etkilerini en aza indirmek ve şehir merkezlerinde aşırı yağış olaylarına karşı direnci artırmak için geleneksel altyapı sistemleri bir tamamlayıcısıdır (Zhu vd., 2019). SKDS aşırı yağış olaylarının olumsuz etkilerini azaltabilir (Tang vd., 2021) ve iklim değişikliği etkilerini hafifletebilir, ekolojik, ekonomik ve daha birçok çevresel faydalar sağladığı bilinmektedir (Wolf, 2003; Liao vd., 2013; Coutts ve Hahn, 2015; Jones ve Somper, 2014; Ghodsi vd., 2020; Roseboro vd., 2021, Hamann vd., 2020).

1.6.5. Düşük Etkili Gelişme

Kentsel YSY, kentsel alanların gelişiminin en önemli parçalarından biridir. Ekolojik, ekonomik ve sosyal açıdan büyük öneme sahiptir. Kentleşmedeki büyük artış ve iklim değişikliğinin giderek daha belirginleşen etkileri, kentsel alanlardaki yüzeysel akışları arttırdığı ve geleneksel yağmur suyu yönetim sistemlerinin bu konuda yetersiz kaldığı bilinmektedir (Eckart vd., 2017). Kentleşme, geleneksel bu sistemlere daha fazla baskı uygulayarak doğal çevrede çok sayıda değişiklik üretmektedir (Chen vd., 2016). Kentsel YSY’de geleneksel yaklaşım, yağmur suyunu merkezi bir sistem aracılığıyla mümkün olduğunca hızlı bir şekilde iletmek için borular, oluklar, diğer gri altyapı ve kanalizasyonları kullanmak üzerine kurulu sistemlerden oluşur. Geçirimsiz yüzeylerdeki artışla birlikte kentsel alanlarda yüzeysel akışın artması tepe akışlarının artmasına, sızma oranlarının azalmasına buna bağlı olarak su döngüsünde ve yer altı su kaynaklarında problemler yaşanmasına neden olmuştur (Konrad ve Booth, 2005; Wong ve Eadie, 2000). Son yıllarda sayıları ve şiddetleri artan kentsel seller artan kentleşme, nüfus artışı ve iklim değişikliği ile ilişkilendirilmektedir (Stovin vd., 2012; Visitacion vd., 2009).

Kentsel YSY yöntemleri kentleşme, iklim değişikliği ve mali kaynak kullanımını göz önünde bulundurarak artan talepleri karşılamak için geliştirilmek ve sürdürülebilir çözümler sunmak durumundadır. Bu kapsamda geliştirilmiş stratejilerden biri de düşük etkili gelişmedir (*Low Impact Development/DEG*) (Eckart vd., 2017). DEG, su havzalarını doğal hidrolojik koşullara doğru iyileştirmeyi amaçlar (yani, doğal su döngülerini taklit etmeyi) (Van Roon, 2005, 2007; Shuster vd., 2008; Damodaram vd., 2010). DEG genellikle kentsel yağmur suyu altyapısı üzerindeki stresi azaltmak ve/veya iklim değişikliklerine uyum sağlama esnekliği oluşturmak için tasarlanmış bir güçlendirme olarak kullanılır. Su kalitesini iyileştirmek için bazı kontroller de uygulandığından yağmur suyu kalitesi yönetmelikleri DEG'in benimsenmesini teşvik eder niteliktedir. DEG uygulamaları büyük ölçüde tutma, sızma ve evapotranspirasyon temelli çalışan uygulamalardır ve hidrolojinin doğal süreçlerini tasarıma dahil etmeye amaçlar. Geleneksel kentsel yağmur suyu yönetim modelleri ile karşılaştırıldığında DEG alternatifleri, infiltrasyonun iyileştirilmesi, akış hacminde azalma (Ahiablame vd., 2013; Jia vd., 2012), tepe akışında azalma (Drake vd., 2013), gecikme süresinin uzaması, kirletici yüklerde azalma (Liu vd., 2015) ve taban akışında artış (Hamel vd., 2013) dahil olmak üzere doğal hidrolojik döngüde iyileştirmeleri amaçlayan bir çok işleve sahiptir.

Düşük etkili gelişme ilk olarak Maryland'de artan geçirimsiz yüzeylerin etkilerini azaltmanın bir yolu olarak tanıtılmıştır (County, 1999), ancak düşük etkili gelişme terimi ortaya çıkmadan önce bazı benzer teknikler zaten farklı isimler altında kullanılmıştır. Aslında düşük etkili gelişme, küresel iklim değişikliği ve kentleşmenin olumsuz etkilerini azaltmak için dünyanın birçok yerinde popüler hale gelen kentler için geliştirilen kentsel yağmur suyu altyapısı iyileştirme stratejilerinden birinin Kuzey Amerika terminolojisidir.

DEG olarak kullanılan yağmur suyu kontrol sistemi örnekleri arasında yeşil çatılar, yağmur bahçeleri, biyolojik tutma alanları, biriktirme havuzları, biyo hendekler, drenaj çukurları, geçirgen kaplamalar, sızma havuzları, sızma hendekleri, göletler, yağmur varilleri veya sarnıçlar, ağaç kutusu filtreleri vb. diğer yeşil altyapı unsurları bulunur (Shuster vd., 2008; Stovin vd., 2012).

1.6.6. Düşük Etkili Kentsel Tasarım ve Gelişme

Su döngüsü, gıda döngüsü gibi bileşenler ekosistem varlığının sürdürülebilir yönetimi açısından en önemli bileşenlerdendir (Van Roon, 2005). Kentsel alanlarda

sürdürülebilirliğin ekonomik, ekolojik ve sosyal kazanımlarını aynı anda artırmak için kentsel su yönetimi, kentsel tasarım ve geliştirmeye entegre edilmelidir (Lloyd vd., 2001).

Kentsel alanlardaki su yönetimi çalışmaları son yıllarda küresel iklim değişikliği, nüfus artışları, kentsel alanlarda geçirimsiz yüzeylerin artışı vb. unsurlardaki gelişmeler nedeniyle YSY konusuna odaklanmaktadır. Bu anlayışla farklı ülkelerden çeşitli stratejiler ortaya çıkmıştır. YSY konusunda ortaya çıkan alternatif tasarım stratejilerinden bir tanesi de Yeni Zelanda'da geliştirilen Düşük Etkili Kentsel Tasarım ve Geliştirme (*Low Impact Urban Design Development/DEKTG*) olarak adlandırılan entegre bir kentsel tasarım ve geliştirme sürecidir. Bir yandan kentlerin ekolojik bütünlüğü korunurken diğer taraftan kentsel gelişimin çeşitli olumsuz etkilerini herhangi bir ek maliyet olmaksızın doğayı taklit eden tasarım stratejileriyle hafifletmeyi amaçlar (Van Roon, 2005).

Yeni Zelanda'da ortaya konulan DEKTG çalışmaları, gelişmelerin uygulanması için politikalar, uygulamalar, araçlar ve kılavuzlar sağlayarak düşük etkili kentsel tasarım ve geliştirme uygulamalarının benimsenmesini sağlamıştır. Bu strateji, yerel yönetimleri, tasarımcıları, geliştiricileri, topluluk gruplarını ve araştırmacıları, yerel halkı, tek bir bina da dahil olmak üzere mahalleler ve su havzalarını kapsayan çok sayıda mekansal ölçekte yeşil alan ve kahverengi alan projeleri üzerinde işbirliği yapmak için bir araya getirmiştir (van Roon, 2011). Yeni Zelanda'da ortaya çıkan bu DEKTG yaklaşımı, Kuzey Amerika'da YSY'ye alternatif bir yaklaşım olan Düşük Etkili Geliştirme ve Avustralya'da Suyu Duyarlı Kentsel Tasarım yaklaşımlarına benzerlik göstermektedir (Van Roon, 2005).

1.6.7. Sünger Şehirler

Son yıllarda dünyanın dört bir yanında kentler nüfus artışı ve iklim değişikliğinin şiddetlendirdiği suyla ilgili riskleri yönetmek için acil önlemler almak durumundadır. Aynı zamanda gitgide kısıtlı hale gelen doğal kaynaklar, artan çevresel kaygılar ve beklenen gelecekteki değişimin yarattığı aciliyet ve belirsizliklerle başa çıkmak için daha sürdürülebilir olma zorluğuyla da karşılaşmaktadırlar. Sonuç olarak sürdürülebilir planlama ve kentsel su yönetimi konuları, kentsel gelişim, hizmet sunumu ve acil durum yönetiminin tüm yönleriyle kentlerin öncelikli konuları haline gelmiştir (Harremös, 2002; Gersonius vd., 2012; Kirshen vd., 2015). Özellikle aşırı hava olaylarıyla ilgili olarak riski azaltmak için altyapının uyarlanması ve meskun alanların mekansal yerleşimi öncelikli konular arasında en üstlerdedir (Dickson vd., 2012)

Son yıllarda artan su kıtlığı, sel ve su kalitesi problemleriyle baş başa kalan ve her geçen gün bu sorunların arttığı Çin’de, bu olumsuzluklara karşı, Çin Merkezi Hükümeti 2013 yılında Çin genelinde Sünger Şehirler (*Sponge Cities*) yaklaşımının yaygın olarak benimsenmesi çağrısında bulundu ve bu yaklaşımın seçilen pilot şehirlerde uygulanmasını teşvik etmek için mali destek sağlamak adına bir program başlatmıştır (Li, vd., 2016; Jiang, vd., 2017; Jia, vd., 2017). Sünger Şehirler yaklaşımı kentsel çevrede sızmayı, buharlaşmayı ve yağmur suyunun yakalanmasını ve yeniden kullanımını geliştirmeyi amaçlar (Zevenbergen, vd., 2018).

Sünger Şehirler stratejisinin benzer örnekleri dünyanın dört bir yanında karşımıza çıkmaktadır. Sünger Şehirler terimi Çin’de ortaya çıkmış ve doğal hidrolojik ve ekolojik süreçleri taklit etmeyi amaçlıyor olsa da, son otuz yılda, özellikle ABD, AB ve Avustralya’da kentsel su problemlerini ele almak için doğaya dayalı çözümlerin kullanılmasında çok sayıda gelişmeler karşımıza çıkmaktadır (Wong, 2006; Brown, vd., 2008; Zhou, vd., 2013; Butler, vd., 2017). Düşük etkili gelişme, sürdürülebilir kentsel drenaj sistemleri, suya duyarlı şehirler ve yeşil altyapı gibi kavramlar, aynı olmasa da, sünger şehirler yaklaşımı ve teknolojilerinin tasarımı ve uygulanması konusunda benzerlikler göstermektedir (Butler, vd., 2017).

Sünger şehir programı Çin’de 2014 yılında ilk önce pilot uygulama statüsünde Konut ve Kırsal-Kentsel Kalkınma Bakanlığı, Maliye Bakanlığı ve Su Kaynakları Bakanlığı’nın doğrudan rehberliği ve desteğiyle başlatıldı. Konseptin genel amaçları kentin yağmur suyunu emme, sızma, depolama, arıtma, boşaltma ve yönetme kapasitesini “geri kazandırmayı” ve doğal hidrolojik döngüyü taklit etmek için su döngüsünü mümkün olduğunca “düzenlemeyi” sağlamaktır (Zevenbergen, vd., 2018). Dolayısıyla, bir Sünger Şehir kentsel sel riski yönetimini kentsel planlama politikalarına ve tasarımlarına dahil etme kapasitesine sahip bir şehirdir. Yağmur suyunu toplamak, depolamak ve arıtmak için altyapı sistemlerini uygulamak, sürdürmek ve uyarlamak için uygun planlamaya ve yasal çerçevelere ve araçlara sahip olunmalıdır. Buna ek olarak, bir sünger şehir sadece çok fazla su ile başa çıkmakla kalmayacak, aynı zamanda kuraklığın etkilerini hafifletmek için yağmur suyunu yeniden kullanabilecektir. Bir Sünger Şehir’in sağlayabileceği olası faydaları şunlardır: (i) ekonomik kayıpların (sel vb., nedeniyle) azaltılması, (ii) şehirlerin yaşanabilirliğinin artırılması ve (iii) altyapı iyileştirme ve mühendislik ürünlerine ve yeni teknolojilere yatırım fırsatlarının yaratıldığı ve teşvik edildiği bir ortamın kurulması. Devlet Konseyi, 16 Ekim 2015 tarihinde, “Sünger Şehir İnşaatını Teşvik Yönergesi” adlı bir

yönerge yayınladı. Buna göre Çin şehirlerinin kentsel alanlarının yaklaşık 2020 yılına kadar sünger şehir olarak dönüştürülmesi ve bu sayede kentsel alanların yağmur suyu sızma, muhafaza etmesi ve yeniden kullanma seviyesi yaklaşık %70'lere çıkması hedefini belirlendi. 2030 yılına kadar bu oranın %80'e çıkması planlanmaktadır (Zevenbergen, vd., 2018).

1.6.8. Doğa Temelli Çözümler

Kentsel alanların gelişmesi geçirimsizlerin yüzeylerin artmasına bu da yağmur suyu akışının hacmi, tepe akışı, kirletici yükleri ve konsantrasyonlarının artmasına neden olur (Davis, 2008). Ayrıca, iklim değişiklikleri, aşırı olayların meydana gelmesindeki artış nedeniyle kentsel drenaj sistemleri üzerindeki baskıyı artırır (Change, 2014). Taşkın kontrolüne yönelik geleneksel çözümler, drenaj sistemi altyapısını genişletmek veya mevcut yapıların kapasitesini suyu hızlı bir şekilde taşımak için genişletmektir (Miguez vd., 2015). Ancak bu çözümlerle ilişkili maliyetler yüksektir ve kentleşme arttıkça sistemlerin sürekli olarak geliştirilmesi ve ilave mali yükümlülükler gerektirir. Bundan dolayı sürdürülebilirlikleri tartışma konusudur (Brasil vd., 2021).

Bu nedenle, yağmur suyu kaynağı kontrol yaklaşımları, merkezi olmayan bir şekilde, hem akış hacmi hem de su kalitesi açısından çevresel değişikliklerin neden olduğu etkiler ve doğal afetlerin etkilerinin azaltılmasına imkan sağlayan kentsel direncin iyileştirilmesi için uygulanabilir çözümler olarak önem kazanmıştır (Senes vd., 2021). Doğaya temelli çözümler (*Nature Based Solutions/DTC*), aynı anda çeşitli ekonomik, sosyal ve ekolojik faydalar sağlarken, farklı çevresel zorlukları karşılamak için süreç ve yapıların tasarlandığı canlı çözümler olarak tanımlanmaktadır (Frantzeskaki, 2019).

Son yıllarda araştırmacılar hem kentsel alanlarda hem de kırsal kesimde çok işlevli bir yeşil altyapının oluşturulması için Doğaya Temelli Çözümlerin kullanımının etkinliğini giderek daha fazla araştırmaktadır (Senes vd., 2021). DTC, “doğadan ilham alan ve desteklenen, uygun maliyetli, aynı anda çevresel, sosyal ve ekonomik faydalar sağlayan ve dayanıklılık oluşturmaya yardımcı olan çözümler” olarak tanımlanmaktadır (European Commission, 2020). Bu tür çözümler yerel olarak uyarlanmış, kaynakları verimli kullanan ve sistematik müdahaleler yoluyla kentlere, peyzajlara ve su kaynaklarına giderek daha fazla çeşitlilik, doğa ve doğal özellikler ve süreçlerle destek olmaktadır. Doğa temelli çözümler

biyolojik çeşitliliğe fayda sağlamalı ve bir dizi ekosistem hizmetinin sunulmasını desteklemelidir (Senes, vd., 2021).

1.7. Yağmur Suyu Altyapıları Uygulamaları

Yağmur Suyu Altyapısı (YSA) YSY için geleneksel gri teknolojilerden (örneğin yeraltı drenajları ve kanalları) daha avantajlı, ekolojik ve sürdürülebilir olan bir dizi yeşil teknolojidir (Lucas ve Sample, 2015; Luan vd., 2017). Biyolojik tutma alanları, geçirgen kaplamalar, yeşil çatılar, tutma/alıkoyma havzaları, yağmur bahçeleri, sulak alanlar, bitki örtüsü vb. yaygın olarak kullanılan YSA stratejileri, tüm sürdürülebilir YSY uygulamalarının temel teknolojileridir. Temel işlevleri yüzey akışı düzenleyerek, tepe akışını azaltarak ve kentsel yüzey akışının neden olduğu noktasal olmayan kaynak kirleticiyi azaltmak suretiyle su kalitesini iyileştirmektir (Luan vd., 2019).

Bu bölümde yukarıda listelenen uygulamaların her biri ayrı ayrı incelenecektir

1.7.1. Biyolojik Tutma Alanları

Kentsel alanların büyümesi ve gelişmesi yollar, kaplamalar, otoparklar ve bina çatıları gibi sert ve geçirimsiz yüzeylerin artışına neden olmuştur. Bu yüzeyler yeşil alanlar veya toprak yüzeyleri gibi yağmur suyunu ememez ve/veya depolayamaz aksine yüzeysel akışı artırır. Bir havzadaki geçirimsiz yüzeylerdeki artışlar genellikle yağmur suyu akış hacimlerini, ilişkili tepe akışlarını ve olayın taşıdığı kirletici yükleri ve konsantrasyonlarını artırır (Davis, 2008). Yapılan araştırmalar kentsel yüzeylerde geçirimsiz yüzeylerin %10-%30 aralığına ulaşması durumunda, habitat ve su kalitesi açısından büyük kayıplar olduğunu göstermiştir (Wang vd., 2001).

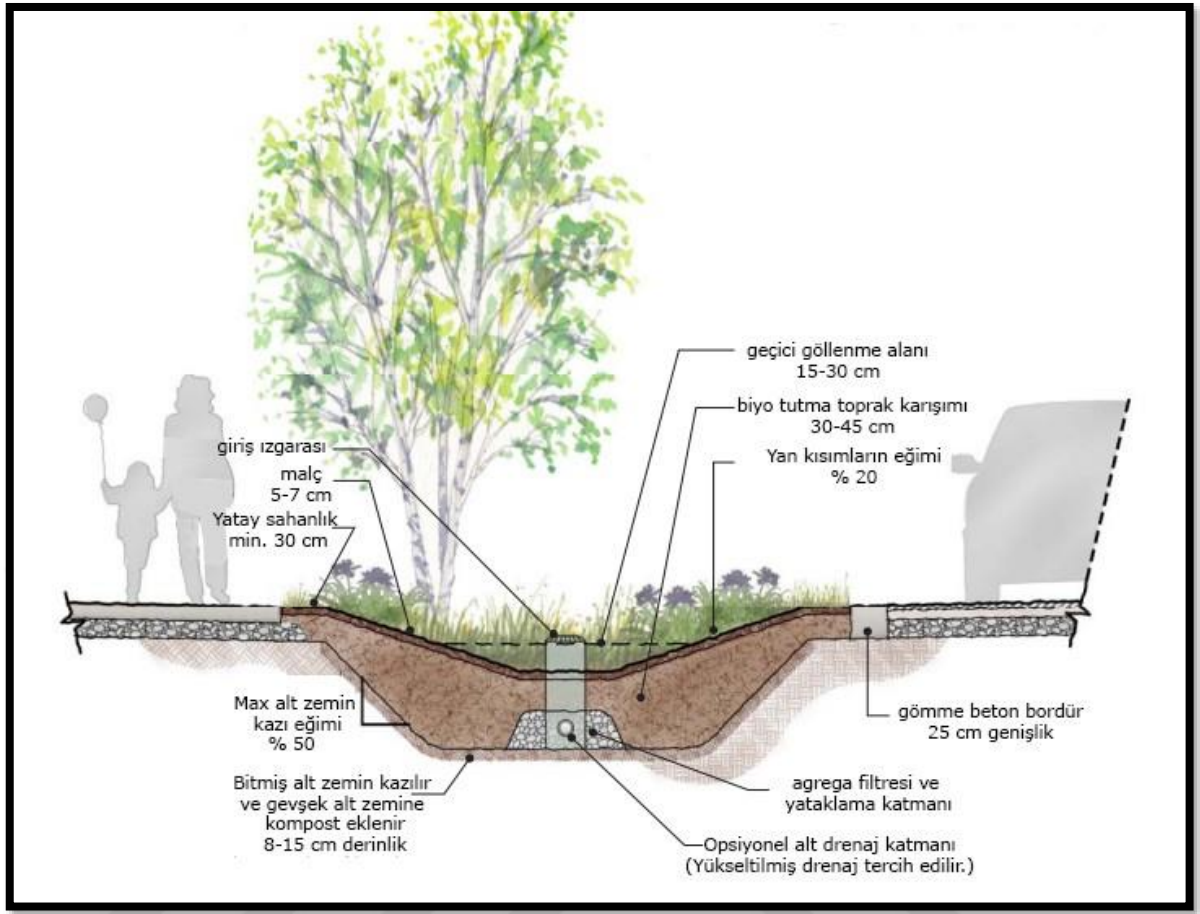
Kentsel alanlarda YSY ve YSA'yı geliştirmek adına son yıllarda birçok stratejiler ve uygulamalar ortaya koyulmuştur. DEG, EİYU, SKDS, DEKTG, Sünger Şehirler, DTÇ gibi birçok strateji temelde belli başlı yeşil altyapı çözümleri sunan uygulamalara dayanan felsefelerdir. Bu uygulamaların en önemlilerinden bir tanesi ise biyolojik tutma alanları (*bioretention areas*/biyo tutmalar) ya da sistemleri olarak bilinen alanlardır.

YSY'ye yönelik biyolojik tutma konsepti, 1990'ların başında literatüre dahil olan ve Maryland/Amerika'da ortaya çıkan bir tasarım yaklaşımıdır. Biyo-tutma terimi, yağmur suyu akışından kaynaklanan kirleticileri dönüştürmek, uzaklaştırmak veya tutmak için

bitkilerin kimyasal, biyolojik ve fiziksel özelliklerini, topraktaki mikroorganizma, mineral ve organik maddeleri kullanan YSY uygulamasını tanımlamak ve entegre etmek için oluşturulmuştur. Biyo tutma alanlarını tanımlayan temel işlevsel özellikleri vardır (Hinman ve Wulkan, 2012).

Bu özellikler kısaca şöyle sıralanabilir:

- Herhangi bir alanda yerel iklim ve toprak koşullarına uyarlanmış, alanın özelliklerine uygun bir toprak karışımı ve bitkiler ile tasarlanmış sık çöküntülerdir.
- Sağlıklı toprak yapısı ve bitki örtüsüyle sızmayı, depolamayı, filtrelemeyi ve yağmur suyu akışlarının yavaş salınımını desteklediği gibi doğal koşulları yakından taklit edecek şekilde tasarlanmalıdır (Hinman ve Wulkan, 2012).
- Daha büyük ölçekli bir DEG planlamasının bir parçası olarak tasarlanabilir. Örneğin, biyolojik tutma alanları, geçirgen kaplamalar, çatı bahçeleri, biyo hendekler gibi diğer uygulamalarla beraber kullanıldıklarında daha iyi performans verebilir, çünkü genellikle her uygulama farklı tipte alanların ihtiyaçlarına cevap verebilir niteliktedir (Hinman ve Wulkan, 2012).

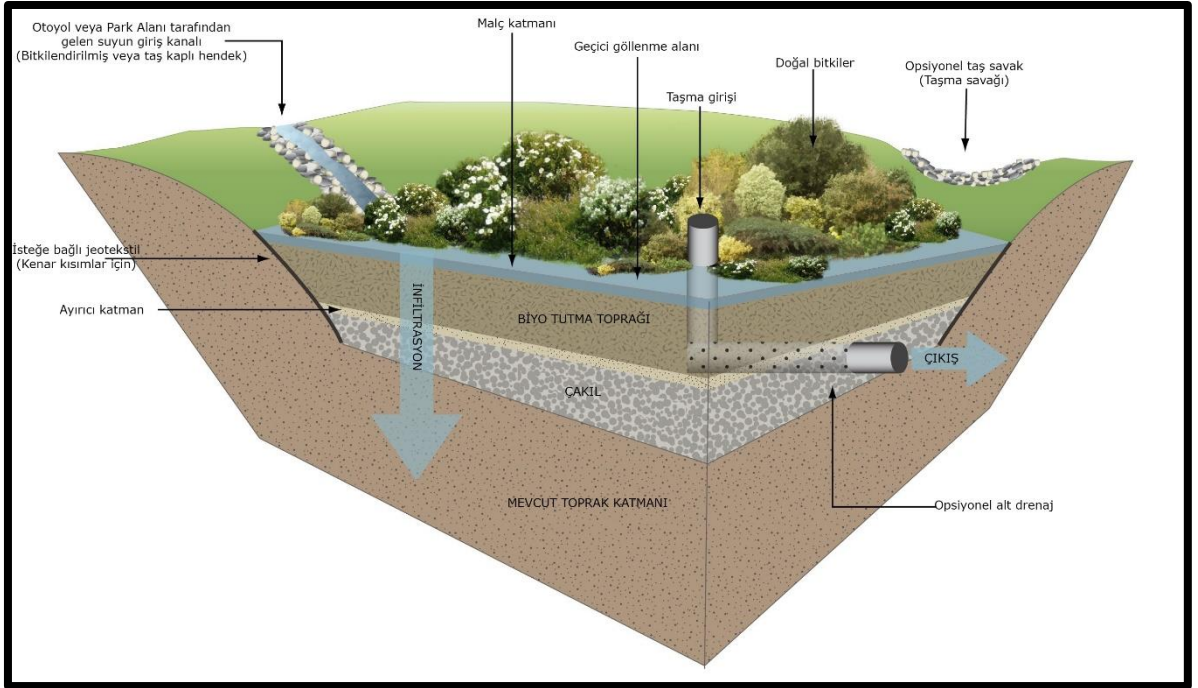


Şekil 8. Biyo tutma alanı en kesiti ve detayları (Hinman ve Wulkan, 2012).

Biyolojik tutma alanları ve yağmur bahçesi terimlerinin literatürde birbirinin aynısı gibi kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Ancak özünde “biyo tutma” terimi, tasarlanmış toprak karışımlarını, drenaj ve kontrol yapılarını içeren belirli su kalitesi, arıtma ve akış kontrol hedefleri için boyutlandırılmış mühendislik özellikleri içeren daha karmaşık bir tasarımı tanımlamak için kullanılır (Şekil 8). "Yağmur bahçesi" terimi, toprak karışımı için daha az kısıtlayıcı tasarım kriterleri (örneğin, kompostla harmanlanmış doğal toprak) ile genellikle alt drenajlar veya diğer kontrol yapıları olmayan bitişik alanlardan yağmur suyunu yakalamak için nispeten daha basit uygun bitkilerle tasarlanmış bir çöküntü alanını tanımlamak için kullanılır. Her ikisi de aynı DEG tekniğinin uygulamalarıdır ve akış kontrolü ve su kalitesi arıtımı için oldukça etkili yöntemlerdir (Hinman ve Wulkan, 2012).

Biyolojik tutma alanları genellikle iki hektar veya daha küçük alanlar için uygulanır (Liu, vd., 2014). Biyolojik tutma sistemleri akış hızlarını ve hacimleri azaltmak için akışı koruyarak doğal hidrolojik döngüyü taklit etmektedir (Dietz, 2007). Diğer sağladığı faydalar

arasında estetik görünüş, yaban hayatı için habitatın artırılması, toprak erozyonunun azaltılması, yeraltı suyu kaynaklarının zenginleştirilmesi ve yerel akarsulara taban akışlarının arttırılması sayılabilir (USEPA, 2012). Biyo tutma alanlarında gelen akış, ortam katmanlarından sızar ve zemin altı drenaj borularından istenilen kaynağa yönlendirilmektedir. Alan içindeki bitki örtüsü, ortamdan su ve besinleri alır, doymun hale gelirse taşma meydana gelebilir. Depolama alanı daha sonra bir kontrol yüksekliğine ulaşana kadar göllenir ve bunun ardından zamanla boşalmaya başlar.



Şekil 9. Alt drenaja sahip bir biyo tutma alanı (URL-8)

Biyolojik tutma normalde, akışın işlenmesi için kum/toprak/organik karışımdan oluşan bir katmandan, bir yüzey malç katmanından, çeşitli bitki örtüsü biçimlerinden, 15 ila 30 cm derinlikte bir depolama havuzundan, giriş, çıkış ve taşma iletimi ile ilgili hidrolik kontrol donanımlarından oluşur (Davis, vd., 2009). Altındaki toprakların geçirgenliği düşük olduğunda ek bir drenaj genelde tercih edilen bir seçenektir. Şekil 9, bir alt drenaja sahip tipik bir biyolojik tutma alanı profilini göstermektedir. Akış her katmandan sırayla süzülür, filtrasyon işlemi gerçekleşir (Davis, vd., 2010), akıştan kaynaklanan döküntüler, parçacıklar, tortular ve diğer kirleticiler bir yağmur suyu nakil sistemine veya doğrudan alıcı sulara tahliye edilmeden önce filtrelendir ve arıtılır (Liu, vd., 2014). Bitkili yüzey tabakası akış hızını yavaşlatır ve tortuyu hapseder (DeBusk ve Wynn, 2011). Bir biyo-tutma hücresi içinde

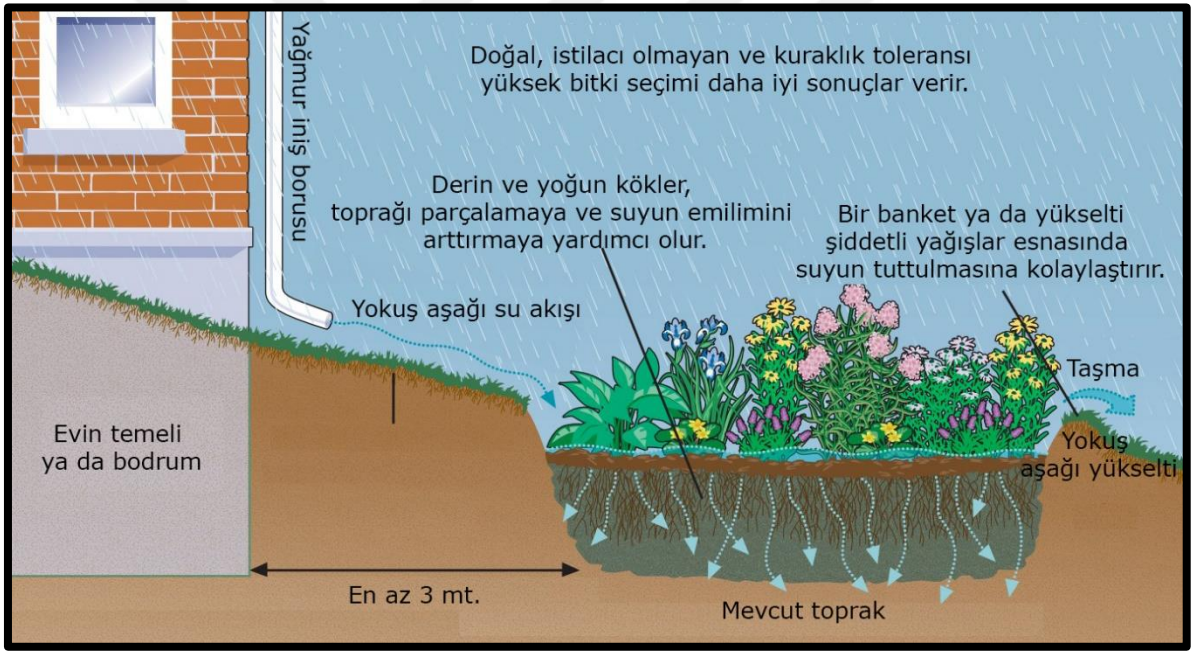
arıtma kentsel akıştan kirleticileri uzaklaştırmak için bitkilerin, mikropların ve toprağın kimyasal, biyolojik ve fiziksel özelliklerinden yararlanan çeşitli birim işlemlerle gerçekleştirilir. Biyolojik tutma, tepe akışlarını, akış hacmini ve kirletici yükleri azaltır; bitki örtüsü alımı yoluyla evapotranspirasyon artar ve gecikme süresi artar (Hunt vd., 2006; Davis, 2008; Li ve Davis, 2009; Li vd., 2009; Brown ve Hunt, 2011).

1.7.2. Yağmur Bahçeleri

YSY kentsel alanlar ve yakın çevrelerinde yağmur suyu arıtma ve yağmur suyu akışını yönetmek gibi konular açısında için önemli bir bileşen haline gelmiştir (Walsh, 2000; Dietz, 2007; Davis vd., 2009). Ancak noktasal ve noktasal olmayan kaynakların sayısı ve çeşitliliği nedeniyle yüzeysel kirleticilerin kaynak kontrolü kentler için baş etmesi zor bir problemidir. Son yıllardaki çalışmalar sonucu bu zorluklar karşısında biyo tutma alanları, yağmur bahçeleri, yeşil çatılar, biyolojik hendekler vb. bir dizi sürdürülebilir ve merkezi olmayan yağmur suyu yönetim uygulamaları geliştirilmiş ve uygulanmıştır (Mitsch, 1992; USEPA, 2000; Davis, 2005). Bu yönetim uygulamalarının çoğu yağmur suyu taşması riskini azaltmak ve bitki örtüsü, toprak ve bunlarla ilişkili mikroorganizmaları kullanarak kirleticileri yakalamak için tasarlanmıştır. Yağmur suyu akış hızını, akış hacmini ve kirletici konsantrasyonlarını azaltmak ve yeraltı suyunun yeniden beslenmesini kolaylaştırmak için kentsel alanlarda genellikle biyolojik tutma alanları ve yağmur bahçeleri sıklıkla kullanılmaktadır (Davis, 2005; Dietz, 2007; Endreny ve Collins, 2009). Çeşitli tasarım örnekleri kullanılabilse de genelde yağmur bahçeleri tipik olarak sığ hendeklere veya havzalara gözenekli bir toprak ortamı entegre edilerek ve çeşitli bitki türleri kullanılarak tasarlanan alanlardır (Prince George's County, 2002; Yang vd., 2013). Yağmur suyu akışındaki kirleticiler çökeltme, sızma ve biyolojik dönüşüm/ayırışma yoluyla yağmur bahçeleri tarafından tutulabilir ve uzaklaştırılabilir (USEPA, 2004). Yağmur bahçeleri, özellikle kentsel alanlarda, bir yağmur suyu yönetim uygulaması olarak son yıllarda giderek daha popüler hale geldi (Dietz, 2007; Davis vd., 2009). Yağmur bahçelerinin kullanımındaki bu hızlı artış öncelikle boyut, konum, estetik değer ve maliyet etkinliği açısından geleneksel yöntemlere daha işlevsel ve sürdürülebilir olmasından kaynaklanmaktadır (Davis, 2005; Srivastava ve Majumder, 2008; Trowsdale ve Simcock, 2011; Yang vd., 2013).

Yağmur bahçesi çatılardan, yollardan, sokaklardan vb. gelen yağmur sularını yakalayan belirli bir alanda tasarlanmış çöküntü biçiminde bir alandır. Yağmur bahçesine

gelen akış geçici olarak göllenir yani akış yakalanır, suyun kanalizasyonlarına akmak yerine toprağa sızmasına imkan sağlar. Fırtına kanalizasyonlarına giren kirli akış, doğrudan denizler, nehirler, akarsular, göller, göletler veya sulak alanlarımız yani “alıcı sulara” gönderilir. Yağmur bahçeleri, su kalitesini korumak için yağış yönetimine yardımcı olmak için iyi sızma oranlarına sahip topraklara dayanan sızma tabanlı bir YSY uygulamasıdır. Yağmur bahçeleri, hem estetik açıdan hem de hidrolojik olarak işlevsel olan peyzajlardır, yani su kalitesi sorunlarına ve sele neden olan yüzey akışı hafifletmek amacıyla yağışı tutan ve kontrollü olarak yer altına sızarak su kaynaklarını koruyan ve besleyen uygulamalardır. Yağmur bahçelerinin en önemli özelliklerinden biri de tek bir konut bahçesinde bile uygulanabilir olmasıdır (The Iowa Stormwater Partnership, 2008). Şekil 10’da bir yağmur bahçesinin çalışma prensibi anlatılmıştır (URL-9).



Şekil 10. Bir yağmur bahçesinin çalışma prensibi (URL-9)

Yuan ve Dunnett (2018), yağmur bahçelerinde kullanılabilecek bitki türleri hakkında yaptıkları araştırma sonucu, işlevsel açıdan uygun olan 15 bitki türü belirlemişlerdir. Bu bitkiler yüzeysel akıştaki kirliliğin filtre edilmesi, suyun tutulması ve kontrolü gibi özellikleriyle ön plana çıkmıştır. Yuan ve Dunnet’in çalışması sonucu belirlenen türler şunlardır:

- *Amsonia tabernaemontana* var. *salicifolia*

- *Astilbe 'Purple Lance'*
- *Calamagrostis brachytrica*
- *Caltha palustris*
- *Deschampsia flexuosa*
- *Filipendula purpurea*
- *Gaura lindheimeri*
- *Hemerocallis 'Golden Chimes'*
- *Iris sibirica*
- *Miscanthus sinensis*
- *Molinia caerulea*
- *Rudbeckia fulgida* var. *Deamii*
- *Sanguisorba tenuifolia 'Purpurea'*
- *Thalictrum aquilegifolium*
- *Veronicastrum virginicum*

1.7.3. Biyo Hendekler

Kentsel alanlarda geçirimsiz yüzeylerin artmasıyla yağmur suyu akış miktarı da artmaktadır. Araştırmalar yağmur suyu akışının artmasının su kaynaklarını olumsuz yönde etkilediğini ve bunun sonucunda ciddi kanal erozyonu, taşkınlar, içme sularının kirlenmesi, yeraltı suyu kaynaklarında azalma gibi olumsuzluklarla sonuçlandığını göstermiştir (Paul ve Meyer, 2001; USEPA, 2005; Schoonover vd., 2005; Schoonover vd., 2006; Shuster vd., 2007). Akuatik habitat bozulmasıyla sonuçlanan akıştaki kirleticiler tortuları, besin maddelerini, metalleri, sentetik organikleri, patojenleri ve hidrokarbonları içerebilir (Mazer, vd., 2001; Greenstein vd., 2004; Coleman II vd., 2011). Artan kentleşmeden kaynaklanan geçirimsiz yüzeylerin artışı sonucuyla mücadele edebilmek için geliştirilen sürdürülebilir kentsel drenaj sistemleri, düşük etkili gelişme, suya duyarlı kentsel tasarım ve en iyi yönetim uygulamaları gibi tasarım stratejileri doğrultusunda birçok uygulamalar geliştirilmiştir (Fletcher vd., 2015).

Yağmur suyu akışının etkilerini en aza indirmek için benimsenen bir uygulama olan biyo tutma sistemleri mantığıyla çalışan, biyofiltrasyon hendekleri veya biyo hendekler (bioswale) olarak adlandırılan tasarım uygulamaları son yıllarda sıklıkla kullanılmaktadır

(Mazer vd., 2001; Read, vd., 2008). Biyo hendekler, akış hacimlerini azaltmak ve/veya yüzeysel akıştan kaynaklanan kirleticileri ve partikül maddeleri uzaklaştırmak için tasarlanmış bitkili kanallardır (Read vd., 2008). Boyutları ve tasarım uygulamalarındaki esneklikleri kentsel peyzajlarda çok çeşitli şekillerde yer almalarına müsaade eder ve tercih edilebilirliğini artırır (Bratieres vd., 2008).

Biyo hendek tasarımının önemli bir bileşeni, kirleticilerin temizlenmesi ve yağmur suyunun tutulması ve sızmasında görev yapan bitkilerdir (Hatt, vd., 2009). Bitki seçimi alanın şartlarına göre değişkenlik gösterir ancak çim türleri, çalılar ve ağaçları içerebilir (Read vd., 2008). Bitkilerin boyutu, biyo hendeklerin işlevini belirlemede önemli bir faktördür (Bratieres vd., 2008; Read vd., 2008). Ağaçlar, biyo hendeklerin performansını iyileştirmek için daha uygun olabilir, çünkü ağaçların tepe taçları ve toprak altı kütleleri daha kısa boylu bitkilerin formlarına göre yağmur suyu dinamikleri üzerindeki potansiyel etkilerini daha üst düzeye çıkarır. Ağaçların biyo hendeklerdeki faydası suyun ve kirleticilerin kökler tarafından emilmesinden fazlasıdır. Ağaçlar sıkıştırılmış alt topraklar aracılığıyla kök kanalları oluşturarak su sızma oranlarını artırarak akışı hafifletebilirler (Bartens vd., 2008). Ağaçların tepe tacı ve toprak üstü diğer kısımları, yere düşen yağış miktarının bir bölümünü yavaşlatır, engeller, intersepsiyonu artırır (Xiao ve McPherson, 2011; Livesley vd., 2014; Scharenbroch, vd., 2016).

Kentsel alanlarda YSY için son yıllarda kullanılan peyzaj öğelerinin önemli bir bileşeni olan biyo hendekler, yüzey akışını hafifletmek ve akıştan kaynaklanan kirliliği azaltmak için tasarlanmıştır. Biyo hendekler bitki örtüsü, kompost ve/veya riprap ile dolu bir drenaj kanalından oluşur. Akış yolu yüzeysel akışı suyun hendekte harcadığı zamanı en üst düzeye çıkarmak için tasarlanmıştır. Bu da kirleticilerin tutulmasına yardımcı olur (USEPA, 1999). Biyolojik faktörler de belirli kirleticilerin parçalanmasına katkıda bulunur. Xiao ve McPherson (2011) çalışmaları kapsamında, ABD Kaliforniya'da otopark alanında tasarladıkları biyo hendekle, 1.5 yıl boyunca toplam 563.8 mm'lik yağış bırakan 50 yağış süresince yaptıkları ölçümler sonucu, biyo hendeklerinin yüzeysel akışı %88.8, yüzeysel akıştaki kirleticileri ise %95.4 azalttığını belirtmişlerdir.



Şekil 11. Yol ve Otopark arasına tasarlanmış bir biyo hendek

Biyo hendekler tipik olarak doğrusal kanallar şeklindedir, en kesitleri parabolik, yamuk veya v şeklinde olma eğilimindedir. Bu nedenle, biyo hendekler en iyi şekilde park yerlerine, yollar ve kaldırımlar boyunca veya doğal veya mevcut drenaj hendeklerine bir kurulduğunda iyi çalışırlar; ancak hafif bir eğim olması koşuluyla (yüzde beşten fazla olmayan) herhangi bir yerde inşa edilebilirler. Erozyon riski nedeniyle çok dik veya eğimli alanlarda biyo hendekler uygun değildir. Yoğun bitki örtüsü en etkili filtrelemeyi sağlayarak alana özgü doğal bitkileri uygun bir seçim haline getirir. Depolama kapasitesini artırmak için kanalın altına geçirgen malzemeler (çakıl vb.) eklenebilir. (URL-10).

Şekil 11’de Almanya, Hannover’de yol ve otopark arasında tasarlanmış bir biyo hendek örneği bulunmaktadır (URL-10).

1.7.4. Geçirgen Kaplamalar

Kentleşmenin alıcı sular üzerindeki etkilerinin çoğu, geçirgenliği yüksek bitkilendirilmiş alanların geçirimsiz sert yüzeylere dönüşmeleri nedeniyle, sızmanın azalması, akışların kontrolünün zorlaşması, kirleticilerin alıcı sulara ulaşabilirliğinin artmasından kaynaklanır (Van Seters vd., 2006). Yağmur suyu yönetimi kentlerdeki hidrolojik süreçleri ve dolayısıyla kentsel altyapıları birçok şekilde etkiler. Geçirimli yüzey

alanları artan kentlerde bu durumun olumsuz etkileri insan yaşamlarını ve ekosistem varlığını tehdit etmektedir.

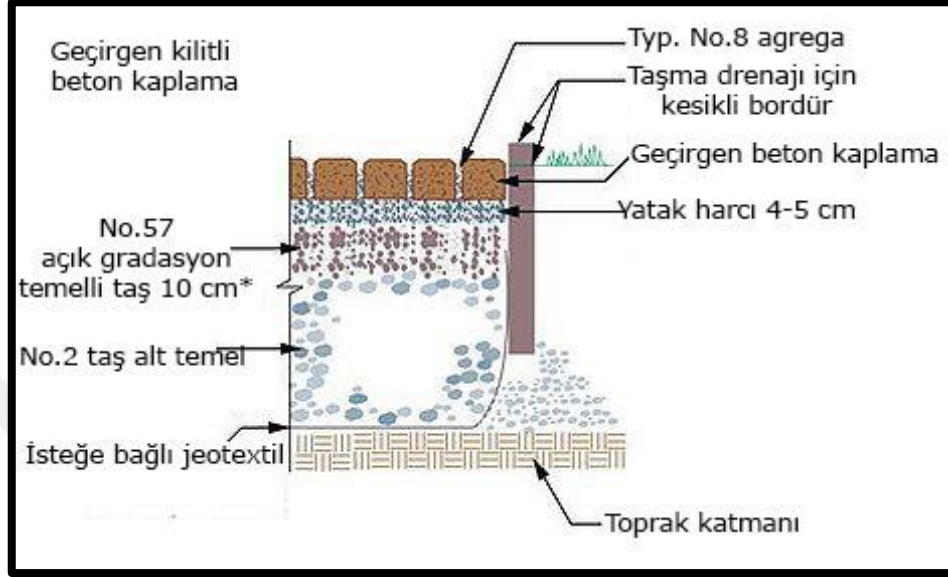
İnfiltrasyon tabanlı çalışan yağmur suyu yönetim uygulamaları akış hacimlerini ve su kaynakları üzerindeki olumsuz etkileri azalttığı için giderek daha popüler hale gelmektedir. Özellikle otopark alanları için, geçirgen kaplama ve biyo hendekler en doğru uygulamalardan ikisi olarak ön plana çıkmaktadır (Van Seters vd., 2006). Geçirgen bir kaplama veya biyo hendek yüzey akışının kaplamadaki boşluklardan veya kaldırım kenarı hendeklerinden sızmasına izin verir. Akış doğal olarak toprağa sızdığından arıtma ihtiyacını azaltır ve yeraltı veya yer üstü tutma alanlarına olan ihtiyacı ortadan kaldırır (City of Tacoma, 2003).

Geçirgen kaplamalar, yağmur suyunda çok çeşitli kirlilik kontrolü ve yüzey akış azaltma için çok etkili bir yönetim uygulamasıdır. Yaya yolları, dış mekan alanları, park alanları ve araç yollarının yanı sıra orta yoğunlukta trafik kullanımına sahip alanlar için daha uygun olan bu kaplamalar sızmayı kolaylaştırarak yüzeysel akış miktarını azaltırlar (Scholz ve Grabowiecki, 2007). YSY'de geçirgen kaplamaların işlevi yeraltı suyu kaynaklarını desteklemek amacıyla yağmur suyunun toplanması, sızması ve arıtılmasıdır. Geçirgen kaplamalar, özellikle sürdürülebilir drenaj sistemlerinde, yağmur suyunun geri dönüşümü, hidrokarbonlar ve ağır metaller gibi zararlı maddelerden kaynaklanan kontaminasyonun kontrolü için iyi bir çözümdür (Dierkes, vd., 2002). Geçirgen kaplamaların zemin altı detayları ve temelin toplam boyutu, geçirgen kaplamanın hızlı bir şekilde akışı tahliye edebilmesi ve ani taşkınları önlemek için suyu depolayabilmesi için önemli detaylardır (Imran vd., 2013).

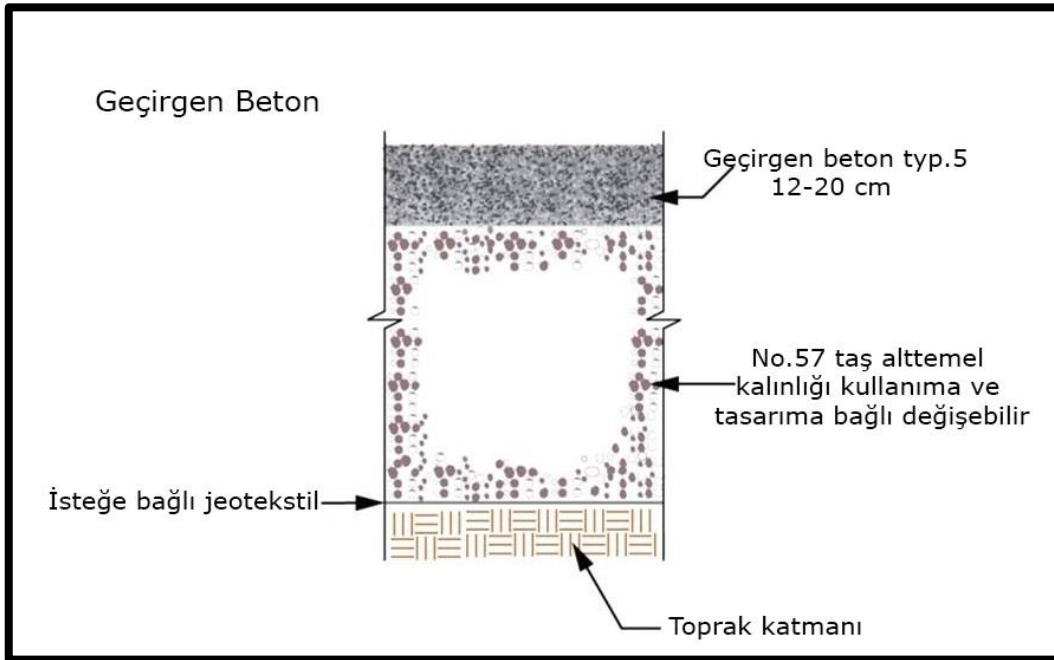
Geçirgen kaplamaların ve biyolojik hendeklerin su kalitesi üzerindeki etkileri konusunda yapılan bir araştırmada sızan akıştaki motor yağı, çözünmüş bakır ve çinkonun yağmur suyundaki konsantrasyonları geleneksel bir asfalt kaplamalı alandan gelen akıştan önemli ölçüde daha az olarak belirtilmiştir (Brattebo ve Booth, 2003).

Geçirgen kaplama sistemleri genellikle bir beton blok yapılardan veya boşlukları kum, çakıl veya toprakla doldurulmuş plastik ağ tipi bir yapıdan oluşur. Bu boşluklar yağmur suyunun kaldırımdan alttaki toprağa sızmasına izin verir ve bu da kentsel gelişmenin neden olduğu yağmur suyu akışının etkilerini azaltmada önemli bir rol oynayabilir (Brattebo ve Booth, 2003).

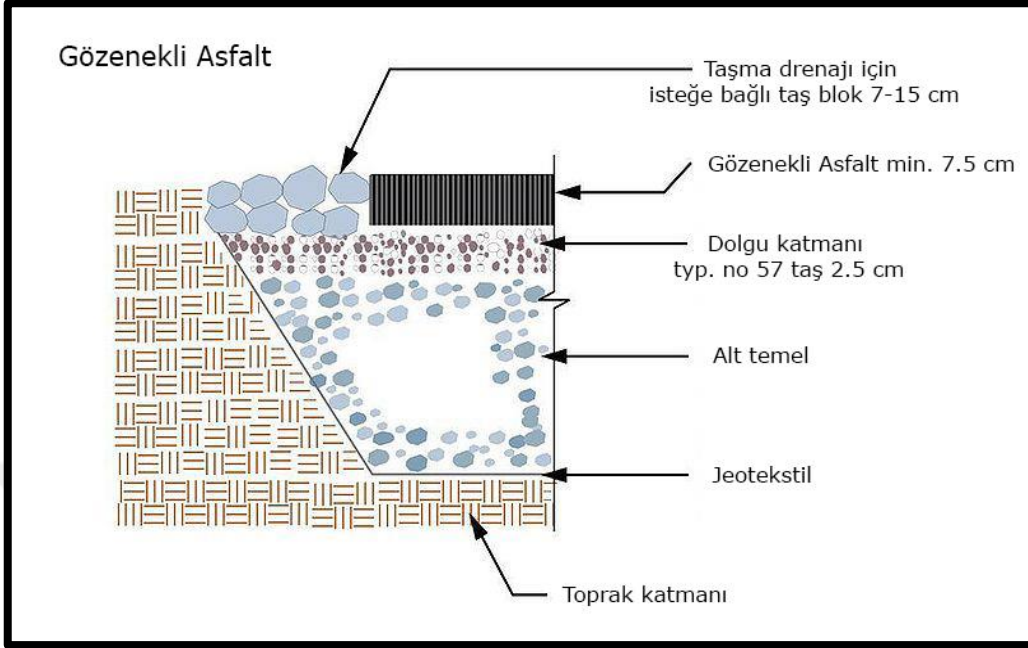
Geçirgen kaplamalar genellikle geçirgen beton, gözenekli asfalt, geçirgen kilitli beton kaplamalar ve bunların farklı varyasyonlarından oluşmaktadır. Aşağıdaki bu malzemeler ve detayları şematize edilmiştir (Şekil 12, 13, 14) (URL-11).



Şekil 12. Bir Geçirgen kilitli beton kaplama en kesiti (URL-11), *Açık gradasyonlu malzemeler, büyük hava boşluklu yapıya sahip olup malzemenin içerisinde suyun hareketini kolaylaştıran karışımlardır. No. 57 vb. ifadeler Amerika Test ve Malzeme kurumunun uluslararası geçerliğe sahip sınıflandırmasını ifade eder.



Şekil 13. Bir geçirgen beton en kesiti (URL-11)



Şekil 14. Bir Gözenekli asfalt en kesiti (URL-11)

1.7.5. Yeşil Çatılar/Çatı Bahçeleri

Kentsel alanlarda çatılardan gelen yağmur suyu akışı kanalizasyon kaynaklı taşkınlara ve kentsel su kalitesi sorunlarına önemli miktarda etki eder. Çoğu gelişmiş şehirde çatılar, geçirimsiz kentsel yüzey alanının yaklaşık %40-%50'sini oluşturmaktadır. Çatı akışının hızını ve hacmini azaltan herhangi bir teknik YSY'ye katkıda bulunma potansiyeline sahiptir (Stovin, 2010).

Sürdürülebilir kentsel drenaj sistemleri akışı azaltan ve kaynağına yakın yağmur suyu kalitesini iyileştiren, doğal hidrolojik süreçlere dayanan tasarım stratejileri olması nedeniyle şehirlerde yağmur suyunun yönetimi için teşvik edilen yöntemlerdir. Yeşil çatılar, enerji tasarrufu, kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, hava kalitesinin artması, biyolojik çeşitliliğin artması ve kentsel ortamların estetik değerinin artması gibi ek faydalar sunabilen sürdürülebilir bir kentsel drenaj sistemi uygulamasıdır (Charalambous vd., 2019). Ayrıca çatı kaplama malzemelerinin daha uzun ömürlü olması, gürültü ve hava kirliliğinin azaltılması gibi sayısız ekolojik ve ekonomik faydaların yanı sıra, yaşam alanı olarak daha

estetik görünüm katarlar (Getter ve Roww, 2006; Getter, vd., 2007; Simmons ve Gardiner, 2007).

Birçok araştırma yağmur suyu akışının azaltılmasını yeşil çatıların sağladığı en büyük çevresel fayda olarak örnek verilebilir. Yeşil bir çatı sisteminde yağışın çoğu ortamda veya bitki örtüsünde tutulur ve sonunda toprak yüzeyinden buharlaşır, terleme yoluyla atmosfere geri salınır veya harici bir toplama/depolama sistemine yönlendirilebilir (Getter vd., 2007). Yeşil çatı sistemi tipi tasarım alt tabaka derinliği ve bitki türleri gibi kriterlerin farklılaşmasıyla tutmayı miktarını etkilerken, araştırmalar yeşil çatıların yüzey akışında ortalama %60 ile %100 arasında azalmalar gösterdiğini vurgulamaktadır (Moran, 2004; DeNardo vd., 2005; VanWoert vd., 2005).

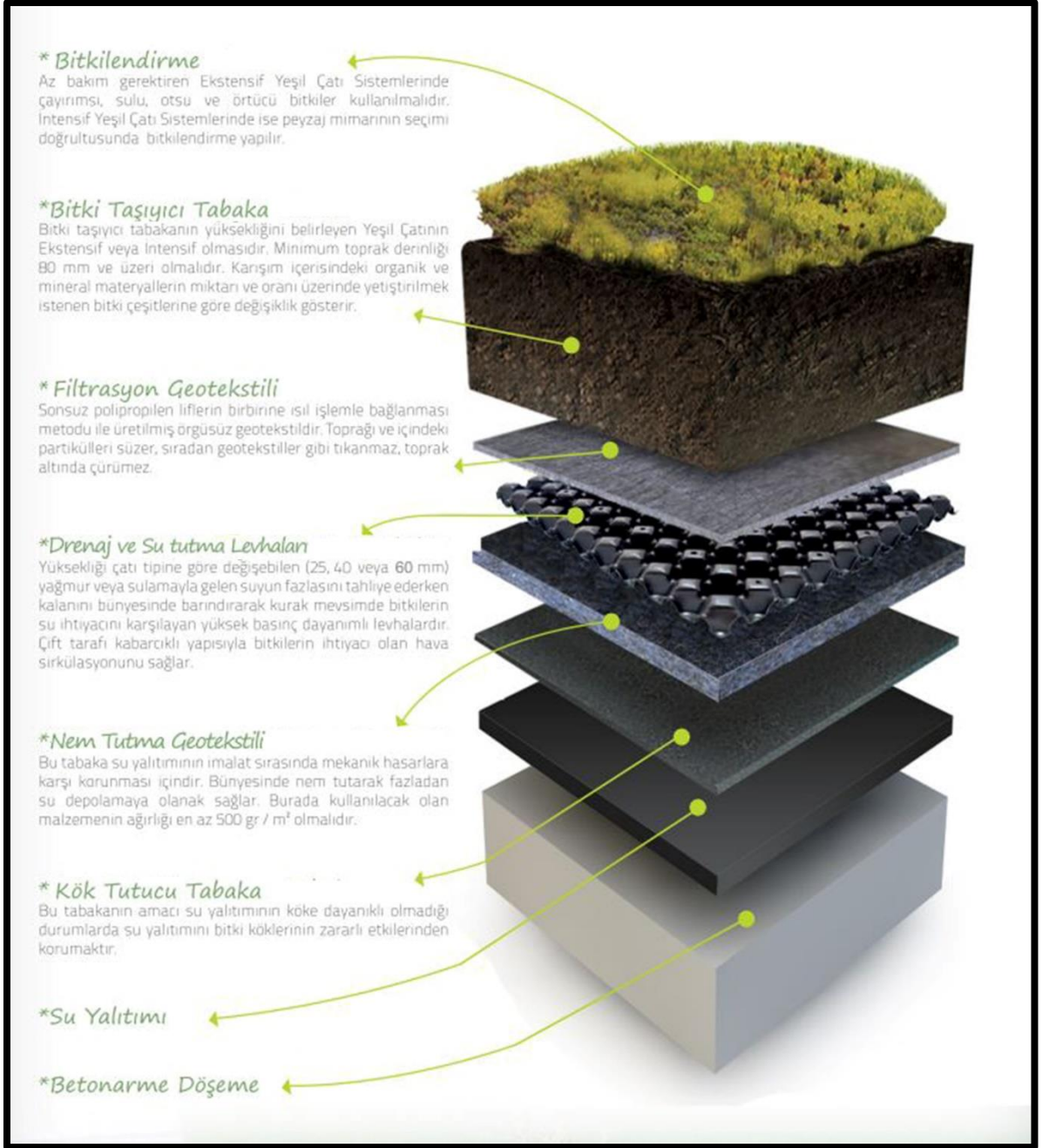
Yeşil çatılar yağmur suyunu muhafaza ettiğinden geçirimsiz yüzeylerin akışının etkilerini azaltabilirler. Peck (2005) çalışmasında, Toronto'daki tüm binaların %6'sının yeşil çatılara sahip olması durumunda, 60 milyon dolarlık bir depolama tüneli inşa etmekle aynı yağmur suyu tutma etkisine yol açacağını belirtmiştir. Benzer şekilde bir çalışmada Washington DC'de (ABD), her beş binadan birinde yeşil çatı olsaydı, şehrin yağmur suyu depolama kapasitesine 71 milyon litreden fazla (19 milyon galon) katkı yapar ve ortalama olarak bir yılda yaklaşık 958 milyon litre (253 milyon galon) depolayacağı tahmin edilmiştir. (Deutsch vd., 2005).

Yeşil çatı düz veya hafif eğimli bir çatının üzerine monte edilen bir su yalıtım sistemi üzerine dikilmiş bir bitki örtüsü tabakasıdır. Kapsamlı (extensive), yoğun (intensive) ve yarı yoğun (semi intensive) olmak üzere üç ana kategoriye ayrılırlar. Bunların kesin tanımları olmamasına rağmen geniş bir yeşil çatı mütevazı bir çatı yükü, sınırlı bitki çeşitliliği, minimum sulama gereksinimleri ile sık bir büyüme ortamına (genellikle 15 cm'den az) sahiptir ve genellikle erişilebilir değildir. Yoğun yeşil çatılar küçük ağaçlar da dahil olmak üzere daha çeşitli bir bitki seçimini destekleyebilen daha fazla toprağa ve daha derin bir yetiştirme ortamına (ortalama 1 metreden fazla) sahiptir. Bu nedenle daha önemli yapısal yüklere sahiptirler ve daha sık bakım ve sulamaya ihtiyaç duyarlar. Genellikle erişilebilirlerdir. Yarı yoğun yeşil çatılar her iki tipin özelliklerini de içermektedir. Herhangi bir yeşil çatının uygun derinliği, çatı yapısına, seçilen bitkilere, yıllık yağış miktarına ve yağmur suyu performans gereksinimlerine bağlıdır. Her üç çatı tipi de normal çatılarda bulunmayan özel çatı kaplama malzemeleri katmanları gerektirir. Yeşil bir çatının temeli bitki örtüsü, yetiştirme ortamı, filtre membranı, drenaj katmanı, su geçirmez/kök kovucu katman, yukarıdaki bitkiler için çatı kaplama membranı desteği, ısı yalıtımı, buhar kontrol

katmanı ve yapısal çatı desteğinden oluşur. Bu katmanların her biri bitkileri canlı tutmak ve altındaki yapıyı korumak için belirli bir işlevi yerine getirir. Şekil 15’de bir yeşil çatı temel detayları bulunmaktadır (URL-12).

1.7.6. Diğer Yağmur Suyu Yönetim Uygulamaları

İklim değişikliğinin aşırı hava olaylarının sıklığını ve yoğunluğunu artırması beklenmektedir (U.S. Global Change Research Program, 2018). Aşırı yağış olaylarının kentlere yapacağı olumsuz etkileri en aza indirmek için sürdürülebilir yağmur suyu yönetim uygulamalarına olan ilgi son yıllarda artmaktadır. Yağmur suyu yönetim uygulamalarının bazıları yeraltı depolama bileşenlerini içerir. Ayrıca yağmur suyu yönetim araçları kullanmak drenaj ve depolama altyapısının boyutunu ve maliyetlerini azaltabilir ki bu da geleneksel yağmur suyu altyapılarının daha iyi çalışmasını sağlayabilir (Taguchi vd., 2020). Bu bölümde önceki bölümlerde detaylı anlatılan biyo tutma alanları, yağmur bahçeleri, geçirgen kaplamalar, biyo hendekler ve yeşil çatılar harici diğer yağmur suyu altyapılarından bahsedilecektir.



Şekil 15. Bir Yeşil Çatı detayı (URL-12)

Bir kentsel alanı “doğallaştırmanın” veya “yeşillendirmenin” belki de en basit yolu cadde ve sokaklarda kullanılan kent ağaçlarıdır. Kent ağaçları tepe taçları yağmur sularının direkt yere düşmesini engeller, gövde ve dalları yardımıyla zeminle buluşma süresini uzatır, köklerinin çevresindeki topraklar yardımıyla suyu emerek toprağı stabilize ederler (Nowak ve Greenfield, 2018).

Sızma havuzları (*Infiltration basins*), tutma/Alıkoyma/Gözaltı havuzları (*Retention/Detention Ponds*) yağmur suyunu tutmak/biriktirmek, sızmayla yeraltı su kaynaklarının beslenmesini sağlayan uygulamalardır (Taguchi vd., 2020). Ayrıca son yıllarda yağmur suyu toplayıp yeniden kullanım için özellikler konut bahçelerinde sıklıklar kullanılan yağmur varilleri (*rain barrels*) ve sarnıçlar (*cisterns*) YSY konusunda basit ancak etkili örneklerdir.

1.8. Dünya’dan Yağmur Suyu Yönetimi Uygulamaları

Dünya çapında birçok önemli kentte yeşil altyapı uygulamaları ile kentsel alanlarda YSY, su kalitesinin korunması ve havza iyileştirmesi çalışmalarının yapıldığı görülmektedir. İngiltere’de Sheffield, Amerika Birleşik Devletleri’nde Portland (Oregon), Almanya’da Hannover, Singapur’da Bishan, Hollanda’da Rotterdam ve Çin’de Sanya (Hainan) kentlerinde yapılan uygulamalar bu çalışmalara verilebilecek örnekler arasında ön plana çıkmaktadırlar (Shakouri, 2016, Gülcü, 2021). Örnek olarak Portland kentinde yapılan uygulamalarla ilgili kent yönetimi kentin kanalizasyon sisteminin 4000 km üzerinde bir uzunluğa sahip olduğu ve bu sistemin üçte birinden fazlasının en az 80 yıllık olduğu belirtilmiş ve bu sistemin ancak etkin bir yağmur suyu yönetimi ile sağlıklı hizmet verebildiğinin altı çizilmiştir (URL-13). Hannover’de bulunan Kronsberg bölgesi EXPO 2000 projesi hazırlıkları kapsamında sürdürülebilir kentsel gelişmeye örnek olacak bir model olarak ele alınmış ve bu bölgede geleneksel drenaj sistemlerine alternatif bir yarı-doğal drenaj sistemi tasarlanmıştır. Sızma, biriktirme ve tutma kaynaklı YSY uygulamaları ile yağmur suyunun kontrolü ve depolanması için (Biyo hendekler ve biyo tutma alanları gibi) yenilikçi bir yaklaşım kullanılmıştır (URL-14) (Şekil 16). Benthemplein / Rotterdam’da (Hollanda) 2013 yılında kullanıma açılan “Water Park” projesi yoğun nüfusa sahip bir bölgedeki bir kent meydanında üç yağmur suyu toplama havuzu kullanımını temel almaktadır. Yağmurun yağmadığı günlerde özellikle civardaki okullardaki gençlere de hitap etmesi açısından kaykay alanları, amfitiyatro ve basketbol-voleybol sahası olarak hizmet veren alanlar, yoğun yağmurun olduğu dönemlerde yağmur suyunun yönetimine hizmet edecek şekilde tasarlanmıştır (URL-15) (Şekil 17). Singapur’da 2006 yılında başlatılan “ABC Waters” (The Active, Beautiful, Clean Waters) projesi kapsamında yapılan çalışmaların en önemli bölümlerinden olan “Bishan-Ang Mo Kio Park” kentsel bölgeden beton kanal şeklinde geçen Kallang nehrinin bir rekreasyon alanı olarak tasarlanan park

içinden geçecek şekilde dönüştürülmesini temel almaktadır (Shakouri, 2016). Bu proje 2016 yılında ASLA (Amerikan Peyzaj Mimarları Topluluğu) tarafından Onur Ödülü kazanmıştır (Şekil 18) (URL-15). Çin’in Hainan bölgesindeki Sanya kentinde bulunan “Sanya Mangrove Park” Hainan adasında sele yatkın ormanlık alanlarda teraslamalar ve biyo hendekler ile rehabilite edilerek oluşturulmuştur. Bu proje 2020 yılında ASLA tarafından Onur Ödülü ile ödüllendirilmiştir. Bir başka örnek olarak da İngiltere Sheffield kentinde kent içi bir yol boyunca biyo hendekler ve yağmur bahçeleri kullanılarak gerçekleştirilen “Greden Yeşile” (*Gray to Green*) projesi gösterilebilir (URL-16) (Şekil 19).



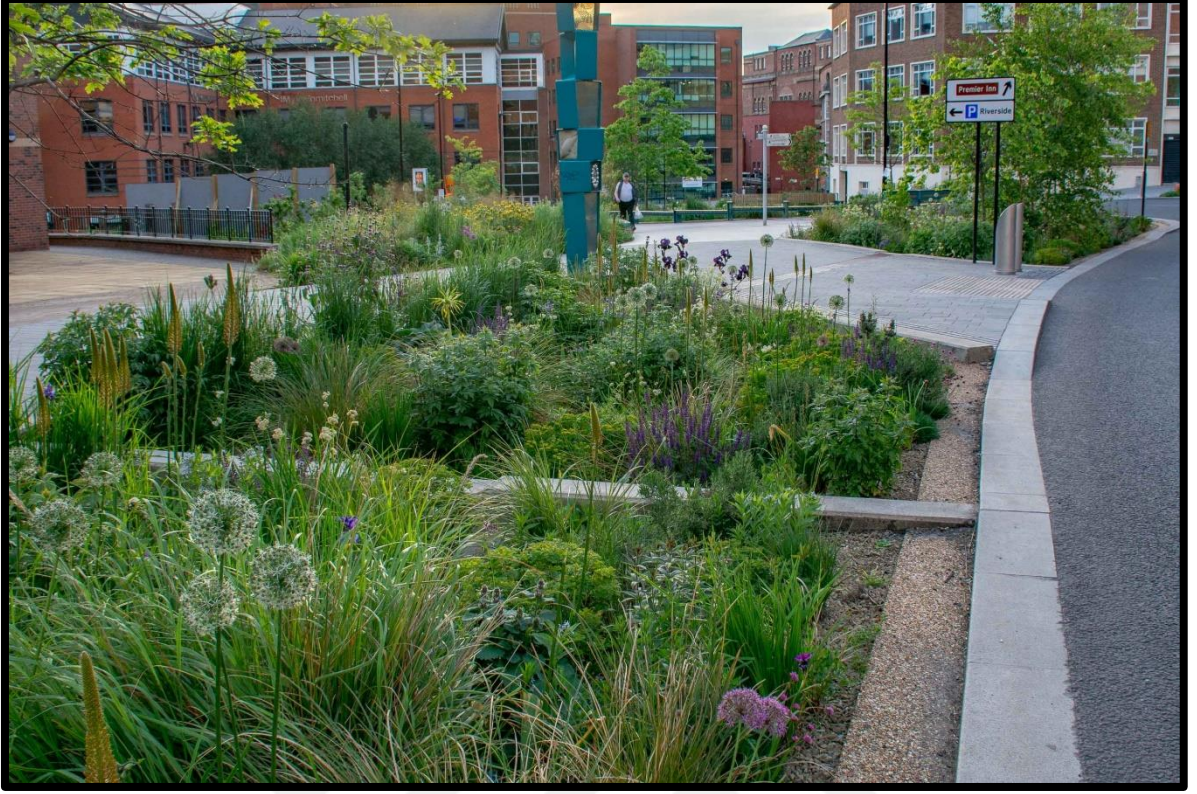
Şekil 16. Hannover/Kronsberg’te bulunan biyo hendek uygulaması (URL-14)



Şekil 17. Water Park - Rotterdam (URL-15)



Şekil 18. Bishan-Ang Mo Kio Park (URL-16)



Şekil 19. İngiltere Sheffield’deki “Green to Gray” projesinden bir görüntü (URL-17)

1.9. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Modern dünyada insanların karar verme süreçlerinde büyük bir değişim yaşanmaktadır. Gelişen dünyada kişisel tercihlerin önem kazanması ve insanlar arasındaki etkileşimin artması bu değişimin en önemli nedenlerindendir. Bilimsel çalışmalar ışığında olayların daha çok boyutlu olarak sistematik şekilde ele alınabilmesi, hemen her alanda rekabetin artması ve dünya genelinde refah seviyesinin artması gibi faktörler de karar verme noktasında yaşanan değişiminin sebeplerindendir. Örnek olarak 20. yüzyıl başlarında bir şirkette herhangi bir karar alma aşamasında tek bir yöneticinin sadece kâr odaklı bir tercih yapması normal bir süreçken günümüzde müşteri memnuniyeti, piyasadaki rekabet ve arz-talep dengeleri gibi birçok etkenin detaylı olarak incelenmesi sonucunda kararlar alınmaktadır. Karar verme aşamasında dikkate alınacak kriter sayısındaki artış bu süreçlerde kullanılacak yöntemlerin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu kapsamda geliştirilen matematiksel yöntemlerin bütünü “Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yöntemleri” (Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods) olarak adlandırılmaktadır.

Çok kriterli karar verme Matematik, İstatistik, Bilgisayar Bilimleri ve Endüstri Mühendisliği dahilindeki bileşenlerin oluşturduğu disiplinler arası bir dal olan Yöneylem Araştırması'nın bir alt alanıdır. ÇKKV yöntemlerinin geçmişi Amerikalı bilim insanı Benjamin Franklin'in 18. yüzyıldaki bir çalışmasına kadar gitse de bu alandaki ilerlemeler özellikle 20. yüzyılın ilk yarısında matematiksel programlamanın gelişmesi ile hız kazanmıştır (Köksalan vd., 2011). Bu tarihe kadar Georg Cantor ve Vilfredo Pareto gibi ünlü matematikçiler ÇKKV yöntemlerinin gelişimi için gerekli temelin oluşması konusunda katkıda bulunmuşlar ve dijital bilgisayarın geliştirilmesi ile gerçek hayatta karşılaşılan problemlerin incelenmesi için algoritma geliştirilmesinin önü açılmıştır (Köksalan vd., 2013). Bu sürecin ilk aşamasında birden fazla seçenek içeren problemlerin matematiksel programlama ile çözülmesi noktasında yaşanan sıkıntılar seçeneklerin ağırlıklar ile ele alınması sonrası aşılmıştır. 1970'lere kadar Macar-Amerikan matematikçi John von Neumann ve Alman-Amerikan Ekonomist Oskar Morgenstern'in Oyun Teorisi ve Amerikan İstatistikçi Leonard Jimmie Savage'in Bayesci İstatistik alanında yaptığı bilimsel çalışmalar bilgisayar teknolojisinin gelişimi yanı sıra yazılım alanındaki ilerlemeler ile bir araya gelmiş ve günümüzde kullanılan ÇKKV yöntemlerinin gelişiminin önünü açmıştır. 1970'ler sonrasında ÇKKV aktif bir araştırma alanı haline gelmiş ve bu alanda International Society on Multiple Criteria Decision Making (www.mcdmsociety.org) gibi uluslararası araştırma toplulukları kurulmaya başlanmıştır. 1972 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin Güney Karolina eyaletinde bulunan Columbia şehrinde düzenlenen ilk uluslararası çok kriterli karar verme konferansından günümüze gelen süreçte bu alanda birçok yöntem geliştirilmiş, bu yöntemler ekonomiden sağlığa, çevre bilimlerinden işletmeye birçok alanda kullanılır hale gelmiştir (Mota vd., 2012).

Çok kriterli karar verme yöntemlerinin yukarıda bahsedilen uygulama alanlarından biri de farklı yönleriyle birlikte birçok çalışmaya konu olmuş olan çevrebilimdir. Tatlı su kaynaklarının paylaşımı noktasında ortaya çıkan uluslararası krizlerin yönteminden (de Castro-Pardo vd., 2021) kentsel ve kırsal turizm için çevre destekleme stratejilerinin geliştirilmesine (Lin, 2020) kadar farklı alt alanlarda ÇKKV uygulamalarına rastlanmaktadır. Yeraltı suyu yönetimi ile ilgili SAW, TOPSIS gibi ÇKKV yöntemlerinin uygulanması (Roozbahani vd., 2018), kentsel drenaj yönetimi planlanmasında adaptif ÇKKV yöntemlerinin kullanımı (Tahmasebi Birgani ve Yazdandoost, 2018), yağmur suyu toplama yapılarının yerlerinin belirlenmesinde Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process) gibi yöntemlerin kullanılması (Ouali vd., 2022) ve çeşitli ÇKKV

yöntemlerinin su yönetimi planlanmasında şehirler özelinde uygulamaları (Mohammedi vd., 2015; Aher vd., 2017) yapılan bilimsel çalışmalara verilebilecek örneklerden bazılarıdır. Sel riski yönetimi noktasında da Coğrafi Bilgi Sistemi, matematiksel modeller ve Analitik Ağ Süreci (ANP) gibi ÇKKV yöntemlerinin bir arada kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır (Levy, 2005).

Literatürde var olan çok kriterli karar verme yöntemlerinin arasında ilgilenilen problemin değerlendirilmesi ve metodun tasarımı noktasında birbirinden ayrışan birçok yöntem bulunmaktadır (tablo 2). Ele alınan karar verme probleminin kullanılacak kriterler göz önüne alınarak alt problemlere ayrıklaştırılması ve bu kriterlerle ilgili yapılan değerlendirmeden elde edilen skorlar aracılığı ile son karara ulaşılmasını temel alan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) bu yöntemlere verilebilecek örneklerden biridir. 1977 yılında T. L. Saaty tarafından literatüre kazandırılan AHP yönteminin (Saaty, 1977) çevrebilimi ile ilgili su kaynaklarının yönetimi (Thungngern vd., 2015) gibi birçok probleme uygulandığı görülmektedir. 1960'larda literatüre giren bir başka ÇKKV yöntemi de Bernard Roy ve çalışma arkadaşları tarafından tanıtılan ELECTRE (Elimination Et Choice Translating Reality - Elimination and Choice Exressing the Reality) yöntemler ailesidir (Figueira vd., 2016). ELECTRE yöntemleri kabaca ikili karşılaştırmalara dayanır ve karar verme noktasında seçeneklerin sıralanmasını temel alırlar (Vakilipour vd., 2021). Alternatiflerin sıralanması ve ideale en yakın olan seçeneğin tercih edilmesini temel alan VIKOR yöntemi (Yu, 1973) ve doğru seçime yönlendirmektense karar vericiyi amacına en uygun alternatifte yönlendirmeyi amaçlayan PROMETHEE (Brans, 1982) yöntemi gibi farklı ÇKKV günümüzde hemen her alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin en popüler olanlarından biri ise C. L. Hwang ve K. Yook tarafından 1981 yılında sunulan TOPSIS yöntemidir (Hwang ve Yook, 1981).

Tablo 2. Literatürde yer alan bazı çok kriterli karar verme yöntemleri (Köseoğlu, 2019)

Yöntem Adı	Kısaltma
Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Süreci)	AHP
Technique for the Order of Prioritisation by Similarity to Ideal Solution (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği)	TOPSIS
Interactive and Multi-Criteria Decision Making (Etkileşimli ve Çok Kriterli Karar Verme)	TODIM
Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (Sırpça) (Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma Çözümü)	VIKOR
Complex Proportional Assessment (Karmaşık Oransal Değerlendirme)	COPRAS
Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis (Oran Analizi ile Çok Amaçlı Optimizasyon)	MULTIMOORA
Élimination Et Choix Traduisant la Realité - Fransızca (Eleme ve Tercih Değiştirme Gerçeği)	ELECTRE
Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (Çok Kriterli Sınır Yakınlık Alanı Karşılaştırması)	MABAC
The Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations (Değerlendirme İyileştirmesi için Tercih Sıralama Organizasyonu Yöntemi)	PROMETHEE
Weighted Aggregated Sum Product Assessment (Ağırlıklandırılmış Bütünleşik Toplam Çarpım Değerlendirmesi)	WASPAS

1.10. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yönteminin ismi “Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution” kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır ve “İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği” anlamına gelmektedir. TOPSIS yöntemi fayda kriterlerini maksimize ederken maliyet kriterlerini minimize eden “pozitif ideal çözüm” ve fayda kriterlerini minimize ederken maliyet kriterlerini maksimize eden “negatif ideal çözüm” tanımlarını kullanır. Bu yöntemle göre ilgilenilen problem için en uygun seçenek pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak olan seçenektir. Alternatifler ideal çözüme benzerliklerine göre sıralanır ve karar verilir (Benitez vd., 2007). TOPSIS yöntemi karmaşık matematiksel hesap algoritması gerektirmeden çeşitli bilgisayar programları ile uygulanabildiği için kimya mühendisliğinden spor bilimlerine kadar birçok alanda yaygın

olarak kullanılmaktadır (Behsedian vd., 2012, Köseoğlu, 2019). Tez çalışmasında kullanılmak üzere literatürde var olan birçok ÇKKV yönteminin arasından TOPSIS yöntemi tercih edilmiştir. Bu tercihin nedeni olarak TOPSIS yönteminin çevre bilimlerinde çokça kullanılan bir yöntem olması, matematiksel altyapısının alan dışındakiler tarafından da anlaşılabilir olması, ayrıca barındırdığı pozitif ve negatif ideal çözümler sayesinde tez çalışmasında ilgilenilen probleme uyumlu bir yapıya sahip olması gösterilebilir. Bu yöntemin tercihi materyal ve metot kısmında detaylandırılmıştır.

1.11. TOPSIS Yönteminin Yağmur Suyu Yönetiminde Kullanımı

Çok kriterli karar verme yöntemlerinin arasında en yaygın kullanılanlardan olan TOPSIS yönteminin YSY konusunda uygulanması üzerine literatürde çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda TOPSIS yöntemi gerek tek, gerek farklı ÇKKV yöntemleriyle birlikte kullanıldığı gibi bulanık (Fuzzy) sayılar ile de kullanılabildiği görülmektedir. Bu çalışmaların genel eğiliminin genellikle araştırmacıların bulundukları şehir/bölge özelinde yağmur suyu toplama alanlarının belirlenmesi ve sel riskinin azaltılmasında kullanılacak stratejilerin oluşturulması olduğu görülmektedir.

Son yıllarda bu konuda yapılan çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir. Wang vd. tarafından 2017 yılında yapılan bir çalışmada yağmur suyu toplanması ile ilgili sürdürülebilir drenaj sistemlerinin tasarlanması için TOPSIS yönteminden yararlanılmıştır (Wang vd., 2017). Jayasooriya vd. tarafından 2018 yılında yapılan bir çalışmada sanayileşmiş bölgelerde yağmur suyu yönteminde yeşil altyapı kullanımı ile ilgili bir inceleme Melbourne örneği üzerinde TOPSIS kullanılarak yapılmıştır (Jayasooriya vd., 2018). Haider vd. tarafından 2019 yılında yapılan bir çalışmada sel riski yönteminde yağmur suyu toplanmasının kurak bölgeler özelinde değerlendirilmesi ile ilgili bir inceleme TOPSIS yöntemi kullanılarak yapılmıştır (Haider vd., 2019). Chiu vd. tarafından 2020 yılında yapılan bir çalışmada İran için içme suyu tasarrufu planlarında yağmur suyu toplama sistemlerinin GIS (Geographical Information Systems – Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)) ile kullanımına odaklanan bir çalışma TOPSIS yönteminin uygulamasını içermektedir (Chiu vd., 2020). Zeng vd. tarafından 2021 yılında yapılan bir çalışmada yeşil altyapının iklim değişimi senaryolarında değerlendirilmesi üzerine TOPSIS temelli bir inceleme yapılmıştır (Zeng vd., 2021). Tahvili vd. tarafından 2021 yılında yapılan bir çalışmada İran'daki kurak bölgelerde uygun yağmur suyu toplama alanlarının belirlenmesi için TOPSIS yöntemi

kullanılmıştır (Tahvili vd., 2021). Chae vd. tarafından 2022 yılında yapılan bir çalışmada yüksek kentleşme oranına sahip havzalarda geçirgen kaplamaların iklim değişikliğini göz önünde bulundurarak kullanımı ile ilgili bir çalışma TOPSIS yöntemi ile bir başka ÇKKV yöntemi olan VIKOR yönteminin uygulamasını içermektedir (Chae vd., 2022). Benzeri çalışmaların da literatürde yer aldığı ve yayınlara verilecek örneklerin genelde bölge uygulamaları – yöntemlerin birlikte kullanılarak modifiye edilmeleri özelinde arttırılabileceği söylenebilir. TOPSIS, karar verme için sezgisel ve net bir mantık, kolay ve verimli hesaplama, ideal çözümlere kıyasla her bir alternatifin uygunluğunu ölçme yeteneği ve sonuçların görsel bir temsilini sunar (Roszkowska, 2011). Yağmursuyu yönetimi stratejisi seçimi problemine kolayca uygulanabilir olması ve yukarıda listelenen avantajları, bu çalışma için TOPSIS yönteminin seçilmesindeki sebeplerin en önde gelenlerindendir.

1.12. Literatür Taraması

Kentler insanların birincil yaşam alanlarıdır. Ancak dünya nüfusunun giderek artması, kentler ve kentsel alanların büyümesine ve gelişmesine bu da kentlerdeki geçirimsiz yüzeylerin artmasına neden olmuştur. Küresel iklim değişikliğinin etkisiyle artan aşırı yağışların sayısı ve sıklığı artmaktadır. Geçirimsiz yüzeylerin artışa geçtiği kentler bu durumla başa çıkmak konusunda zorluk yaşamakta ve küresel ölçekte sel, su baskını gibi afetlere karşı dirençsiz kalmaktadır. YSY konusu bilim insanları için yeni bir çalışma konusu değildir ancak son yıllarda özellikle küresel iklim değişikliğinin etkisini daha fazla hisseden insanların sayısının artmasıyla bu konuya olan ilgi artmıştır. Bu nedenle YSY literatürüne birbirinin muadili olarak kabul gören hatta uygulamalarının birçoğu ortak veya benzer olan birçok yönetim felsefesi girmiştir. Yeşil Altyapı, DEG, EİYU, DEKTG, EİYU, DTÇ, SKDS, Sünger Şehirler gibi yönetim stratejileri dünyanın farklı bölgelerindeki bilim insanları tarafından geliştirilen ancak aynı amaca hizmet eden stratejilerdir. Yukarıda da bahsedildiği gibi bunların uygulamalarının çoğu da benzer veya ortaktır. Yağmur bahçeleri, biyo tutmalar, geçirgen kaplamalar, yeşil çatılar, biyo hendekler gibi uygulamaların her biri literatürde yukardaki stratejilerin birden çoğunun uygulaması olarak kendine yer bulmuştur. Bu uygulamaların her biri kentsel alanlarda uygulanabilir vaziyettedir ancak herhangi bir alan için en doğru uygulamanın hangisi olduğu konusu literatürde daha fazla irdelenmesi gereken bir konu olarak göze çarpmaktadır. Çünkü her alanın kendine özgü yağış miktarı, nüfus, eğitim, toprak özellikleri, yüzey kaplama malzemesi vb. kriterleri bulunmaktadır. Bu

da açıkça gösteriyor ki alanlar kullanım amaçları ve belirli kriterler doğrultusunda YSY'de bir veya birden fazla uygulamaya ihtiyaç duyabilir. ÇKKV bu tip çalışma alanları için en doğru uygulamayı belirlemek konusunda uygun bir yöntemdir ve literatürde örnekleri de mevcuttur ancak hala boşlukların bulunduğu bir çalışma alanıdır.

YSY tarihini inceleyen çalışmalar insanların binlerce yıl önce bile bu konuyla ilgilenildiğini ortaya koymaktadır. YSY'nin tarihsel gelişimini ele alan çalışmalarda Echols ve Pennypacker (2015) yağmur suyunun binlerce yıldır tarımsal bağlamlarda bir kaynak olarak değerlendirildiğini, kentsel alanlarda ise bir atık ürün olarak kabul edildiğini vurgulamışlardır. Devamında tarihsel yönetim stratejilerinde bazı istisnalar dışında kentsel yağmur suyunun hafifletilmesi, ortadan kaldırılması veya kontrol edilmesi gereken bir sorun olduğundan bahsetmişlerdir. Han (2007) Asya ve Pasifik bölgelerdeki YSY'nin tarihçesini incelediği çalışmada milattan önce 2333 yılında Gochosun Krallığı adındaki eski medeniyetlerde insanların yağmur suyundan faydalanmak ve bazı ihtiyaçlarında kullanmak adına yağmur suyu topladıklarından bahsetmiştir. Çalışmada ayrıca daha sonraki dönemlerde (M.S. 330) ortaya çıkan Baekje Hanedanlığı yağmur suyunu biriktirmek ve kullanmak adına rezervuarların inşa edildiğini, bunların kimisinin 10,000 hektar büyüklüğünde olduğunu belirtmiş ve YSY'nin antik çağlardan beri insanlar için önemine vurgu yapmıştır. Krajewski (2021) çalışmada kentsel YSY'nin tarihsel evriminin yanı sıra mevcut eğilimler, zorluklar ve paradigma değişikliklerinin ortaya koymuştur. Bu çalışmada gelişmiş şehirlerdeki mevcut kentsel yağmur suyu altyapılarının çoğunun Avrupa'da 19. yüzyılın ikinci yarısında geliştirilen modern kentsel kanalizasyon sistemlerine dayandığını belirtmektedir. Bununla birlikte 1970'lerin başında, artan kentleşmeyle birlikte, toprağın yapaylaştırılması, akifer beslenmesinin azaltılması, yüzey suyunun kirlenmesi, ekolojik etkiler vb. nedenlerle kentsel alanlarda YSY'nin konusunun daha da önem kazandığına vurgu yapılmıştır.

YSY konusundaki çalışmalar incelendiğinde kentsel alanların kontrolsüz bir şekilde büyümesi, gelişmesi ve bunun beraberinde getirdiği sorunları ele alan ve çözüm arayacak şekilde odaklandığı görülmektedir. Tarihsel sürece bakıldığında özellikle son 40 yılda çalışmaların arttığı açık bir biçimde görülmektedir. Bu alanda öne çıkan bazı çalışmalardan bahsetmek gerekirse; Hodds (2017) çalışmada geçmişten günümüze yaklaşık 150 yıllık bir süreçte daha önce ormanlık arazi olan bir alanın kentsel alana dönüşümünü ve alandaki yüzey örtüsü değişimlerinin beraberinde getirdiği sorunlardan bahsetmiş, daha sonra geleneksel YSY çözümlerinin “yeşil” yağmur suyu çözümlerine doğru evrimleşmesi

sürecini anlatmıştır. Kentleşmenin etkileri ile YSY'nin değişimini ele alan bir başka çalışmada Wu vd. (2019) iklim değişikliği ve kentleşme nedeniyle kentsel alanlarda sel tehdidi ve etkilerinin arttığını bu sebeple YSY alanına olan ilginin son yıllardaki artışını vurgulamışlardır. Çalışmalarında 1980'den 2019'a kadar Web of Science'ın (WoS) veritabanına dayalı 3080 makaleyi analiz etmişler ve tanımlamak için bilimsel bir bibliyometrik analiz yazılımı olan CiteSpace'i kullanmışlardır. Ortaya koydukları sonuçlar konuyu detaylı bir şekilde ele almaktadır ancak en çarpıcı olan sonuçlardan biri, YSY'de metodolojinin uğradığı değişim ve sürdürülebilir YSY çalışmalarının baskın olarak akademik çalışmaların ilgi odağında olması olarak göze çarpmaktadır. Özellikle sünger şehirler, kirlilik kontrolü, yeşil çatılar, en iyi yönetim uygulamaları, kentsel drenaj sistemleri, su kalitesi “anahtar kelimeleri” çalışmalarında en çok karşılaştıkları baskın kavramlar olarak dikkat çekmiştir.

Hale (2016) çalışmasında, YSY'nin kentsel hidroloji, su kalitesi ve sel riski için önemli sonuçları olduğunu ve tarih boyunca insan yaşamını önemli ölçüde etkilediğini vurgulamıştır. Son zamanlarda bu paradigmalarda değişikliklerinin yerel ölçekte nasıl sonuçlanacağı ve yağmur suyu altyapısı kullanımındaki yerel değişikliklerin kentler arasında nasıl farklılıklar oluşturacağını ortaya koymak için Utah eyaletinin (ABD) üç farklı kenti için bir araştırma yapmış ve bu araştırmanın temelini iki farklı şekilde ele almıştır.

(1) Benzer biyofiziksel ve iklimsel bağlamlara ancak farklı kalkınma geçmişlerine sahip üç şehirde mevcut altyapı kullanımı ve geçmişteki altyapı geçişleri nasıl farklılık gösteriyor?

(2) Yağmur suyu ve taşkın yönetimi paradigmaları bir şehirde kentleşmenin ilk evrelerinden günümüze nasıl değişti?

Sonuçlar, yağmur suyu altyapısı gelişiminin kentlerin sosyoekonomik durumları benzer olsa da arazi örtüsü biçimi, kent hidrolojisi, iklim vb. faktörlere göre ayrılabilirliğini ve yerel ölçekte farklı metotlarla çözümlenebileceğini göstermiştir.

YSY ile ilgili literatürdeki son 5 yılı taradığımızda ön plana çıkan çalışmaların daha çok yönetim uygulamalarıyla ilgili olan çalışmalar olduğu göze çarpmaktadır. Bu çalışmalardan en önemlilerinden biri (WoS atfı sayısına göre) Berland vd.'nin (2017) çalışmasıdır. Bu çalışmada kentsel geçirimsiz yüzeylerin artmasıyla yağışların yüzeysel akışa dönüşerek su kalitesi ve miktarı konusunda sorunlara neden olduğu vurgulanmaktadır. Bu sebeple geleneksel YSY'nin yağmur suyunu toplamak ve atık su arıtma tesislerine veya yüzey sularına iletmek için borular vb. ile gri altyapıya uygulamalarına dayandığını, ancak

bu uygulamaların sorunun çözümü konusunda ihtiyaçlara cevap veremediğini belirtmişlerdir. Bu konuda istenilen çözümlerin yeşil altyapı uygulamaları olabileceğinden yağmur bahçeleri, biyo hendekler ve geçirgen kaplamaları içeren sızma tabanlı yeşil altyapı teknolojilerinin kullanımının önemini vurgulamıştır. Ek olarak kent ağaçlarının YSY'deki faydalanmış vurgulanmış ve bu konu detaylı olarak ele alınmıştır.

Qiao vd. (2018) yerel yönetimler perspektifinden kentsel YSY'deki zorlukları inceledikleri literatür çalışmasında 44 makaleyi incelemişlerdir. Belirlenen zorluklar, liderlik ve sorumluluk sahiplerinin karar yanlışları, finansman eksikliği, sürdürülebilir YSY çözümlerine ilişkin maliyet verilerinin eksikliği, alan ve bilgi eksikliği, tek tip kılavuzların eksikliği ve paydaş katılımının eksikliği gibi zorluklar en belirgin nedenler olarak bulunmuştur.

Golden vd. (2019) çalışmalarında geleneksel drenaj sistemlerinden sürdürülebilir YSY'ye geçişi, önemini ve zorluklarını araştırmışlardır. İsrail'de yapılan çalışmalar bireysel görüşmeler ve odak gruplarını analiz ederek yapılmıştır. Analizler mesleki farkındalık ve kararlılıkta önemli değişiklikler ortaya koymuş, profesyonel çalışma standartlarında bazı ilerlemeler göstermiştir. Özellikle sızma tipi uygulamalarını destekleyen düzenleyici sistemdeki kentsel ve bölgesel planlama sistemi, gelenekselden sürdürülebilir YSY'ye geçiş sürecini geliştirmede çok önemli bir rol oynayabileceğini göstermiştir.

Zeng vd. (2021) çalışmalarında YSY çalışmalarında sıklıkla kullanılan bir hidrodinamik yağış-akış ve kentsel drenaj simülasyon modeli olan Yağmur Suyu Yönetim Modeli SWMM uygulamasını ele almış ve bu uygulamayı geliştirmeye odaklanmıştır. Geleneksel SWMM'yi web teknolojisine dayalı gerçek zamanlı kentsel YSY'ye doğrudan uygulamanın zor olduğu belirtip kentsel su yönetimi için gerçek zamanlı bilgi işlem hizmetleri sağlayabilen (WEB-SWMM) bir web hizmeti çerçevesi tasarlanmış ve uygulanmıştır. Test sonuçları WEB-SWMM'nin gerçek zamanlı bilgi işlem hizmetlerini istikrarlı, hızlı ve doğru bir şekilde sağlayabildiğini göstermektedir. Ayrıca bu çalışmada önerilen web tabanlı hidrolojik model çerçevesinin mevcut hidrolojik modellerin çoğuna da uygulanabileceği vurgulanmıştır.

Wang vd. (2022) çalışmalarında YSY alternatiflerinden biri olan geçirgen kaplamaları incelemişlerdir. Çalışmada hidrolojik özellikler, termal fiziksel özellikler, yapı tasarımı ve tıkanma direnci dahil olmak üzere kentsel sel ve kentsel ısı adası (KIA) etkisini azaltmayı etkileyebilecek geçirgen kaplamaların temel parametrelerini belirlemişlerdir. Devamında YSY ve kalite kontrollü tasarım ve üretim, periyodik bakım ve uygulama ortamlarına dayalı

etkili değerlendirme sisteminden KIA azaltma üzerindeki performansına yönelik ortak fayda yaklaşımını belirlemişlerdir.

YSY’de uluslararası literatürde birçok çalışma bulunsa da ulusal literatür bu konuda yetersiz kalmaktadır. Google Scholar üzerinden “Stormwater management” taraması yapıldığında karşımıza 82.500 sonuç çıkmaktayken “yağmur suyu yönetimi” taraması yapıldığında karşımıza sadece 260 sonuç çıkmaktadır. Ancak bunların birçoğu direkt konuyla ilgili olmayan, kavramın konu içinde detay olarak yer aldığı çalışmalardır. Bu tarama sonucu ulusal literatürde karşımıza çıkan örneklerden kısaca bahsetmek gerekirse, Müftüoğlu ve Perçin (2015) çalışmalarında geleneksel yağmur suyu yönetim sistemlerinin kentlerin ihtiyaçlarını karşılamayağından bu nedenle sürdürülebilir YSY çalışmalarına ihtiyaç duyulduğundan bahsetmiştir. Bu doğrultuda yağmur bahçesi kavramını ele almış; kentsel alanlara hem estetik hem de işlevsel açıdan faydalar sağladığından bahsedip, yer seçimi ilkeleri, karakteristik özellikleri gibi kriterler açısından değerlendirmiştir. Bir diğer çalışmada Ünal ve Akyüz (2018) yeşil altyapı uygulamalarından olan yağmur hendeklerinin (biyo hendekler) önemini ve kentlerin sürdürülebilirliğine katkısını ele almışlardır. Demir (2012) yaptığı tez çalışmasında geleneksel YSY sistemleri ile sürdürülebilir yağmur suyu yönetim sistemlerini kıyaslamıştır. Yaptığı saha çalışması ve analizler sonucu ortaya koyduğu veriler ile bu sistemlerin olumlu ve olumsuz yanlarını değerlendirmiştir.

Sürdürülebilir YSY’de en önemli kriterlerden biri alanın özelliklerine ve ihtiyaçlarına yönelik çözümler üreten doğru uygulamaların belirlenmesidir.

Barbosa vd. (2010) çalışmalarında bu konunun önemi dile getirmiş ve şunları vurgulamışlardır. Sürdürülebilir YSY stratejilerine farklı karar seviyelerinde (örneğin siyasi, bölgesel veya yerel ölçekte) ihtiyaç duyulur, ancak her strateji çevresel, iklimsel, topoğrafik, sosyal, kültürel vb. kriterleri göz önünde bulundurarak bunlar doğrultusunda alana özgü bir yaklaşım gerektirir. Çalışmanın devamında EİYU’nın kentsel çevrelerde sosyal, eğitimsel ve çevresel koşulların iyileştirilmesi için bir fırsat olduğu anlatılmış ve bunun avantajlarından bahsedilmiştir. Nitekim literatürde bu ve benzeri yaklaşımlar yukarıdaki bölümlerde de anlatıldığı üzere yeterince vardır. Ancak bu stratejilerin ve bu stratejilerin alt başlıkları sayabileceğimiz YSY alternatiflerinin belirlenmesi konusundaki çalışmalar konu ile ilgili en doğru çözümlere götürecek olan çalışmalardır. Jemberie ve Melesse (2021) çalışmalarında Etiyopya’da iklim değişikliği ve kentsel plansız büyümeler nedeniyle son yıllarda sel olayların arttığı vurgulamış, kötü kentsel YSY stratejilerinin bunu etkilendiğinden bahsetmiştir. Çalışmada Yağmur Suyu Yönetim Modeli (SWMM) ve Düşük

Etkili Gelişme (DEG) teknikleri yaptığı analiz ve çalışmalar sonucu DEG tekniklerinin (biyo tutmalar, sızma havuzları vb.) kentsel taşkınları azaltmada %75'e varan önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Chen vd. (2009) çalışmalarında Maryland'de (ABD) geliştirilen, hem saha ölçeğinde hem de havza seviyelerinde YSY planlaması ve tasarımı için analiz ve karar vermeyi desteklemek için bir en iyi yönetim uygulaması karar destek sistemini (EİYUKDS) incelemişlerdir. Çalışma yüksek oranda kentleşmiş bir alanda bulunan bir yeşil otoyol projesini içermektedir. Otoyol akışını azaltmak ve su kalitesini iyileştirmek için biyolojik olarak tutma, filtreli bitkisel hendek, geçirgen kaplama ve peyzaj sızması gibi birkaç en iyi yönetim uygulaması önerilmektedir. EİYUKDS karayolu akış kirliliğini en aza indiren EİYU'larının en uygun maliyetli türlerini ve kombinasyonlarını belirlemek için çeşitli alternatifleri belirlemek ve değerlendirmek için kullanılmaktadır. Zablocka ve Capodaglio (2020) çalışmalarında en çok kullanılan yağmur suyu yönetim alternatifleri arasından ikisi olan su tutma-depolama varili (tankı) ve yağmur bahçesini bir saha çalışmasıyla karşılaştırmışlardır. Polonya'da kentsel alan yakın çevresinde bulunan bir bölgede tek konut bahçelerinde yapılan uygulama sonucu, tutma tankı, yağmur suyu taşmalarını azaltarak ve çim sulama için yerel suyun yeniden kullanımına izin vererek iyi bir çözüm olduğunu göstermiştir; ancak bu durumda yatırım ve bakım maliyetleri nispeten daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Yağmur bahçesinin ise, küçük ölçekli uygulamada verimli çalıştığı ortaya koyulmuş ve çok daha düşük ilk yatırım ve maliyetlerle avantaj sağladığı belirtilmiştir. Saraswat vd. (2016) iklim değişikliği, kentleşme gibi baskıların altında endişe verici bir konu haline dönüşen, su kaynakları ve taşkın yönetimi konularında Japonya, Vietnam ve Tayland özelinde detaylı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalarında YSY planlaması için önemli olduğunu vurguladıkları uzaktan algılama ve CBS yöntemleri yardımıyla YSY alternatiflerini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmayı biraz daha detaylı ele almak gerekirse, öncelikle, yağmur suyu akış etkilerinin analizi, büyük ölçüde tarihsel eğilim analizini ve uzaktan algılama, CBS, sayısal hidrodinamik ve ekonomik modelleri kullanmak gerektiğini öne sürmüşlerdir. Yağmur suyu akış yönetimi önlemlerinin sayısal simülasyon modellemesine ve ekonomik yönlerine dayanarak mevcut senaryoları ve optimal gelecek stratejilerini değerlendirmişlerdir. Farklı senaryolar altında su döngüsü, şebeke seviyesinde tesis performansına bağlı yüksek çözünürlüklü dağıtılmış hidrolojik model kullanılarak analiz edilmiştir. Yerinde tesis kurulumları için farklı alternatifler var olduğundan tekrarlı simülasyonlar yapılması gerektiğinden bahsedilmiştir. Yerel halkın alternatif sızma ve depolama tesislerine ilişkin algısı da kentsel sel riskinin azaltılması ve kentsel su

döngüsünün iyileştirilmesi açısından oldukça önemli olduğu ortaya koyulmuştur. Kentsel yağmur suyu akışı yönetiminde yerel katılım ile fiziksel/çevresel kısıtlamalar, doğa bilimleri yaklaşımına dayalı simülasyon ve sosyal bilim yaklaşımlarına dayalı saha araştırması birleştirilerek yapılır. Son olarak politika yapıcılara optimum yağmur suyu akış önlemleri tasarımları için önerilerde bulunulmuştur. Bu çalışma YSY alternatiflerinin belirlenmesi konusunda detaylı saha çalışmaları, analizler ve simülasyonlar kullanmış önemli bir çalışmadır. Ancak alan bazında en doğru sonuçları veren yöntemlerin kullanımı için çalışmada da bahsedildiği gibi tekrarlı simülasyonlara ve uzun süreli kontrollere ihtiyaç duyulmuştur. Bu konuda en uygun seçimi belirlemeye yarayan ÇKKV yöntemlerine başvurmak daha pratik ve doğru çözümü sunabilir. Nitekim literatürde bununla ilgili birçok çalışma mevcuttur. Sonraki kısımlarda bunlar üzerinde durulacaktır.

Planlama çalışmalarında karar verme ve karar analizi yöntemlerinin kullanımı son yıllarda giderek artan eğilimdedir. Birçok alternatif ve strateji arasından en ideal çözümü belirlemede hem pratik hem ekonomik hem de en uygun yaklaşımın belirlenmesi karar vericiler açısından en sürdürülebilir yöntemler olarak değerlendirilebilir. YSY konusunda da ÇKKV yöntemlerinin kullanımı bu şekilde gelişen ve güzel sonuçlar veren ancak nispeten yeni bir çalışma alanı olarak kabul edilebilir. ÇKKV yöntemlerinin kullanımı bu konudaki çalışmalara önemli ölçüde yardımcı olabilir. Birkaç örnekle bu konuyu detaylandırmak gerekmektedir.

YSY çalışmalarında ÇKKV kullanımı ile ilgili literatüre incelendiğinde özellikle son yıllarda çalışmaların sayısının arttığını görmekteyiz. Bu çalışmaların bazılarının YSY’de alana en uygun alternatiflerin belirlenmesi konusunda ÇKKV kullanımı üzerine olduğu dikkat çekicidir. Sheikh ve Izanloo (2021) çalışmalarında, bir anket araştırması ve modelleme çalışması yoluyla hidrolojik, sosyal ve ekonomik kriterler kullanarak altı DEG YSY alternatifini değerlendirmiştir. Hidrolojik ve ekonomik etkiler sırasıyla SWMM modeli ve maliyet analizi kullanılarak değerlendirilmiştir. TOPSIS, VICOR, SAW, MEW, ELECTRE III ve NFM dahil olmak üzere altı farklı ÇKKV yaklaşımı kullanılarak farklı DEG alternatifleri değerlendirilmiştir. ÇKKV yaklaşımlarıyla alternatiflerin değerlendirilmesi ve sıralanmasının çeşitli yönetim hedeflerine göre sürdürülebilir DEG alternatiflerinin etkin bir şekilde önceliklendirilmesini kolaylaştırdığını vurgulamışlardır. Kordana ve Slys (2020) çalışmalarında yağmur suyu yönetim sistemi seçimini içeren bir problem için en iyi çözümü seçme kriterlerini belirlemek ve karar verme sürecinde ilgili tüm kriterlerin dikkate alınmasını sağlamayı amaçlamışlardır. Çalışmalarında tasarım stratejileri

arasından dört tanesini belirleyip bunların içinden en uygun seçeneği seçmek için Analitik Hiyerarşi Süreci kullanılmaktadır. Bu çalışma, doğaya temelli çözümlerin en faydalı karar yağmursuyu yönetimi seçeneği olduğunu belirtmektedir. Tahmasebi Birgani ve Yazdandoost (2018) çalışmalarında kentsel drenaj sistemleri yönetimi için ÇKKV yönetimi kullanmışlardır. Uyarlanabilir analitik hiyerarşik süreç, Entropi ve TOPSIS kombinasyonunu içeren yeni bir birleşik uyarlanabilir çok kriterli karar verme tekniğinin, karar verme sürecini kolaylaştırmak ve öznel uzmanların tercihlerinden kaynaklanan belirsizlikleri ortadan kaldırdığı çalışmada belirtilmiştir. Çalışmanın sonuçları, sundukları kentsel drenaj planlarının kentsel sel baskınlarına karşı direnç konusunda kapsamlı bilgi sağladığını göstermektedir ve karmaşık karar verme sürecini kolaylaştırır ve hızlandırmaktadır. Bu nedenle esnek ve sürdürülebilir kentsel drenaj yönetimi için kapsamlı bir karar destek aracı olarak kullanılabilir. Binesh vd. (2022) çalışmalarında iki metodoloji kullanarak bir Kentsel Drenaj Sisteminin (KDS) sosyal ve hidrolik direncini ölçmektedir. Metodolojiler, hem tek olay hem de uzun süreli yağış altında KDS'nin davranışını nicel olarak değerlendirmek için bir afet olarak sel baskınına odaklanarak bir havzaya uygulanmıştır. Her iki yöntemin sonuçları, incelenen alanda KDS için nispeten düşük bir taşkın direnci seviyesinin göstergesidir. İncelenen bölge için farklı senaryolar arasında, En İyi Yönetim Uygulamalarının (EİYU) kullanılmasının KDS direncini daha yüksek bir düzeye çıkarmak için etkili bir uyarlanabilir önlem olduğu ÇKKV çalışması sonucu ortaya çıkmaktadır. Zhu vd. (2021) çalışmalarında YSY'de geçirgen kaplamaların kullanımı için ÇKKV metotlarından bulanık analitik hiyerarşi prosesi kullanmışlardır. Beş farklı alternatif tasarım arasından bu metotla en uygun olanı belirlenmiş, sonuçları simülasyonla ölçülmüştür.

YSY çalışmalarında TOPSIS kullanımı ile ilgili literatür incelendiğinde özellikle son yıllarda karşımıza birçok örnek çıkabilmektedir. Palermo vd. tarafından 2019 yılında yapılan bir çalışmada yağmur sularının içme suyu dışında kullanım ve yüzey akışının azaltılması gibi amaçlarla kullanımı için toplanması konusunda stratejilerin belirlenmesi için TOPSIS yönteminden faydalanılmıştır (Palermo vd., 2019). Rafiei-Sardooi vd. tarafından 2021 yılında yapılan bir çalışmada kentsel risk yönetiminin değerlendirilmesinde TOPSIS yöntemi ve makine öğrenmesi bir arada kullanılmıştır (Rafiei-Sardooi vd., 2021). Sheikh ve Izanloo tarafından 2021 yılında yapılan bir çalışmada düşük etkili gelişmenin YSY alternatifleri arasında değerlendirilmesi İran'ın Bucnurd (Bojnord) şehri özelinde TOPSIS ile incelenmiştir (Sheikh ve Izanloo, 2021). Gogate vd. (2017) çalışmalarında kentsel

bağlamda gelişmekte olan ülkelerde sürdürülebilir YSY alternatifini seçme sorununu ele almışlardır. Çalışmada gelişmekte olan ülkelerdeki yoğun kentsel alanlar için uygun Düşük Etkili Gelişme (DEG) YSY önlemleri literatür taramasına dayalı olarak belirlenmiştir. Yedi alternatifin değerlendirilmesi için üç nicel ve sekiz nitel göstergeden oluşan dört ana kriter (teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal) kullanılmıştır. Bölgesel ve yerel toplumsal öncelikler kriter ağırlıkları aracılığıyla belirlenmiş ve bir karar verme metodolojisine dönüştürülmüştür. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılarak uzman görüşlerine yer verilmiştir. En yaygın olarak kullanılan ÇKKV yöntemlerinden biri olan TOPSIS alternatifleri sıralamak ve en sürdürülebilir alternatifleri belirlemek için kullanılmıştır. Zeng vd. (2021) çalışmalarında yeşil altyapı teknikleriyle YSY'nin sağladığı avantajları ortaya koymuşlardır. Guangzhou'nun Tianhe (Çin) şehrinde yaptıkları çalışmada sekiz farklı yeşil altyapı senaryosu önerilmiş ve farklı iklim senaryoları altında simüle edilmiş, yağış olaylarını TOPSIS kullanılarak değerlendirilmiştir. Luan vd. (2019) çalışmalarında kentleşme sebebiyle arazi kullanımı değişikliklerin kentsel sel ve su kirliliği gibi sorunlara yol açtığını vurgulayarak, kentsel alanlara bu duruma yönelik yeşil yağmur suyu altyapısı teknikleriyle çözüm arayan bir çalışma yapmışlardır. TOPSIS metoduyla belirledikleri senaryolar arasından en ideal olanını ortaya koyan alan bazında değerlendirmeler ve karşılaştırmalar yapmışlardır.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmaların farklı tipolojiye ait alanlar için en uygun YSY stratejilerinin belirlenmesi konusundaki bilimsel araştırmalar literatürüne katkı sağlaması planlanmaktadır. Çalışma sonucunda elde edilecek olan bulguların somut bir şekilde sunulması için iki farklı alan tipi belirlenmiş ve bu alan tiplerinin mevcut durumda yağışlar karşısında dirençliği SWMM programıyla simüle edilmiştir. İncelenen alanlar için en uygun YSY stratejisinin belirlenmesi aşamasında farklı stratejilerin değerlendirilebilmesi için kullanılacak olan kriterler ve bu kriterlerin ağırlıklandırılması için uzman görüşlerine başvurulmuştur. Alana özgü en uygun YSY stratejisinin belirlenmesi probleminin incelenmesi aşamasında kullanıma uygun bir yapıda olan TOPSIS yöntemi ile belirlenen alan tipleri için inceleme yapılmıştır. TOPSIS yönteminin uygulaması için kullanılacak kriter ağırlıkları uzman görüşleri göz önüne alınarak belirlenmiş ve her bir alan için ideal çözümler bulunmuştur. TOPSIS yöntemiyle belirlenen ideal çözümler SWMM programıyla yeniden simüle edilmiş ve mevcut duruma göre sağlanan gelişmelerin altı çizilmiştir. TOPSIS yöntemi kullanılarak alana özgü en uygun YSY'nin belirlenmesi problemiyle ilgili ulusal çapta herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır ve bu tez çalışmasının ulusal

literatürdeki bir boşluğu doldurarak farklı şehir/bölgelerdeki benzer çalışmalara kılavuz olması amaçlanmaktadır. Uluslararası ölçekte TOPSIS yönteminin en uygun YSY stratejilerinin belirlenmesiyle ilgili kullanımının örnekleri bulunmakta olsa da bu tez çalışması farklı yönleriyle mevcut araştırmalardan ayrılmaktadır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi için uzman görüşlerine başvurulması, farklı alan tipolojileri için inceleme yapılması ve Rize ili özelinde uygulamalara yer verilerek bölgeye katkı sağlamanın amaçlanması bu çalışmaya özgünlük katmaktadır. Çalışmanın belirtilen yönleriyle alandaki uygulamalara özgün bir katkı sunması ve farklı alanlardaki uygulamalara öncü olması hedeflenmektedir.



2. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde çalışma alanı olarak belirlenen Rize ili hakkında genel bilgiler verilmekte ve çalışma yönteminin detayları sunulmaktadır.

2.1. Araştırmanın Genel Kurgusu

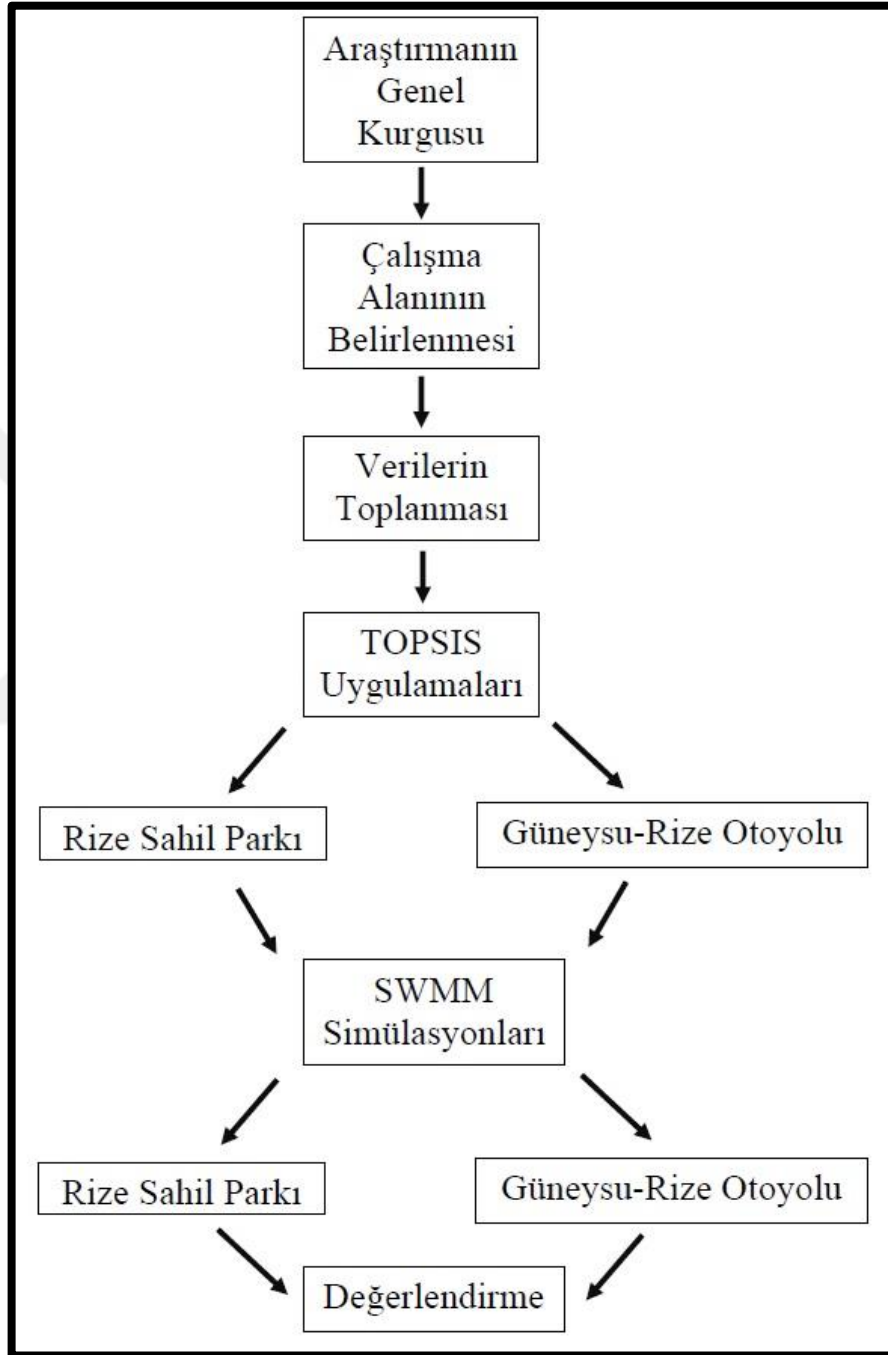
Kentsel alanların nüfusları küresel ölçekte artmaya devam etmektedir. Bununla beraber büyüyen kentlerde ve kentsel alanlarda yüzey örtüsü değişmekte geçirimsiz yüzey miktarı artmaktadır. Geçirimsiz yüzeylerin artması kentsel alanlar için birçok sorunu beraberinde getirmektedir. Suyun geçirimsiz yüzeylerdeki hareket kabiliyeti toprak ve yeşil alanlara nispeten daha fazladır. Dolayısıyla yeryüzüne inen yağışların geçirimsiz yüzeylerde kontrol edilebilirliği azalmakta bunun sonucunda sel, su baskını, noktasal olmayan kaynak kirliliği vb. problemler meydana gelmektedir.

Rize ülkemizin en çok yağış alan ilidir. Küresel iklim değişikliğinin etkisiyle aşırı yağışların miktarı artmıştır. Bu durum sel, su baskınları, heyelan vb. afetlere karşı kentlerimizi daha dirençsiz kılmaktadır. Rize'nin coğrafik ve topografik yapısı nedeniyle kent ve kentsel yerleşkeler genellikle havzalar üzerinde ve ya dere yataklarına konulanmıştır. Bu durum Rize için zaten başlı başına bir problemdir. Ek olarak artan aşırı yağışlar, plansız yerleşmeler, artan geçirimsiz yüzeyler gibi problemler Rize için önemli bir sorun hale dönüşmektedir.

Yukarıda bahsedilen durumlar nedeniyle son yıllarda kentsel alanlarda YSY konusu literatürde geniş çapta yer bulmuştur. Dünyanın çeşitli yerlerinde birçok stratejiler ve yönetim felsefeleri geliştirilmiştir. Bunlar sonucunda yağmur bahçeleri, biyo tutma alanları, biyo hendekleri, çatı bahçeleri gibi birçok yeşil yağmur suyu altyapısı uygulaması ortaya çıkmıştır. Bu uygulamalar neticesinde kentsel alanlarda yüzey akışlarının kontrol edilebilirliğinin arttığı ve sel, su baskını vb. afetlerin etkisinin hafifletildiği konusunda literatürde çalışmalar mevcuttur.

Her alan iklimsel, çevresel, topografik özellikleriyle, kullanım amacı ve çeşitliliği, kullanıcı sayısı ve yoğunluğu gibi etkenlerle birbirinden ayrılır. Bu sebeple herhangi bir alan için en uygun YSY alternatifi o alana özgü olarak belirlenmelidir. Bir alan için bir veya birden fazla uygulama birlikte kullanılabilir. Bu konuda en uygun çözümleri belirlemek için ÇKKV yöntemleri kullanılır.

Bu kapsamda Rize’de belirlenen alan tipolojileri için en uygun YSY uygulamaları TOPSIS metoduyla belirlenmiştir. Çalışma yöntemini ifade eden akış şeması şekil 20’de yer almaktadır.



Şekil 20. Yönteme ait akış şeması

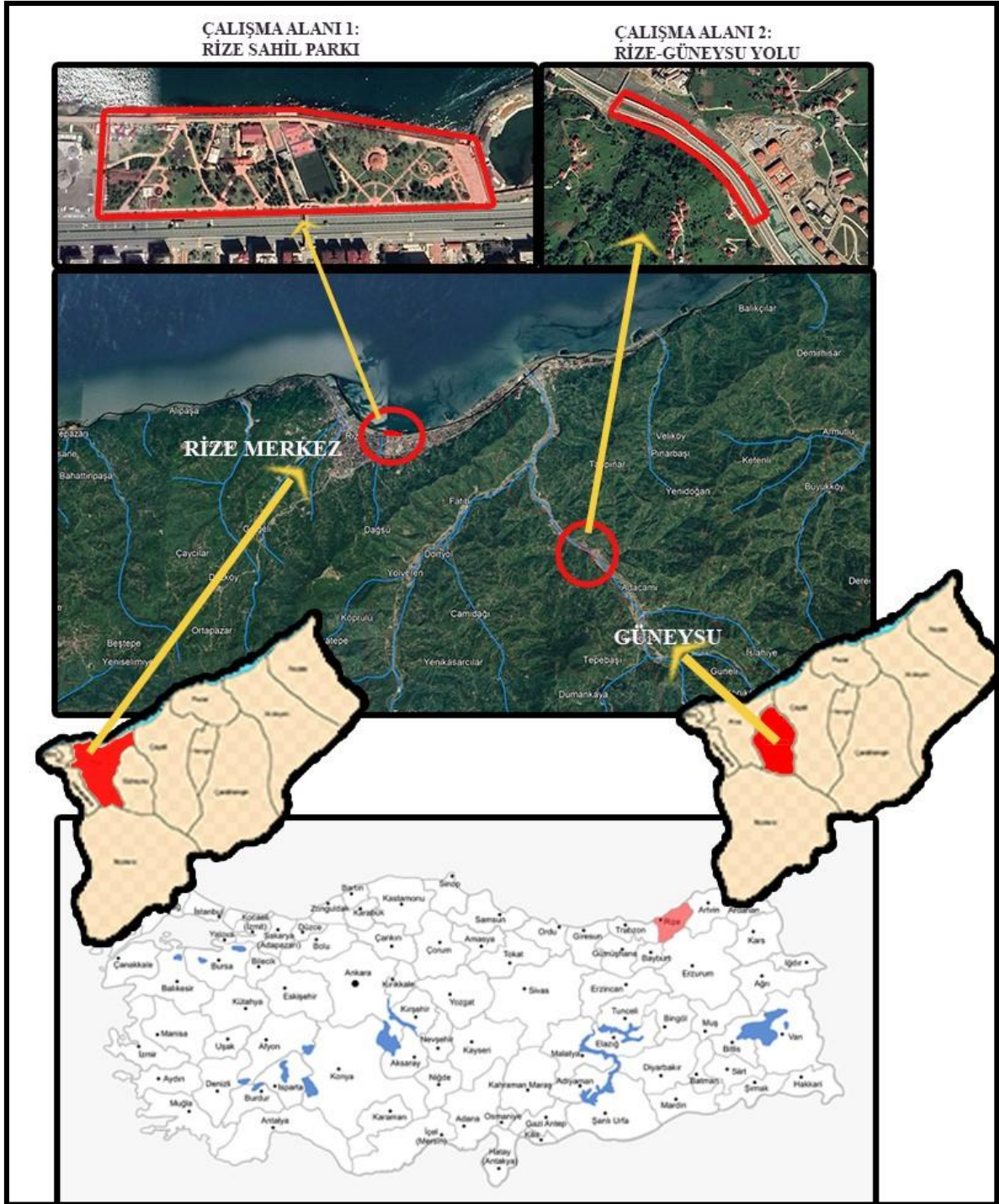
2.2. Çalışma Alanı

Rize, Türkiye'nin Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer alan ve yaklaşık 80 km uzunluğunda kıyı şeridinde sahip bir sahil kentidir. 40°-22' ve 41°-28' doğu meridyenleri ile 40°-20' ve 41°-20' kuzey paralelleri arasında yer alır. Batıdan Trabzon'un Of, güneyden Erzurum'un İspir, güneybatıda Bayburt, Doğudan Artvin'in Yusufeli ve Arhavi ilçeleri ile Kuzeyden Karadeniz tarafından çevrili olan Rize'nin göller hariç yüzölçümü 3.922 km² 'dir. Türkiye İstatisti Kurumu (TÜİK) 2021 yılı verilerine göre Rize'nin Nüfusu 345.662'dir. Rize ili Merkez ilçe nüfusu ise 150.414'tür. Rize'nin topografik yapısı çok engebeli olmakla beraber subtropikal iklim özellikleri kentte hâkimdir. Kentte toplam tarım arazisi miktarı 54.293 hektardır. Tarım arazilerinin % 92'sinde çay tarımı yapılmaktadır.

Rize İli Doğu Karadeniz kıyı şeridinde yer alan subtropikal iklim özelliklerine sahip zengin bitki örtüsü ile ülkemizde müstesna bir konumdadır. Bu konumu itibariyle gerek yağış, gerekse bitki çeşitliliği açısından çok değişik şartları ortaya koyar. İklim özelliklerine ait genel istatistiki veriler ve mevsim normalleri, Tablo 5 ve 6'da verilmiştir.

Rize ili dağlık alanlardan oluşan coğrafi yapısı nedeniyle il ve ilçe merkez yerleşkelerinin sıkışık bir kentsel düzene maruz kaldığı, zaman zaman deniz dolguları kimi yerlerde ise akarsu yataklarına yapılan yerleşkelere sahip olduğu söylenebilir.

Hidrolojik yapısı itibariyle oldukça zengin bir coğrafya olan Rize'nin neredeyse tüm yerleşkeleri akarsu kıyılarında konumlanmıştır. Özellikle son yıllarda artan aşırı yağışlar ve yukarıdaki bahsedilen özelliklere sahip yerleşkeler sebebiyle son yıllarda bir sel ve su baskınına maruz kalan Rize'de onlarca vatandaşımız hayatını kaybetmiş ve milyonlarca TL maddi hasar meydana gelmiştir (Tablo 3 ve 4). AFAD'dan elde edilen veriler 2010-2019 yılları arasında Rize'de yağışlar sonucu oluşan sel, su baskını, heyelan gibi afetler nedeniyle altyapı hasarlarının toplam 390.429.117,45 TL (il özel idareler + belediyeler toplamı) (Tablo 7), sadece 2020 yılında ise 147.833.786,71 TL maddi hasar geldiğini göstermektedir (Tablo 8). Çalışma alanının Rize ve Türkiye haritasındaki konumları şekil 21'de yer almaktadır. Yağışlar sonrası oluşan su birikintileri, sel, su baskını, heyelan hasarlarını içeren arazi çalışmalarına ait görseller şekil 22-28'de verilmiştir. Rize ilinde 1970-2019 yılları arasında meydana gelen afetler sonucu oluşan can kayıplarının Rize ili haritası üzerine dağılımı şekil 29'da verilmiştir.



Şekil 21. Çalışma Alanlarının Rize Ve Türkiye Haritasındaki Konumları



Şekil 22. 2019 Yılında Rize ili Muradiye Beldesi'nde gerçekleşen sel felaketi



Şekil 23. 2019 Yılında Rize ili Muradiye Beldesi'nde gerçekleşen sel felaketi-2



Şekil 24. 2019 Yılında Rize ili Salarha Beldesi'nde gerçekleşen sel felaketi



Şekil 25. 2019 Yılında Rize ili Salarha Beldesi'nde gerçekleşen sel felaketi-2



Şekil 26. 2018 Yılında Rize ili Boğaz Mahallesi'nde aşırı yağışlar sonrası çöken bir istinat duvarı



Şekil 27. Drenajı olmayan bir refüjde herhangi bir yağış sonrası oluşan su birikintileri



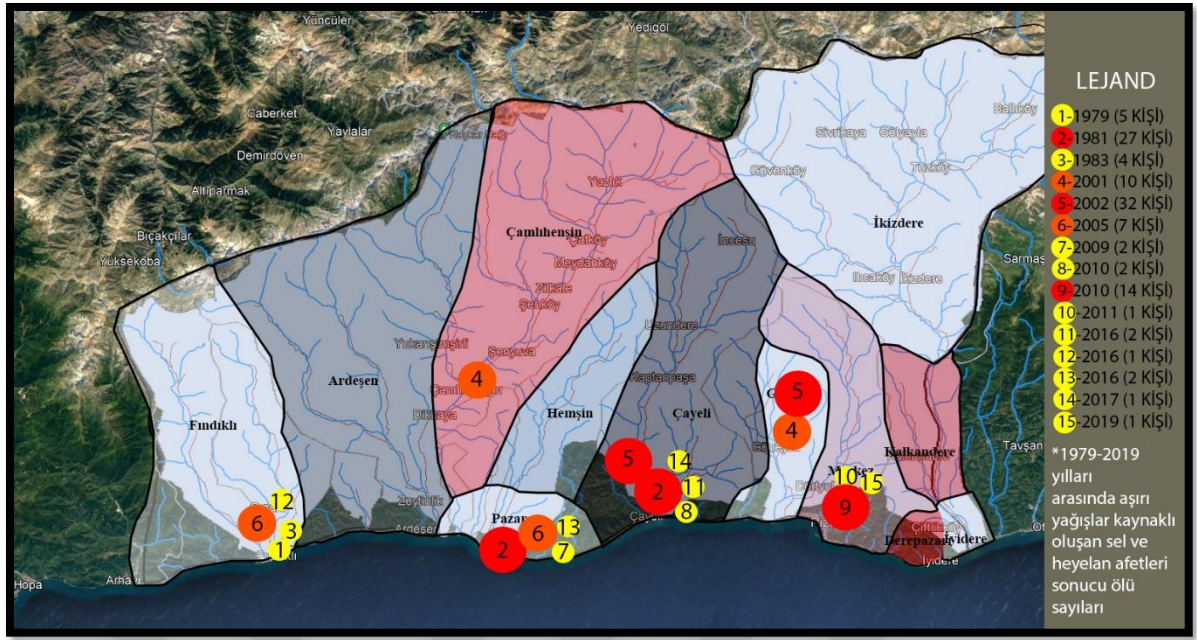
Şekil 28. 2021 yılında Rize ili Güneysu ilçesi'nde oluşan selden bir görüntü

Tablo 3. Rize ilinde 1970-2019 yılları arasında meydana gelen bölgesel ölçekli afetler ve etkilenen havzaların yaklaşık büyüklükleri

No	Afet Tarihi	Afet Türü	Etkilenen Bölge	Etkilenen Bölgenin büyüklüğü (Ha)
1	08-15.07.1973	Heyelan	Rize Merkez ve Derepazarı İlçeleri	15.000
2	20.07.1983	Heyelan / Su baskını	Rize Merkez ve Bütün İlçeler	210.000
3	01.08.1988	Heyelan / Su baskını	Rize Merkez, Çayeli, Pazar ilçeleri	55.000
4	13-14.10.1996	Heyelan / Su baskını	Rize Merkez, Derepazarı, Kalkandere, İyidere ve Pazar İlçeleri	130.000
5	07.08.1998	Heyelan	İkizdere Kalkandere İlçeleri	45.000
6	10.11.2001	Heyelan	Rize Merkez ve Bütün İlçeler	250.000
7	23.07.2002	Heyelan / Su baskını	Rize Merkez, Güneysu, Çayeli ve Hemşin İlçeleri	65.000
8	01.08.2005	Heyelan / Su baskını	Pazar, Hemşin ve Çamlıhemşin İlçeleri	40.000
9	03.10.2005	Heyelan	Rize Merkez, Derepazarı, İyidere İlçeleri	8.000
10	21-27.07.2009	Heyelan / Su baskını	Rize Merkez İlçe	10.000
11	26.08.2010	Heyelan / Su baskını	Rize Merkez İlçe	850
12	24.09.2011	Heyelan / Su baskını	Rize Merkez ve Bütün İlçeler	210.000
13	09.10.2012	Heyelan	Pazar ve Hemşin İlçeleri	22.000
14	04.08.2016	Heyelan / Su baskını	Rize Merkez, Güneysu ve Çayeli İlçeleri	30.000
15	01.09.2016	Heyelan / Su baskını	Rize Merkez ve Bütün İlçeler	200.000
16	27.09.2017	Heyelan	Rize Merkez ve Bütün İlçeler	210.000
17	03.10.2017	Heyelan / Su baskını	Rize Merkez, Güneysu ve Çayeli İlçeleri	30.000
18	15.07.2018	Heyelan / Su baskını	Rize Merkez ve Bütün İlçeler	200.000
19	04.08.2019	Heyelan	Rize Merkez İlçe	10.000
20	02-07.09.2019	Heyelan	Çayeli, Hemşin ve Pazar İlçeleri	35.000

Tablo 4. Rize ilinde 1970-2019 yılları arasında meydana gelen afetler sonucu oluşan can kayıplar (AFAD)

No	Yılı	İlçesi	Afetin Türü	Ölü Sayısı
1	1979	Fındıklı	Heyelan	5 kişi
2	1981	Pazar-Çayeli	Sel	27 kişi
3	1982	İkizdere	Kaya Düşmesi	8 kişi
4	1983	Fındıklı	Sel	4 kişi
5	1993	İkizdere	Çığ	4 kişi
6	2001	Güneysu-Çamlıhemşin	Heyelan ve Sel	10 kişi
7	2002	Güneysu-Çayeli	Heyelan ve Sel	32 kişi
8	2005	Pazar-Fındıklı	Heyelan ve Sel	7 kişi
9	2009	Pazar	Heyelan	2 kişi
10	2010	Çayeli	Heyelan	2 kişi
11	2010	Merkez	Heyelan ve Sel	14 kişi
12	2011	Merkez	Heyelan ve Sel	1 kişi
13	2016	Merkez	Yangın	4 kişi
14	2016	Çayeli	Heyelan ve Sel	2 kişi
15	2016	Fındıklı	Heyelan ve Sel	1 kişi
16	2016	Pazar	Heyelan ve Sel	2 kişi
17	2017	Çayeli	Heyelan	1 kişi
18	2019	Merkez	Sel	1 kişi
Toplam				127 kişi



Şekil 29. Rize ilinde 1970-2019 yılları arasında meydana gelen afetler sonucu oluşan can kayıplarının Rize ili haritası üzerine dağılımı

Tablo 5. Rize iline ait genel istatistiksel veriler

RİZE	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1928 - 2021)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.8	6.8	8.1	11.6	16.0	20.3	22.9	23.2	20.3	16.4	12.3	8.8	14.5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.7	10.7	11.9	15.4	19.4	23.6	25.9	26.5	24.0	20.4	16.5	12.9	18.2
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.8	3.7	4.9	8.3	12.7	16.7	19.6	20.0	16.9	13.1	9.1	5.7	11.2
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.2	3.1	3.6	4.6	5.7	6.6	5.4	5.2	5.0	4.2	3.0	2.2	4.2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.77	12.69	15.54	12.38	13.62	14.08	11.92	13.23	14.85	14.85	13.31	14.85	164.1
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	231.4	186.6	159.8	95.5	96.0	134.2	151.8	197.3	256.3	294.4	254.5	244.3	2302.1
En Yüksek Sıcaklık (°C)	26.6	28.1	32.6	35.8	38.2	36.1	35.4	35.6	35.0	33.8	30.4	26.7	38.2
En Düşük Sıcaklık (°C)	-6.5	-6.6	-7.0	-2.8	4.0	7.8	12.0	13.4	4.6	2.5	-2.6	-4.0	-7.0
Günlük Toplam En Yüksek Yağış Miktarı	Günlük En Hızlı Rüzgâr			En Yüksek Kar									
07.07.1929	244.0 mm		23.10.2014		30.1 m/sn			06.01.1942		187 cm			

Tablo 6. Rize iline ait Mevsim Normalleri Ölçüm Periyodu 1991-2021

RİZE	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.9	6.8	8.7	11.8	16.6	21.2	23.8	24.5	21.2	17.2	12.1	8.7	15.0
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	11.0	11.1	12.9	15.9	20.2	24.9	27.4	28.1	25.4	21.4	16.7	13.0	19.0
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.9	3.7	5.4	8.5	13.2	17.5	20.5	21.2	17.7	13.9	8.8	5.6	11.7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.0	3.0	3.7	4.8	5.8	6.5	5.7	5.2	5.2	4.1	2.9	1.9	4.2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	15.53	14.43	16.83	15.63	15.73	15.97	14.37	15.10	15.27	15.73	13.60	15.27	183.5
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	223.1	170.5	154.0	90.5	96.6	148.4	163.4	192.5	265.1	307.3	246.0	252.1	2309.5

Tablo 7. Rize ili özel idareler ait bölgelerde 2010-2019 yıllarında meydana gelen heyelan ve sel ile ilgili altyapı hasarları

İli	İlçe	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	İlçe toplam
Rize	Ardeşen	273.992,00	222.542,87	809.627,26	3.361.162,30	1.534.782,58	2.365.112,48	1.335.520,57	5.683.544,66	3.101.726,38	6.638.850,59	25.326.858,69
Rize	Çamlıhemşin	-	-	-	140.160,00	130.110,21	150.417,60	1.032.892,22	660.007,82	50.458,17	-	2.164.046,02
Rize	Çayeli	1.765.228,72	-	-	714.760,46	844.194,45	3.674.333,07	815.222,06	16.118.950,26	4.3939.917,88	4.371.970,08	32.698.576,98
Rize	Derepazarı	963.311,00	24.962,00	-	68.297,20	897.415,30	52.446,76	621.492,69	662.702,00	-	809.176,52	4.099.803,47
Rize	Fındıklı	-	-	3.409.909,19	1.420.888,49	2.621.886,33	1.810.455,98	13.272.609,09	4.680.441,21	3.556.808,03	4.547.129,20	35.320.127,52
Rize	Güneysu	3.633.314,56	-	-	84.195,64	158.022,82	16.000.985,47	233.420,75	5.156.032,45	1.990.497,00	4.168.852,69	31.425.321,38
Rize	Hemşin	-	-	-	-	334.133,12	28.011,84	1.336.115,81	3.938.172,59	-	955.490,38	6.591.923,74
Rize	İkizdere	-	51.387,00	-	1.142.803,53	161.916,68	23.258,21	-	356.426,27	-	4040.676,24	2.149.467,93
Rize	İyidere	760.658,00	-	-	-	326.554,11	8.433,28	-	-	-	747.929,84	1.843.575,23
Rize	Kalkandere	322.928,00	1.233.043,79	-	3.430.996,12	2.639.000,20	993.487,93	828.387,08	4.617.082,57	588.343,72	1.096.215,59	15.749.485,00
Rize	Merkez	8.011.561,46	6.341.689,88	581.102,52	2.475.274,40	2.963.888,25	4.582.397,022	977.498,69	6.194.747,88	7.518.813,33	4.553.885,32	44.200.858,75
Rize	Pazar	-	-	915.331,34	1.538.437,48	576.989,82	486.916,52	3.578.359,24	2.370.226,84	4.481.414,52	5.576.958,67	19.524.634,43
Toplam (Yıllar)		15.730.993,74	7.873.625,54	5.715.970,31	14.376.975,62	13.188.893,87	30.176.256,16	24.031.518,20	50.447.334,55	25.681.976,03	33.871.135,12	
											Genel Toplam	221.094.679,14

Tablo 8. Rize ili belediyelere ait bölgelerde 2010-2019 yıllarında meydana gelen heyelan ve sel ile ilgili altyapı hasarları

İli	İlçe	Beldesi	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	İlçe toplam
Rize	Ardeşen	-	-	-	-	-	6.097.994,57	5.793.699,17	1.307.218,05	1.307.218,05	2.111.826,91	6.937.375,75	24.429.799,75
Rize	Ardeşen	Tunca	366.844,70	150.715,02	168.595,85	-	372.894,84	726.006,87	276.223,79	2.696.613,36	747.635,86	1.610.195,68	7.115.725,97
Rize	Çamlıhemşin	-	-	-	-	-	379.479,65	1.392.143,36	-	1.641.601,36	347.019,18	-	3.760.243,55
Rize	Çayeli	-	333.305,30	-	-	96.500,00	-	416.235,55	724.641,77	1.069.733,89	-	-	3.267.911,48
Rize	Çayeli	Büyükköy	261.029,33	-	-	-	6.264.857,00	612.490,16	724.641,77	1.069.733,89	962.300,66	297.562,15	10.192.614,96
Rize	Çayeli	Madenli	302.813,63	196.607,10	-	-	-	-	-	5.470.939,03	385.499,45	1.699.590,50	8.055.449,71
Rize	Derepaşarı	-	170.565,20	490.915,08	157.471,87	901.414,71	1.172.695,94	1.623.245,92	1.127.028,86	955.340,03	545.490,03	3.034.985,77	10.179.154,15
Rize	Fındıklı	-	-	-	292.685,33	154.763,82	598.338,30	4.907.980,06	3.945.770,22	1.811.494,93	934.602,66	-	12.645.635,32
Rize	Güneysu	-	-	-	-	-	1.045.898,96	2.896.929,82	633.124,04	4.938.117,24	4.380.446,81	107.998,85	14.002.515,72
Rize	Hemşin	-	-	-	-	-	1.024.056,88	1.881.021,13	1.024.056,88	2.982.731,68	-	1.201.925,09	8.113.791,66
Rize	İkizdere	-	-	-	-	-	-	1.930.565,42	917.069,33	-	-	-	2.847.634,75
Rize	İyidere	-	-	-	-	735.537,04	2.625.538,94	-	122.210,18	-	-	1.164.419,24	4.647.705,40
Rize	Kalkandere	-	-	920.812,00	172.650,48	121.491,20	390.023,04	3.105.047,02	1.519.658,68	1.270.760,07	959.498,60	555.738,04	9.015.679,13
Rize	Merkez		5.837.133,70	7.812.077,59	-	1.117.293,47	-	2.908.625,82	-	1.646.832,97	1.908.890,45	1.722.159,08	22.953.012,66
Rize	Merkez	Kendirli	123.948,70	183.596,81	-	863.242,85	144.867,90	2.313.705,17	-	1.408.719,51	818.395,95	-	5.856.476,89
Rize	Merkez	Muradiye	107.345,66	434.638,97	-	863.242,85	-	2.360.675,20	252.925,63	3.641.594,40	1.473.065,98	-	9.133.488,69
Rize	Merkez	Salarha	177.620,49	1.210.929,28	-	122.727,50	247.153,25	2.846.898,06	559.724,66	2.850.021,73	2.165.092,99	1.006.843,55	11.187.011,51
Rize	Pazar	-	-	-	-	299.091,47	-	-	739.416,04	892.079,50	-	-	1.930.587,01
Toplam (Yıllar)			7.860.606,29	11.400.291,85	791.403,53	5.275.304,91	20.363.799,27	35.715.268,73	14.720.722,76	36.308.481,00	17.739.766,27	19.338.793,70	
Genel Toplam													169.334.438,31

Tablo 9. Rize’de 2020 yılında gerçekleşen sel, su baskını ve heyelan kaynaklı altyapı hasarları

	19.06.2020 (Belediyeler)	13.07.2020 (İl Özel İdare)	13.07.2020 (Belediyeler)	10-23.08.2020 (İl Özel İdare)	10-24.08.2020 (İl Özel İdare)	2020 yılı Toplamı
Maliyet	2.988.851,16	68.736.580,77	21.000.915,11	35.081.902,30	20.025.537,37	147.833.786,67

2.3. Verilerin toplanması

Rize ilinde belirlenen alanlar özelinde herhangi bir alan için sürdürülebilir YSY alternatifleri arasından en uygun metodun ÇKKV metoduyla belirlendiği bu çalışma uygulama tabanlı bir arazi çalışmasını içermektedir. Bu doğrultuda Rize iline ait bir takım verilere ihtiyaç duyulmuştur. Yağış sonrası alan gözlemleri, sel su baskınları sonrası alan gözlemleri ve arazi çalışmaları yapılmış, alan fotoğrafları 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 yılında arazi çalışmaları esnasında çekilmiştir. Yağışların Rize iline verdiği zararlar noktasında Rize Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) il müdürlüğünden resmi yazıyla afet raporları ve raporların sonuçlarını gösteren mali tablolar elde edilmiştir. Devlet Su İşleri (DSİ) Trabzon Bölge Müdürlüğü'nden Rize ili akarsu, dere, havzaları gösteren Google Earth tabanlı veriler resmi yazıyla istenip elde edilmiştir. İklimsel ve meteorolojik veriler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün kamuya açık web sayfasından elde edilmiştir. TOPSIS metodunda oluşturulan Karar matrislerine ait kriter ağırlıkları için uzman görüşlerine başvurulmuştur. Elde edilen yanıtlardan çıkan sonuçlarla yapılan TOPSIS uygulaması için kriter ağırlıkları iki farklı alan için ayrı ayrı belirlenmiştir.

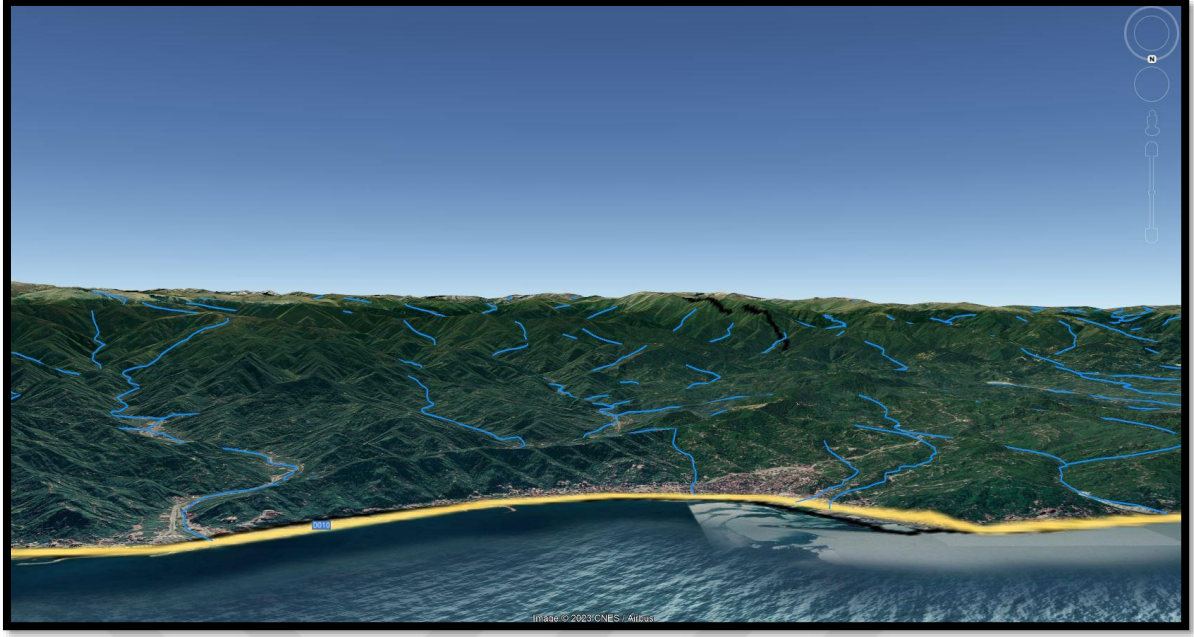
2.4. Rize'nin Kent Hidrolojisi

Kent hidrolojisini kabaca bir kentin tüm su varlığı, bunların doğal su döngüsü, yağışlar ve çevresel süreçler ile olan ilişkisi olarak tanımlamak mümkündür. Yani bir kentin su varlığının kentteki her türlü insan faaliyetleriyle değişiminden, her yağış sonucu yer altı ve yer üstü su kaynaklara ulaşan akışların oluşturduğu hareketliliklere kadar tüm süreçler kent hidrolojisinin konusudur. Rize ilinin kent hidrolojisinden bahsedebilmek için öncelikli olarak kentin topoğrafyası ve kent morfolojisini ortaya koymak gerekir. Aksi halde sadece su kaynakları üzerinden hareket ederek hidrolojiyi anlamaya çalışmak çok gerçekçi bir yaklaşım olmayacaktır. Bu noktada Rize kent merkezi uydu görüntüsü ve kent merkezinin kuzey cepheden görünüşü şekil 30 ve 31'de verilmiştir. Bu görüntüler bize kentin genel topografik yapısı ve morfolojisi hakkında bilgiler vermektedir. Rize kent merkezinde kentsel yerleşkeler arazi şartları ve topografya nedeniyle deniz seviyesinden itibaren yükseltilerin başladığı tepelere kadar kimi yerde 30-40 mt kimi yerde ise 300-400 metrelik alanlarda yayılış göstermiştir. Bu alanlardaki ortalama yükseklik genellikle 15-20 m ile sınırlı kalmaktadır. Şekil 30 ve 31'de görünen ve kent merkezi çevreleyen sırt bu yerleşkenin

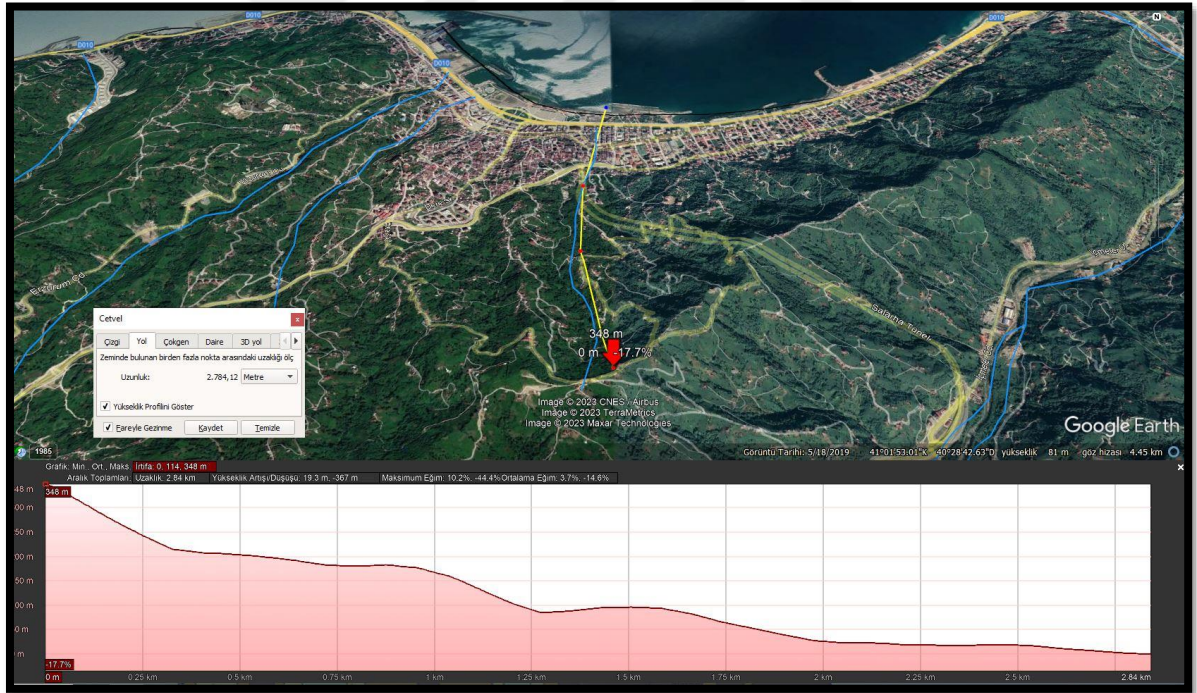
bahsedilen alana sınırlı kalmasının başlıca nedeni olmuştur. Bu sırtın yüksekliği Isırlık Tabiat Parkı'nın bulundupu Ekmekçiler mahallesinden Salarha taraflarına doğru uzandığı kısımlarda kimi yerde 550-600 metreden 750-800 metrelere kadar ulaşsa da kent merkezine yakın kısımlarda ortalama 350 metre civarlarındadır. yüksekliklere ulaşmakakarsuları tablo 10'da verilmiştir. Sırtın en tepe kısımlarından yerleşke alanlarına kadar yatay mesafe kimi yerde 1.5 km'yi bulsa da ortalama olarak yaklaşık 1 km civarlarındadır. Bu alanın eğimi ise ortalama %25-30 civarlarında max olduğu yerlerde ise % 60-65 seviyelerine kadar çıkmaktadır. Kent yerleşkesinin olduğu kısımların ortalama eğimi ise %8-10 aralığındadır. Kent merkezi ve çevreleyen sırt üzerinde alınan kesitler, yükseklik profilleri ve ortalama eğim değerleri şekil 32, 33 ve 34'te verilmiştir.



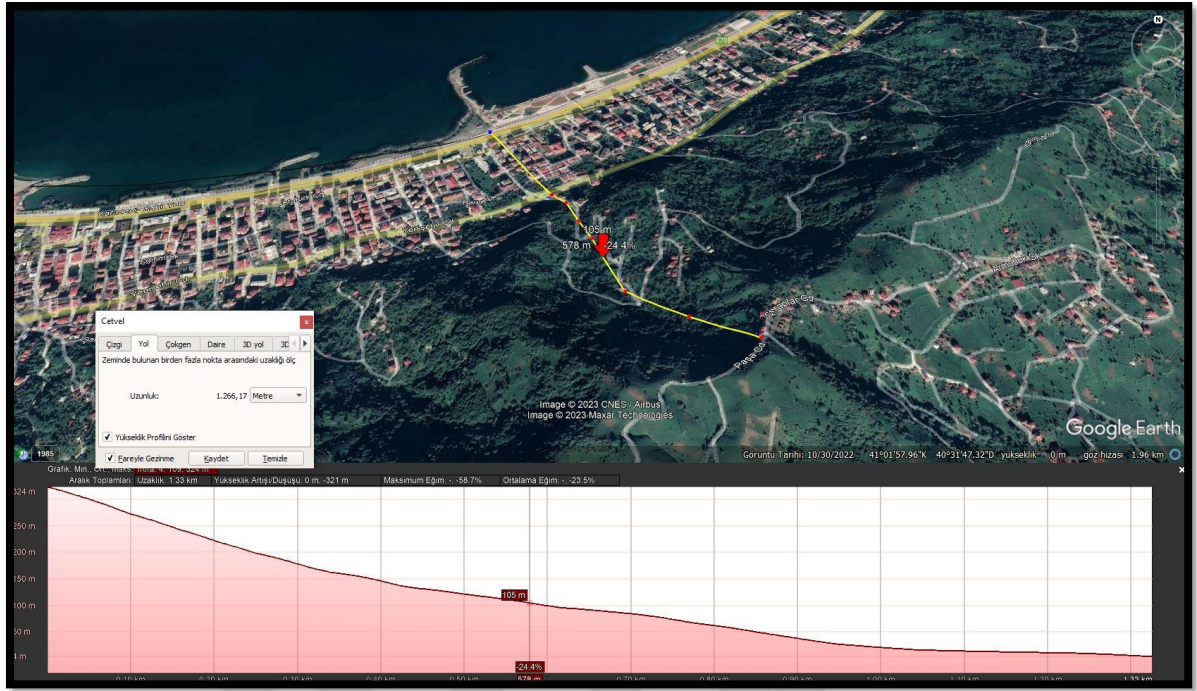
Şekil 30. Rize ili kent merkezi uydu görüntüsü



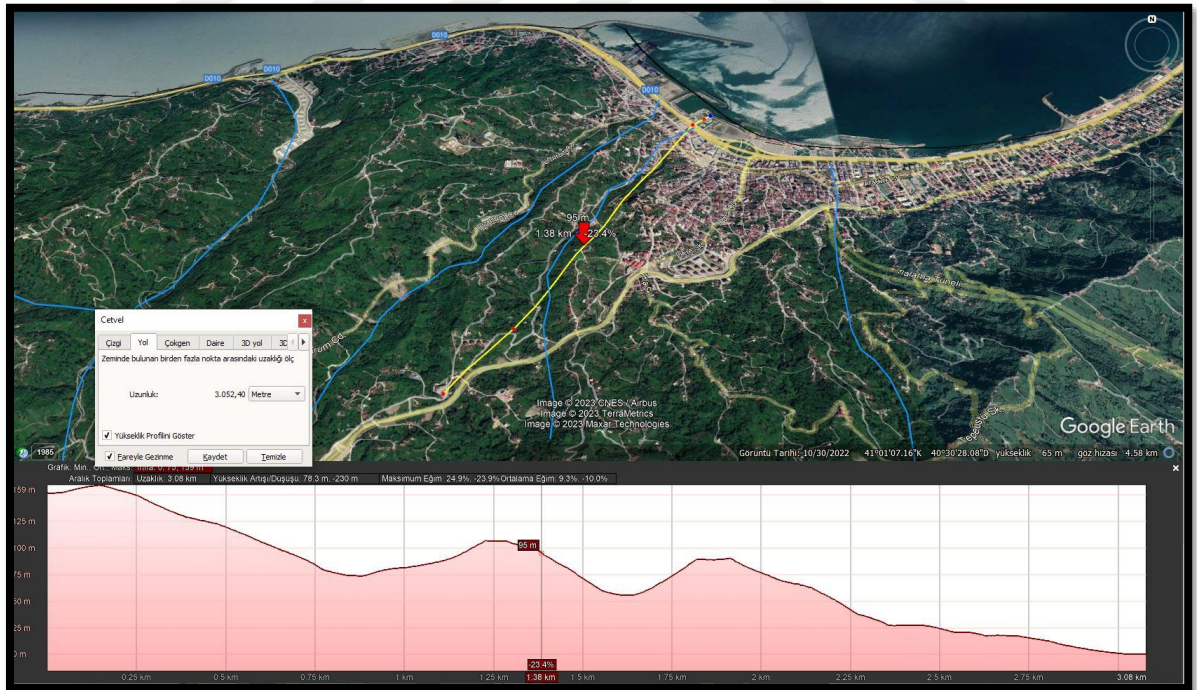
Şekil 31. Rize kent merkezinin kuzey cepheden görünüşü



Şekil 32. Alınan kesit ve yükseklik profili



Şekil 33. Alınan kesit ve yükseklik profili



Şekil 34. Alınan kesit ve yükseklik profili

Bu veriler Rize ili kent merkezinin morfolojik yapısı ve arazini kent yerleşkesi nasıl etkilediği hakkında bilgiler sunmaktadır. Bu bilgileri daha önceki bölümlerde bahsedilen yağış verileri dahilinde kent hidrolojisiyle ilişkilendirmek daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Şekil 35’te herhangi bir yağış anında yüzeye düşen yağışların akış yönleri topografya ve eğimler üzerinden gösterilmiştir. Bu akışları insan kullanımları ve arazi yapısı da olumlu veya olumsuz olarak şekillendirmektedir. Bahsi geçen alanlar genel itibariyle çay tarımı yapılması nedeniyle çay bahçeleri ile kaplıdır ve yakın civarlarında sırtın en üst kısımlarına kadar insan yerleşimleri mevcuttur. Dolayısıyla yeşil doku büyük çoğunlukla çay bahçelerinden oluşmakta ancak birçok noktada konutlar ve yollar nedeniyle bölünmüş durumdadır. Dolayısıyla tepelerden itibaren kent merkezine kadar ulaşacak yüzeysel akışlar bilhassa aşırı yağışlar esnasında kenti tehdit edebilecek konumlara ulaşabilir ayrıca yüzeylerde biriken kirlilikleri kent merkezine de rahatlıkla taşıyabilir. Yine benzer şekilde kent hidrolojisinin en önemli bileşenlerinden kent merkezindeki akarsular da şekil 35’te görülmektedir.



Şekil 35. Rize kent merkez sınırları içerisindeki akarsular

Şekil 36’da ise Rize’deki irili ufaklı tüm akarsuları gösteren uydu görüntüsü yer almaktadır. Şekil 37’de Rize ilinin akarsu havzaları sunulmuştur. Bu noktada özellikle şekil 37 Rize ili için çok çarpıcı bir görseldir. Nitekim Rize ili kent yerleşkelerinin neredeyse tamamının akarsu havzaları üzerinde olduğu görülmektedir. Bu varlığı açısından olumlu bir tablo gibi görünse de su yönetimi açısından çok dikkat çekici bir durumdur. Aynı şekilde şekil 36’da yer alan akarsular il ve ilçe merkezlerinin tamamını çevreleyen konumda yer almakta bu nedenle daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi birçok kez sel ve su baskınlara neden olabilmektedir.

Rize’nin yer üstü su varlığını oluşturan tüm bu akarsuların toplam yüzey alanları ise 980 ha’dır. Rize ilinin başlıca gölleri; Büyükdeniz Gölü, Göleteği Gölü, Sarıncaf Gölü, Balıklı Gölü, Çınacar Gölleri, Sefkar Gölleri, Kapılı Gölleri, Suluk Gölü, Anbar Gölü’dür. Diğer küçük göllerle birlikte bu göllerin toplam yüzeyleri 224 ha’dır. Tablo 11’de Rize ilinin başlıca gölleri ve yüzey alanları yer almaktadır. Tablo 12’de Rize ilinde yer alan akiferler ve bunların genel özellikleri verilmektedir.

Tablo 10. Rize ilinin akarsuları (T.C. Rize Valiliği, 2022)

Akarsu İsmi	Yüzey Alanı (ha)
İyidere	160
Taşıldere	100
Büyükdere	50
Yeşildere	70
Fırtına Deresi	275
Çağlayan Deresi	100
Ortaköy Deresi	75
Diğerleri	150
Toplam	980

Tablo 11. Rize ilinin başlıca gölleri (T.C. Rize Valiliği, 2022)

Göletin Adı	Yüzey alanı (ha)
Büyükdeniz Gölü	7
Göleteği Gölü	7
Sarıncaf Gölü	6
Balıklı Gölü	7
Çınacar Gölleri	11
Sefkar Gölleri	8
Kapılı Gölleri	13

oluşmaktadır. Bu nedenle özellikle akarsu koridorlarındaki yol ve yerleşkelerin, kullanım durumları kritik hale gelmektedir. İkinci çalışma alanı bu doğrultuda bir akarsu koridoru komşuluğunda inşa edilen bir otoyol ve çevresi olarak belirlenmiştir (şekil 46).

2.5.1. Çalışma Alanı 1 (Rize Sahil Parkı)

Rize Sahil Parkı çalışma alanı toplam büyüklüğü 54 bin m² olup tablo 13’de toplam alanın kullanıma göre dağılımı detaylı verilmiştir. Çalışma alanı 1’e ait görsellerin fotoğraf çekim noktaları Şekil 38’de, alana ait görseller Şekil 39-44’de yer almaktadır.

Tablo 13. Çalışma alanı 1’in toplam büyüklüğü ve yüzey alanlarına göre dağılımı

	Yeşil Alanlar	Sert Zeminler	Çatı Yüzeyleri	Toplam
Alan büyüklüğü	27329 m ²	22924 m ²	3837 m ²	54090 m ²

Bu alanda toplamda 1 lunapark, 13 adet kafe veya çay bahçesi, 1 belediye sosyal tesisi, spor alanları (futbol sahası, basketbol sahası vs), 2 adet sanat ve hobi atölyesi, çocuk oyun alanları, 1 adet otizmle mücadele derneği, çardak, kameriye vb. rekreatif etkinlik amaçlı, donatılar bulunmaktadır.



Şekil 38. Çalışma alanı 1 görsellerinin fotoğraf çekim noktaları



Şekil 39. Çalışma Alanı 1 batı sınırı



Şekil 40. Alanda kafe ve çay bahçelerinin yoğun olduğu çalışma alanının kuzey tarafı



Şekil 41. Alandaki lunapark



Şekil 42. Alanın batı tarafındaki boylu ağaçların olduğu kısım



Şekil 43. Spor alanlarının olduğu kısım



Şekil 44. Hobi atölyesi, dernek ve oyun alanının olduğu çalışma alanının doğu tarafı



Şekil 45. Çalışma alanından bir kesit

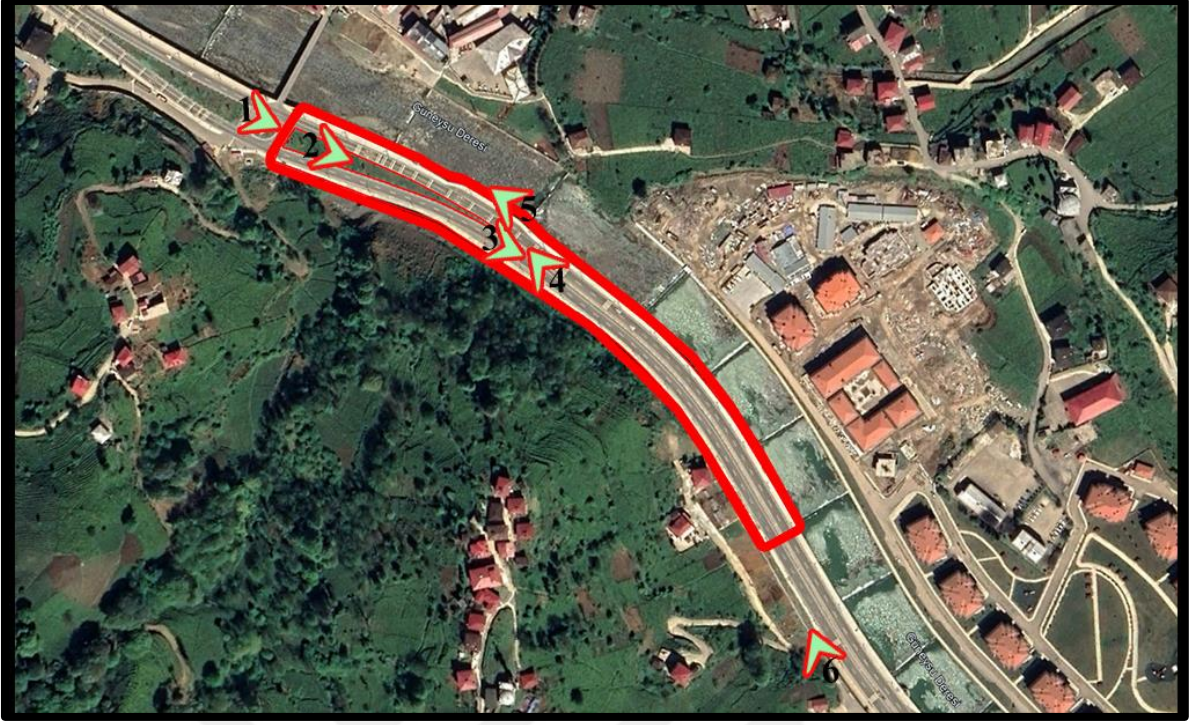
2.5.2. Çalışma Alanı 2 (Rize-Güneysu Otoyolu)

Rize-Güneysu otoyolu çalışma alanı toplam alan büyüklüğü 14.471 m² olup tablo 14'de alan büyüklüğü dağılımları verilmiştir. Çalışma alanı 2'ye ait görsellerin fotoğraf çekim noktaları şekil 46'da, alan fotoğrafları ise şekil 47-52'de yer almaktadır. Alan Güneysu Dere'si komşuluğunda bulunmaktadır. Dere boyunca alan yoldan duvarla ayrılmakta olup, yol kenarlarında karşılıklı kaldırımlar olup dere tarafında herhangi bir yeşil

alan bulunmamakta kısım kısım bitkiler saksı içinde kullanılmaktadır. Alan sınıfları içerisinde kalan refüj kısmı olarak yeşil alan şeklinde olup bir kısmı ise beton kanal şeklinde bırakılmıştır. Şekil 53'te alanın beton kanal şeklinde devam eden kısmına ait bir kesit anlatımı yer almaktadır.

Tablo 14. Çalışma alanı 2'in toplam büyüklüğü ve yüzey alanlarına göre dağılımı

	Yol kenarları ve kaldırımlar	Yol Alanı	Refuj alanı	Refuj yeşil alanları	Toplam
Alan büyüklüğü	4255 m ²	7500 m ²	2716 m ²	1614 m ²	14471 m ²



Şekil 46. Çalışma alanı 2 görsellerinin fotoğraf çekim noktaları



Şekil 47. Çalışma alanı 2 kuzey tarafından başlangıcı



Şekil 48. Alandaki büyük refüj



Şekil 49. Alandaki refüğün yeşil alan kısmının bitiş noktası



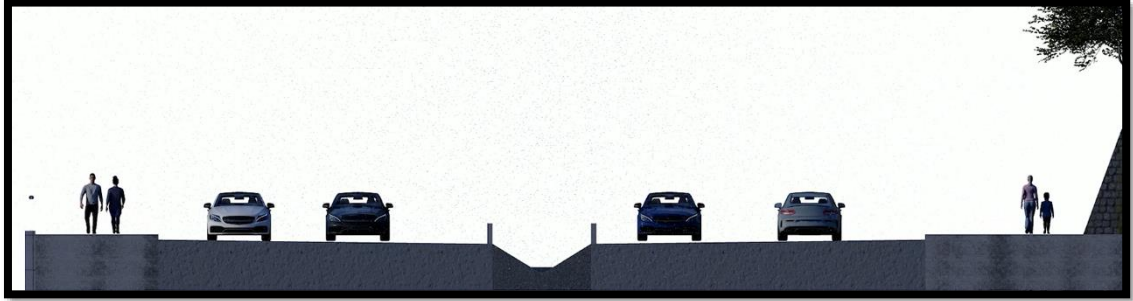
Şekil 50. Alanın orta noktasından kuzeye doğru bakışı



Şekil 51. Alandaki dere ve yol üstü donatıların görünümü



Şekil 52. Alana güney batı noktasından bakış



Şekil 53. Çalışma alanından bir kesit

2.6. TOPSIS Yöntemi

Bu bölümde TOPSIS yönteminin standart formu anlatılmaktadır. Literatürde var olan birçok ÇKKV yönteminin arasından standart TOPSIS yönteminin tercih edilmesinin nedeni yöntemin incelenen probleme uygunluğudur. Çevre bilimlerinde sıklıkla kullanılan bu yöntem matematiksel altyapısının matematik alanı haricindekiler tarafından da anlaşılabilir olması ve barındırdığı pozitif-negatif ideal çözümler sayesinde tez çalışmasında ilgilenilen probleme uyumlu bir yapıya sahip olması nedeniyle çalışmaya uygun yapıda olan yöntemin seçim nedeni bir sonraki bölümde detaylandırılmaktadır.

TOPSIS algoritması aşağıdaki gibi verilmektedir (Hwang ve Yook, 1981; Akyüz vd., 2011).

Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması

$A_1, A_2, \dots, A_m$ şeklinde gösterilen m adet alternatif, $C_1, C_2, \dots, C_n$ şeklinde gösterilen n adet kriter ve alternatiflerin kriterler karşısındaki değerlerini gösteren $a_{ij}, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$ ile aşağıdaki karar matrisi oluşturulur.

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Adım 2: Karar matrisinin normalize edilmesi

$A = (a_{ij})_{m \times n}$ matrisi $i = 1, \dots, m$ ve $j = 1, \dots, n$ için

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}}$$

bağıntısı kullanılarak normalize edilir ve $R = (r_{ij})_{m \times n}$ matrisi elde edilir. Bu şekilde farklı büyüklüklerdeki $a_{ij} \in \mathbb{R}$ değerleri $r_{ij} \in [0,1]$ aralığına indirgenir.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 3: Ağırlıklandırılmış matrisin oluşturulması

Göz önüne alınan kriterler için $w_j, j = 1, \dots, n$ ağırlıkları $w_j \in [0,1]$ ve $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ olacak, yani her bir ağırlık $[0,1]$ arasında olacak ve ağırlıkların toplamı 1 verecek şekilde belirlenir. $W = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_n]$ ağırlık vektörü ve R normalize edilmiş karar matrisi kullanılarak ağırlıklandırılmış karar matrisi

$$t_{ij} = r_{ij} \times w_j, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$$

olmak üzere

$$T = (t_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} r_{11}w_1 & r_{12}w_2 & \dots & r_{1n}w_n \\ r_{21}w_1 & r_{22}w_2 & \dots & r_{2n}w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1}w_1 & r_{m2}w_2 & \dots & r_{mn}w_n \end{bmatrix}$$

şeklinde oluşturulur.

Adım 4: Pozitif ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesi

Bu aşamada en iyi ve en kötü alternatiflerin belirlenmesi için pozitif etki yapan kriterler J^+ kümesi, negatif etki yapan kriterler ise J^- kümesinde toplanır. Kriterlerin kümelenmesi aşamasında ilgilenilen kriterlerin değerlerindeki artış/azalışların karşı gelen alternatif için ne anlama geldiği incelenir. Örneğin kriter olarak maliyet ele alındığında incelenmekte olan alternatife karşı için maliyetin artması istenmeyen bir durum olacağından bu kriter zarar kriteri olarak ele alınır. Bu şekildeki zarar kriterleri J^- kümesinde, fayda kriterleri ise J^+ kümesinde toplanır. Pozitif ideal çözüm A^+ ve negatif ideal çözüm A^- aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$A^+ = \{t_j^+\}, j = 1, \dots, n = \begin{cases} \max(t_{ij}), i = 1, \dots, m, j \in J^+ \\ \min(t_{ij}), i = 1, \dots, m, j \in J^- \end{cases}$$

$$A^- = \{t_j^-\}, j = 1, \dots, n = \begin{cases} \min(t_{ij}), i = 1, \dots, m, j \in J^+ \\ \max(t_{ij}), i = 1, \dots, m, j \in J^- \end{cases}$$

Adım 5: i . alternatifin pozitif ve negatif ideal çözümlere uzaklıklarının belirlenmesi

Alternatiflerin kriterler altında pozitif ideal çözüme olan uzaklıkları d_i^+ ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları d_i^- hesaplanır. d_i^+ ve d_i^- uzaklıkları şöyle tanımlanır.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (t_{ij} - t_j^+)^2}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (t_{ij} - t_j^-)^2}$$

Bu şekilde alternatif sayısı m kadar $d_i^+, d_i^-, i = 1, \dots, m$ pozitif ve negatif ideal çözümlere uzaklık elde edilir.

Adım 6: İdeal çözüme yakınlığın belirlenmesi

Her bir alternatifin pozitif ve negatif ideal çözümlere uzaklıkları $d_i^+, d_i^-, i = 1, \dots, m$ kullanılarak her bir alternatifin ideal çözüme göreceli yakınlığı S_i^* belirlenir. $0 \leq S_i^* \leq 1$ olmak üzere $S_i^*, i = 1, \dots, m$ aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$S_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}$$

Adım 7: Alternatiflerin sıralanması

Alternatifler S_i^* yakınlık katsayısı kullanılarak sıralanır. Yakınlık katsayıları küçülecek (ya da büyüyecek) şekilde sıralanan alternatifler içinde en büyük yakınlık katsayısına sahip olan, yani yakınlık katsayısı 1'e en yakın olan alternatif seçilir. En uygun alternatif S aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$S = \max(S_i^*), i = 1, \dots, m$$

Burada ilgilenilen alternatifin ancak en iyi koşullara sahip olması durumunda $S_i^* = 1$ ve ancak en kötü koşullara sahip olması durumunda $S_i^* = 0$ bulunacaktır.

TOPSIS yönteminin uygulanması için bir karar verme problemi aşağıdaki gibi örneklendirilebilir.

Örnek 1.8.1: Bir cadde üzerinde yapılacak alle bitkilendirmesinde kullanılmak üzere 3 ağaç türünden birinin seçilmesi gerekmektedir. Alternatifler ve değerlendirme kriterleri aşağıdaki gibi verilmekte ise belirtilen kriter ağırlıklarına göre hangi ağaç türünün kullanılmasının uygun olduğu TOPSIS yöntemi ile aşağıdaki gibi belirlenir.

Bu karar verme problemi için alternatifler

A_1 : Kırmızı Amerikan Meşesi (*Quercus rubra*)

A_2 : Küçük Yapraklı İhlamur (*Tilia cordata*)

A_3 : Çınar Yapraklı Akçağaç (*Acer platanoides*)

şeklinde iken bu alternatiflerin değerlendirilmesinde göz önüne alınacak kriterler

C_1 : Soğuğa Dayanıklılık (5 üstünden derecelendirme)

C_2 : Maksimum Boy Beklentisi (metre)

C_3 : Ortalama Maliyet (TL)

C_4 : Kirli Hava Filtreleme (5 üstünden derecelendirme)

şeklindedir. Kriterlerin değerlendirmede kullanılacak önemlerini gösteren $w_j, j = 1, \dots, 4$ ağırlıkları $w_j \in [0,1]$ ve $\sum_{j=1}^4 w_j = 1$ olmak üzere aşağıdaki gibi verilsin.

$$W = [0.20 \ 0.20 \ 0.30 \ 0.30]$$

Bu ağırlık matrisi ağaç seçiminde kullanılacak soğuğa dayanıklılık ve maksimum boy beklentisi kriterlerinin %20 öneme, ortalama maliyet ve kirli hava filtreleme kriterlerinin ise %30 öneme sahip oldukları anlamına gelmektedir. TOPSIS yöntemi uygulanarak en uygun alternatifin seçim işlemine geçmeden önce karar matrisi, kriterlerin fayda/zarar şeklinde ayrımları da göz önüne alınarak incelenirse A_1 alternatifinin en uygun seçenek ve A_3 alternatifinin ise en kötü seçenek olacağı öngörülebilir. Örneğin maliyetin artışı zarar olarak nitelendirilebileceğinden en düşük maliyete sahip olan seçenek A_1 olarak öne çıkmaktadır. Benzer şekilde soğuğa dayanıklılık, boy beklentisi ve kirli hava filtreleme özellikleri fayda sağlayacağından bu kriterlere göre en yüksek değere sahip olan A_1 yine en uygun seçenek olarak gözükmemektedir. Bu ön inceleme A_2 ve A_3 alternatifleri için de benzer şekilde yapılabilir.

- Adım 1: Karar matrisi bu kriter ve alternatifler ile şu şekilde oluşturulur:

$$A = \begin{bmatrix} 4 & 43 & 92 & 5 \\ 3 & 40 & 257 & 4 \\ 3 & 30 & 555 & 3 \end{bmatrix}$$

Bu matristeki girdiler alternatiflerin göz önüne alınan kriterlere göre değerlendirilmesi ile belirlenmektedir. Örneğin $a_{32} = 30$ değeri Çınar yapraklı Akçaağaç (A_3) için maksimum boy beklentisi (C_2) verisinin 30 metre olmasına karşılık gelmektedir.

- Adım 2: Normalize edilmiş karar matrisinin oluşturulması için A matrisinin tüm girdilerinin kareleri $a_{ij}^2, i = 1, \dots, 3, j = 1, \dots, 4$ toplanarak her sütun elemanı o

sütundaki girdilerin ölçüsüne göre normalize edilir. O halde normalize edilmiş karar matrisi şu şekilde elde edilir:

$$R = \begin{bmatrix} 0.69 & 0.65 & 0.15 & 0.71 \\ 0.51 & 0.61 & 0.42 & 0.57 \\ 0.51 & 0.45 & 0.90 & 0.42 \end{bmatrix}$$

Bu matrisin elemanları A matrisinde her elemanın ait olduğu sütun elemanlarının boylarına göre normalize edilmesi ile belirlenmiştir. Örneğin $r_{22} = 0.61$ değeri

$$r_{22} = \frac{a_{22}}{\sqrt{\sum_{k=1}^3 a_{k2}^2}} = \frac{40}{\sqrt{a_{12}^2 + a_{22}^2 + a_{32}^2}} = \frac{40}{\sqrt{43^2 + 40^2 + 30^2}} = \frac{40}{65.95} = 0.61$$

şeklinde hesaplanmıştır.

- Adım 3: Ağırlık vektörü olarak verilen $W = [0.20 \ 0.20 \ 0.30 \ 0.30]$ kullanılarak ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisinin elemanları $t_{ij} = r_{ij} \times w_j$ şeklinde, R normalize edilmiş karar matrisi elemanlarının bulundukları sütuna karşı gelen kriterin ağırlığı ile çarpılması sonucu aşağıdaki gibi elde edilir:

$$T = \begin{bmatrix} 0.14 & 0.13 & 0.04 & 0.21 \\ 0.10 & 0.12 & 0.12 & 0.17 \\ 0.10 & 0.09 & 0.27 & 0.13 \end{bmatrix}$$

Örneğin $t_{24} = 0.17$ değeri $t_{24} = r_{24} \times w_4 = 0.57 \times 0.30$ şeklinde hesaplanmıştır.

- Adım 4: Pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözümün belirlenmesi için kriterler fayda ve zarar olarak kategorize edilir. Burada

Fayda kriterleri (J^+): {1,2,4}

Zarar kriterleri (J^-): {3}

şeklindedir. Bu durumda pozitif ideal çözüm

$$A^+ = \{\max(t_{i1}), \max(t_{i2}), \min(t_{i3}), \max(t_{i4})\} = \{0.14, 0.13, 0.04, 0.21\}$$

ve negatif ideal çözüm

$$A^- = \{\min(t_{i1}), \min(t_{i2}), \max(t_{i3}), \min(t_{i4})\} = \{0.10, 0.09, 0.27, 0.13\}$$

olarak belirlenir.

Burada pozitif ideal çözüm için ilgilenilen kriter fayda kriteri ise T ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisinde bu kriterin sütununda bulunan elemanların en büyüğü, zarar kriterlerinin sütunundaki elemanların ise en küçüğü alınır. Negatif ideal çözüm için ise tam tersi yaklaşım uygulanır. Örneğin C_1 : Soğuğa Dayanıklılık kriteri fayda kriteri olarak kategorize edilir. Dolayısıyla pozitif ideal çözümün ilk bileşeni için bu kriterin sütununda bulunan en büyük eleman olan 0.14 alınır.

- Adım 5: Alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözümlere uzaklıkları, ilgilenilen alternatif ve ideal çözüm elemanının değerleri kullanılarak hesaplanır.

A_1 : Kırmızı Amerikan Meşesi (*Quercus rubra*) alternatifi için pozitif ideal çözüme uzaklık

$$d_1^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^4 (t_{1j} - t_j^+)^2} = \sqrt{(0.14 - 0.14)^2 + \dots + (0.21 - 0.21)^2} = 0$$

iken negatif ideal çözüme uzaklık

$$d_1^- = \sqrt{\sum_{j=1}^4 (t_{1j} - t_j^-)^2} = \sqrt{(0.14 - 0.10)^2 + \dots + (0.21 - 0.13)^2} = 0.25$$

olarak hesaplanır.

A_2 : Küçük Yapraklı Ihlamur (*Tilia cordata*) için $d_2^+ = 0.10$ ve $d_2^- = 0.15$ olarak bulunur.

A_3 : Çınar Yapraklı Akçaağaç (*Acer platanoides*) için $d_3^+ = 0.25$ ve $d_3^- = 0$ olarak bulunur.

- Adım 6: İdeal çözüme yakınlık pozitif ve negatif ideallere olan uzaklıklar aracılığı ile

$$S_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}$$

şeklinde hesaplanır.

$$A_1: \text{Kırmızı Amerikan Meşesi (} \textit{Quercus rubra} \text{) için } S_1^* = \frac{d_1^-}{d_1^- + d_1^+} = \frac{0.25}{0 + 0.25} = 1$$

$$A_2: \text{Küçük Yapraklı Ihlamur (} \textit{Tilia cordata} \text{) için } S_2^* = \frac{d_2^-}{d_2^- + d_2^+} = \frac{0.15}{0.15 + 0.10} = 0.61$$

A_3 : Çınar Yapraklı Akçaağaç (*Acer platanoides*) için $S_3^* = \frac{d_3^-}{d_3^- + d_3^+} = \frac{0}{0+0.25} = 0$

- Adım 7: Alternatifler $S_i^*, i = 1, 2, 3$ yakınlık katsayıları kullanılarak $\{A_3, A_2, A_1\}$ şeklinde sıralanır.

$$S = \max(S_i^*), i = 1, 2, 3 = S_1^*$$

Bu durumda en uygun alternatif A_1 : Kırmızı Amerikan Meşesi (*Quercus rubra*) olarak bulunur. Ön incelemede yapılan tahminin TOPSIS sonucunda da elde edildiği görülmektedir. Tüm fayda kriterlerinde en büyük değere ve zarar kriterinde en küçük değere sahip olan A_1 alternatifi için $S_1^* = 1$, tam tersi durumdaki A_3 alternatifi için $S_3^* = 0$ elde edilmiş olması TOPSIS yönteminin kararlılığının da bir göstergesidir. Karar matrisindeki alternatiflerin kriter değerlerinin birbirine yakın olduğu ve bu değerlerin alternatifleri net bir şekilde öne çıkarmadığı (veya geriye düşürmediği) durumlarda karar matrisi aracılığıyla bir tahminde bulunulması neredeyse imkansızdır. Bu durumda TOPSIS ve benzeri karar verme yöntemlerinin önemi daha da öne çıkmaktadır.

2.7. TOPSIS Yöntem Tercihinin Motivasyonu

Tez çalışmasında kullanılmak üzere literatürde var olan birçok ÇKKV yönteminin arasından TOPSIS yöntemi tercih edilmiştir. Oldukça fazla sayıdaki ÇKKV yöntemi arasından TOPSIS yönteminin standart formunun tercih edilmesinin nedenleri şöyle listelenebilir:

- TOPSIS yöntemi çevre bilimlerinde çokça kullanılan bir yöntemdir. Yağmur suyu yönetimi ile ilgili farklı çalışmalar da dahil olmak üzere TOPSIS yöntemi gerek tek başına gerekse de farklı ÇKKV yöntemleri ile bir arada ilgili alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu tezde TOPSIS kullanılması hem alandaki eğilime uyumlu bir seçim yapılması hem de çalışmanın devamında TOPSIS yönteminin alandaki farklı kullanımları ile ilişkilendirilebilmesine imkân sağlayacaktır.
- TOPSIS yöntemi, özellikle standart formunda, matematik alanında uzman olmayanlar tarafından da anlaşılmaya müsait bir matematiksel altyapıya sahiptir. Yöntemin adımlarının hem hesap yükü olarak hem de algoritmaya aktarım açısından matematik dışındaki alanlardan araştırmacılar tarafından yürütülmesi mümkündür. Ayrıca en çok kullanılan

ÇKKV yöntemlerinden biri olması nedeniyle internat üzerinde TOPSIS üzerindeki hesabı otomatik olarak gerçekleştiren yazılımlar da açık erişim ile kullanıcıların faydalanması için sunulmaktadır. Dolayısıyla ileri düzeyde bir matematik uzmanlığı gerektirmeden TOPSIS yönteminin hesaplarının yapılması mümkündür.

- TOPSIS yöntemi karar vericinin tercihlerini temel alan bir yöntem olması sebebiyle çok geniş çaplı bir uygulama imkânı sunmaktadır. Araştırmaya dahil edilecek alternatiflerin, alternatifleri değerlendirmek için kullanılacak kriterlerin ve bu kriterler için kullanılacak kriter ağırlıklarının tercihi tamamen karar vericinin seçimine bağlıdır. Bu nedenle yöntem hem karar verme probleminde değişecek koşullarında hem de karar vericinin tercihlerinde yaşanabilecek değişimlere kolaylıkla ayak uydurabilecek yapıdadır. Karar vericinin yukarıda bahsedilen yöntem bileşenlerinin seçiminde esnek imkanlara sahip olması belirlenecek en uygun yağmur suyu yönetimi stratejisi için avantaj sunmaktadır. Alternatiflerin ilgilenilen alana göre değerlendirmeye alınıp alınmaması, alana özgü yeni değerlendirme kriterlerinin kullanılması ve yine ilgilenilen alanlarda veya proje yapısındaki değişikliklere göre kriter ağırlıklarında değişiklik yapılabilmesi TOPSIS yönteminin seçiminde önemli katkı sağlamıştır.

- TOPSIS yöntemi kullanılarak değerlendirilecek alternatif için kullanılacak kriterlerin değerleri için hem nitel hem de nicel verilerin işlenmesi mümkündür. Örneğin bir alana ait en uygun yağmur suyu yönetimi stratejisinin belirlenmesi için kullanılacak alternatiflerle ilgili maliyet kriterine göre inceleme yapılacaksa maliyet verisi nicel olduğu için direkt olarak kullanılabilir. Farklı bir kriter olarak alternatiflerin bitkisel çeşitlilikleri kullanılacaksa bu alternatifler 1-5 veya 1-10 arası puanlanarak veya farklı bir ölçekte sıralanarak TOPSIS yöntemi ile incelenebilmektedir. TOPSIS yöntemi karar matrisindeki değerler üzerinde normalizasyon içerdiği için puanlanacak aralığın veya sıralamada kullanılan sayısal değerlerin seçimi karar vericiye kalmaktadır. Bitkisel çeşitlilik kriterine verilecek cevaplar “ağaç ve ağaççık var-yok”, “çalı var-yok”, “yer örtücü var-yok” şeklinde nitel (veya kategorik) olsa bile bu kategorilere verilecek sayısal değerler ile (örneğin ağaç yok için 0, ağaç var için 1 vb.) TOPSIS yönteminin kullanılması mümkündür.

- TOPSIS yöntemi girilen karar matrisi aracılığı ile incelenen karar verme problemi için ideal çözümü belirleme ve bu ideal çözüme göre alternatifleri sıralama temelli bir yaklaşımdır. Alana özgü en uygun yağmur suyu yönetimi stratejisi belirleme probleminde TOPSIS kullanımı farklı alternatiflerin değerlendirilmesi aşamasında ideal alternatifin

özelliklerini sunması ve ideal çözüm için sunduğu basit sayısal verilerle diğer alternatiflerin değerlendirilebilmesini mümkün kılması açısından incelenen probleme uygun yapıdadır.

- TOPSIS yönteminde ne kadar büyük bir sayıda alternatif ve kriter ile inceleme yapılırsa yapılsın son aşamada alternatiflerin incelenen probleme uygunluğu her alternatif için üretilen bir sayısal değer kullanılarak sunulmaktadır. Dolayısıyla alana özgü en uygun yağmur suyu yönetimi stratejisi belirleme probleminde değerlendirilecek farklı stratejiler son aşamada birer sayı ile temsil edilerek sıralanacağı için araştırmacının kolayca karar vermesi mümkündür. Yöntemin hesap adımlarındaki basit yapı yanı sıra karar verme aşamasındaki sade ve kolay yapı TOPSIS yöntemini tez çalışması için cazip bir seçenek olarak öne çıkarmaktadır.

TOPSIS algoritması aşağıdaki gibi verilmektedir (Hwang ve Yook, 1981; Akyüz vd., 2011).

2.8. Metot

Bu çalışmada belirli alanlar özelinde en uygun YSY metodlarını belirlemek ve bunların avantajlarını ortaya koymak amaçlanmıştır. Literatür varolan YSY stratejileri ve bunların uygulamaları incelenmiştir. Belirlenen çalışma alanları için alanın mevcut halinde yüzey akış miktarlarının hesaplanmasında SWMM yazılımı kullanılmıştır. Daha sonrasında her iki çalışma alanı için en uygun metodun belirlenmesi için ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. ÇKKV metodlarından biri olan TOPSIS bu tarz çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. TOPSIS metodunda oluşturulan Karar matrislerine ait kriter ağırlıkları için “stormwater management”, “rainwater management”, “TOPSIS”, “green infrastructure”, “urban hydrology” etiketleri ile Google Scholar’den yapılan aramalar sonucunda alanında en çok çalışma ve atıfa sahip bilim insanları belirlenmiş, bu kişiler arasından son yıllarda da aktif olan bu alanla ilgili çalışmalarına devam eden isimler seçilmiştir. Bu bilim insanlarına gönderilen e posta ile, çalışma hakkında kısa bir bilgi verilip, “yüzey akışını etkileyen kriterlerin neler olduğu ve bunların yüz puan üzerinden nasıl ağırlıklandırılacağı” sorulmuştur. TOPSIS yöntemiyle ele alınacak alternatifler literatürde var olan yeşil altyapı/düşük etkili gelişme uygulamaları arasından en popüler olan ve akademik çalışmalar içerisinde en fazla rastlanan uygulamalar seçilmiştir. Bunlar Biyo tutma alanları, yağmur bahçeleri, biyo hendekler ve geçirgen kaldırımlar olarak belirlenmiştir. Elde edilen yanıtlardan çıkan sonuçlarla yapılan TOPSIS uygulaması için kriter ağırlıkları iki farklı alan için ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu doğrultuda çalışma alanları için elde edilen

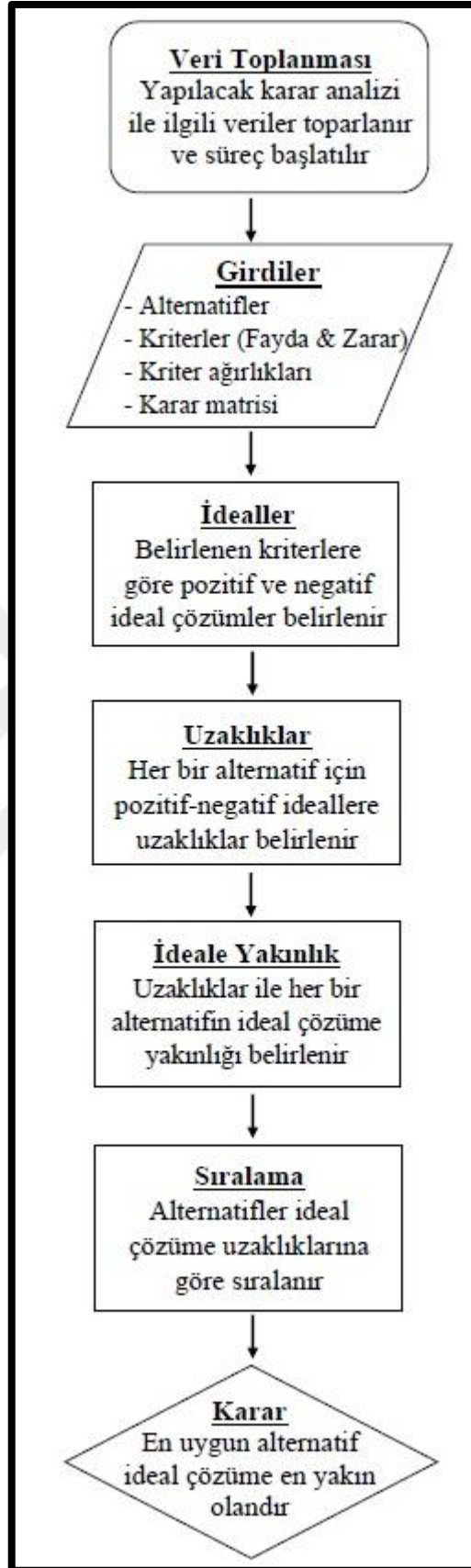
bilgiler sonucu oluşturulan karar matrisleri aşağıdaki gibidir (Tablo 15 ve 16). Karar matrislerindeki değerlerin belirlenirken her kriter için ayrı ayrı detaylı olarak çalışılmıştır. Çalışma alanı 1'deki ilk kriter yüzey örtüsü geçirgenliği uygulama alanının toplam sert zemin ve yeşil alan oranlamasına göre 100 üzerinden hesaplanmıştır. Eğim kriteri alternatiflerin uygulama alanına aplikasyonu varsayılarak hangi alana hangi alternatif geldiği takdirde oluşabilecek eğim miktarları hesaplanmıştır. Alternatiflerin hepsinin çalışma alanının tamamına uygulanabilirliği söz konusu değildir (örneğin yeşil alanlara geçirgen kaplama uygulanamayacağı gibi) bu nedenle eğim kriterinde farklılıklar oluşmuştur. Yağış miktarı kriteri tüm alan için ortak olsa da buradaki farklılık alanların yüzey örtüsü geçirgenliği, toplam alan büyüklüğü ve bunun neticesinde oluşan yağış/yüzey örtüsü/alan büyüklüğü değerleri harmanlanarak hesaplanmasından kaynaklanmıştır. Bitkisel çeşitlilik kriteri alternatifin uygulamada içereceği bitkisel çeşitlilik 5 üzerinden değerlendirilerek belirlenmiştir. Toplam alan büyüklüğü ise alternatiflerin çalışma alanının maksimum ne kadarına uygulanabileceğini göstermektedir. Maliyet kriteri alternatiflerin uygulanması sonucu oluşabilecek toplam maliyeti temsil edecek şekilde örneklendirilmiştir. İki çalışma alanında ortak olan kriterler aynı şekilde hesaplanmıştır. Sadece çalışma alanı 2'de olan Yol Genişliği/Alan Büyüklüğü kriteri, yol ve alternatiflerin uygulama alanlarıyla ilişkilerine göre hesaplanmıştır. Yeşil alan miktarı alternatiflerin uygulanabilirliğine göre değişkenlik göstermiştir. Dere yatağı genişliği ve dere yol bağlantısı/ geçirgenliği kriteri ise yüzey örtüsü geçirgenliği, alternatiflerin uygulanabilir alan büyüklükleri kriterleri göz önünde bulundurularak belirlenen değerleri içermektedir. Bu karar matrislerinin ve kriter ağırlıklarının MATLAB (R2022b) programında yazılan algoritmaya tanıtılmasının ardından alternatifler için benzerlik katsayıları program tarafından hesaplanmış ve iki uygulama alanı için de en uygun alternatifler belirlenmiştir. Kullanılan algoritmanın akış şeması aşağıda gösterilmektedir (Şekil 54). Programın uygulamalar için yöntem kapsamında otomatik olarak gerçekleştirdiği hesaplamalar uygulamaların sunumunda detaylı olarak verilmiştir.

2.9. SWMM Programı ile Yüzey Akış Simülasyonu

ABD'nin Çevresel Koruma Ajansı'nın (Environmental Protection Agency/EPA) Yağmur Suyu Yönetim Modeli (Stormwater Management Model/SWMM), ajansın web sayfasında ücretsiz olarak sunulan, kentsel alanlarda akış miktarının ve kalitesinin tek olay veya uzun vadeli simülasyonu için kullanılan dinamik bir yağış akışı modelidir. Model,

kentsel alanlarda drenaj sistemleri veya YSY uygulamaları ile ilgili planlama, analiz ve tasarım için yaygın olarak kullanılmaktadır (Rossman, 2009). Bu tez çalışmasında SWMM 5.1 versiyonu çalışma alanlarındaki yüzeysel akış miktarlarının hesaplamaları ve simülasyonları için kullanılmıştır. Her iki çalışma alanı için öncelikle alan mevcut haliyle herhangi bir yağış verisi ve zaman aralığı kullanılarak belirli zamanda oluşacak olan yüzeysel akış miktarları belirlenmiştir. Daha sonra TOPSIS metotları sonucunda belirlenen ideal YSY uygulamaları SWMM programında alana entegre edilmiş, aynı yağış miktarı ve zaman aralığında yüzey akış miktarları tekrar simule edilmiştir. Bu şekilde her iki çalışma alanı için önerilen yönetim uygulamalarının geçerliliği doğrulanmıştır.





Şekil 54. Çalışmada kullanılan TOPSIS yöntemine ait akış şeması

Tablo 15. Çalışma Alanı 1 için oluşturulan Karar Matrisi

	C1: Yüzey Örtüsü Geçirgenliği Fayda kriteri 0.30	C2: Eğim Zarar kriteri 0.15	C3: Yağış miktarı Zarar kriteri 0.25	C4: Bitkisel Çeşitlilik Fayda kriteri 0.10	C5: Toplam Alan Büyüklüğü Fayda kriteri 0.10	C6: Maliyet Zarar kriteri 0.10
A1:Geçirgen kaplamalar	30	5	1700	1	22924	25000
A2:Yağmur Bahçeleri	90	8	1100	4	11000	20000
A3:Biyo hendek	80	20	1300	3	7500	15000
A4:Biyo tutma alanları	90	10	200	5	25540	40000

Tablo 16. Çalışma Alanı 2 için Güneysu için oluşturulan Karar Matrisi

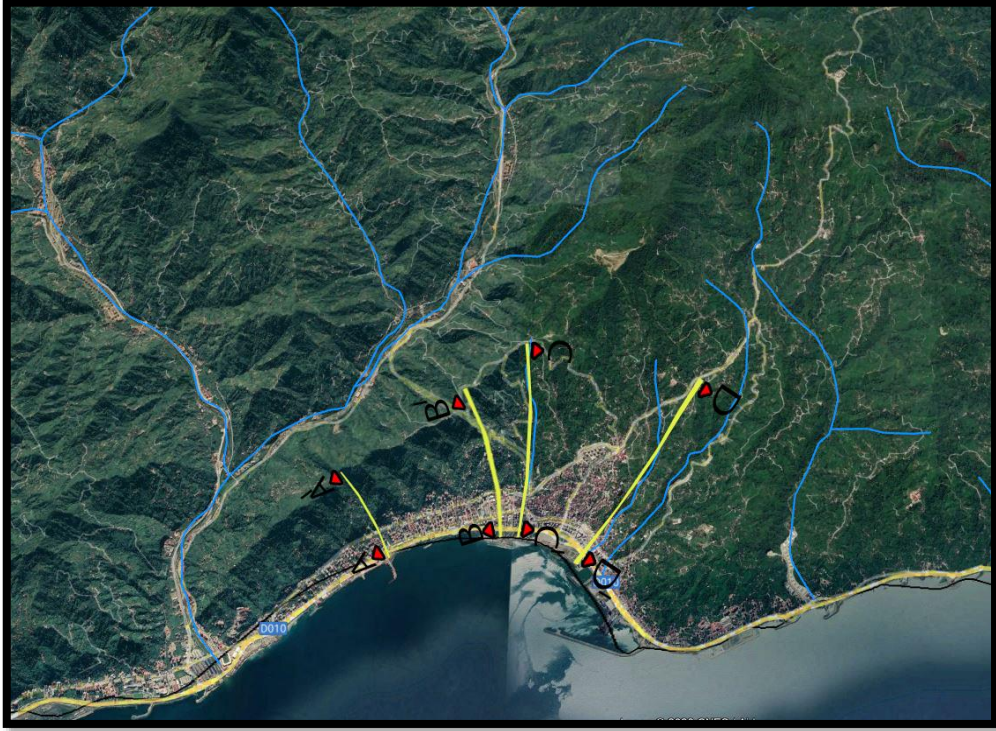
	C1:Yüzey Örtüsü Geçirgenliği Fayda kriteri 0.20	C2:Eğim Zarar kriteri 0.05	C3:Yağış miktarı Zarar kriteri 0.30	C4:Yeşil alan miktarı Fayda kriteri 0.05	C5: Yol Genişliği/Ala n Büyüklüğü Fayda kriteri 0.10	C6: Dere Yatağı Genişliği Zarar kriteri 0.10	C7: Dere/ Yol Bağlantısı/ geçirgenliği Zarar kriteri 0.10	C8: Maliyet zarar kriteri 0.10
A1:Geçirgen kaplamalar	40	5	1300	1	7000	30	60	20000
A2:Yağmur Bahçeleri	30	10	1500	1	3000	36	72	7000
A3:Biyo hendek	60	10	500	4	5000	20	40	10000
A4:Biyo tutma alanları	10	10	1800	1	1600	42	85	5000

3. BULGULAR

Bu bölümde Rize kent hidrolojisi ile ilgili veriler ve çalışma alanları özelinde TOPSIS yöntemi ile en uygun YSY stratejisinin belirlenmesi ve alan bazlı simülasyonlar ile ilgili süreç detaylı bir şekilde sunulmaktadır.

3.1. Rize Kent Hidrolojisi ve Peyzaj İlişkisine Ait Bulgular

Çalışmanın bu bölümünde önceki bölümlerde detaylı olarak verilen Rize'nin kent hidrolojisi ile ilgili yapılan çalışmalar sunulmuştur. Şekil 55'te Rize kent merkezine ait uydu görüntüsü yer almakta ve bu görüntü üzerinde bazı kesit noktaları belirlenmiştir.



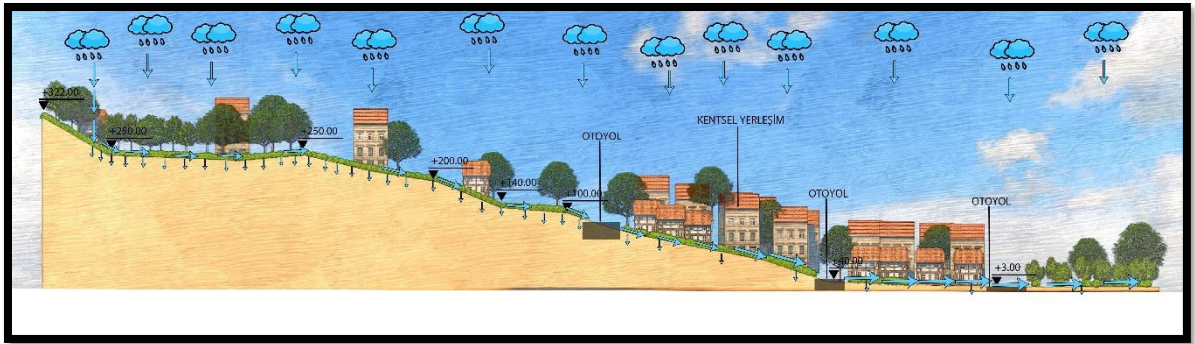
Şekil 55. Kesit yerlerinin uydu görüntüsü üzerindeki konumları

Rize kent merkezinin 4 farklı noktasından alınan 4 kesit (a-a', b-b', c-c' ve d-d' kesitleri) ile kenti çevreleyen sırttan sahil kısmına kadar olan kent kullanımları, yükselti farkları ve eğimler belirlenmiştir.



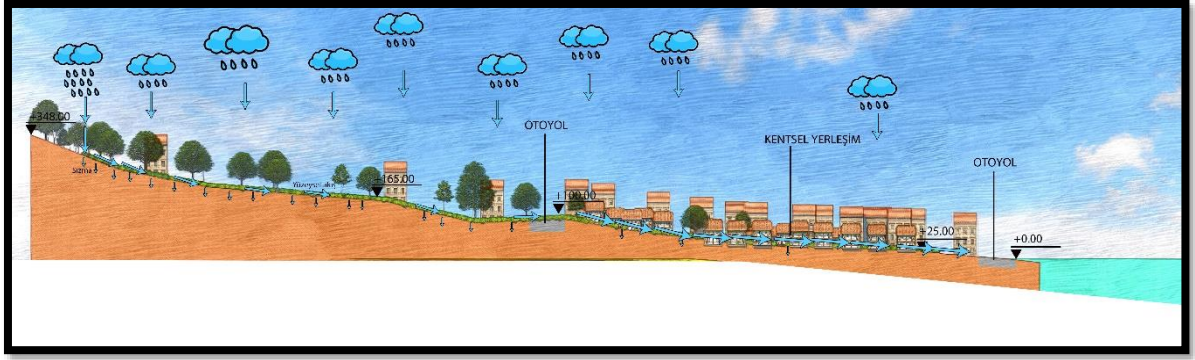
Şekil 56. A-A' kesiti

A-A' kesiti alındığı noktadan sahile indiği kısım itibariyle Bağdatlı Mahallesi sınırlarına tekabül etmektedir. Tepe kısmından itibaren 324 m yükseltiye sahip olan bu alanın ortalama eğimi % 23.5'dür. 450 m'lik sahil kısmı harici tepeye doğru çıkıldıkça yerleşim sayısı oldukça az olup çay tarımının yoğun olduğu alanlardır. Alanda sahile doğru inildikçe kentleşmenin arttığı kısımlarda yüzey akış miktarı artışı ve infiltrasyonun azalımı şekil 56'da verilmektedir.



Şekil 57. B-B' kesiti

B-B' kesiti alındığı noktadan sahile indiği kısım itibariyle Rize Sahil Parkı'nın çalışma alanı 1 sınırlarını da içeren Müftü Mahallesi içerisinde kalan alana karşılık gelmektedir. Tepe kısmından itibaren 322 m yükseltiye sahip olan bu alanın ortalama eğimi % 17.7'dir. Sahil kısmında yerleşim ve kentleşmenin yoğun olduğu yaklaşık 740 m'lik bir kısım bulunmaktadır. Tepe kısımlarındaki yerleşimler A-A' kesitindeki alana nispeten daha yoğun sayılabilir. Alandaki yüzey akış miktarı artışı ve infiltrasyonun azalışı şekil 57'de verilmektedir.



Şekil 58. C-C' kesiti

C-C' kesiti alındığı noktadan sahile indiği kısım itibariyle Ekrem Orhon mahallesi sınırlarına tekabül etmektedir. Tepe kısmından itibaren 348 m yükseltiye sahip olan bu alanın ortalama eğimi % 14.6'dır. 700 m'lik sahil kısmı harici tepeye doğru çıkıldıkça yerleşim sayısı oldukça az olup çay tarımının yoğun olduğu alanlardır. Alanda sahile doğru inildikçe kentleşmenin arttığı kısımlarda yüzey akış miktarı artışı ve infiltrasyonun azalımı şekil 56'da verilmektedir.



Şekil 59. D-D' kesiti

D-D' kesiti alındığı noktadan sahile indiği kısım itibariyle Eminettin Mahallesi sınırlarına tekabül etmektedir. Bu kesitin alındığı alan diğerlerine nispeten daha farklı bir topografya örneği olup yükseltinin arttığı ve azaldığı kısımlar mevcuttur. Kesitin en uç noktasında 159 m seviyelerinden başlayan yükselti 200 m civarlarına kadar çıkıp daha sonra azalışlar ve artışlar gösterdiği noktalarla 0 kotuna kadar iner. Ortalama eğim % 9.3 civarlarındadır. Sahil kısımlarındaki kentleşmenin nispeten daha az sayılabileceği bu alanda tepe kısımlarında aksine diğer alanlara nazaran daha fazla yerleşimlerin olduğu görülmekte olup yüzey akış miktarı ve infiltrasyon miktarı değişimi şekil 59'da verilmiştir.

Rize kent merkezinin 4 farklı noktasından alınan bu kesit anlatımları üzerinden herhangi bir yağmur esnasında ve sonrasında yağış sularının kent içerisindeki hareketini

grafikleştirilmek amaçlanmıştır. Bu şekilde yamaçlardan inen yağışların kentleşmenin arttığı noktalara doğru gelindikçe kademeli olarak artışı görülmekte ve kentsel peyzaj altyapısının bu noktalarda güçlendirilmesinin gerekliliğinin ortaya koyulması hedeflenmiştir.

3.2. Yağmur Suyu Yönetiminde ÇKKV ve Kullanımına Ait Bilgiler

Bu bölümde her iki çalışma alanı için yapılan TOPSIS uygulamaları ve elde edilen veriler tüm detayları ile verilmektedir. Her iki uygulama alanı için oluşturulan karar matrisleri kriterler ve kriter ağırlıklarındaki farklılıklar nedeniyle ayrı ayrı düzenlendiğinden iki uygulama farklı başlıklar altında sunulmuştur.

3.3. Sahil Parkı Uygulamasına Ait Bulgular

TOPSIS yönteminin Rize ilinde farklı tipteki bölgelerde uygulanacak olan YSY stratejilerinin seçimi problemine uygulanışı iki örnek üzerinden sunulmaktadır. İlk örnek Rize sahil parkı alanına ait veriler kullanılarak oluşturulmuştur.

3.3.1. Karar Matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	
	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	
A_1	30	5	1700	1	22924	25000	A_1 : Geçirgen kaplamalar
A_2	90	8	1100	4	11000	20000	A_2 : Yağmur bahçeleri
A_3	80	20	1300	3	7500	15000	A_3 : Biyo hendek
A_4	90	10	200	5	25540	40000	A_4 : Biyo tutma alanları
							C_1 : Yüzey örtüsü geçirgenliği ($w_1 = 0.3$)
							C_2 : Eğim ($w_2 = 0.15$)
							C_3 : Yağış miktarı ($w_3 = 0.25$)
							C_4 : Bitkisel çeşitlilik ($w_4 = 0.10$)
							C_5 : Toplam alan büyüklüğü ($w_5 = 0.10$)
							C_6 : Maliyet ($w_6 = 0.10$)

3.3.2. Normalize Edilmiş Karar Matrisi

$A = (a_{ij})_{4 \times 6}$ karar matrisinin her bir elemanı kriterlere ait sütun elemanları kullanılarak normalize edilir:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}}$$

- C_1 kriterine ait karar matrisi değerlerin normalize edilmesi $j = 1$ için ilk sütun elemanlarının karelerinin toplamı $m = 4$ satır (alternatif) olduğundan:

$$\sqrt{\sum_{k=1}^4 a_{k1}^2} = \sqrt{a_{11}^2 + a_{21}^2 + a_{31}^2 + a_{41}^2} = \sqrt{30^2 + 90^2 + 80^2 + 90^2} = \sqrt{23500}$$

$$\Rightarrow \sqrt{\sum_{k=1}^4 a_{k1}^2} = 153.2971$$

bulunur. Buradan normalize edilmiş ilk satır elemanları

$$r_{11} = \frac{a_{11}}{\sqrt{23500}} = \frac{30}{153.2971} = 0.1957$$

$$r_{21} = \frac{a_{21}}{\sqrt{23500}} = \frac{90}{153.2971} = 0.5871$$

$$r_{31} = \frac{a_{31}}{\sqrt{23500}} = \frac{80}{153.2971} = 0.5219$$

$$r_{41} = \frac{a_{41}}{\sqrt{23500}} = \frac{90}{153.2971} = 0.5871$$

olarak belirlenir.

- Diğer satır için normalizasyon katsayıları

$$\sqrt{\sum_{k=1}^4 a_{k2}^2} = \sqrt{589} = 24.2693$$

$$\sqrt{\sum_{k=1}^4 a_{k3}^2} = \sqrt{5830000} = 2414.5393$$

$$\sqrt{\sum_{k=1}^4 a_{k4}^2} = \sqrt{51} = 7.1414$$

$$\sqrt{\sum_{k=1}^4 a_{k5}^2} = \sqrt{1355051376} = 36811.0225$$

$$\sqrt{\sum_{k=1}^4 a_{k6}^2} = \sqrt{2850000000} = 53385.3913$$

şeklinde elde edilir.

Bu durumda normalize edilmiş karar matrisi $R = (r_{ij})_{4 \times 6}$

$$R = \begin{bmatrix} 30 & 5 & 1700 & 1 & 22924 & 25000 \\ \hline 153.2971 & 24.2693 & 2414.5393 & 7.1414 & 36811.0225 & 53385.3913 \\ 90 & 8 & 1100 & 4 & 11000 & 20000 \\ \hline 153.2971 & 24.2693 & 2414.5393 & 7.1414 & 36811.0225 & 53385.3913 \\ 80 & 20 & 1300 & 3 & 7500 & 15000 \\ \hline 153.2971 & 24.2693 & 2414.5393 & 7.1414 & 36811.0225 & 53385.3913 \\ 90 & 10 & 200 & 5 & 25540 & 40000 \\ \hline 153.2971 & 24.2693 & 2414.5393 & 7.1414 & 36811.0225 & 53385.3913 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow R = \begin{bmatrix} 0.1957 & 0.2060 & 0.7041 & 0.1400 & 0.6227 & 0.4683 \\ 0.5871 & 0.3296 & 0.4556 & 0.5601 & 0.2988 & 0.3746 \\ 0.5219 & 0.8241 & 0.5384 & 0.4201 & 0.2037 & 0.2810 \\ 0.5871 & 0.4120 & 0.0828 & 0.7001 & 0.6938 & 0.7493 \end{bmatrix}$$

olarak bulunur.

3.3.3. Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi

Kriter ağırlıklarının oluşturduğu $W = [0.30 \ 0.15 \ 0.25 \ 0.10 \ 0.10 \ 0.10]$ vektörünün normalize edilmiş karar matrisi R ile çarpılmasıyla $T = (t_{ij})_{4 \times 6}$ ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilir. $t_{ij} = r_{ij} \times w_j, i = 1, \dots, 4, j = 1, \dots, 6$ olmak üzere $T = (t_{ij})_{4 \times 6}$ matrisi

$$\begin{bmatrix} 0.1957 \times 0.3 & 0.2060 \times 0.15 & 0.7041 \times 0.25 & 0.1400 \times 0.1 & 0.6227 \times 0.1 & 0.4683 \times 0.1 \\ 0.5871 \times 0.3 & 0.3296 \times 0.15 & 0.4556 \times 0.25 & 0.5601 \times 0.1 & 0.2988 \times 0.1 & 0.3746 \times 0.1 \\ 0.5219 \times 0.3 & 0.8240 \times 0.15 & 0.5384 \times 0.25 & 0.4201 \times 0.1 & 0.2037 \times 0.1 & 0.2810 \times 0.1 \\ 0.5871 \times 0.3 & 0.4120 \times 0.15 & 0.0828 \times 0.25 & 0.7001 \times 0.1 & 0.6938 \times 0.1 & 0.7493 \times 0.1 \end{bmatrix}$$

olarak hesaplanır. Bu durumda

$$T = \begin{bmatrix} 0.0587 & 0.0309 & 0.1760 & 0.0140 & 0.0623 & 0.0468 \\ 0.1761 & 0.0494 & 0.1139 & 0.0560 & 0.0299 & 0.0375 \\ 0.1566 & 0.1236 & 0.1346 & 0.0420 & 0.0204 & 0.0281 \\ 0.1761 & 0.0618 & 0.0207 & 0.0700 & 0.0694 & 0.0749 \end{bmatrix}$$

şeklindeki ağırlıklandırılmış karar matrisi bulunur.

3.3.4. Pozitif ve Negatif İdeal Çözümler

Alternatifleri değerlendirmek için kullanılan $C_i, i = 1, \dots, 6$ kriterleri aşağıdaki gibi fayda ve zarar kriterleri olarak gruplandırılabilir.

Fayda kriterleri: C_1, C_4, C_5

Zarar kriterleri: C_2, C_3, C_6

Bu durumda fayda kriterleri için indeks kümesi $J^+ = \{1, 4, 5\}$ ve zarar kriterleri için indeks kümesi $J^- = \{2, 3, 6\}$ olur. Pozitif ideal çözüm fayda kriterlerine ait değerlerden en büyük olanları ve zarar kriterlerine ait değerlerden en küçük olanları kullanılarak belirlenir.

$$A^+ = \{t_j^+, j = 1, \dots, 6\} = \begin{cases} \max(t_{ij}), i = 1, \dots, 4, j \in \{1, 4, 5\} \\ \min(t_{ij}), i = 1, \dots, 4, j \in \{2, 3, 6\} \end{cases}$$

$$\Rightarrow A^+ = [0.1761 \ 0.0309 \ 0.0207 \ 0.0700 \ 0.0694 \ 0.0281] = \{t_j^+, j = 1, \dots, 6\}$$

Benzer şekilde negatif ideal çözüm fayda kriterlerine ait değerlerden en küçük olanları ve zarar kriterlerine ait değerlerden en büyük olanları kullanılarak belirlenir.

$$A^- = \{t_j^-, j = 1, \dots, 6\} = \begin{cases} \min(t_{ij}), i = 1, \dots, 4, j \in \{1, 4, 5\} \\ \max(t_{ij}), i = 1, \dots, 4, j \in \{2, 3, 6\} \end{cases}$$

$$\Rightarrow A^- = [0.0587 \ 0.1236 \ 0.1760 \ 0.0140 \ 0.0204 \ 0.0749] = \{t_j^-, j = 1, \dots, 6\}$$

3.3.5. Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlere Uzaklıklar

İncelenen $A_i, i = 1, 2, 3, 4$ alternatiflerinin en uygun olanının belirlenmesi alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözümlere uzaklıklarının belirlenmesi ile mümkündür. Pozitif ideal çözüme uzaklık d_i^+ ve negatif ideal çözüme olan uzaklık d_i^- aşağıdaki gibi belirlenmektedir.

- “ A_1 : Geçirgen kaplamalar” alternatifi için d_1^+ pozitif ideal çözüme olan uzaklığı

$$\begin{aligned} d_1^+ &= \sqrt{\sum_{j=1}^6 (t_{1j} - t_j^+)^2} = \sqrt{(t_{11} - t_1^+)^2 + \dots + (t_{16} - t_6^+)^2} \\ &= \sqrt{(0.0587 - 0.1761)^2 + \dots + (0.0468 - 0.0281)^2} = 0.2036 \end{aligned}$$

olarak elde edilirken d_1^- negatif ideal çözüme olan uzaklığı

$$\begin{aligned} d_1^- &= \sqrt{\sum_{j=1}^6 (t_{1j} - t_j^-)^2} = \sqrt{(t_{11} - t_1^-)^2 + \dots + (t_{16} - t_6^-)^2} \\ &= \sqrt{(0.0587 - 0.0587)^2 + \dots + (0.0468 - 0.0749)^2} = 0.1055 \end{aligned}$$

şeklinde bulunur.

- Benzer şekilde “ A_2 : Yağmur bahçeleri” alternatifi için

$$d_2^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^6 (t_{2j} - t_j^+)^2} = 0.1043$$

ve

$$d_2^- = \sqrt{\sum_{j=1}^6 (t_{2j} - t_j^-)^2} = 0.1625$$

bulunur.

- “ A_3 : Biyo hendek” alternatifi için

$$d_3^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^6 (t_{3j} - t_j^+)^2} = 0.1585$$

ve

$$d_3^- = \sqrt{\sum_{j=1}^6 (t_{3j} - t_j^-)^2} = 0.1194$$

bulunur.

- “ A_4 : Biyo tutma alanları” alternatifi için

$$d_4^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^6 (t_{4j} - t_j^+)^2} = 0.0561$$

ve

$$d_4^- = \sqrt{\sum_{j=1}^6 (t_{4j} - t_j^-)^2} = 0.2174$$

bulunur.

3.3.6. İdeal Çözümeye Yakınlık

“ A_1 : Geçirgen kaplamalar”, “ A_2 : Yağmur bahçeleri”, “ A_3 : Biyo hendek” ve “ A_4 : Biyo tutma alanları” alternatiflerinin ideal çözüme yakınlıkları bir önceki aşamada hesaplanmış olan $d_1^+, d_2^+, d_3^+, d_4^+$ pozitif ideal çözüme uzaklıkları ve $d_1^-, d_2^-, d_3^-, d_4^-$ negatif ideal çözüme uzaklıkları kullanılarak belirlenir. $S_i^*, i = 1,2,3,4$ ideal çözüme göreceli yakınlıkları

$$S_1^* = \frac{d_1^-}{d_1^- + d_1^+} = \frac{0.1055}{0.1055 + 0.2036} = 0.3414$$

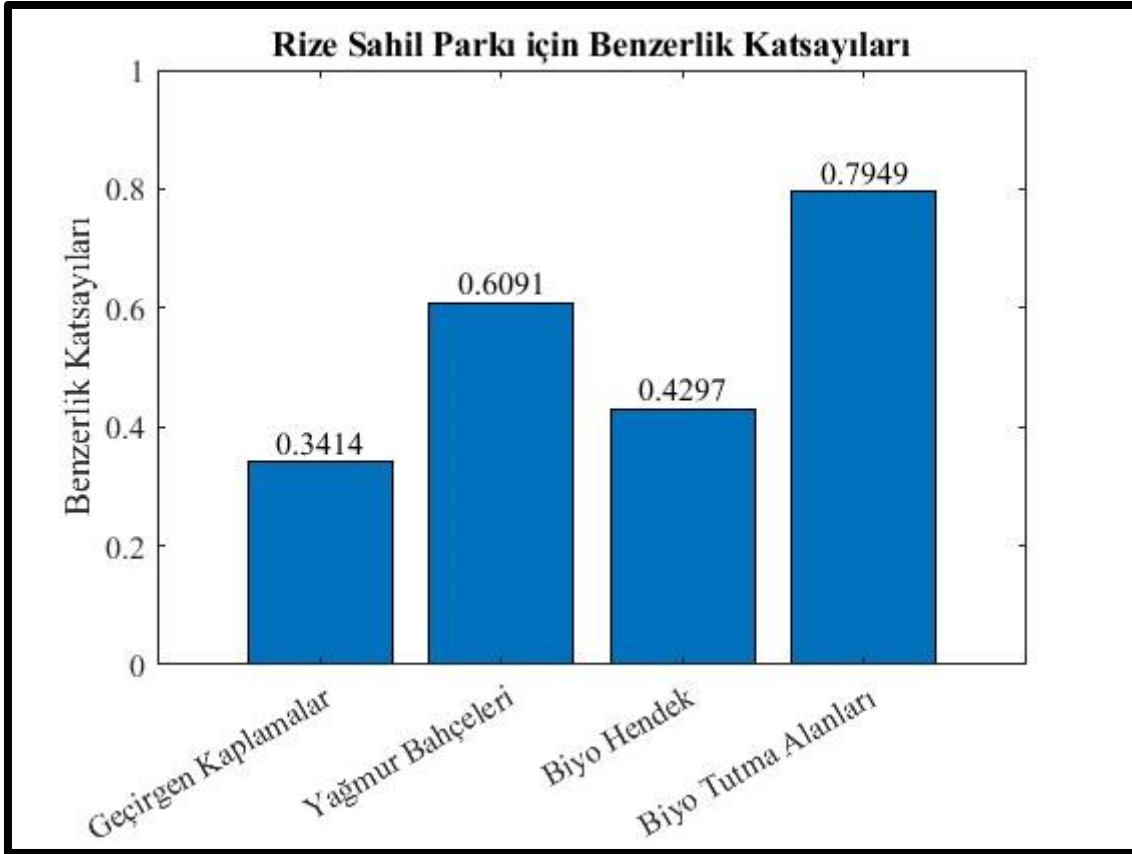
$$S_2^* = \frac{d_2^-}{d_2^- + d_2^+} = \frac{0.1625}{0.1625 + 0.1043} = 0.6091$$

$$S_3^* = \frac{d_3^-}{d_3^- + d_3^+} = \frac{0.1194}{0.1194 + 0.1585} = 0.4297$$

$$S_4^* = \frac{d_4^-}{d_4^- + d_4^+} = \frac{0.0561}{0.0561 + 0.2174} = 0.7949$$

olarak elde edilir.

$S_i^*, i = 1,2,3,4$ ideal çözüme göreceli yakınlıklarının büyüklükleri (benzerlik katsayıları) ve birbirlerine göre durumları aşağıdaki şekilde görsel olarak sunulmaktadır (Şekil 60).



Şekil 60. Rize sahil parkı için TOPSIS yöntemi ile elde edilen benzerlik katsayıları

3.3.7. Alternatiflerin Sıralanması

Her bir alternatif için hesaplanan S_i^* , $i = 1,2,3,4$ ideal çözüme göreceli yakınlıkları büyükten küçüğe doğru sıralanırsa

$$S_4^* > S_2^* > S_3^* > S_1^*$$

elde edilir. Bu sonuç, TOPSIS yöntemine göre ideal çözüme yakınlığı en büyük olan “A₄: Biyo tutma alanları” alternatifinin en uygun alternatif olduğunu belirtir.

3.4. Dere Kenarı Otoyol Uygulaması: Güneysu-Rize Bağlantı Yolu

İkinci örnek olarak Güneyse-Rize bağlantı yoluna ait veriler üzerinden bu alanda kullanılması en uygun olan YSY stratejisi incelenmektedir.

3.4.1. Karar Matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8
A_1	40	5	1300	1	7000	30	60	20000
A_2	30	10	1500	1	3000	36	72	7000
A_3	60	10	500	4	5000	20	40	10000
A_4	10	10	1800	1	1600	42	85	5000

A_1 : Geçirgen kaplamalar

A_2 : Yağmur bahçeleri

A_3 : Biyo hendek

A_4 : Biyo tutma alanları

C_1 : Yüzey örtüsü geçirgenliği ($w_1 = 0.20$)

C_2 : Eğim ($w_2 = 0.05$)

C_3 : Yağış miktarı ($w_3 = 0.30$)

C_4 : Yeşil alan miktarı ($w_4 = 0.05$)

C_5 : Yol genişliği / Alan büyüklüğü ($w_5 = 0.10$)

C_6 : Dere yatağı genişliği ($w_6 = 0.10$)

C_7 : Dere-yol bağlantısı genişliği ($w_7 = 0.10$)

C_8 : Maliyet ($w_8 = 0.10$)

3.4.2. Normalize Edilmiş Karar Matrisi

$A = (a_{ij})_{4 \times 8}$ karar matrisinin her bir elemanı kriterlere ait sütun elemanları kullanılarak normalize edilir: $r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}}$

- C_1 kriterine ait karar matrisi değerlerin normalize edilmesi $j = 1$ için ilk sütun elemanlarının karelerinin toplamı $m = 4$ satır (alternatif) olduğundan:

$$\sqrt{\sum_{k=1}^4 a_{k1}^2} = \sqrt{a_{11}^2 + a_{21}^2 + a_{31}^2 + a_{41}^2} = \sqrt{40^2 + 30^2 + 60^2 + 10^2} = 78.7401$$

bulunur. Buradan normalize edilmiş ilk satır elemanları

$$r_{11} = \frac{40}{78.7401} = 0.5080$$

$$r_{21} = \frac{30}{78.7401} = 0.3810$$

$$r_{31} = \frac{60}{78.7401} = 0.7620$$

$$r_{41} = \frac{10}{78.7401} = 0.1270$$

olarak belirlenir.

- Diğer satır için normalizasyon katsayıları

$$\sqrt{\sum_{k=1}^4 a_{k2}^2} = 18.0278$$

$$\sqrt{\sum_{k=1}^4 a_{k3}^2} = 2725.8026$$

$$\sqrt{\sum_{k=1}^4 a_{k4}^2} = 4.3589$$

$$\sqrt{\sum_{k=1}^4 a_{k5}^2} = 9249.8649$$

$$\sqrt{\sum_{k=1}^4 a_{k6}^2} = 66.0303$$

$$\sqrt{\sum_{k=1}^4 a_{k7}^2} = 132.6989$$

$$\sqrt{\sum_{k=1}^4 a_{k8}^2} = 23958,2971$$

şeklinde elde edilir.

Bu durumda normalize edilmiş karar matrisi $R = (r_{ij})_{4 \times 8}$

40	5	1300	1	7000	30	60	20000
$\frac{78.7401}{78.7401}$	$\frac{18.0278}{18.0278}$	$\frac{2725.8026}{2725.8026}$	$\frac{4.3589}{4.3589}$	$\frac{9249.8649}{9249.8649}$	$\frac{66.0303}{66.0303}$	$\frac{132.6989}{132.6989}$	$\frac{23958,2971}{23958,2971}$
30	10	1500	1	3000	36	72	7000
$\frac{78.7401}{78.7401}$	$\frac{18.0278}{18.0278}$	$\frac{2725.8026}{2725.8026}$	$\frac{4.3589}{4.3589}$	$\frac{9249.8649}{9249.8649}$	$\frac{66.0303}{66.0303}$	$\frac{132.6989}{132.6989}$	$\frac{23958,2971}{23958,2971}$
60	10	500	4	5000	20	40	10000
$\frac{78.7401}{78.7401}$	$\frac{18.0278}{18.0278}$	$\frac{2725.8026}{2725.8026}$	$\frac{4.3589}{4.3589}$	$\frac{9249.8649}{9249.8649}$	$\frac{66.0303}{66.0303}$	$\frac{132.6989}{132.6989}$	$\frac{23958,2971}{23958,2971}$
10	10	1800	1	1600	42	85	5000
$\frac{78.7401}{78.7401}$	$\frac{18.0278}{18.0278}$	$\frac{2725.8026}{2725.8026}$	$\frac{4.3589}{4.3589}$	$\frac{9249.8649}{9249.8649}$	$\frac{66.0303}{66.0303}$	$\frac{132.6989}{132.6989}$	$\frac{23958,2971}{23958,2971}$

$$\Rightarrow R = \begin{bmatrix} 0.5080 & 0.2774 & 0.4769 & 0.2294 & 0.7568 & 0.4543 & 0.4522 & 0.8348 \\ 0.3810 & 0.5547 & 0.5503 & 0.2294 & 0.3243 & 0.5452 & 0.5426 & 0.2922 \\ 0.7620 & 0.5547 & 0.1834 & 0.9177 & 0.5405 & 0.3029 & 0.3014 & 0.4174 \\ 0.1270 & 0.5547 & 0.6604 & 0.2294 & 0.1730 & 0.6361 & 0.6405 & 0.2087 \end{bmatrix}$$

olarak bulunur.

3.4.3. Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi

Kriter ağırlıklarının oluşturduğu $W = [0.20 \ 0.05 \ 0.30 \ 0.05 \ 0.10 \ 0.10 \ 0.10 \ 0.10]$ vektörünün normalize edilmiş karar matrisi R ile çarpılmasıyla $T = (t_{ij})_{4 \times 8}$

ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilir. $t_{ij} = r_{ij} \times w_j, i = 1, \dots, 4, j = 1, \dots, 8$ olmak üzere

$T = (t_{ij})_{4 \times 8}$ matrisi

$$T = \begin{bmatrix} 0.1016 & 0.0139 & 0.1431 & 0.0115 & 0.0757 & 0.0454 & 0.0452 & 0.0835 \\ 0.0762 & 0.0277 & 0.1651 & 0.0115 & 0.0324 & 0.0545 & 0.0543 & 0.0292 \\ 0.1524 & 0.0277 & 0.0550 & 0.0459 & 0.0541 & 0.0303 & 0.0301 & 0.0417 \\ 0.0254 & 0.0277 & 0.1981 & 0.0115 & 0.0173 & 0.0636 & 0.0641 & 0.0209 \end{bmatrix}$$

şeklinde elde edilir.

3.4.4. Pozitif ve Negatif İdeal Çözümler

Alternatifleri değerlendirmek için kullanılan $C_i, i = 1, \dots, 8$ kriterleri aşağıdaki gibi fayda ve zarar kriterleri olarak gruplandırılabilir.

Fayda kriterleri: C_1, C_4, C_5

Zarar kriterleri: C_2, C_3, C_6, C_7, C_8

Bu durumda fayda kriterleri için indeks kümesi $J^+ = \{1, 4, 5\}$ ve zarar kriterleri için indeks kümesi $J^- = \{2, 3, 6, 7, 8\}$ olur. Pozitif ideal çözüm fayda kriterlerine ait değerlerden en büyük olanları ve zarar kriterlerine ait değerlerden en küçük olanları kullanılarak belirlenir.

$$A^+ = \{t_j^+\}, j = 1, \dots, 8 = \begin{cases} \max(t_{ij}), i = 1, \dots, 4, j \in \{1, 4, 5\} \\ \min(t_{ij}), i = 1, \dots, 4, j \in \{2, 3, 6, 7, 8\} \end{cases}$$

$$\Rightarrow A^+ = [0.1524 \ 0.0139 \ 0.0550 \ 0.0459 \ 0.0757 \ 0.0303 \ 0.0301 \ 0.0209] \\ = \{t_j^+\}, j = 1, \dots, 8$$

Benzer şekilde negatif ideal çözüm fayda kriterlerine ait değerlerden en küçük olanları ve zarar kriterlerine ait değerlerden en büyük olanları kullanılarak belirlenir.

$$A^- = \{t_j^-\}, j = 1, \dots, 8 = \begin{cases} \min(t_{ij}), i = 1, \dots, 4, j \in \{1, 4, 5\} \\ \max(t_{ij}), i = 1, \dots, 4, j \in \{2, 3, 6, 7, 8\} \end{cases}$$

$$\Rightarrow A^- = [0.0254 \ 0.0277 \ 0.1981 \ 0.0115 \ 0.0173 \ 0.0636 \ 0.0641 \ 0.0835]$$

$$= \{t_j^-\}, j = 1, \dots, 8$$

3.4.5. Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlere Uzaklıklar

İncelenen $A_i, i = 1, 2, 3, 4$ alternatiflerinin en uygun olanının belirlenmesi alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözümlere uzaklıklarının belirlenmesi ile mümkündür. Pozitif ideal çözüme uzaklık d_i^+ ve negatif ideal çözüme olan uzaklık d_i^- aşağıdaki gibi belirlenmektedir.

- “ A_1 : Geçirgen kaplamalar” alternatifi için d_1^+ pozitif ideal çözüme olan uzaklığı

$$d_1^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^8 (t_{1j} - t_j^+)^2} = \sqrt{(t_{11} - t_1^+)^2 + \dots + (t_{18} - t_8^+)^2}$$

$$= \sqrt{(0.1016 - 0.1524)^2 + \dots + (0.0835 - 0.0209)^2} = 0.1261$$

olarak elde edilirken d_1^- negatif ideal çözüme olan uzaklığı

$$d_1^- = \sqrt{\sum_{j=1}^8 (t_{1j} - t_j^-)^2} = \sqrt{(t_{11} - t_1^-)^2 + \dots + (t_{18} - t_8^-)^2}$$

$$= \sqrt{(0.1016 - 0.0254)^2 + \dots + (0.0835 - 0.0835)^2} = 0.1145$$

şeklinde bulunur.

- Benzer şekilde “ A_2 : Yağmur bahçeleri” alternatifi için

$$d_2^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^8 (t_{2j} - t_j^+)^2} = 0.1497$$

ve

$$d_2^- = \sqrt{\sum_{j=1}^8 (t_{2j} - t_j^-)^2} = 0.0838$$

bulunur.

- “ A_3 : Biyo hendek” alternatifi için

$$d_3^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^8 (t_{3j} - t_j^+)^2} = 0.0331$$

ve

$$d_3^- = \sqrt{\sum_{j=1}^8 (t_{3j} - t_j^-)^2} = 0.2077$$

bulunur.

- “ A_4 : Biyo tutma alanları” alternatifi için

$$d_4^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^8 (t_{4j} - t_j^+)^2} = 0.2089$$

ve

$$d_4^- = \sqrt{\sum_{j=1}^8 (t_{4j} - t_j^-)^2} = 0.0626$$

bulunur.

3.4.6. İdeal Çözümeye Yakınlık

“ A_1 : Geçirgen kaplamalar”, “ A_2 : Yağmur bahçeleri”, “ A_3 : Biyo hendek” ve “ A_4 : Biyo tutma alanları” alternatiflerinin ideal çözüme yakınlıkları bir önceki aşamada hesaplanmış olan $d_1^+, d_2^+, d_3^+, d_4^+$ pozitif ideal çözüme uzaklıkları ve $d_1^-, d_2^-, d_3^-, d_4^-$ negatif ideal çözüme uzaklıkları kullanılarak belirlenir. $S_i^*, i = 1,2,3,4$ ideal çözüme göreceli yakınlıkları

$$S_1^* = \frac{d_1^-}{d_1^- + d_1^+} = \frac{0.1145}{0.1145 + 0.1261} = 0.4760$$

$$S_2^* = \frac{d_2^-}{d_2^- + d_2^+} = \frac{0.0838}{0.0838 + 0.1497} = 0.3589$$

$$S_3^* = \frac{d_3^-}{d_3^- + d_3^+} = \frac{0.2077}{0.2077 + 0.0331} = 0.8626$$

$$S_4^* = \frac{d_4^-}{d_4^- + d_4^+} = \frac{0.0626}{0.0626 + 0.2089} = 0.2306$$

olarak elde edilir.

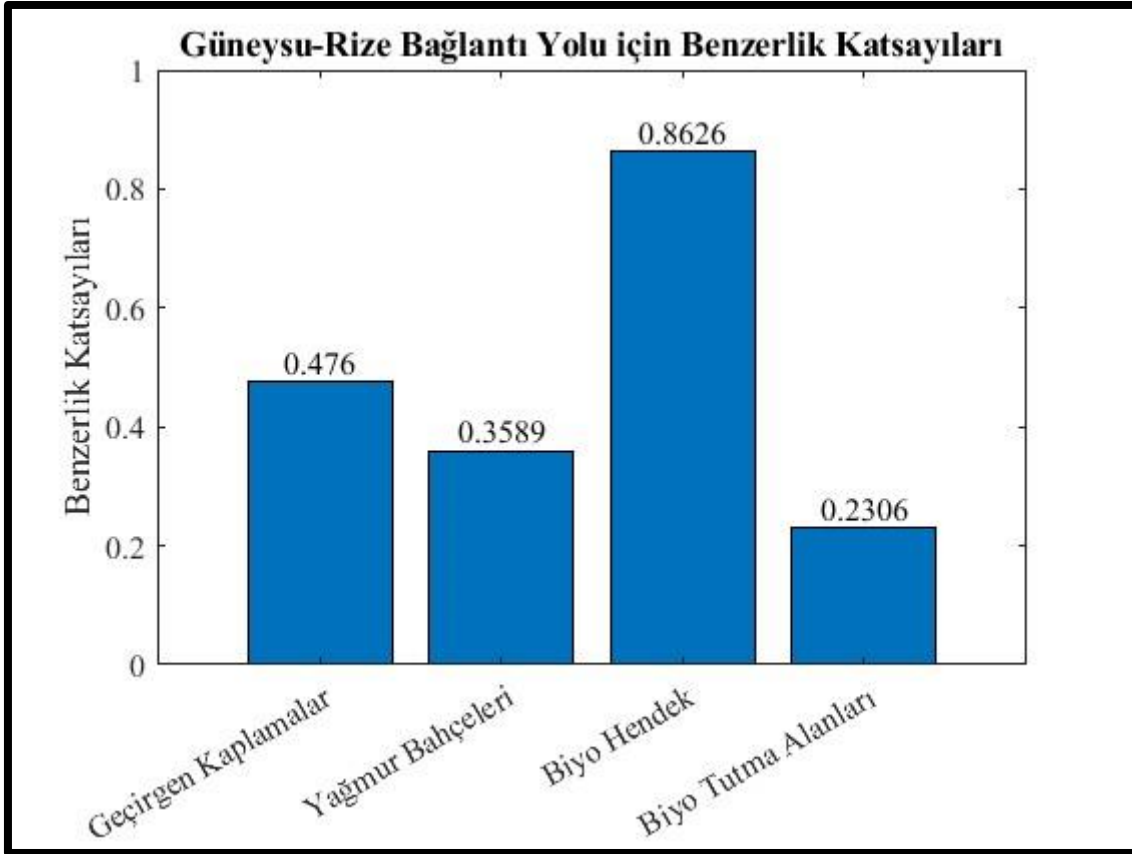
$S_i^*, i = 1, 2, 3, 4$ ideal çözüme göreceli yakınlıklarının büyüklükleri aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Şekil 61).

3.4.7. Alternatiflerin Sıralanması

Her bir alternatif için hesaplanan $S_i^*, i = 1, 2, 3, 4$ ideal çözüme göreceli yakınlıkları büyükten küçüğe doğru sıralanırsa

$$S_3^* > S_1^* > S_2^* > S_4^*$$

elde edilir. Bu sonuç, TOPSIS yöntemine göre ideal çözüme yakınlığı en büyük olan “ A_3 : Biyo hendek” alternatifinin en uygun alternatif olduğunu belirtir.



Şekil 61. Güneysu-Rize bağlantı yolu için benzerlik katsayıları

3.5. TOPSIS ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Bu bölümde yukarıda TOPSIS yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçların yorumlanması ile örnek verileri üzerinden yöntemin YSY konusunda faydalı bir araç olduğu belirtilmektedir.

3.5.1. Rize Sahil Parkı İçin Olası Senaryolar

“ A_1 : Geçirgen kaplamalar”, “ A_2 : Yağmur bahçeleri”, “ A_3 : Biyo hendek” ve “ A_4 : Biyo tutma alanları” alternatifleri için ideal çözüme göreceli yakınlıklar

$$S_1^* = 0.3414, S_2^* = 0.6091, S_3^* = 0.4297, S_4^* = 0.7949$$

olarak hesaplanmıştır. Bu değerler Rize sahil parkı için en uygun YSY stratejisinin TOPSIS tarafından “Biyo tutma alanları” olarak belirtildiğini göstermektedir. TOPSIS yönteminin

uygulanması en uygun stratejinin belirlenmesi yanı sıra farklı senaryoların da kolaylıkla incelenebilmesine imkân sağlamaktadır. Alternatifler, kriterler, kriter ağırlıkları ve karar matrisi değerlerinin oluşturulacak algoritma ile programa yalnızca bir kez tanıtılması gerekmektedir. Bu tanıtım ardından incelenen problem ile ilgili farklı senaryoların kolaylıkla ele alınması mümkündür. Örneğin Rize sahil parkı için aynı inceleme yalnızca “ A_2 : Yağmur bahçeleri” alternatifinin maliyetinin 20000 TL yerine yarı fiyatı (10000 TL) olduğu durum için incelenmek istenirse oluşturulan programda yalnızca karar matrisinin a_{26} değerinde değişikliğe gidilmesi yeterli olmaktadır. Yeni karar matrisi ile sonucun elde edilmesi programın tekrar çalıştırılması sonucunda elde edilen ideal çözüme göreceli yakınlıklar aracılığıyla basit bir şekilde görülebilmektedir. Bu durum incelemeye yeni alternatiflerin eklenmesi, yeni kriterlerin eklenmesi veya yeni kriter ağırlıklarının belirlenmesi için de benzer şekildedir. Yeni alternatif eklenmesi için programdaki matrise bir satır eklenerek, yeni kriter için matrise bir sütun ekleyerek veya yeni kriter ağırlıkları için ağırlık vektöründe değişiklik yapılarak basitçe sonuca varılabilir. A karar matrisi $a_{26} = 10000$ olacak şekilde yeniden ele alınırsa (yağmur bahçeleri alternatifinin maliyeti yarı fiyatına inerse) elde edilecek A^* matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
	0.3	0.15	0.25	0.1	0.1	0.1
A_1	30	5	1700	1	22924	25000
A_2	90	8	1100	4	11000	10000
A_3	80	20	1300	3	7500	15000
A_4	90	10	200	5	25540	40000

şeklinde oluşacaktır. Senaryo 2 olarak adlandırılacak bu durumda ideal çözüme göreceli yakınlıklar

$$S_1^* = 0.3409, S_2^* = 0.6193, S_3^* = 0.4314, S_4^* = 0.7645$$

olarak hesaplanır. Yalnızca “Yağmur bahçeleri” alternatifine ait bir değerde değişiklik yapılmış olmasına rağmen tüm ideal çözüme göreceli yakınlıkların değiştiği görülmektedir. Bunun nedeni yeni durumda en düşük maliyetin 10000 TL olması nedeniyle pozitif ideal çözümün değişmiş olmasıdır. Pozitif ideal çözümün değişmesi alternatiflerin uzaklıklarını

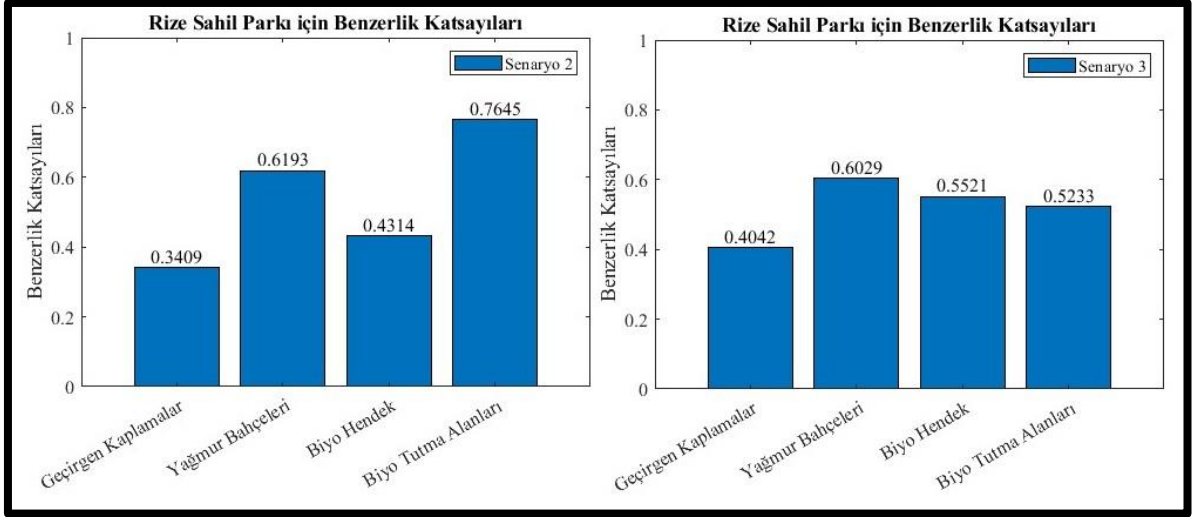
ve dolayısıyla ideal çözüme göreceli yakınlıkları değiştirmektedir. Ancak değerler değişmiş olsa da yeni durumda da en uygun alternatifin “A₄: Biyo tutma alanları” olduğu görülmektedir. Farklı bir senaryo olarak kriter ağırlıkları vektörünün $W = [0.10 \ 0.10 \ 0.25 \ 0.10 \ 0.10 \ 0.35]$ olarak ele alındığı düşünölsün. Yeni A^{**} matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
	0.1	0.1	0.25	0.1	0.1	0.35
A_1	30	5	1700	1	22924	25000
A_2	90	8	1100	4	11000	20000
A_3	80	20	1300	3	7500	15000
A_4	90	10	200	5	25540	40000

şeklinde oluşacaktır. Bu senaryo değerlendirme yapılırken “Yüzey örtüsü geçirgenliği” ve “Eğim” kriterlerinin ağırlıklarının %10’a indirilmesi ve “Maliyet” kriterinin ağırlığının %35’e çıkarılması olarka yorumlanabilir ve örnek olarak kısıtlı bütçelerle çalışıldığı durumlar için uygun bir ağırlıklandırma olabilir. Sadece ağırlık vektörünün güncellendiği durumda (Senaryo 3) ideal çözüme göreceli yakınlıklar

$$S_1^* = 0.4042, S_2^* = 0.6029, S_3^* = 0.5521, S_4^* = 0.5233$$

olarak hesaplanmaktadır. Bu senaryo için “Yağmur bahçeleri” alternatifi en uygun seçenek haline gelmişken “Biyo tutma alanları” alternatifinin artık üçüncü sıraya indiği görülmektedir. Senaryo 2 ve 3 için $S_i^*, i = 1,2,3,4$ ideal çözüme göreceli yakınlıklarının büyüklükleri aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Şekil 62).



Şekil 62. Rize sahil parkı için alternatif senaryolarda benzerlik katsayıları

Bu örneklerden de görüldüğü gibi TOPSIS yöntemi en uygun alternatifin bulunması noktasında hızlı ve kolay uygulanabilir bir çözüm sunmakla kalmayıp farklı senaryoların da değerlendirilmesinde oldukça değerli bir araç olarak kullanılabilir.

3.5.2. Güneysu-Rize Bağlantı Yolu İçin Olası Senaryolar

Güneysu-Rize bağlantı yolunda uygulanabilecek YSY stratejileri alternatifleri olarak kullanılan “Geçirgen kaplamalar”, “Yağmur bahçeleri”, “Biyo hendek” ve “Biyo tutma alanları” alternatifleri için TOPSIS yöntemi ile pozitif ve negatif ideal çözümlere uzaklıklar belirlenmiştir. S_i^* , $i = 1,2,3,4$ ideal çözüme göreceli yakınlıkları da $d_1^+, d_2^+, d_3^+, d_4^+$ pozitif ideal çözüme uzaklıkları ve $d_1^-, d_2^-, d_3^-, d_4^-$ negatif ideal çözüme uzaklıkları kullanılarak

$$S_1^* = 0.4760, S_2^* = 0.3589, S_3^* = 0.8626, S_4^* = 0.2306$$

olarak hesaplanır ki bu sonuç “Biyo hendek” alternatifinin açık bir şekilde en uygun seçenek olduğunu doğrulamaktadır.

Güneysu-Rize bağlantı yolu ile ilgili farklı bir senaryo olarak kriter ağırlıkları vektörünün $W = [0.05 \ 0.35 \ 0.05 \ 0.05 \ 0.35 \ 0.05 \ 0.05 \ 0.05]$ kullanılırsa

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
	0.05	0.35	0.05	0.05	0.35	0.05	0.05	0.05
A_1	40	5	1300	1	7000	30	60	20000
A_2	30	10	1500	1	3000	36	72	7000
A_3	60	10	500	4	5000	20	40	10000
A_4	10	10	1800	1	1600	42	85	5000

karar matrisi elde edilmektedir (Senaryo 2). Bu karar matrisi kullanılırsa ideal çözüme göreceli yakınlıklar

$$S_1^* = 0.8154, S_2^* = 0.2486, S_3^* = 0.5357, S_4^* = 0.1182$$

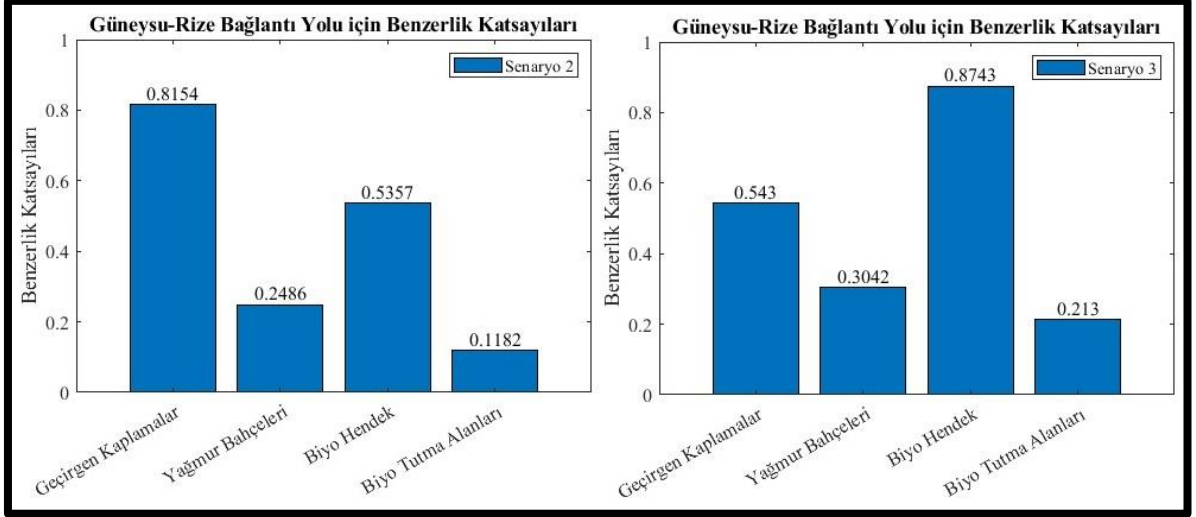
şeklinde belirlenmektedir. “Eğim” ve “Yol genişliği / Alan büyüklüğü” kriterlerinin en önemli bileşenler olarak belirlendiği bu senaryoda TOPSIS yöntemi en uygun seçenek olarak “Geçirgen kaplamalar” alternatifini ön plana çıkarmaktadır. TOPSIS yönteminin hem uygun olan-olmayan alternatifleri hem de incelenen alan-olayla ilgili alternatif senaryoları basit, hızlı ve anlaşılır bir şekilde işleme özelliğinin diğer alanlarda olduğu gibi YSY nde de çok faydalı bir araç olduğunu göstermektedir. Bir diğer alternatif durum olarak (Senaryo 3) yağış miktarının farklı gerçekleştiği bir durumun benzetimi için aşağıdaki karar matrisi kullanılmaktadır.

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
	0.05	0.35	0.05	0.05	0.35	0.05	0.05	0.05
A_1	40	5	1000	1	7000	30	60	20000
A_2	30	10	1700	1	3000	36	72	7000
A_3	60	10	300	4	5000	20	40	10000
A_4	10	10	1900	1	1600	42	85	5000

Bu durumda ideal çözüme göreceli yakınlıklar

$$S_1^* = 0.5430, S_2^* = 0.3042, S_3^* = 0.8743, S_4^* = 0.2130$$

olarak elde edilir. Bu senaryo için de “Biyo hendek” alternatifinin açık bir şekilde en uygun seçenek olduğunu görülmektedir. Senaryo 2 ve 3 için S_i^* , $i = 1,2,3,4$ ideal çözüme göreceli yakınlıklarının büyüklükleri aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Şekil 63).



Şekil 63. Güneysu-Rize bağlantı yolu için alternatif senaryolarda benzerlik katsayıları

3.6. SWMM Programı ile Yüzey Akış Miktarlarının Hesaplanması

Rize ilinde iki farklı tipteki çalışma alanı için TOPSIS yöntemi ile belirlenen YSY stratejilerinin uygunluğu, SWMM programında yapılan simülasyonlarla değerlendirilmiş ve bu bölümde simülasyon sonuçları sunulmuştur. TOPSIS yönteminde kullanılan YSY uygulamaları “geçirgen kaplamalar”, “yağmur bahçeleri”, “biyo hendek” ve “biyo tutma alanları” SWMM’de de ayrı ayrı simüle edilmiştir. Bu bölümde grafiklerde gösterilen rakamlar programlar ayarlarına uygun olarak saniye başı feet^3 cinsinden, tablolarda verilenler ise daha anlaşılır olması için saniye başı m^3 cinsinden verilmektedir.

3.6.1. Rize Sahil Parkı Yüzey Akış Simülasyonu

SWMM Programında her iki çalışma alanı için ayrı ayrı simülasyonlar yapılmıştır. İlk olarak Rize Sahil Parkı için yapılan simülasyona ait veriler sunulacaktır.

SWMM’nin yüzey akış simülasyonunu doğru bir şekilde yapabilmesi için bazı verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda programa öncelikle çalışma alanı haritası eklenmiş daha sonra çalışma alanına su toplama havzaları (subcatchments) tanımlanmıştır. Yağış

verileri Rize'nin yağış potansiyeline uygun olarak girilmiştir ve zaman serileri oluşturulmuştur (Şekil 64). Şekil 65'de Sahil Parkı haritasının programa eklenmiş ve su toplama havzalarının tanımlanmış hali bulunmaktadır. Daha sonra alanın mevcut halinin yüzey akış miktarı tanımlanan yağış verilerine göre hesaplanmıştır (Şekil 66).

Time Series Editor

Time Series Name
timeseries1

Description
[Empty field]

☐ Use external data file named below
[Empty field]

☒ Enter time series data in the table below
No dates means times are relative to start of simulation.

Date (M/D/Y)	Time (H:M)	Value
	0	1
	1	3
	2	1
	3	3
	4	2
	5	3
	6	5
	7	3
	8	2
	9	1
	10	.5

View

OK

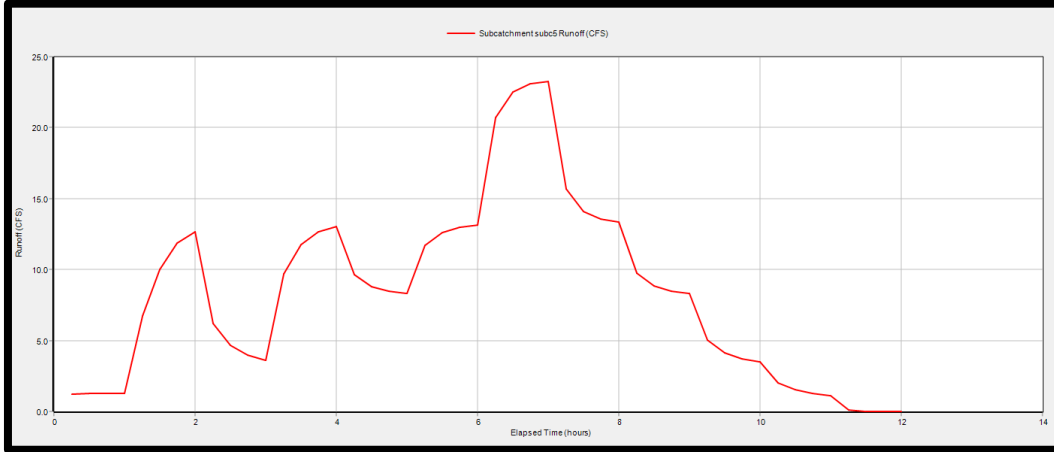
Cancel

Help

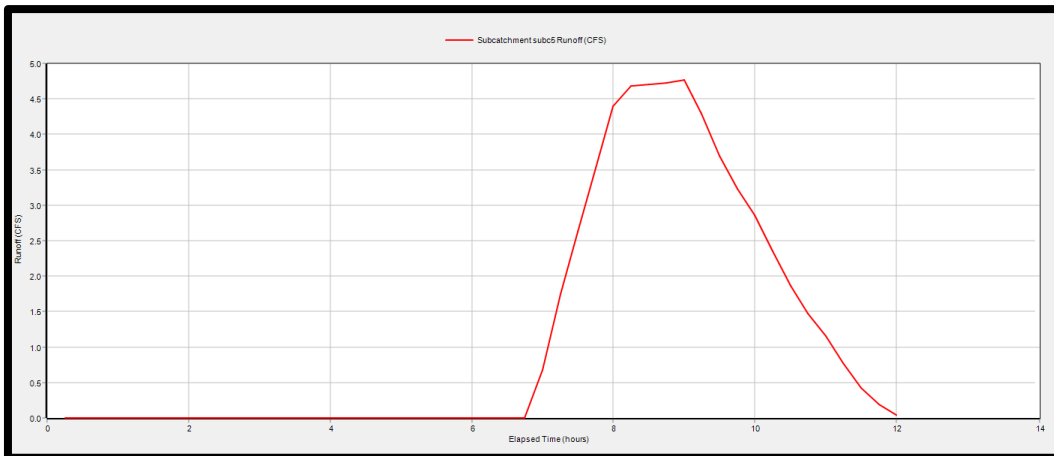
Şekil 64. Çalışma alanı 1 zaman serisi ve yağış verileri



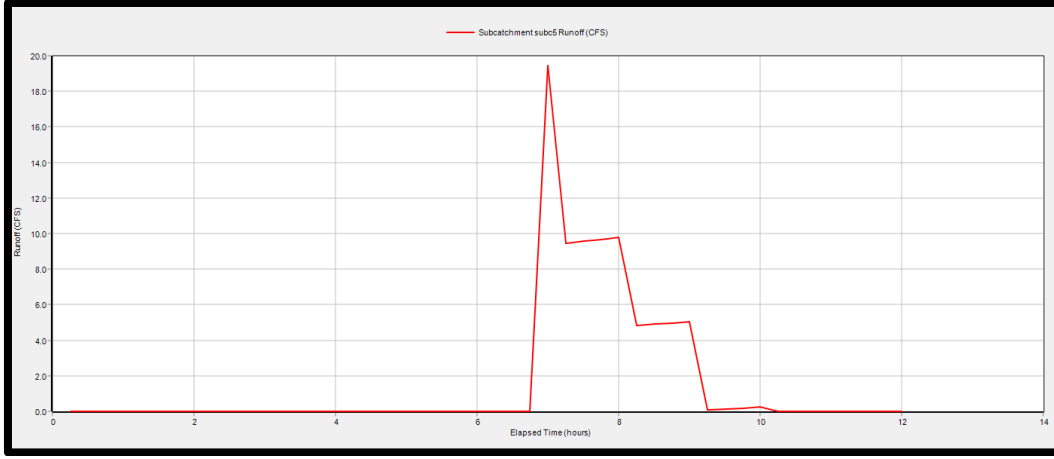
Şekil 65. Rize Sahil Parki çalışma alanının SWMM'ye tanımlanması



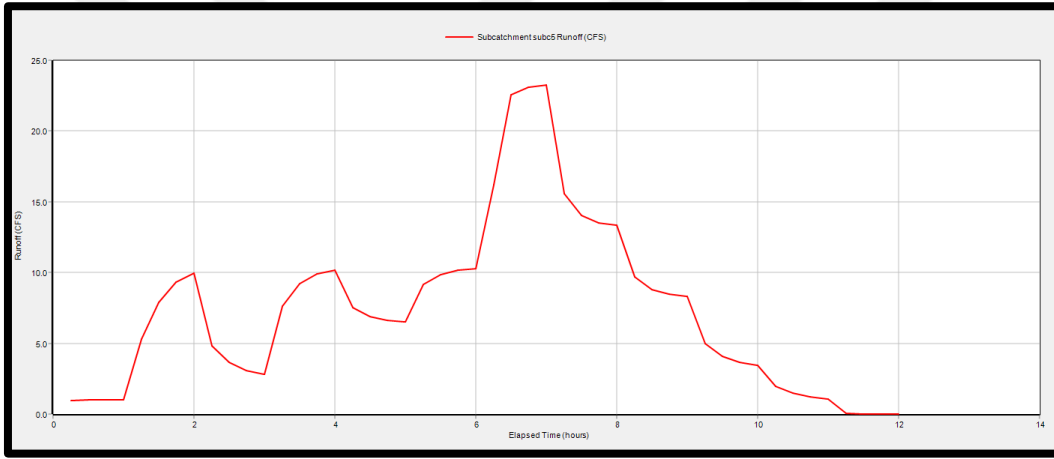
Şekil 66. Alanın mevcut durumdaki yüzey akış simülasyonu



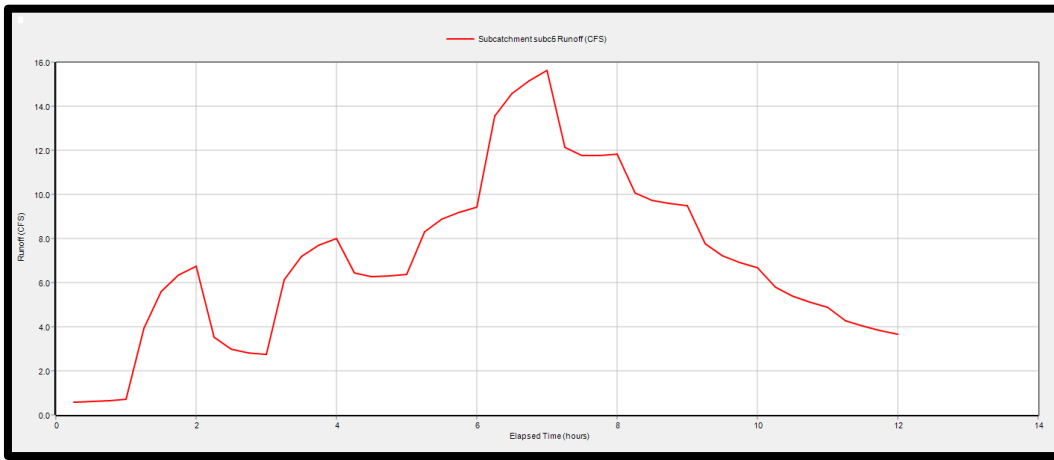
Şekil 67. Bioretention uygulaması sonrası yüzey akış simülasyonu



Şekil 68. Yağmur bahçesi uygulaması sonrası yüzey akış simülasyonu



Şekil 69. Geçirgen kaplama uygulaması sonrası yüzey akış simülasyonu



Şekil 70. Biyo hendek uygulaması sonrası yüzey akış simülasyonu

Şekil 67, 68, 69 ve 70’de çalışma alanına sırasıyla biyo tutma alanı, yağmur bahçesi, geçirgen kaplama ve biyo hendek uygulaması yapıldığı varsayılarak bu uygulamalar sonrası aynı zaman ve yağış aralığındaki yüzey akış simülasyonları görülmektedir.

10 birim zamanda yağın toplam 24.5 mm’lik yağış sonucunda alanın mevcut durumdaki haliyle yüzey akış miktarının birim zaman ortalaması 0.2422 m³ olurken maksimum tepe akış miktarı 0.6583 m³ olmuştur. Çalışma alanına biyo tutma alanı uygulaması yapıldığı durumdaki simülasyon neticesinde ortalama akış yüzde 69 azalarak 0.0731 m³ olmuştur. Alan yağmur bahçesi olarak düşünüldüğünde ortalama akış 0.1705 m³ (yüzde 29.5 azalma) ölçülmüştür. Çalışma alanı biyo hendek şeklinde tasarlandığında ortalama akış 0.1995 m³ (yüzde 17.5 azalma) olarak hesaplanmıştır. Son olarak alana geçirgen kaplama uygulaması yapıldığında ortalama akış miktarı yüzde 12 azalma ile 0.2129 m³ olmuştur. Ortalama akış ve tepe akış miktarları tablo 17’de verilmiştir. Buna göre alana en uygun YSY uygulaması biyo tutma alanı olarak belirlenmiştir.

Tablo 17. Mevcut durum ve uygulama simülasyonlarının yüzey akış miktarları

	Ortalama Akış Miktarı	Tepe Akış Miktarı
Mevcut Durum	0.2422 m ³	0.6583 m ³
Yağmur Suyu Yönetimi Uygulaması Simülasyonları		
Biyo Tutma Alanı	0.0731 m ³ (yüzde 69 azalma)	0.1349 m ³
Yağmur Bahçesi	0.1705 m ³ (yüzde 29.5 azalma)	0.5502 m ³
Biyo Hendek	0.1995 m ³ (yüzde 17.5 azalma)	0.4425 m ³
Geçirgen Kaplama	0.2129 m ³ (yüzde 12 azalma)	0.6581 m ³

3.6.2. Güneysu Rize Otoyolu Yüzey Akış Simülasyon

Bu bölümde ikinci çalışma alanı olan Güneysu Rize Otoyolu için yapılan simülasyona ait veriler sunulacaktır.

Yağış verileri Güneysu’nun yağış potansiyeline uygun olarak girilmiştir ve zaman serileri oluşturulmuştur (Şekil 71). Şekil 72’de çalışma alanı haritası programa eklenmiş ve su toplama havzalarının tanımlanmış hali bulunmaktadır. Daha sonra alanın mevcut halinin yüzey akış miktarı tanımlanan yağış verilerine göre hesaplanmıştır (Şekil 73).

Şekil 74, 75, 76 ve 77’de çalışma alanına sırasıyla biyo tutma alanı, yağmur bahçesi, geçirgen kaplama ve biyo hendek uygulaması yapıldığı varsayılarak bu uygulamalar sonrası aynı zaman ve yağış aralığındaki yüzey akış simülasyonları görülmektedir.

10 birim zamanda yağan toplam 22 mm’lik yağış sonucunda alanın mevcut durumdaki haliyle yüzey akış miktarının birim zaman ortalaması 0.2059 m^3 olurken maksimum tepe akış miktarı 0.5121 m^3 olmuştur. Çalışma alanına biyo tutma alanı uygulaması yapıldığı durumdaki simülasyon sonrasında ortalama akış yüzde 7 azalarak 0.1913 m^3 olmuştur. Yağmur bahçesi olarak tasarlandığında ortalama akış 0.1337 m^3 (yüzde 35 azalma) ölçülmüştür. Çalışma alanında geçirgen kaplama uygulaması yapıldığında ortalama akış 0.0973 m^3 (yüzde 53 azalma) olarak hesaplanmıştır. Son olarak alan biyo hendek şeklinde tasarlandığında ortalama akış miktarı 0.0585 m^3 (yüzde 71,5 azalma) olmuştur. Ortalama akış ve tepe akış miktarları tablo 18’de verilmiştir. Buna göre bu alan için en uygun YSY uygulaması biyo hendek olarak belirlenmiştir.

Time Series Editor

Time Series Name: timeseries1

Description:

☐ Use external data file named below

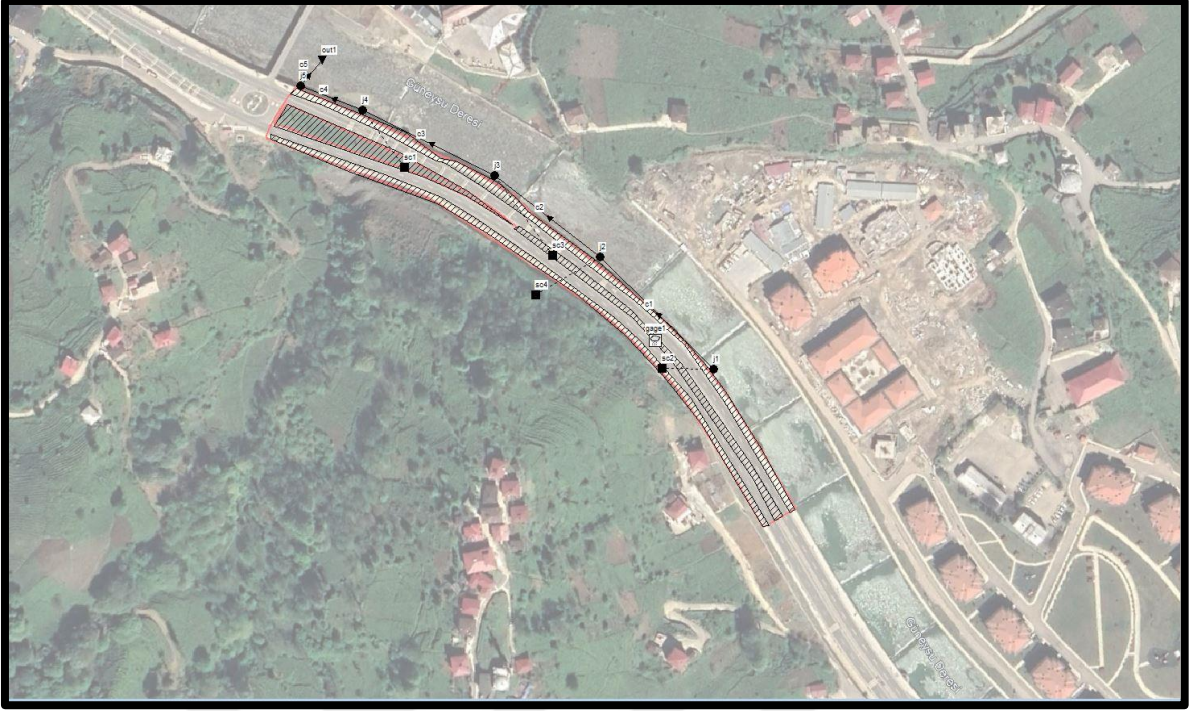
☒ Enter time series data in the table below

No dates means times are relative to start of simulation.

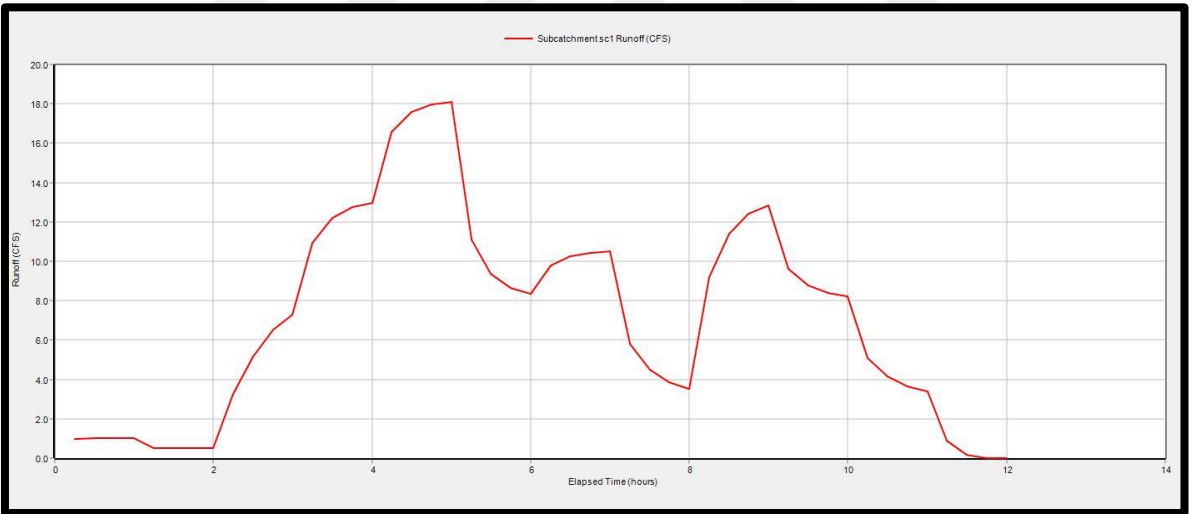
Date (M/D/Y)	Time (H:M)	Value
	0	1
	1	.5
	2	2
	3	3
	4	4
	5	2
	6	2.5
	7	1
	8	3
	9	2
	10	1

View OK Cancel Help

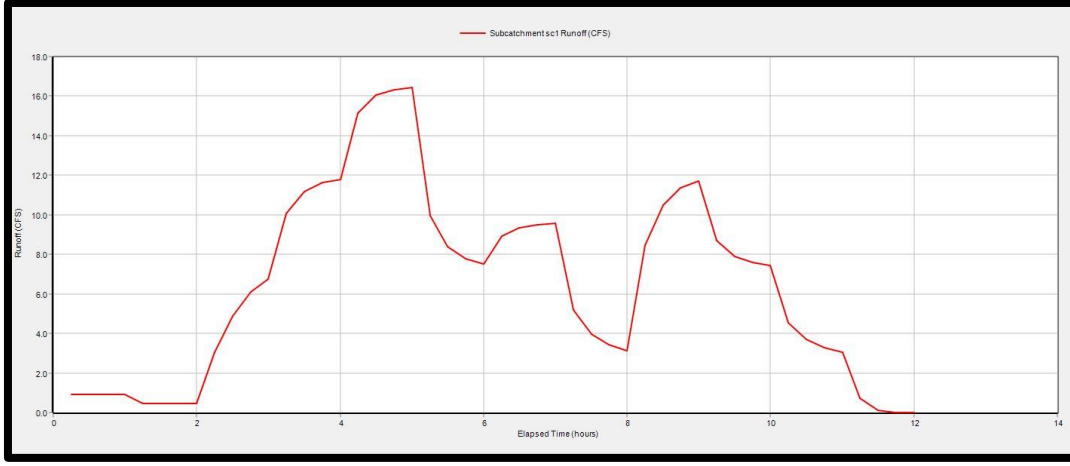
Şekil 71. Çalışma alanı 2 zaman serisi ve yağış verileri



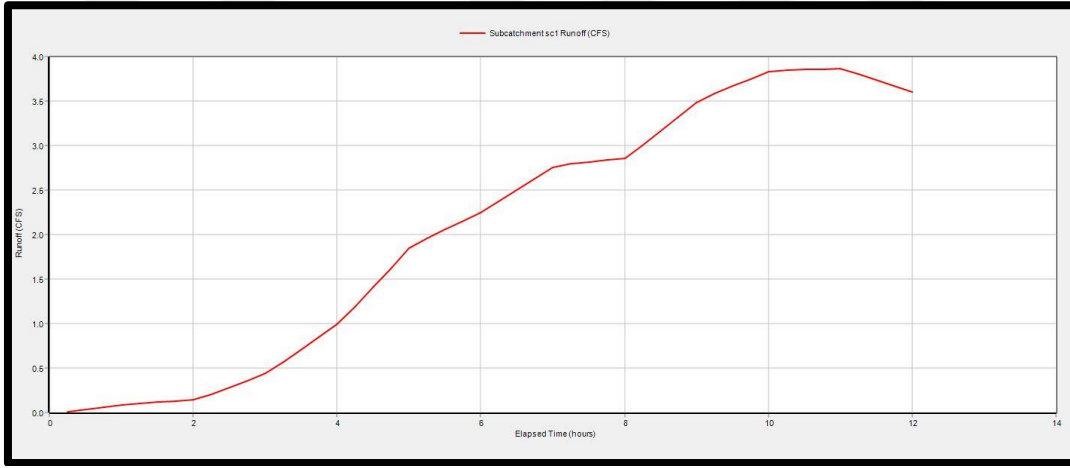
Şekil 72. Rize Güneysu otoyolu çalışma alanının SWMM'ye tanımlanması



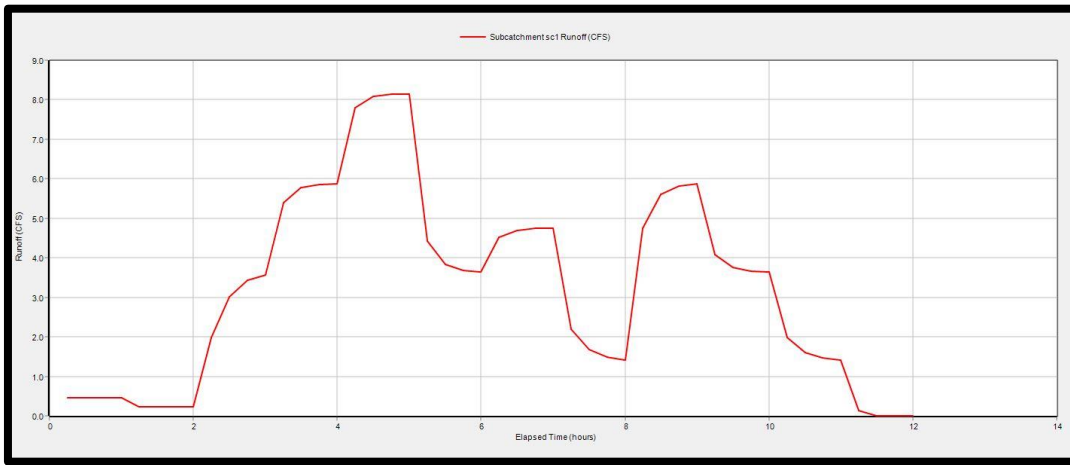
Şekil 73. Alanın mevcut durumdaki yüzey akış simülasyonu



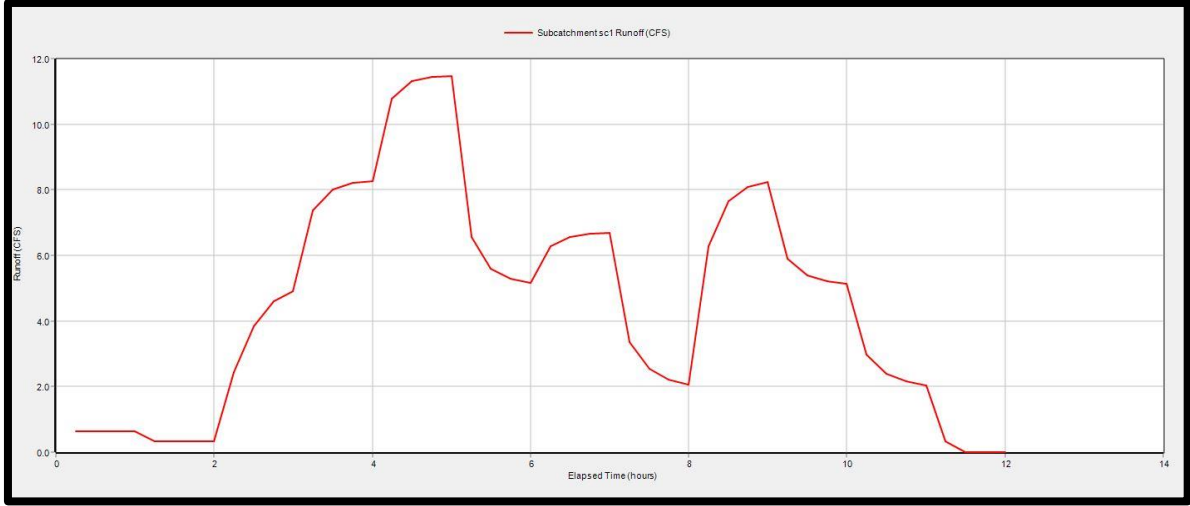
Şekil 74. Bioretention uygulaması sonrası yüzey akış simülasyonu



Şekil 75. Biyo hendek uygulaması sonrası yüzey akış simülasyonu



Şekil 76. Geçirgen kaplama uygulaması sonrası yüzey akış simülasyonu



Şekil 77. Yağmur bahçesi uygulaması sonrası yüzey akış simülasyonu

Tablo 18. Mevcut durum ve uygulama simülasyonlarının yüzey akış miktarları

	Ortalama Akış Miktarı	Tepe Akış Miktarı
Mevcut Durum	0.2059 m ³	0.5121 m ³
Yağmur Suyu Yönetimi Uygulaması Simülasyonları		
Biyo Tutma Alanı	0.1913 m ³ (yüzde 7 azalma)	0.4654 m ³
Yağmur Bahçesi	0.1337 m ³ (yüzde 35 azalma)	0.3249 m ³
Geçirgen Kaplama	0.0973 m ³ (yüzde 53 azalma)	0.2308 m ³
Biyo Hendek	0.0585 m ³ (yüzde 71,5 azalma)	0.1094 m ³

4. TARTIŞMA

Hidrolojik yapısı itibariyle oldukça zengin bir coğrafya olan Rize'nin neredeyse tüm yerleşkeleri akarsu kıyılarında konumlanmıştır. Bunun yanı sıra artan kentleşme ve küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkileri sonucu artan aşırı yağışlar, Rize ilinde de sel ve su baskını problemlerinin ve bunların sebep olduğu kötü sonuçların artmasına sebep olmuştur. Son yıllarda oldukça sık ve yoğun sel, su baskınına maruz kalan Rize'de onlarca vatandaşımız hayatını kaybetmiş ve milyonlarca TL maddi hasar meydana gelmiştir. Yağışlar sonrası oluşan su birikintileri, sel, su baskını, heyelan hasarları AFAD 2010-2020 verilerinde son derece vahim noktalara ulaştığı görülmektedir. Nitekim, Sılaydın Aydın ve Kahraman (2022) kentlerin aşırı yağışlar kaynaklı oluşan sellere karşı kırılganlık düzeylerini belirledikleri çalışmalarında Rize ili en yüksek kırılganlık düzeyine sahip iller arasında olduğunu belirtmişlerdir.

Küresel iklim değişikliğinin etkilerinin giderek arttığı düşünüldüğünde YSY konusunun Rize'nin en önemli planlama önceliklerinden biri haline geldiği ve geleneksel yöntemlerin yetersiz kaldığı görülmektedir. Bu durumu Brierley ve Fryirs (2009) çalışmalarında geleneksel yöntemler, taşkınları önlemek için yağmur suyunu kentsel alanlardan uzaklaştırmayı amaçlayan bir drenaj sistemi üzerine kurulu sistem olduğunu ve bu sistemin tek işlevli bir yaklaşım olup, sağlıklı havza-ekosistem işleyişi için gerekli olan doğal hidrolojik ve jeomorfik süreçleri göz ardı ettiğini belirtmişlerdir. YSY'nin kentsel alanlarda farklı konular dahilinde çalışıldığını belirten Plate (2002), taşkın yönetiminin bunlardan en önemlisi olduğunu ve bu sürecin taşkın veya taşkın riski yönetimi, sürece dahil olan parametrelere bakılmaksızın literatürde kapsamlı bir şekilde yer aldığını bildirmiştir. YSY ile ilgili Rize ili için yapılan çalışma mevcut değilken, ülkemizde yapılan diğer çalışmalar da yok denilecek kadar azdır (Müftüoğlu ve Perçin, 2015; Ünal ve Akyüz, 2018; Demir, 2012). Buna rağmen yurtdışında konu ile ilgili son derece fazla araştırma bulunmaktadır (Barbosa vd., 2010; Hale, 2016; Berland vd., 2017; Qiao vd., 2018; Golden vd., 2019; Wu vd., 2019; Zeng vd., Capodaglio, 2020; 2021; Jemberie ve Melesse, 2021; Wang vd., 2022).

Kentsel alanlarda YSY ve YSA'yı geliştirmek adına son yıllarda birçok stratejiler ve uygulamalar ortaya koyulmuştur. DEG, EİYU, SKDS, DEKTG, Sünger Şehirler, DTÇ gibi birçok strateji temelde belli başlı yeşil altyapı çözümleri sunan uygulamalara dayanan felsefeler olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışmamızda, Rize'de alana özgü en uygun

yağmur suyu yönetimi stratejisinin belirlenmesi için ÇKKV yöntemlerinden çevre bilimlerinde sıklıkla kullanılan TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Bu tercihin nedeni olarak TOPSIS yönteminin çevre bilimlerinde çokça kullanılan bir yöntem olması, matematiksel altyapısının alan dışındakiler tarafından da anlaşılabilir olması, ayrıca barındırdığı pozitif ve negatif ideal çözümler sayesinde tez çalışmasında ilgilenilen probleme uyumlu bir yapıya sahip olması gösterilebilir.

TOPSIS yöntemi karmaşık matematiksel hesap algoritması gerektirmeden çeşitli bilgisayar programları ile uygulanabildiği için kimya mühendisliğinden spor bilimlerine kadar birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Behsedian vd., 2012, Köseoğlu, 2019). TOPSIS yönteminin YSY ile ilgili çalışmalarda sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Roozbahani vd. (2018) çalışmalarında, yeraltı suyu yönetimi ile ilgili SAW, TOPSIS gibi ÇKKV yöntemlerini uygulamışlardır. Wang vd.(2017), çalışmalarında yağmur suyu toplanması ile ilgili sürdürülebilir drenaj sistemlerini tasarlamak için, Jayasooriya vd.(2018), sanayileşmiş bölgelerde yağmur suyu yönteminde yeşil altyapı kullanımı ile ilgili Melbourne örneği üzerinde yaptıkları çalışmalarında, Haider vd.(2019)'lerinin sel riski yönteminde yağmur suyu toplanmasının kurak bölgeler özelinde değerlendirilmesi ile ilgili incelemelerinde, Chiu vd.(2020) tarafından yapılan yağmur suyu toplama sistemleri çalışmalarında, Zeng vd.(2021)'lerinin, yeşil altyapının iklim değişimi senaryolarında değerlendirilmesi üzerine yaptıkları incelemelerinde, Tahvili vd.(2021) İran'daki kurak bölgelerde uygun yağmur suyu toplama alanlarının belirlenmesi için yaptıkları araştırmalarında TOPSIS yöntemini kullandıkları görülmektedir.

Rize sahil parkı ve Güneysu-Rize bağlantı yolu örnekleri için TOPSIS yönteminde kullanılan kriterler ve bu kriterlerin ağırlıkları uzmanlardan gelen dönütler baz alınarak belirlenmiştir. Nitekim, Barbosa vd. (2010), çalışmalarında bu konunun önemi dile getirmiş ve şunları vurgulamışlardır. Sürdürülebilir YSY stratejilerine farklı karar seviyelerinde (örneğin siyasi, bölgesel veya yerel ölçekte) ihtiyaç duyulur, ancak her strateji çevresel, iklimsel, topoğrafik, sosyal, kültürel vb. kriterleri göz önünde bulundurarak bunlar doğrultusunda alana özgü bir yaklaşım gerektirdiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada TOPSIS'le elde edilen sonuçlar, SWMM programında verilerin modellenmesiyle yapılan simülasyon çalışmaları tarafından da doğrulanmıştır. Bu çalışmaya benzer şekilde, Jemberie ve Melesse (2021) çalışmalarında Etiyopya'da iklim değişikliği ve kentsel plansız büyümeler nedeniyle son yıllarda sel olayların arttığı vurgulamış, kötü kentsel YSY stratejilerinin bunu etkilendiğinden bahsetmiştir. Çalışmada Yağmur Suyu Yönetim Modeli

(SWMM) ve Düşük Etkili Gelişme (DEG) teknikleri yaptığı analiz ve çalışmalar sonucu DEG tekniklerinin (biyo tutmalar, sızma havuzları vb.) kentsel taşkınları azaltmada %75'e varan önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Yine, Sheikh ve Izanloo (2021) çalışmalarında, bir anket araştırması ve modelleme çalışması yoluyla hidrolojik, sosyal ve ekonomik kriterler kullanarak altı DEG YSY alternatifini değerlendirmiştir. Hidrolojik ve ekonomik etkiler sırasıyla SWMM modeli ve maliyet analizi kullanılarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışma sonucunda Rize sahil parkı için en uygun alternatif için, Biyo tutma alanları > Yağmur bahçeleri > Biyo hendek > Geçirgen kaplamalar sıralaması elde edilmiş olup, 0.7949 katsayısı ile “Biyo tutma alanları”nın en uygun olduğu belirlenmiştir. Ancak değerlendirmede kriter ağırlığı değiştirildiğinde ve “Maliyet” kriterine ağırlık verilmesi durumunda en uygun stratejinin “Yağmur bahçeleri” olduğu görülmüştür. Yağmur bahçelerinin maliyetinin yarıya inmesi durumunda da en uygun alternatifin “Biyo tutma alanları” olduğu belirlenmiştir. Bu durum SWMM programında da doğrulanmıştır. Buna göre Rize Sahil Parkı için yapılan simülasyona sırasıyla biyo tutma alanı, yağmur bahçesi, geçirgen kaplama ve biyo hendek uygulaması yapıldığı varsayılarak bu uygulamalar sonrası aynı zaman ve yağış aralığındaki yüzey akış simülasyonları oluşturulmuştur. Simülasyon sonucunda, biyo tutma alanı uygulaması, ortalama akış %69 azalarak 0.0731 m³ ile en iyi olarak belirlenmiştir. Hinman ve Wulkan (2012) biyo tutma alanları ve yağmur bahçelerinin ikisi de aynı DEG tekniğinin uygulamaları olduğunu ve akış kontrolü, su kalitesi arıtımı için oldukça etkili yöntemler olduklarını belirtmişlerdir. Davis (2005), Dietz (2007), Endreny ve Collins (2009)'da yağmur suyu akış hızını, akış hacmini ve kirletici konsantrasyonlarını azaltmak ve yeraltı suyunun yeniden beslenmesini kolaylaştırmak için kentsel alanlarda genellikle biyolojik tutma alanları ve yağmur bahçelerinin sıklıkla kullanıldığını çalışmalarında belirtmişlerdir.

Bu çalışmada Güneysu-Rize bağlantı yolu için ise en uygun alternatif, Biyo hendek > Geçirgen kaplamalar > Yağmur bahçeleri > Biyo tutma alanları sıralaması ile 0.8626 benzerlik katsayısı ile “Biyo hendek” seçeneği olarak öne çıkmaktadır. Ancak değerlendirmede kriter ağırlığı değiştirildiğinde, “Eğim” ve “Yol genişliği / Alan büyüklüğü” kriterlerinin ağırlıklı olarak ele alınacağı şekilde güncellenmesi durumunda en uygun alternatif “Geçirgen kaplamalar” olarak belirlenirken yağış miktarlarının değiştiği bir durumun ele alındığı alternatif senaryoda en uygun strateji tekrar “Biyo hendek” olarak elde edilmiştir. Bu sonucun SWMM programında doğruluğunu teyit etmek için Güneysu-Rize

bağlantı yolu için çalışma alanına sırasıyla biyo tutma alanı, yağmur bahçesi, geçirgen kaplama ve biyo hendek uygulaması yapıldığı varsayılarak bu uygulamalar sonrası aynı zaman ve yağış aralığındaki yüzey akış simülasyonları oluşturulmuştur. Simülasyon sonucunda, biyo hendek uygulaması sonucunda ortalama akış %71,5 azalarak 0.0585 m^3 ile en iyi sonucu vermiş olup, geçirgen kaplamalar uygulaması ise ortalama akışı %53 azaltarak 0.0973 m^3 ile ikinci sırada yer almıştır. Çalışma sonuçlarımıza paralel olarak Mazer vd. (2001), Read, vd. (2008) çalışmalarında, yağmur suyu akışının etkilerini en aza indirmek için benimsenen bir uygulama olan biyo tutma sistemleri mantığıyla çalışan, biyofiltrasyon hendekleri veya biyo hendekler (bioswale) olarak adlandırılan tasarım uygulamaları son yıllarda sıklıkla kullanıldığını belirtmişlerdir. Xiao ve McPherson (2011) çalışmalarında biyo hendeklerinin yüzeysel akışı %88.8, yüzeysel akıştaki kirleticileri ise %95.4 azalttığını belirtmişlerdir. Wang vd. (2001), kentsel yüzeylerde geçirimsiz yüzeylerin %10-%30 aralığına ulaşması durumunda, habitat ve su kalitesi açısından büyük kayıplar olduğunu belirtirken, Hinman ve Wulkan (2012), biyolojik tutma alanları, geçirgen kaplamalar, çatı bahçeleri, biyo hendekler gibi diğer uygulamalarla beraber kullanıldıklarında daha iyi performans verebilir, çünkü genellikle her uygulama farklı tipte alanların ihtiyaçlarına cevap verebilir niteliktedir şeklinde belirtmiştir. Bu durumda bizim çalışmamızla paralellik göstermiş olup, çalışma alanında biyo hendekler ve geçirgen kaplamalar sonucumuzu desteklemiştir.

İklim değişikliği, kentleşme gibi baskıların altında, her geçen gün artarak endişe verici bir durum haline dönüşen, su kaynakları ve taşkın yönetimi konularında çalışmamızın sonuçları son derece önemli olup, YSY uygulamalarına önemli katkı sunacaktır. Bu çalışmanın yöntemi ülkemizde alanında ilk defa uygulanmış olmasıyla oldukça özgün olmasının yanı sıra, elde edilen sonuçlar ile sadece Rize ili özelinde değil, benzer kentsel alanlarda yüzeysel akışların kontrol edilebilirliğini arttırabilecek, bu sayede de sel ve su baskınlarının etkilerinin hafifletilmesine katkı sağlarken hem maddi hem de manevi kayıpların azaltılmasını sağlayabilecek çalışmalara ışık tutabilecek niteliktedir. Bunun yanında, nitelikli yeşil alan miktarının artması ile ekosistem hizmetleri de aynı oranda kente önemli katkı sunacaktır. Dolayısıyla çalışmanın sonuçlarının, güçlendirilmiş ekosistem hizmetleri ile küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı daha dirençli kentler oluşturulmasında oldukça önemli olabileceği söylenebilir.

Tez çalışmasının odak noktası olarak farklı YSY uygulamaları arasından belirlenen alanlar için en uygun olanın seçiminde TOPSIS yönteminin kullanılması belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalar kentsel peyzaj altyapısının geliştirilmesinde matematiksel bir yöntemin kullanımına yoğunlaşmaktadır. Bu matematiksel yöntem (TOPSIS) ile ilgili literatürde birçok teorik ve uygulamalı çalışmalar mevcut olduğu için tez çalışması yöntemin teorik incelenmesine değinmeden alanda uygulanışını ön plana çıkarmaktadır. Çalışmanın hedefi yöntemin alana özgü en uygun YSY yönetimini belirlemek için kullanımının sunumu olduğu için temel anlamda farklı YSY uygulamalarının belirlenen alanların verilerin üzerinden değerlendirilmesi ve yöntemin bu veriler ile bir uygulamayı nasıl ön plana çıkardığının sunumu yeterli olmaktadır. Yapılan çalışmanın değerlendirilecek alternatiflerin alana uygun olup olmadığı ile ilgili irdelenmeleri, kullanılacak kriterler ve ağırlıkların alan ve kentin ihtiyaçlarına göre belirlenmesi, uygulama alanının yapısına göre alternatif-kriter belirleme noktasında dikkat edilmesi gerekenlerin listelenmesi vb. analizlerle geliştirilmesi mümkündür. Ancak bu noktada yukarıda listelenenler ve benzeri göz önüne alınabilecek noktalar, “bir matematiksel yöntemin nasıl en uygun YSY uygulamasını seçme noktasında kullanılabileceği probleminden” ziyade “bu yöntemin kullanımı sırasında nelere dikkat edilmelidir” odaklıdır. Bu noktaların göz önüne alınması ile çok daha detaylı ve uzun bir çalışma yapılması mümkün olsa da çalışmanın kapsamını çok fazla büyüterek tez sunumunun odağından kaymasına yol açmamak ve daha basit bir şekilde yöntemin peyzaj mimarlığı alanında en uygun YSY uygulamasını belirleme probleminde kullanımı sunmak adına bu analizlere yer verilmemiştir.

Bu noktada gerek yapılan sunumu doğrulamak gerekse de literatüre uygun bir çalışma yapmak adına yukarıda listelenen ve tezin odağını değiştirebilecek analizler yerine farklı bir yol izlenmiştir. Tez çalışması kapsamında kullanılacak kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterlerin ağırlıklandırılması için peyzaj mimarları, mühendisler ve ekologlardan oluşan bir grup uzmanın görüşüne başvurulmuştur. Bu şekilde iki farklı tipteki alan örneği üzerinden en uygun YSY uygulamasının belirlenmesi ile ilgili TOPSIS uygulamasının anlatımı sırasında literatüre ve olası projelendirmeye daha uygun bir kriter listesi ve kriter ağırlıklarının kullanımı sağlanmıştır. Ek olarak elde edilen sonuçlar SWMM programı kullanılarak doğrulanmıştır. SWMM programına her iki uygulama alanı tanıtılmış ve alana özgü parametreler uygulamalar için kullanılan parametrelerle uyumlu olacak şekilde belirlenmiştir. Bu şekilde TOPSIS ile yapılan hesaplar sonucunda elde edilen bulguların SWMM sonucunda elde edilecek bulgularla karşılaştırılabilir olması sağlanmaya çalışılmıştır. SWMM simülasyonları sonucunda her bir alternatifin belirlenen alanlarda neden olduğu yüzey akışı azalması incelendiğinde TOPSIS yönteminin alanlar için işaret

ettiği en uygun YSY uygulamasının gerçekten de yüzey akışını en fazla azaltan uygulama oldukları görülmüştür. TOPSIS yönteminin SWMM gibi farklı programlar ile eşgüdümlü olarak kullanıldığı farklı kapsamlı çalışmalar literatürde de bulunmaktadır (Luan vd., 2019). Tez çalışmasında uzman görüşlerinin yanı sıra SWMM programı ile yapılan simülasyonlara da yer vererek yapılan uygulamalarda elde edilen bulguların doğrulanması ile ilgili bir içeriğin dahil edilmesi matematiksel çalışmalardaki yaklaşımlara uygun bir yöntem olarak tercih edilmiştir.

Tez kapsamında yapılan çalışmalar matematiksel bir yöntemin sunumu odaklı oldukları için simülastif kapsamlı bir çalışmaya daha yakın noktadadır ve gerçek bir uygulama projesine hazırlıktan ziyade bu projede kullanılabilecek bir yöntemin sunulması amaçlanmıştır. Tezde verilen yöntem kullanılarak çok basit bir şekilde detaylı bir proje çalışması ve alan uygulaması yapılması mümkündür. Bu çalışma, yukarıda da listelendiği gibi, alternatiflerin alana uygun olup olmadığı ile ilgili irdelenmeleri, kullanılacak kriterler ve ağırlıkların alan ve kentin ihtiyaçlarına göre belirlenmesi, uygulama alanının yapısına göre alternatif-kriter belirleme noktasında dikkat edilmesi gerekenlerin listelenmesi gibi farklı analizler ile gerçek bir projeye uygulanabilecek durumdadır. Göz alınacak alternatiflerin bir bağlantı yolu uygulamasına uygun olup olmadığı, bir dolgu alanı olan sahil parkında uygulama yapılacaksa alternatif-kriter-kriter ağırlıkları seçiminde nelere dikkat edilmesi gerektiği, alanlarda kullanılması muhtemel bitkilerin seçiminin çalışmaya nasıl dahil edileceği gibi incelemelerin hepsi yöntemin matematiksel yapısı ve uygulanişından bağımsızdırlar ve proje aşamasında dikkatli bir şekilde incelendikten sonra bu tezde sunulan yöntemin kullanılmasıyla gerçekleştirilebilirler.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada TOPSIS yönteminin yağmur suyu yönetim stratejisi belirlenmesinde kullanımı incelenmiştir. Giriş kısmında yağmur suyu yönetimi, yağmur suyu yönetimi kapsamında ele alınan yaklaşımlar, yağmur suyu yönetimi stratejileri, çok kriterli karar verme yöntemleri ve bu sayılan kavramlarla ilgili güncel çalışmaları özetleyen geniş bir literatür özeti sunulmuştur.

TOPSIS yöntemi kullanılarak en uygun yağmur suyu yönetimi stratejisinin belirlenmesi için alternatif stratejilerin değerlendirilmesinde kullanılacak kriterler ve kriterlerin önemlerini belirten kriter ağırlıklarının belirlenmesi gerekmektedir. İncelenecek alanlarda TOPSIS yönteminin uygulanması için literatürde var olan yağmur suyu yönetimi stratejileriyle ilgili çalışmalar taranmış ve kullanılabilecek kriterler listelenmiştir. Çoğunluğu “Web of Science” tarafından dizinlenen dergilerde yayımlanan onlarca makale çalışmasında yapılan incelemeler sonucunda birçok olası kriteri içeren geniş bir liste oluşturulmuştur.

Bu kriterler içinden sıklıkla kullanılan ve hemen her çalışmada yer alan kriterler ayrıca ele alınarak bir kısa liste oluşturulmuştur. Oluşturulan kısa liste kullanılarak dünya çapında alanlarında en önde gelen araştırmacıların görüşlerine başvurulmuş ve kullanılacak kriterler belirlenmiştir. Görüşüne başvurulacak uzmanlar özellikle peyzaj ekolojisi, kent hidrolojisi, inşaat mühendisliği ve çevre mühendisliği gibi alanlarda tüm dünyadaki üniversite ve araştırma merkezlerinde görev yapan bilim insanları arasından seçilmiştir. “Google Scholar” verileri kullanılarak “stormwater management”, “urban hydrology” vb. anahtar kelimeler aracılığıyla belirlenen araştırmalardan oluşturulan kısa kriter listesi içinden incelenecek alanlar için uygun olanların belirlenmesi ve ağırlıklandırılması istenmiştir. Rize sahil parkı ve Güneysu-Rize bağlantı yolu örnekleri için TOPSIS yönteminde kullanılan kriterler ve bu kriterlerin ağırlıkları uzmanlardan gelen dönütler baz alınarak belirlenmiştir.

Ulusal literatürde yağmur suyu yönetimi stratejisi belirlenmesinde ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalara rastlanılmamıştır. Yılda ortalama 2302.1 mm yağış alan ve AFAD verilerine göre son 40 yılda 127 kişinin sel ve heyelan gibi afetler nedeniyle hayatını kaybettiği Rize’de alana özgü en uygun yağmur suyu yönetimi stratejisinin belirlenmesi için TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Yöntemin kullanımına örnek olarak kullanılmak üzere farklı tiplerdeki alanlardan Rize sahil parkı ve Güneysu-Rize bağlantı yolu seçilmiş ve bu alanlar için belirlenen veriler kullanılmıştır.

Yağmur suyu yönetiminde uygulanabilecek birçok stratejiden bazıları birinci bölümde verilmiştir. Bu stratejilerin genelde sızma ve tutma temelli olduğu ve bazılarının birbirinin benzeri olarak değerlendirilebileceği görülmektedir. Çalışmada kullanılacak uygulama alanlarında bu alternatif stratejiler içinden kentsel alan kullanımına en uygun olan ve bu tip alanlarda en yaygın olarak kullanılanlar seçilerek analiz edilmiştir.

Bu kapsamda Rize sahil parkı ve Güneysu-Rize bağlantı yolu için “Geçirgen kaplamalar”, “Yağmur bahçeleri”, “Biyo hendek” ve “Biyo tutma alanları” alternatifleri incelenmiştir.

Belirlenen kriterler, kriter ağırlıkları ve alternatifler ile TOPSIS yöntemi kullanılarak Rize sahil parkı ve Güneysu-Rize bağlantı yolu için en uygun yağmur suyu yönetimi stratejisinin belirlenmesi için MATLAB (R2022b) programında özgün bir hesaplama algoritması oluşturulmuştur. Uygulama alanları için en uygun alternatifler, farklı olasılıkların da göz önünde bulundurulması ile, çeşitli durumlar için belirlenmiştir. İncelemelerde kullanılan verilerde veya kriter ağırlıklarında değişiklikler olması durumunda sonuçlarda oluşacak değişiklikler grafiksel olarak sunulmuş ve değişimlerin analizi yapılmıştır. MATLAB algoritması ile hesaplanan sonuçlar ayrıca yöntemin detaylı sunumu için her iki uygulamada da adım adım verilmektedir.

TOPSIS yönteminin Rize ilindeki farklı alan tiplerinde uygulanabilecek olan YSY stratejilerinin arasından en uygun olanının belirlenmesi konusunda uygulanması ile ilgili kullanılan ilk örnek için Rize sahil parkına ait veriler kullanılmıştır. Sahil parkında uygulanabilecek YSY stratejileri alternatifleri “Geçirgen kaplamalar”, Yağmur bahçeleri”, “Biyo hendek” ve “Biyo tutma alanları” olarak belirlenmiş ve bu alternatifler “Yüzey örtüsü geçirgenliği”, “Eğim”, “Yağış miktarı”, “Bitkisel çeşitlilik”, “Toplam alan büyüklüğü” ve “Maliyet” kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Bu kriterler arasından “Yüzey örtüsü” kriterli %30 ağırlık kullanılarak diğer kriterlere göre önemli bir noktaya yerleştirilmiştir. Diğer kriterler “Yağış miktarı” için %25, “Eğim” için %15 ve “Bitkisel çeşitlilik”, “Maliyet” ve “Toplam alan büyüklüğü” kriterleri için %10 kriter ağırlığı ile kullanılmıştır. Fayda kriterleri “Yüzey örtüsü geçirgenliği”, “Bitkisel çeşitlilik” ve “Toplam alan büyüklüğü” olarak ve zarar kriterleri “Eğim”, “Yağış miktarı” ve “Maliyet” olarak belirlenmiştir. Bu sınıflandırma, örneğin, yüzey örtüsü geçirgenliğindeki artışın ilgili alternatifin uygun bir strateji olmasına katkı sağlamasından ve maliyetteki artışın ise kullanımı zorlaştırmasından kaynaklanmaktadır.

TOPSIS uygulamasının ilk aşamasında ele alınan karar matrisi incelendiğinde her ne kadar sonuçla ilgili bir öngöründe bulunmak mümkün olsa da kesin karar verilememektedir. Örneğin bir fayda kriteri olan “Yüzey örtüsü geçirgenliği” için hem “Yağmur bahçeleri” hem “Biyo tutma alanları” en yüksek değer olan 90’a sahipken diğer fayda kriterlerinde “Biyo tutma alanları”nın daha yüksek değere sahip olması uygun alternatif olma noktasında bu seçeneği önce çıkarmaktadır. Ancak bir zarar kriterleri olan “Maliyet” açısından “Biyo tutma alanları”nın en yüksek değere sahip, dolayısıyla en geride, olduğu görülmektedir. Karar matrisindeki değerlerin bir alternatifi net bir şekilde diğerlerinin önüne çıkarıp çıkarmayacağı son adımda elde edilecek olan $S_i^*, i = 1,2,3,4$ ideal çözüme göreceli yakınlıkları ile de uyumlu bir şekilde incelenebilmektedir. Herhangi bir alternatifi diğerlerinden açıkça ayrılarak en uygun konuma sahip olması bu alternatif için ideal çözüme göreceli yakınlık değerinin 1’e çok yakın olmasının beklenebileceğini göstermektedir. Benzer şekilde bir alternatifi diğerlerine göre daha kötü bir durumda olmasında da ideal çözüme göreceli yakınlık değerinin 0’a yakın olması beklenir. Bu örnek için herhangi bir alternatif tüm kriterler bakımından ne en ileride ne de en geride olduğundan tüm ideal çözüme göreceli yakınlık değerlerinin (0.34,0.80) aralığında olduğu görülmektedir.

Alternatiflerin ideal çözüme yakın olup olmadıkları karar matrisinin normalize edilmesi ile elde edilen $R = (r_{ij})_{4 \times 8}$ normalize edilmiş karar matrisi incelenerek de görülebilmektedir. Normalize edilmiş karar matrisinde fayda kriterleri için 1 değerine ve zarar kriterleri için 0 değerine daha yakın değerleri barındıran alternatif en uygun çözüm olacaktır. Benzer şekilde karar matrisinde fayda kriterlerine göre diğer alternatiflerin önünde iken zarar kriterlerine göre diğer alternatiflerden düşük değere sahip alternatifin daha uygun seçenek olması normalize edilmiş matris ile daha kolay bir şekilde görülebilmektedir. Örneğin “Biyo tutma alanları” alternatifinin normalize edilmiş karar matrisi fayda kriterlerine açısından incelendiğinde “Yüzey örtüsü geçirgenliği” için en iyi (“Yağmur bahçeleri” ile), “Bitkisel çeşitlilik” açısından en iyi ve “Toplam alan büyüklüğü” bakımından en iyi alternatif olduğu görülmektedir. Aynı matris zarar kriterleri bakımından incelenirse “Biyo tutma alanları” alternatifinin değer olarak “Eğim” açısından en kötü 2., “Yağış miktarı” bakımından en iyi ve “Maliyet” bakımından en kötü alternatif olduğu görülmektedir.

Pozitif ve negatif ideal çözümlerin her kriter için içerdiği değerler de uygun alternatif konusunda ipucu barındırmaktadır. Kriter ağırlıkları kullanılarak ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisinde her bir kriter için fayda kriterlerinin en yüksek değerleri

ve zarar kriterlerinin en düşük değerleri alınarak pozitif ideal çözüm oluşturulmaktadır. Aynı matriste fayda kriterlerinin en düşük değerleri ve zarar kriterlerinin en yüksek değerleri ile de negatif ideal çözüm elde edilmektedir. Örneğin ağırlıklandırılmış normalize edilmiş değerlerden oluşan $T = (t_{ij})_{4 \times 6}$ matrisi incelendiğinde “Biyo tutma alanları” alternatifinin değerlerinin 6 kriter değeri içinden 4’ünün pozitif ideal çözüme atandığı görülmektedir. Benzer şekilde “Geçirgen kaplamalar” alternatifinin 6 kriter değeri içinden 3’ünün negatif ideal çözüme atandığı görülmektedir.

İdeal çözüme göreceli yakınlık ölçüsü pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıklar ile belirlendiği için en uygun çözümün belirlenmesi yönünde belirgin özelliklere sahiptirler. Ağırlıklandırılmış normalize edilmiş değerlerden oluşan $T = (t_{ij})_{4 \times 6}$ matrisindeki alternatif değerlerinin pozitif negatif ideal çözüme uzaklıkları $d_i^+, i = 1,2,3,4$ ve negatif ideal çözüme uzaklıkları $d_i^-, i = 1,2,3,4$ ile alternatiflerin değerlendirilmeleri mümkündür. Örnek olarak “Biowale” alternatifinin pozitif ideal çözüme uzaklığı $d_3^+ = 0.1585$ iken negatif ideal çözüme uzaklığı $d_3^- = 0.1194$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler “Biyo hendek” alternatifinin pozitif ve negatif ideal çözümlere benzer uzaklıklarda olduğu ve en uygun veya en kötü seçenek olarak ayrışmasının söz konusu olmadığı şeklinde yorumlanabilir. Bir diğer örnek olarak “Biyo tutma alanları” alternatifinin pozitif ideal çözüme uzaklığı $d_4^+ = 0.0561$ iken negatif ideal çözüme uzaklığı $d_3^- = 0.2174$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler net bir şekilde “Biyo tutma alanları” alternatifinin negatif ideal çözüme olan uzaklığının pozitif ideal çözüme olan uzaklığının neredeyse 4 katı olduğunu ve bu alternatifin pozitif bir şekilde ayrıştığını göstermektedir. Bu uzaklıkların oranlanması ile oluşan $S_i^*, i = 1,2,3,4$ ideal çözüme göreceli yakınlıkları negatif ideal çözüme olan uzaklıkların $(d_i^-, i = 1,2,3,4)$ toplam uzaklıklara $(d_i^- + d_i^+, i = 1,2,3,4)$ oranından oluşmaktadır ve negatif ideal çözüme uzaklığın toplam uzaklıklar içindeki aynısı göstermektedir. $S_i^*, i = 1,2,3,4$ değerlerinin 1’e yaklaşması alternatifin toplam uzaklıklarının neredeyse tamamının negatif ideal çözüme göre uzaklığı olmasını ve dolayısıyla pozitif ideal çözüme uzaklığının 0’a yaklaştığını göstermektedir. Bu da ilgilenilen alternatifin en uygun seçenek olma yönünde ayrışması anlamına gelmektedir. Örneğin “Biyo tutma alanları” alternatifinin negatif ideal çözüme olan uzaklığının pozitif ideal çözüme olan uzaklığının yaklaşık 4 katı olması S_4^* ideal çözüme göreceli yakınlık değerinin 0.7949 olarak elde edilmesini sağlamaktadır.

Kullanılan veriler ile yapılan hesaplamalarda Rize sahil parkı için en uygun alternatifin “Biyo tutma alanları” olduğu belirlenmiştir. Yağmur bahçelerinin maliyetinin yarıya inmesi durumunda da en uygun alternatifin “Biyo tutma alanları” olduğu ancak değerlendirmede “Maliyet” kriterine ağırlık verilmesi durumunda en uygun stratejinin “Yağmur bahçeleri” olduğu görülmektedir.

TOPSIS yöntemiyle ilgili uygulama problemi için seçilen ikinci alan Güneysu-Rize bağlantı yolu olarak belirlenmiştir. Güneysu-Rize bağlantı yolunda uygulanabilecek YSY stratejileri alternatifleri “Geçirgen kaplamalar”, Yağmur bahçeleri”, “Biyo hendek” ve “Biyo tutma alanları” olarak belirlenmiştir. Bu alternatifler “Yüzey örtüsü geçirgenliği”, “Eğim”, “Yağış miktarı”, “Yeşil alan miktarı”, “Yol genişliği / Alan büyüklüğü”, “Dere yatağı genişliği”, “Dere-yol bağlantısı genişliği” ve “Maliyet” kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Kriter ağırlıkları sırasıyla %20, %5, %30, %5, %10, %10, %10 ve %10 olarak belirlenmiştir. Örneğin “Yağış miktarı” kriteri tüm kriterler içinde %30 öneme sahiptir. Bu kriterlerden “Yüzey örtüsü geçirgenliği”, “Yeşil alan miktarı” ve “Yol genişliği / Alan büyüklüğü” fayda kriterleri iken “Eğim”, “Yağış miktarı”, “Dere yatağı genişliği”, “Dere-yol bağlantısı genişliği” ve “Maliyet” belirlenen zarar kriterleridir. Sahil parkı örneğindeki gibi bu örnek için de yeni alternatif ve/veya kriter eklenmesi mümkündür. Aynı şekilde kriter ağırlıklarının değiştirilmesi ile farklı senaryoların simülasyonu da kolaylıkla yapılabilmektedir.

Karar matrisi incelendiğinde TOPSIS uygulaması sonucunda en uygun alternatif olarak belirlenen “Biyo hendek” alternatifinin fayda kriterleri açısından “Yüzey örtüsü geçirgenliği” için 1., “Yeşil alan miktarı” için 1. ve “Yol genişliği / Alan büyüklüğü” açısından 2. sırada olduğu görülmektedir. Zarar kriterleri açısından “Eğim” için (diğer iki alternatif ile eşdeğer olarak) sonuncu, “Yağış miktarı” için 1., “Dere yatağı genişliği” için 1., “Dere-yol bağlantısı genişliği” için 1. ve “Maliyet” için sondan ikinci sıradaki alternatif olduğu görülmektedir. İlk örneğe oranla daha çok kriter olması karar matrisi değerleri incelenerek bir alternatifin öne çıkarılmasını zorlaştırıyor olsa da “Biyo hendek” alternatifi ilk incelemede öne çıkmaktadır. Karar matrisi $A = (a_{ij})_{4 \times 8}$ kullanılarak elde edilen normalize edilmiş karar matrisi $R = (r_{ij})_{4 \times 8}$ ve ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi $T = (t_{ij})_{4 \times 8}$ ile de aynı durumun doğrulanması mümkündür.

Bu durum pozitif ve negatif ideallerin oluşturulması sürecinde de görülebilmektedir. “Biyo hendek” alternatifinin 8 kriter arasından 6’sındaki değerlerinin pozitif ideal çözümün

değerlerini oluşturduğu görülürken “Biyo tutma alanları” alternatifinin 8 kriter arasından 7’sindeki değerlerinin negatif ideal çözümün değerleri arasına girdiği görülmektedir. Bu özellikleri belirtilen alternatiflerin diğerlerinden en uygun ve en uygun olmayan yöntemler olarak ayrıştıkları söylenebilir.

Alternatiflerin en uygun veya uygun olmayan alternatif olma durumları pozitif negatif ideal çözüme uzaklıkları d_i^+ , $i = 1,2,3,4$ ve negatif ideal çözüme uzaklıkları d_i^- , $i = 1,2,3,4$ aracılığıyla da incelenebilmektedir. “Geçirgen kaplamalar” için $d_1^+ = 0.1261$ ve $d_1^- = 0.1145$ olarak bulunduğu için bu alternatifin uygunluk-uygunsuzluk noktasında ortada olduğu söylenebiliyorken “Yağmur bahçeleri” için $d_2^+ = 0.1497$ ve $d_2^- = 0.0838$ olması bu alternatifin pozitif ideal çözüme daha yakın ve dolayısıyla uygun olmayan bir alternatif olma adayı olduğunu göstermektedir. “Biyo hendek” alternatifi için $d_3^+ = 0.0331$ ve $d_3^- = 0.2077$ olarak bulunmuş olması bu alternatifin negatif ideal çözüme olan uzaklığının pozitif ideal çözüme olan uzaklığının 6 katından fazla olması ve dolayısıyla uygun bir alternatif olması noktasında önemli bir belirtidir. “Biyo tutma alanları” için de negatif ideal çözüme yakınlık $d_4^- = 0.0626$ ve pozitif ideal çözüme uzaklık $d_4^+ = 0.2089$ olduğundan “Biyo hendek” alternatifinin diğer alternatiflerden net bir şekilde ön planda olduğu yorumu yapılabilmektedir.

Güneysu-Rize bağlantı yolu için en uygun alternatif olarak “Biyo hendek” seçeneği öne çıkmaktadır. Kriter ağırlıklarının “Eğim” ve “Yol genişliği / Alan büyüklüğü” kriterlerinin ağırlıklı olarak ele alınacağı şekilde güncellenmesi durumunda en uygun alternatif “Geçirgen kaplamalar” olarak belirlenirken yağış miktarlarının değiştiği bir durumun ele alındığı alternatif senaryoda en uygun strateji tekrar “Biyo hendek” olarak elde edilmektedir.

TOPSIS’te elde edilen sonuçlar, SWMM programında verilerin modellemesiyle yapılan simülasyon çalışmaları tarafından doğrulanmıştır. SWMM çalışmalarının sonucunda her iki çalışma alanı için elde edilen yağmur suyu yönetimi uygulamaları TOPSIS’ten elde edilen sonuçlarla uyumludur.

Bu tez çalışmasında uygulama alanlarında yapılan simülasyonlar sonucu elde edilen veriler ışığında Rize’deki orta refüj ve yol kenarlarında yapılan bitkilendirmelerin yerine biyo hendek kullanımı, kent parklarında ve yeşil alanlarda yağmur bahçesi, biyo tutma alanları kullanımı, meydanlar, kaldırımlarda vb. alanlarda geçirgen kaplamaların kullanımı kente çok önemli katkılar sağlayacaktır. Bu sayede kentsel alanlarda yüzeysel akışların kontrol edilebilirliği artacak bu da sel ve su baskınlarının etkilerinin hafifletilmesi sağlarken

hem maddi hem de manevi kayıpların azaltılmasını sağlayacaktır. Aynı zamanda Rize ilinde nitelikli yeşil alan miktarı artacak bu sayede ekosistem hizmetleri de aynı oranda kente katkı sunacaktır. Çalışmada Rize'nin kent hidrolojisi hem anlatımlarla hem de grafiklerle detaylı olarak verilmiştir. Rize kenti topografik olarak çok eğimli bir yapıda olup kentte düz alan oldukça sınırlıdır. Bundan dolayı kentleşmenin yoğun olarak belli bir noktada sıkıştığı görülmektedir. Özellikle kenti çevreleyen yamaçlardan yağışlarla gelebilecek akışlar kentsel ve su baskını gibi olaylara karşı karşı daha da dirençsiz kılabilmektedir. Bu noktada yukarıda da bahsedildiği gibi mevcut yeşil alanların YSY altyapı uygulamalarına dönüşmesi hiç şüphesiz kente çok ciddi katkılar sunacaktır. Örneğin bir yağmur bahçesi veya biyo tutma alanındaki bitkisel biyoçeşitlilik normal bir yeşil alana göre çok daha fazladır. Bu da o alanın sunduğu karbon depolama, oksijen üretimi, kirli hava temizleme, kentsel ısı adası etkisi, estetik değer sunma, yaban hayatı için yaşam oluşturma ve daha birçok kentsel ekosistem hizmetlerinden yararlanmak anlamına gelmektedir. Dolayısıyla buradan güçlendirilmiş ekosistem hizmetleri ile küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı daha dirençli bir kent oluşacağı rahatlıkla söylenebilir.

6. ÖNERİLER

Tez çalışmasında YSY stratejisinin seçimi probleminde TOPSIS yönteminin kullanımına odaklanılmış ve elde edilen sonuçların karşılaştırmalı analizine yer verilmiştir. Çalışmanın kapsamı farklı yönleriyle genişletilerek birçok yeni çalışmaya temel oluşturma potansiyeline sahiptir.

- Tez kapsamında yapılan hesaplarda TOPSIS yönteminin klasik sayılar üzerine inşa edilen orijinal hali kullanılmıştır. Orijinal verilerle Rize Sahil Parkı için en uygun alternatif 0.7949 benzerlik katsayısı ile Biyo Tutma Alanları, Güneysu-Rize Bağlantı Yolu için ise 0.8626 benzerlik katsayısı ile Biyo Hendek olarak belirlenmiştir. Güncel literatürde ikili sayılar, bulanık (Fuzzy) sayılar, sezgisel bulanık sayılar vb. gibi farklı sayı sistemleri kullanılarak TOPSIS yönteminin uygulamaları mevcuttur. Kullanılan sayı sisteminin değiştirilmesi ile yapılan çalışmanın farklı bir boyutta ele alınması mümkündür.
- Çalışmalarda klasik TOPSIS yönteminin bileşenleri standart formları ile kullanılmıştır. Bu hesaplar sonucunda Rize Sahil Parkı için Biyo Tutma Alanlarının negatif ideal çözüme uzaklığı 0.2174 iken pozitif ideal çözüme uzaklığı 0.0561 olarak, Güneysu-Rize Bağlantı Yolu için Biyo Hendek alternatifinin negatif ideal çözüme uzaklığı 0.0838 iken pozitif ideal çözüme uzaklığı 0.1497 olarak belirlenmiştir. Standart yöntemde ele alınan uzaklık hesabının, kriter ağırlığı belirleme yönteminin vb. bileşenlerinin değiştirilmesi ile orijinal yöntemden M-TOPSIS, DPL-TOPSIS, PF-TOPSIS, TOPSIS-Mahalanobis gibi farklı isimlerde birçok modifikasyon elde edilmiştir. Bu yöntemlerden biri kullanılarak yapılan çalışmanın değişik bir şekilde ele alınması mümkündür.
- Tez çalışmasında alanlara özgü en uygun YSY stratejisi standart TOPSIS yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve Rize Sahil Parkı için en uygun alternatif Biyo Tutma Alanları, Güneysu-Rize Bağlantı Yolu için en uygun alternatif ise Biyo Hendek olarak bulunmuştur. Literatürde TOPSIS dışında birçok çok kriterli karar verme yöntemi bulunmaktadır. TOPSIS dışında bir yöntemle alana özgü en uygun YSY stratejisinin belirlenmesi problemine odaklanılacağı gibi farklı yöntemlerin bir arada kullanılması da olasılıklar arasındadır. Farklı ÇKKV yöntemlerinin birlikte daha detaylı bir inceleme yapmak veya sonuçları doğrulamak için bir arada kullanıldığı çalışmalar kaynak alınarak alan uygulaması yapılması özgün bir çalışma niteliğinde olacaktır.

- Çalışma boyunca yapılan analizler kapsamında en uygun YSY stratejisinin Rize Sahil Parkı için Biyo Tutma Alanları, Güneysu-Rize Bağlantı Yolu için Biyo Hendek olduğu SWMM programında yapılan simülasyonlar ile doğrulanmıştır. Rize Sahil Parkı için Biyo Tutma Alanları yüzey akışında %69 azalma sağlamakta iken Güneysu-Rize Bağlantı Yolu için Biyo Hendek uygulaması %71.5 azalma sağlamıştır. SWMM ile yapılan çalışmalara benzer olarak TR55 gibi yüzey akış modelleme programları kullanılarak da TOPSIS ile elde edilen sonuçların doğrulanması veya daha detaylı bir şekilde ele alınmasını temel alan yeni çalışmaların yapılması mümkündür.
- SWMM simülasyonlarında TOPSIS ile elde edilen sonuçların doğrulanması amaçlandığı için alternatifler uygulama alanlarına karar matrislerinde modellenen duruma uygun bir şekilde tanıtılmıştır. Rize Sahil Parkı için Geçirgen Kaplamalar, Yağmur Bahçeleri ve Biyo Hendek alternatiflerinin uygunluk olarak 0.7949 benzerlik katsayısına sahip Biyo Tutma Alanlarının gerisinde kaldığı bu alternatifin SWMM simülasyonunda %69 yüzey akışı azaltması sağlaması ile en iyi alternatif olduğunun görülmesi ile doğrulanmıştır. Benzer şekilde Güneysu-Rize Bağlantı Yolu için 0.8626 benzerlik katsayısına sahip Biyo Hendek alternatifinin en uygun alternatif olduğu bu alternatifin %71.5 yüzey akışı azaltması ile diğer yöntemlerin önünde olduğunun gösterilmesi ile doğrulanmıştır. Orijinal uygulama senaryoları için uygulanan bu yöntem SWMM programında yapılacak simülasyonlardaki girdilerin gerçek hayatta karşılaşılan sel ve su baskınları gibi afetlerde açığa çıkan değerlere göre belirlenmesi sağlanabilir. Bu şekilde yapılacak simülasyonlarla TOPSIS ve benzeri ÇKKV yöntemlerinden elde edilecek sonuçların gerçek hayattaki verilerle uygulamaya koyulması mümkündür. Ayrıca SWMM programında alternatif senaryolar için de simülasyonlar gerçekleştirerek daha detaylı bir doğrulama yapılması mümkündür.
- Tez kapsamında Rize Sahil Parkı için Biyo Tutma Alanlarının yüzey akışında %69, Güneysu-Rize Bağlantı Yolu için Biyo Hendek alternatifinin ise %71.5 azalma sağladığı verileri bu alternatiflerin gerçekten en uygun seçenekler olduğunun gösterilmesi için kullanılmıştır. SWMM simülasyon sonuçlarında sadece yüzey akışına yönelik raporlardan ziyade daha kapsamlı istatistiksel veriler ile TOPSIS ve benzeri ÇKKV yöntemlerindeki çıktıların karşılaştırmalarının yapılması mümkündür.
- Alana özgü en uygun YSY stratejisinin belirlenmesi için Rize Sahil Parkı ve Güneysu-Rize Bağlantı Yolu verileri kullanılmış ve bu alanlar için en uygun YSY stratejileri sırasıyla Biyo Tutma alanları ve Biyo Hendek olarak belirlenmiştir. Rize özelinde

verilen uygulamaların yoğun yapı bloklarının olduğu yerleşim alanları veya kent meydanı gibi yoğun kullanımlı ve geçirimsiz zemin oranlarının yüksek olduğu farklı alan tipleri ile genişletilmesi, farklı bölgelerde uygulanması veya uluslararası çalışmalara genişletilmesi mümkündür.

- Tez kapsamında Rize Sahil Parkı ve Güneysu-Rize Bağlantı Yolu için Geçirgen Kaplamalar, Yağmur Bahçeleri, Biyo Hendek ve Biyo Tutma Alanları alternatifler ile inceleme yapılmış ve en uygun alternatifler sırasıyla Biyo Tutma Alanları ve Biyo Hendek olarak belirlenmiştir. Kullanılan alternatiflerin, kriter ağırlıklarının veya kriterlerin detaylandırılması veya değiştirilmesi ile farklı sonuçlar verecek uygulamaların elde edilmesi mümkündür. Benzer şekilde kullanılan alternatifler alan tiplerine göre genişletilebilir. Örneğin konut yerleşkelerinin bulunduğu alanlarda çatı bahçeleri, depolama varilleri gibi alternatifler çalışmaya dahil edilmesi mümkündür.
- Tez kapsamında Rize'nin kent hidrolojisi ile ilgili veriler ortaya koyulmuş, grafik anlatımı ile bu veriler desteklenmiş ve detaylı olarak sunulmuştur. Rize kent morfolojisi, kentin topografik ve coğrafik yapısı nedeniyle deniz ve dağların arasında kısıtlı bir alana sıkışmış ve düz alanı sınırlı nispeten eğimli alanlardan oluşan bir şekildedir. Bu da ülkemizin en yağışlı ili olan Rize'yi özellikle son yıllarda küresel iklim değişikliğinin etkileriyle artan aşırı yağışlara karşı dirençsiz kılabilmektedir. Nitekim son yıllarda meydana gelen sel vb. felaketler nedeniyle Rize'de 127 kişi hayatını kaybetmiş ve son 10 yılda yaklaşık 500 milyon TL maddi hasar meydana gelmiştir. Bu noktada Rize'nin ihtiyacı olan planlama, kent hidrolojisi gözardı edilmeksizin peyzaj mimarlarının da dahil olduğu uzman ekiplerle yeniden ele alınıp sürdürülebilir mavi yeşil altyapı önerilerinin olduğu çalışmalardır. Bunlar neticesinde kentteki mevcut yeşil alanların YSY altyapısı uygulamaları dahilinde Biyo Tutma Alanları, Yağmur Bahçeleri, Biyo Hendekler gibi alanlara dönüşümü, kentsel alanlardaki geçirimsiz yüzeylerin de Geçirgen Kaplama malzemelerine dönüşümü kente maddi manevi çok önemli kazançlar sağlayabilir.

7. KAYNAKLAR

- Abarca-Gómez, L., Abdeen, Z. A., Hamid, Z. A., Abu-Rmeileh, N. M., Acosta-Cazares, B., Acuin, C., ... & Cho, Y. (2017). Worldwide trends in body-mass index, underweight, overweight, and obesity from 1975 to 2016: a pooled analysis of 2416 population-based measurement studies in 128· 9 million children, adolescents, and adults. *The lancet*, 390(10113), 2627-2642.
- Adikari, Y., & Yoshitani, J. (2009). Global trends in water-related disasters: an insight for policymakers. *World Water Assessment Programme Side Publication Series, Insights. The United Nations, UNESCO. International Centre for Water Hazard and Risk Management (ICHARM)*, 1-24.
- AFAD (2020). Rize ili sel ve su baskınları sonucu oluşan hasar raporları.
- Ahiablame, L. M., Engel, B. A., & Chaubey, I. (2013). Effectiveness of low impact development practices in two urbanized watersheds: Retrofitting with rain barrel/cistern and porous pavement. *Journal of environmental management*, 119, 151-161.
- Aher, S., Shinde, S., Guha, S., & Majumder, M. (2017). Identification of drought in Dhalai river watershed using MCDM and ANN models. *Journal of Earth System Science*, 126(2), 1-14.
- Akyüz, Y., Bozdoğan, T., & Hantekin, E. (2011). TOPSIS yöntemiyle finansal performansın değerlendirilmesi ve bir uygulama. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(1), 73-92.
- Amos, C., Rahman, A., & Mwangi Gathenya, J. (2016). Economic analysis and feasibility of rainwater harvesting systems in urban and peri-urban environments: A review of the global situation with a special focus on Australia and Kenya. *Water*, 8(4), 149.
- Armson, D., Stringer, P., & Ennos, A. R. (2013). The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(3), 282-286.
- Appan, A. (2000). A dual-mode system for harnessing roofwater for non-potable uses. *Urban water*, 1(4), 317-321.
- Apostolidis, N., & Hutton, N. (2006). Integrated water management in brownfield sites—more opportunities than you think. *Desalination*, 188(1-3), 169-175.
- Balcı, A.N., Öztan, Y., (1987). Sel Kontrolü, Karadeniz Üniversitesi, Orman Fakültesi , Genel Yayın No:113, Fakülte Yayın No: 12, Karadeniz Üniversitesi Basımevi, Trabzon, 466 s.

- Barbedo, J., Miguez, M., Van Der Horst, D., & Marins, M. (2014). Enhancing ecosystem services for flood mitigation: a conservation strategy for peri-urban landscapes?. *Ecology and Society*, 19(2).
- Barbosa, A. E., Fernandes, J. N., & David, L. M. (2012). Key issues for sustainable urban stormwater management. *Water research*, 46(20), 6787-6798.
- Bartens, J., Day, S. D., Harris, J. R., Dove, J. E., & Wynn, T. M. (2008). Can urban tree roots improve infiltration through compacted subsoils for stormwater management?. *Journal of Environmental Quality*, 37(6), 2048-2057.
- Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with applications*, 39(17), 13051-13069.
- Behroozi, A., Niksokhan, M. H., & Nazariha, M. (2018). Developing a simulation-optimisation model for quantitative and qualitative control of urban run-off using best management practices. *Journal of Flood Risk Management*, 11, S340-S351.
- Bélangier, P. (2013). *Landscape infrastructure: urbanism beyond engineering*. Wageningen University and Research.
- Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2002). Green infrastructure: smart conservation for the 21st century. *Renewable resources journal*, 20(3), 12-17.
- Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2012). *Green infrastructure: linking landscapes and communities*. Island press.
- Benitez, J. M., Martín, J. C., & Román, C. (2007). Using fuzzy number for measuring quality of service in the hotel industry. *Tourism management*, 28(2), 544-555.
- Berland, A., Shiflett, S. A., Shuster, W. D., Garmestani, A. S., Goddard, H. C., Herrmann, D. L., & Hopton, M. E. (2017). The role of trees in urban stormwater management. *Landscape and urban planning*, 162, 167-177.
- Birkholz, S., Muro, M., Jeffrey, P., & Smith, H. M. (2014). Rethinking the relationship between flood risk perception and flood management. *Science of the total environment*, 478, 12-20.
- Binesh, N., Sarang, A., Niksokhan, M. H., Rauch, W., & Aronica, G. T. (2022). Quantifying the UDS Hydraulic and Social Resilience to Flooding: An Index-Based Approach vs. a Parameter-Based MCDM Method. *Water*, 14(13), 2007.
- Booth, D. B., & Leavitt, J. (1999). Field evaluation of permeable pavement systems for improved stormwater management. *Journal of the American Planning Association*, 65(3), 314-325.
- Bonan, G. (2015). *Ecological climatology: concepts and applications*.

- Boyd, G., & Gardiner, N. (1990). Urban stormwater: and overview for municipalities. *Public Works*, 121(13), 39-42.
- Brabec, E., Schulte, S., & Richards, P. L. (2002). Impervious surfaces and water quality: a review of current literature and its implications for watershed planning. *Journal of planning literature*, 16(4), 499-514.
- Brans, J. P. (1982). *L'ingénierie de la décision: l'élaboration d'instruments d'aide a la décision*. Université Laval, Faculté des sciences de l'administration.
- Brasil, J., Macedo, M., Lago, C., Oliveira, T., Júnior, M., Oliveira, T., & Mendonado, E. (2021). Nature-based solutions and real-time control: Challenges and opportunities. *Water*, 13(5), 651.
- Bratieres, K., Fletcher, T. D., Deletic, A., & Zinger, Y. A. R. O. N. (2008). Nutrient and sediment removal by stormwater biofilters: A large-scale design optimisation study. *Water research*, 42(14), 3930-3940.
- Brattebo, B. O., & Booth, D. B. (2003). Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems. *Water research*, 37(18), 4369-4376.
- Brierley, G., & Fryirs, K. (2009). Don't fight the site: three geomorphic considerations in catchment-scale river rehabilitation planning. *Environmental Management*, 43(6), 1201-1218.
- Brodie, I. M. (2008). Hydrological analysis of single and dual storage systems for stormwater harvesting. *Water Science and Technology*, 58(5), 1039-1046.
- Brown, J. D., & Damery, S. L. (2002). Managing flood risk in the UK: towards an integration of social and technical perspectives. *Transactions of the institute of British Geographers*, 27(4), 412-426.
- Brown, R. A., & Hunt, W. F. (2011). Underdrain configuration to enhance bioretention exfiltration to reduce pollutant loads. *Journal of Environmental Engineering*, 137(11), 1082-1091.
- Brown, R. R., Keath, N., & Wong, T. (2008). Transitioning to water sensitive cities: historical current and future transition states. In *International Conference on Urban Drainage 2008* (pp. CD-Rom). Iwa Publishing.
- Burns, M. J., Fletcher, T. D., Duncan, H. P., Hatt, B. E., Ladson, A. R., & Walsh, C. J. (2015). The performance of rainwater tanks for stormwater retention and water supply at the household scale: an empirical study. *Hydrological Processes*, 29(1), 152-160.
- Burns, W. J., & Slovic, P. (2012). Risk perception and behaviors: anticipating and responding to crises. *Risk Analysis*.

- Burton Jr., G.A., Pitt, R.E., 2002. *Stormwater Effects Handbook: A Toolbox for Watershed Managers, Scientists, and Engineers*. Lewis Publishers, 911 pp.
- Butler, D., Ward, S., Sweetapple, C., Astaraie-Imani, M., Diao, K., Farmani, R., & Fu, G. (2017). Reliable, resilient and sustainable water management: the Safe & SuRe approach. *Global Challenges*, 1(1), 63-77.
- Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M. J., Friedler, E., DeBusk, K., ... & Han, M. (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water research*, 115, 195-209.
- Chae, S. T., Chung, E. S., & Jiang, J. (2022). Robust Siting of Permeable Pavement in Highly Urbanized Watersheds Considering Climate Change Using a Combination of Fuzzy-TOPSIS and the VIKOR Method. *Water Resources Management*, 1-19.
- Change, I. C. (2014). Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental Panel on Climate Change, 1132.
- Charalambous, K., Bruggeman, A., Eliades, M., Camera, C., & Vassiliou, L. (2019). Stormwater retention and reuse at the residential plot level—green roof experiment and water balance computations for long-term use in cyprus. *Water*, 11(5), 1055.
- Cheng, M. S., Zhen, J. X., & Shoemaker, L. (2009). BMP decision support system for evaluating stormwater management alternatives. *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, 3(4), 453-463.
- Chiu, Y. R., Aghaloo, K., & Mohammadi, B. (2020). Incorporating rainwater harvesting systems in iran's potable water-saving scheme by using a GIS-simulation based decision support system. *Water*, 12(3), 752.
- Cioc, M. (2002). *The Rhine: an eco-biography, 1815-2000*. University of Washington Press.
- City of Tacoma, 2003. *Surface Water Management Manual, Volume 5, Runoff Treatment BMPs*. Tacoma Public Works. January 2003.
- Collingham, Y. C., & Huntley, B. (2000). Impacts of habitat fragmentation and patch size upon migration rates. *Ecological Applications*, 10(1), 131-144.
- Chocat, B., Ashley, R., Marsalek, J., Matos, M. R., Rauch, W., Schilling, W., & Urbonas, B. (2007). Toward the sustainable management of urban storm-water. *Indoor and built environment*, 16(3), 273-285.
- Chui, T. W., Mar, B. W., & Horner, R. R. (1982). Pollutant loading model for highway runoff. *Journal of the Environmental Engineering Division*, 108(6), 1193-1210.
- Coleman, J. C., Miller, M. C., & Mink, F. L. (2011). Hydrologic disturbance reduces biological integrity in urban streams. *Environmental monitoring and assessment*, 172(1), 663-687.

- County, P. G. S. (1999). Low-impact development design strategies: An integrated design approach. Department of Environmental Resources, Programs and Planning Division, Prince George's County, Maryland.
- Coutts, C., & Hahn, M. (2015). Green infrastructure, ecosystem services, and human health. *International journal of environmental research and public health*, 12(8), 9768-9798.
- Cullen, G. (1964). *Townscape*. New York: Reinhold Pub. Cor
- D'Arcy, B. J. (1998). A new Scottish approach to urban drainage in the developments at Dunfermline. In *Proceedings of the Standing Conference on Stormwater Source Control* (Vol. 15).
- Dadvand, P., Sunyer, J., Basagana, X., Ballester, F., Lertxundi, A., Fernandez-Somoano, A., ... & Nieuwenhuijsen, M. J. (2012). Surrounding greenness and pregnancy outcomes in four Spanish birth cohorts. *Environmental health perspectives*, 120(10), 1481-1487.
- Damodaram, C., & Zechman, E. M. (2013). Simulation-optimization approach to design low impact development for managing peak flow alterations in urbanizing watersheds. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(3), 290-298.
- Davies, C., Hansen, R., Rall, E., Pauleit, S., Laforteza, R., DeBellis, Y., ... & Tosics, I. (2015). Green Infrastructure Planning and Implementation (GREEN SURGE). The status of European green space planning and implementation based on an analysis of selected European city-regions, 1-134.
- Davies, C., MacFarlane, R., McGloin, C., & Roe, M. (2006). *Green infrastructure planning guide*. Project: Final Report
- Davis, A. P. (2005). Green engineering principles promote low-impact development.
- Davis, A. P. (2008). Field performance of bioretention: Hydrology impacts. *Journal of hydrologic engineering*, 13(2), 90-95.
- Davis, A. P., Hunt, W. F., Traver, R. G., & Clar, M. (2009). Bioretention technology: Overview of current practice and future needs. *Journal of environmental engineering*, 135(3), 109-117.
- Davis, A. P., Traver, R. G., & Hunt, W. F. (2010). Improving urban stormwater quality: Applying fundamental principles. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 146(1), 3-10.
- DeBusk, K. M., & Wynn, T. M. (2011). Storm-water bioretention for runoff quality and quantity mitigation. *Journal of Environmental Engineering*, 137(9), 800-808.

- de Castro-Pardo, M., Fernández Martínez, P., Pérez Zabaleta, A., & Azevedo, J. C. (2021). Dealing with Water Conflicts: A Comprehensive Review of MCDM Approaches to Manage Freshwater Ecosystem Services. *Land*, 10(5), 469.
- Demir, D. (2012). Konvansiyonel Yağmursuyu Yönetim Sistemleri İle Sürdürülebilir Yağmursuyu Yönetim Sistemlerinin Karşılaştırılması: İtü Ayazağa Yerleşkesi Örneği (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- DeNardo, J. C., Jarrett, A. R., Manbeck, H. B., Beattie, D. J., & Berghage, R. D. (2005). Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs. *Transactions of the ASAE*, 48(4), 1491-1496.
- Deutsch, B., Whitlow, H., Sullivan, M., & Savineau, A. (2005). Re-greening Washington DC: a green roof vision based on environmental benefits for air quality and stormwater management.
- Dhakal, K. P. ve Chevalier, L. R. (2016). Urban stormwater governance: the need for a paradigm shift. *Environmental management*, 57(5), 1112-1124.
- Dickson, E., Baker, J. L., & Hoornweg, D. (2012). Urban risk assessments: understanding disaster and climate risk in cities. World Bank Publications.
- Dietz, M. E. (2007). Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions. *Water, air, and soil pollution*, 186(1), 351-363.
- Dierkes C, Kuhlman L, Kandasamy J, Angelis G. Pollution retention capability and maintenance of permeable pavements. In: Strecker EW, editor. Proceedings of the 9th International Conference on Urban Drainage; 2002 September 8–13; Portland, USA
- Disco, C. (2008). Taming the Rhine: economic connection and urban competition. *Urban Machinery. Inside Modern European Cities*, 23-48.
- Donovan, G. H., Butry, D. T., Michael, Y. L., Prestemon, J. P., Liebhold, A. M., Gatzolis, D., & Mao, M. Y. (2013). The relationship between trees and human health: evidence from the spread of the emerald ash borer. *American journal of preventive medicine*, 44(2), 139-145.
- Donovan, G. H., Michael, Y. L., Butry, D. T., Sullivan, A. D., & Chase, J. M. (2011). Urban trees and the risk of poor birth outcomes. *Health & place*, 17(1), 390-393.
- Douglas, M. 1985. Risk Acceptability According to the Social Sciences. New York: Russell Sage Foundation.
- Douglas, I., & Philip, J. (2014). Urban ecology: an introduction. Routledge.

- Drake, J., Bradford, A., & Van Seters, T. (2014, September). Hydrologic performance of three partial-infiltration permeable pavements in a cold climate over low permeability soil. American Society of Civil Engineers.
- Echols, S., & Pennypacker, E. (2015). The History of Stormwater Management and Background for Artful Rainwater Design. In *Artful Rainwater Design* (pp. 7-22). Island Press, Washington, DC.
- Eckart, K., McPhee, Z., & Bolisetti, T. (2017). Performance and implementation of low impact development—A review. *Science of the Total Environment*, 607, 413-432.
- Eisenman, T. S. (2013). Frederick Law Olmsted, green infrastructure, and the evolving city. *Journal of planning history*, 12(4), 287-311.
- Ellis, J. B., D'arcy, B. J., & Chatfield, P. R. (2002). Sustainable urban-drainage systems and catchment planning. *Water and Environment Journal*, 16(4), 286-291.
- Ellis, T. W., Legu  dois, S., Hairsine, P. B., & Tongway, D. J. (2006). Capture of overland flow by a tree belt on a pastured hillslope in south-eastern Australia. *Soil Research*, 44(2), 117-125.
- Endreny, T., & Collins, V. (2009). Implications of bioretention basin spatial arrangements on stormwater recharge and groundwater mounding. *Ecological Engineering*, 35(5), 670-677.
- European Commission. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Off. J. Eur. Communities* 2000, 327, 1–72.
- European Commission (2011) A growth package for integrated European infrastructures. Brussels
- European Commission (2012) TEN-T: Transport infrastructure. Brussels
- European Union. Nature-Based Solutions for Climate Mitigation. Analysis of EU-Funded Projects; European commission: Bruxelles, Belgium, 2020; ISBN 978-92-76-18200-9.
- Ewing, R., Schmid, T., Killingsworth, R., Zlot, A., & Raudenbush, S. (2003). Relationship between urban sprawl and physical activity, obesity, and morbidity. *American journal of health promotion*, 18(1), 47-57.
- Eyre, H., Kahn, R., Robertson, R. M., ACS/ADA/AHA Collaborative Writing Committee, ACS/ADA/AHA Collaborative Writing Committee Members, Clark, N. G., ... & Thun, M. J. (2004). Preventing cancer, cardiovascular disease, and diabetes: a common agenda for the American Cancer Society, the American Diabetes Association, and the American Heart Association. *Circulation*, 109(25), 3244-3255.

- Ferrans, P., Torres, M. N., Temprano, J., & Sánchez, J. P. R. (2022). Sustainable Urban Drainage System (SUDS) modeling supporting decision-making: A systematic quantitative review. *Science of the Total Environment*, 806, 150447.
- Figueira, J. R., Mousseau, V., & Roy, B. (2016). ELECTRE methods. In *Multiple criteria decision analysis* (pp. 155-185). Springer, New York, NY.
- Forman, R. T. (2014). *Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions* (1995). The ecological design and planning reader, 217-234.
- Forman, R. T., & Godron, M. (1981). Patches and structural components for a landscape ecology. *BioScience*, 31(10), 733-740.
- Fletcher, T. D., Andrieu, H., & Hamel, P. (2013). 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.
- 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.
- Florida, pp. 19–32. Nowak, D. J., Crane, D. E., & 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.
- France, R. L. (Ed.). (2002). *Handbook of water sensitive planning and design*. CRC Press.
- Frantzeskaki, N. (2019). Seven lessons for planning nature-based solutions in cities. *Environmental science & policy*, 93, 101-111.
- Fratini, C. F., Geldof, G. D., Kluck, J., & Mikkelsen, P. S. (2012). Three Points Approach (3PA) for urban flood risk management: A tool to support climate change adaptation through transdisciplinarity and multifunctionality. *Urban Water Journal*, 9(5), 317-331.
- Geneletti, D. (2004). Using spatial indicators and value functions to assess ecosystem fragmentation caused by linear infrastructures. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(1), 1-15.
- German, J., Vikstrom, M., Svensson, G., & Gustafsson, L. G. (2005, August). Integrated stormwater strategies to reduce impact on receiving waters. In *Proceedings of the 10th International Conference on Urban Drainage*, Copenhagen/Denmark, 21th e26th August.
- Gersonius, B., Nasruddin, F., Ashley, R., Jeuken, A., Pathirana, A., & Zevenbergen, C. (2012). Developing the evidence base for mainstreaming adaptation of stormwater systems to climate change. *Water research*, 46(20), 6824-6835.

- Getter, K. L., & Rowe, D. B. (2006). The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience*, 41(5), 1276-1285.
- GhaffarianHoseini, A., Tookey, J., GhaffarianHoseini, A., Yusoff, S. M., & Hassan, N. B. (2016). State of the art of rainwater harvesting systems towards promoting green built environments: a review. *Desalination and Water Treatment*, 57(1), 95-104.
- Giles-Corti, B., Macintyre, S., Clarkson, J. P., Pikora, T., & Donovan, R. J. (2003). Environmental and lifestyle factors associated with overweight and obesity in Perth, Australia. *American journal of health promotion*, 18(1), 93-102.
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Built environment*, 33(1), 115-133.
- Ghods, S. H., Zahmatkesh, Z., Goharian, E., Kerachian, R., & Zhu, Z. (2020). Optimal design of low impact development practices in response to climate change. *Journal of Hydrology*, 580, 124266.
- Ghofrani, Z., Sposito, V., & Faggian, R. (2017). A comprehensive review of blue-green infrastructure concepts. *International Journal of Environment and Sustainability*, 6(1).
- Gogate, N. G., Kalbar, P. P., & Raval, P. M. (2017). Assessment of stormwater management options in urban contexts using Multiple Attribute Decision-Making. *Journal of cleaner production*, 142, 2046-2059.
- Goulden, S., Portman, M. E., Carmon, N., & Alon-Mozes, T. (2018). From conventional drainage to sustainable stormwater management: Beyond the technical challenges. *Journal of environmental management*, 219, 37-45.
- Görmüş, S., Yılmaz, B., & Cengiz, S. (2019) Malatya Kentinde Peyzaj Altyapısına İlişkin Araştırmalar. *Peyzaj Araştırmaları Ve Uygulamaları Dergisi*, 1(2), 10-15.
- Grazuleviciene, R., Dedele, A., Danileviciute, A., Vencloviene, J., Grazulevicius, T., Andrusaityte, S., ... & Nieuwenhuijsen, M. J. (2014). The influence of proximity to city parks on blood pressure in early pregnancy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(3), 2958-2972.
- Grazuleviciene, R., Danileviciute, A., Dedele, A., Vencloviene, J., Andrusaityte, S., Uždanaviciute, I., & Nieuwenhuijsen, M. J. (2015). Surrounding greenness, proximity to city parks and pregnancy outcomes in Kaunas cohort study. *International journal of hygiene and environmental health*, 218(3), 358-365.
- Greenstein, D., Tiefenthaler, L., & Bay, S. (2004). Toxicity of parking lot runoff after application of simulated rainfall. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 47(2), 199-206.

- Griffin Jr, D. M., Grizzard, T. J., Randall, C. W., Helsel, D. R., & Hartigan, J. P. (1980). Analysis of non-point pollution export from small catchments. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 780-790.
- Gupta, M. K., Agnew, R. W., Gruber, D., & Kreutzberger, W. (1981). Constituents of Highway Runoff: Volume IV, Characteristics of Highway Runoff from Operating Highways. Research Report (No. FHWA/RD-81/045). United States. Federal Highway Administration. Offices of Research and Development.
- Gülcü, G., Kentsel Alanlarda Yağmur Suyu Yönetiminin Mekânsal Bileşenlerinin Üsküdar Meydanı Havzası Üzerinden Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2021.
- Hager, J. K., Mian, H. R., Hu, G., Hewage, K., & Sadiq, R. (2021). Integrated planning framework for urban stormwater management: one water approach. *Sustainable and Resilient Infrastructure*, 1-22.
- Haider, H., Ghumman, A. R., Al-Salamah, I. S., Ghazaw, Y., & Abdel-Maguid, R. H. (2019). Sustainability evaluation of rainwater harvesting-based flood risk management strategies: a multilevel decision-making framework for arid environments. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(10), 8465-8488.
- Hauck, T., & Czechowski, D. (2015). Green Functionalism: A brief sketch of its History and Ideas in the United States and Germany. *Revising Green Infrastructure: Concepts Between Nature and Design*. Edited by Hauck, T. & Czechowski, D. & Gorge, H.
- Hale, R. L. (2016). Spatial and temporal variation in local stormwater infrastructure use and stormwater management paradigms over the 20th century. *Water*, 8(7), 310.
- Hamann, F., Blecken, G. T., Ashley, R. M., & Viklander, M. (2020). Valuing the multiple benefits of blue-green infrastructure for a Swedish case study: contrasting the economic assessment tools B£ ST and TEEB. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, 6(4), 05020003.
- Hamel, P., Daly, E., & Fletcher, T. D. (2013). Source-control stormwater management for mitigating the impacts of urbanisation on baseflow: A review. *Journal of Hydrology*, 485, 201-211.
- Hamel, P., & Fletcher, T. D. (2014). The impact of stormwater source-control strategies on the (low) flow regime of urban catchments. *Water science and technology*, 69(4), 739-745.
- Han, M. (2007). Revival of rainwater harvesting and management in Asia and the Pacific. *SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE IN ASIA*, 109.
- Hartig, T., Mitchell, R., De Vries, S., & Frumkin, H. (2014). Nature and health. *Annual review of public health*, 35, 207-228.

- Hatt, B. E., Fletcher, T. D., & Deletic, A. (2009). Hydrologic and pollutant removal performance of stormwater biofiltration systems at the field scale. *Journal of Hydrology*, 365(3-4), 310-321.
- Hauck, T., & Czechowski, D. (2015). Green Functionalism: A brief sketch of its History and Ideas in the United States and Germany. *Revising Green Infrastructure: Concepts Between Nature and Design*. Edited by Hauck, T. & Czechowski, D. & Gorge, H.
- Hinman, C., Wulkan, B. (2012) Low Impact Development Technical Guidance Manual for Puget Sound, Washington State University Extension, Puget Sound Partnership Leadig Puget Sound Recovery, USA.
- Holz, T. (2002). Zero impact development source control for stream protection. Washington Hydrological Society, 20. TOWARDS GREENER STORMWATER MANAGEMENT
- Huang, J., Tu, Z., Du, P., Lin, J., & Li, Q. (2010). Uncertainties in stormwater runoff data collection from a small urban catchment, Southeast China. *Journal of Environmental Sciences*, 22(11), 1703-1709.
- Huber, W. C., & Dickinson, R. E. (1988). Storm water management model—Version 4: User's manual (EPA/600/3-88/001a). Environmental Research Laboratory, US EPA, Athens, Ga.
- Huong, H. T. L., & Pathirana, A. (2013). Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(1), 379-394.
- Hunt, W. F., Jarrett, A. R., Smith, J. T., & Sharkey, L. J. (2006). Evaluating bioretention hydrology and nutrient removal at three field sites in North Carolina. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making* (pp. 58-191). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Hystad, P., Davies, H. W., Frank, L., Van Loon, J., Gehring, U., Tamburic, L., & Brauer, M. (2014). Residential greenness and birth outcomes: evaluating the influence of spatially correlated built-environment factors. *Environmental health perspectives*, 122(10), 1095-1102.
- Imran, H. M., Akib, S., & Karim, M. R. (2013). Permeable pavement and stormwater management systems: a review. *Environmental technology*, 34(18), 2649-2656.
- Jayasooriya, V. M., Muthukumaran, S., Ng, A. W. M., & Perera, B. J. C. (2018). Multi criteria decision making in selecting stormwater management green infrastructure for industrial areas part 2: a case study with TOPSIS. *Water Resources Management*, 32(13), 4297-4312

- Jemberie, M. A., & Melesse, A. M. (2021). Urban flood management through urban land use optimization using LID techniques, city of Addis Ababa, Ethiopia. *Water*, 13(13), 1721.
- Jia, H., Lu, Y., Shaw, L. Y., & Chen, Y. (2012). Planning of LID–BMPs for urban runoff control: The case of Beijing Olympic Village. *Separation and Purification Technology*, 84, 112-119.
- Jia, H., Shaw L, Y., & Qin, H. (2017). Low impact development and sponge city construction for urban stormwater management. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11(4), 20.
- Jia, H., Wang, Z., Zhen, X., Clar, M., & Yu, S. L. (2017). China's sponge city construction: A discussion on technical approaches. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11(4), 1-11.
- Jiang, B., Chang, C. Y., & Sullivan, W. C. (2014). A dose of nature: Tree cover, stress reduction, and gender differences. *Landscape and Urban Planning*, 132, 26-36.
- Jiang, Y., Zevenbergen, C., & Fu, D. (2017). Understanding the challenges for the governance of China's "sponge cities" initiative to sustainably manage urban stormwater and flooding. *Natural Hazards*, 89(1), 521-529.
- Jha, A. K., Bloch, R., & Lamond, J. (2012). *Cities and flooding: a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century*. World Bank Publications.
- Johansen, M. G. (2021). Understanding of Green Infrastructure and implications for urban planning in the Mexican city of Culiacán (Master's thesis, Norwegian University of Life Sciences, Ås).
- Jones, S., & Somper, C. (2014). The role of green infrastructure in climate change adaptation in London. *The Geographical Journal*, 180(2), 191-196.
- Jongman, R. H., Külvik, M., & Kristiansen, I. (2004). European ecological networks and greenways. *Landscape and urban planning*, 68(2-3), 305-319.
- Kaplan, R., Kaplan, S., & Ryan, R. (1998). *With people in mind: Design and management of everyday nature*. Island press.
- Kaplan, G. T., & Rogers, L. J. (2003). *Gene worship: Moving beyond the nature/nurture debate over genes, brain, and gender*. Other Press, LLC.
- Kates, R. W., & Kasperson, J. X. (1983). Comparative risk analysis of technological hazards (a review). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 80(22), 7027-7038.
- Kazemi, F., Beecham, S., & Gibbs, J. (2011). Streetscape biodiversity and the role of bioretention swales in an Australian urban environment. *Landscape and Urban Planning*, 101(2), 139-148.

- Kim, G., & Miller, P. A. (2019). The impact of green infrastructure on human health and well-being: The example of the Huckleberry Trail and the Heritage Community Park and Natural Area in Blacksburg, Virginia. *Sustainable Cities and Society*, 48, 101562.
- Kirshen, P., Caputo, L., Vogel, R. M., Mathisen, P., Rosner, A., & Renaud, T. (2015). Adapting urban infrastructure to climate change: A drainage case study. *J. Water Resour. Plann. Manage*, 141(4), 04014064.
- Konrad, C. P., & Booth, D. B. (2005, September). Hydrologic changes in urban streams and their ecological significance. In *American Fisheries Society Symposium* (Vol. 47, No. 157, p. 17).
- Korkanç, S. Y., & Korkanç, M. (2006). Sel ve Taşkınların İnsan Hayatı Üzerindeki Etkileri. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 8(9), 42-50.
- Köksalan, M. M., Wallenius, J., & Zionts, S. (2011). Multiple criteria decision making: from early history to the 21st century. *World Scientific*.
- Köksalan, M., Wallenius, J., & Zionts, S. (2013). An early history of multiple criteria decision making. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 20(1-2), 87-94.
- Köseoğlu, A. (2019). Basitleştirilmiş neutrosophic çarpımsal kümeler ve karar verme metotları, *Gümüşhane Üniversitesi*.
- Kubat, A. S., & Topçu, M. (2009). Antakya ve Konya tarihi kent dokularının morfolojik açıdan karşılaştırılması. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 6(2), 334-347.
- Laforteza, R., Davies, C., Sanesi, G., & Konijnendijk, C. C. (2013). Green Infrastructure as a tool to support spatial planning in European urban regions. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 6(3), 102.
- La Rosa, D., & Pappalardo, V. (2020). Planning for spatial equity-A performance based approach for sustainable urban drainage systems. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101885.
- Laurenson, G., Laurenson, S., Bolan, N., Beecham, S., & Clark, I. (2013). The role of bioretention systems in the treatment of stormwater. *Advances in agronomy*, 120, 223-274.
- Levy, J. K. (2005). Multiple criteria decision making and decision support systems for flood risk management. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19(6), 438-447.
- Leopold, L. B. (1968). Hydrology for urban land planning: A guidebook on the hydrologic effects of urban land use (Vol. 554). *US Geological Survey*.
- Li, D., & Sullivan, W. C. (2016). Impact of views to school landscapes on recovery from stress and mental fatigue. *Landscape and urban planning*, 148, 149-158.

- Li, H., & Davis, A. P. (2009). Water quality improvement through reductions of pollutant loads using bioretention. *Journal of Environmental Engineering*, 135(8), 567-576.
- Li, H., Sharkey, L. J., Hunt, W. F., & Davis, A. P. (2009). Mitigation of impervious surface hydrology using bioretention in North Carolina and Maryland. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(4), 407-415.
- Li, X., Li, J., Fang, X., Gong, Y., & Wang, W. (2016, May). Case studies of the sponge city program in China. In *World Environmental and Water Resources Congress (Vol. 20162016, pp. 295-308)*.
- Lim, H. S., & Lu, X. X. (2016). Sustainable urban stormwater management in the tropics: An evaluation of Singapore's ABC Waters Program. *Journal of Hydrology*, 538, 842-862.
- Liao, Z. L., He, Y., Huang, F., Wang, S., & Li, H. Z. (2013). Analysis on LID for highly urbanized areas' waterlogging control: demonstrated on the example of Caohejing in Shanghai. *Water science and technology*, 68(12), 2559-2567.
- Lin, C. L. (2020). Establishing environment sustention strategies for urban and rural/town tourism based on a hybrid MCDM approach. *Current Issues in Tourism*, 23(19), 2360-2395.
- Little, C. E. (1995). *Greenways for america*. JHU Press.
- Liu, J., Sample, D. J., Bell, C., & Guan, Y. (2014). Review and research needs of bioretention used for the treatment of urban stormwater. *Water*, 6(4), 1069-1099.
- Liu, Y., Bralts, V. F., & Engel, B. A. (2015). Evaluating the effectiveness of management practices on hydrology and water quality at watershed scale with a rainfall-runoff model. *Science of the Total Environment*, 511, 298-308.
- Livesley, S. J., Baudinette, B., & Glover, D. (2014). Rainfall interception and stem flow by eucalypt street trees—The impacts of canopy density and bark type. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(1), 192-197.
- Lloyd, S. D., Wong, T. H., & Chesterfield, C. J. (2001, June). Opportunities and impediments to water sensitive urban design in Australia. In *2nd South Pacific Stormwater Conference* (pp. 302-309).
- Loos, R. J., & Yeo, G. S. (2022). The genetics of obesity: from discovery to biology. *Nature Reviews Genetics*, 23(2), 120-133.
- Lovasi, G. S., Schwartz-Soicher, O., Quinn, J. W., Berger, D. K., Neckerman, K. M., Jaslow, R., ... & Rundle, A. (2013). Neighborhood safety and green space as predictors of obesity among preschool children from low-income families in New York City. *Preventive medicine*, 57(3), 189-193.

- Luan, B., Chai, M. W., & Wang, X. (2017). Review of development, frontiers, and prospects of green infrastructure. *Acta Ecologica Sinica*, 37(15), 5246-5261.
- Luan, B., Yin, R., Xu, P., Wang, X., Yang, X., Zhang, L., & Tang, X. (2019). Evaluating Green Stormwater Infrastructure strategies efficiencies in a rapidly urbanizing catchment using SWMM-based TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 223, 680-691.
- Lucas, W. C., & Sample, D. J. (2015). Reducing combined sewer overflows by using outlet controls for Green Stormwater Infrastructure: Case study in Richmond, Virginia. *Journal of Hydrology*, 520, 473-488.
- Lynch, K. (1960). *The image of the city*. Cambridge: MIT Press.
- Lynch, K. (1981). *A theory of good city form*. London: The MIT Press
- Mazer, G., Booth, D., & Ewing, K. (2001). Limitations to vegetation establishment and growth in biofiltration swales. *Ecological Engineering*, 17(4), 429-443.
- McHarg, I. L. (1969). *Design with nature* (pp. 7-17). New York: American Museum of Natural History.
- Miguez, M. G., Rezende, O. M., & Veról, A. P. (2015). City growth and urban drainage alternatives: Sustainability challenge. *Journal of Urban Planning and Development*, 141(3), 04014026.
- Mitsch, W. J. (1992). Landscape design and the role of created, restored, and natural riparian wetlands in controlling nonpoint source pollution. *Ecological Engineering*, 1(1-2), 27-47.
- Mohammadi, J., Masoudian, A., & Kanani, M. (2015). Developing a Water Management Model for Esfahan Metropolis within the Framework of Green City Approach. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 6(6 S2), 532-532.
- Moran, A. C. (2004). *A North Carolina Field Study to Evaluate Greenroof Runoff Quantity, Runoff Quality, and Plant Growth*.
- Morgan, C., Bevington, C., Levin, D., Robinson, P., Davis, P., Abbott, J., & Simkins, P. (2013). *Water Sensitive Urban Design in the UK—Ideas for built environment practitioners*. Ciria, London.
- Mota, P., Campos, A. R., & Neves-Silva, R. (2012). First look at MCDM: Choosing a decision method. *Advances in Smart Systems Research*, 3(1), 25.
- Müftüoğlu, V., & Perçin, H. (2015). Sürdürülebilir kentsel yağmur suyu yönetimi kapsamında yağmur bahçesi. *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi*, 5(11), 27-37.

- Niemczynowicz, J. (1999). Urban hydrology and water management—present and future challenges. *Urban water*, 1(1), 1-14.
- Nijhuis, S., & Jauslin, D. (2015). Urban landscape infrastructures: Designing operative landscape structures for the built environment. *Research in Urbanism Series*, 3, 13-34.
- Noss, R. F. (1987). Corridors in real landscapes: a reply to Simberloff and Cox. *Conservation biology*, 1(2), 159-164.
- Nott, J. (2006). *Extreme events: a physical reconstruction and risk assessment*. Cambridge University Press.
- Novotny, V., 2009. Sustainable urban water management. In: Feyen, J., Shannon, K., Neville, M. (Eds.), *Water and Urban Development Paradigms: Towards an Integration of Engineering, Design and Management Approaches*. CRC Press,
- Nowak, D. J., & Greenfield, E. J. (2018). Declining urban and community tree cover in the United States. *Urban forestry & urban greening*, 32, 32-55.
- Nutsford, D., Pearson, A. L., & Kingham, S. (2013). An ecological study investigating the association between access to urban green space and mental health. *Public health*, 127(11), 1005-1011.
- Ohl, C. A., & Tapsell, S. (2000). Flooding and human health: the dangers posed are not always obvious. *Bmj*, 321(7270), 1167-1168.
- Ongley, E. D., Xiaolan, Z., & Tao, Y. (2010). Current status of agricultural and rural non-point source pollution assessment in China. *Environmental Pollution*, 158(5), 1159-1168.
- Palermo, S. A., Talarico, V. C., & Pirouz, B. (2019, June). Optimizing rainwater harvesting systems for non-potable water uses and surface runoff mitigation. In *International Conference on Numerical Computations: Theory and Algorithms* (pp. 570-582). Springer, Cham.
- Panda, M., & Jagadev, A. K. (2018, September). TOPSIS in multi-criteria decision making: a survey. In *2018 2nd International Conference on Data Science and Business Analytics (ICDSBA)* (pp. 51-54). IEEE.
- Pappalardo, V., La Rosa, D., La Greca, P., & Campisano, A. (2017). The potential of GI application in urban runoff control for land use management: A preliminary evaluation from a southern Italy case study. *Ecosystem Services*, 26(Part B), 345-354.
- Pataki, D. E., Carreiro, M. M., Cherrier, J., Grulke, N. E., Jennings, V., Pincetl, S., ... & Zipperer, W. C. (2011). Coupling biogeochemical cycles in urban environments: ecosystem services, green solutions, and misconceptions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(1), 27-36.

- Paul, M. J., & Meyer, J. L. (2001). Streams in the urban landscape. *Annual review of Ecology and Systematics*, 32(1), 333-365.
- Peck, S. W. (2005). Toronto: A model for North American infrastructure development. *EarthPledge. Green roofs: Ecological design and construction*. Schiffer Books, Atglen, Pa, 127-129.
- Petit-Boix, A., Sevigné-Itoiz, E., Rojas-Gutierrez, L. A., Barbassa, A. P., Josa, A., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2017). Floods and consequential life cycle assessment: Integrating flood damage into the environmental assessment of stormwater Best Management Practices. *Journal of cleaner production*, 162, 601-608.
- Petrucci, O., Aceto, L., Bianchi, C., Bigot, V., Brázdil, R., Pereira, S., ... & Zêzere, J. L. (2019). Flood fatalities in Europe, 1980–2018: Variability, features, and lessons to learn. *Water*, 11(8), 1682.
- Pilotti, M., Klein, E., Golem, D., Piepenbrink, E., & Kaplan, K. (2015). Is viewing a nature video after work restorative? Effects on blood pressure, task performance, and long-term memory. *Environment and Behavior*, 47(9), 947-969.
- Pitt, M. (2008). The Pitt review. Learning the lessons from the 2007 floods. London: Cabinet Office.
- Plate, E. J. (2002). Flood risk and flood management. *Journal of hydrology*, 267(1-2), 2-11.
- Prince George's County, 2002. Bioretention Manual. Department of Environmental Resources, Landover, MD, USA
- Rafiei-Sardooui, E., Azareh, A., Choubin, B., Mosavi, A. H., & Clague, J. J. (2021). Evaluating urban flood risk using hybrid method of TOPSIS and machine learning. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 66, 102614.
- Raaijmakers, R., Krywkow, J., & van der Veen, A. (2008). Flood risk perceptions and spatial multi-criteria analysis: an exploratory research for hazard mitigation. *Natural hazards*, 46(3), 307-322.
- Read, J., Wevill, T., Fletcher, T., & Deletic, A. (2008). Variation among plant species in pollutant removal from stormwater in biofiltration systems. *Water research*, 42(4-5), 893-902.
- Rebele, F. (1994). Urban ecology and special features of urban ecosystems. *Global ecology and biogeography letters*, 173-187.
- Roozbahani, A., Ebrahimi, E., & Banihabib, M. E. (2018). A framework for ground water management based on bayesian network and MCDM techniques. *Water resources management*, 32(15), 4985-5005.

- Roszkowska, E. (2011). Multi-criteria decision making models by applying the TOPSIS method to crisp and interval data. *Multiple Criteria Decision Making/University of Economics in Katowice*, 6(1), 200-230.
- Rossi, A. (1992). *The architecture of the city*. Oppositions Books. London: The MIT Press.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234-281.
- Sanesi, G., Colangelo, G., Laforteza, R., Calvo, E., & Davies, C. (2017). Urban green infrastructure and urban forests: A case study of the Metropolitan Area of Milan. *Landscape Research*, 42(2), 164-175.
- Sanders, R. A. (1986). Urban vegetation impacts on the hydrology of Dayton, Ohio. *Urban Ecology*, 9(3-4), 361-376.
- Schanze, J. (2006). Flood risk management—a basic framework. In *Flood risk management: hazards, vulnerability and mitigation measures* (pp. 1-20). Springer, Dordrecht.
- Scharenbroch, B. C., Morgenroth, J., & Maule, B. (2016). Tree species suitability to bioswales and impact on the urban water budget. *Journal of environmental quality*, 45(1), 199-206.
- Schiermeier, Q. (2011). Extreme measures. *Nature*, 477(7363), 148.
- Scholz, M., & Grabowiecki, P. (2007). Review of permeable pavement systems. *Building and environment*, 42(11), 3830-3836.
- Schoonover, J. E., Lockaby, B. G., & Pan, S. (2005). Changes in chemical and physical properties of stream water across an urban-rural gradient in western Georgia. *Urban Ecosystems*, 8(1), 107-124.
- Schoonover, J. E., Lockaby, B. G., & Helms, B. S. (2006). Impacts of land cover on stream hydrology in the west Georgia piedmont, USA. *Journal of Environmental Quality*, 35(6), 2123-2131.
- Schueler, T. R. (1987). *Controlling urban runoff: A practical manual for planning and designing urban BMPs*. Washington, DC: Metropolitan Washington Council of Governments.
- Scott, M., White, I., Kuhlicke, C., Steinführer, A., Sultana, P., Thompson, P., ... & Russell, E. (2013). Living with flood risk. *Planning Theory & Practice*, 14(1), 103-140.
- Senes, G., Ferrario, P. S., Cirone, G., Fumagalli, N., Frattini, P., Sacchi, G., & Valè, G. (2021). Nature-Based Solutions for Storm Water Management—Creation of a Green Infrastructure Suitability Map as a Tool for Land-Use Planning at the Municipal Level in the Province of Monza-Brianza (Italy). *Sustainability*, 13(11), 6124.

- Shakouri, N., Kentlerde Yağmursuyu Yönetimi Kapsamında Yeşil Altyapı Peyzaj Planlama ve Tasarım Yaklaşımı: Sakarya-Hendek Örneği, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, 2016.
- Sheikh, V., & Izanloo, R. (2021). Assessment of low impact development stormwater management alternatives in the city of Bojnord, Iran. *Urban Water Journal*, 18(6), 449-464.
- Shuster, W. D., Gehring, R., & Gerken, J. (2007). Prospects for enhanced groundwater recharge via infiltration of urban storm water runoff: A case study. *Journal of soil and water conservation*, 62(3), 129-137.
- Sılaydın Aydın, M., & Kahraman, E. (2022). Aşırı Yağışlardan Kaynaklanan Sellere Karşı Türkiye Kentlerinin Kırılganlık Düzeylerinin Belirlenmesi. *EKSEN*, 3(1).
- SINMAZ, S., & ÖZDEMİR, H. A. (2016). Türkiye Şehir Planlama Pratiğinin Kentsel Morfoloji ve Tipoloji Üzerindeki Etkileri, Siverek Kenti İçin Bir Değerlendirme. *İdealkent*, 7(18), 80-115.
- Simmons, M., & Gardiner, B. (2007). The effects of green roofs in a sub-tropical system
- Smailes, A. (1957). *The geography of towns*. London: Hutchinson & Co (Publishers) Ltd
- Srivastava, N. K., & Majumder, C. B. (2008). Novel biofiltration methods for the treatment of heavy metals from industrial wastewater. *Journal of hazardous materials*, 151(1), 1-8.
- Standards Australia, 2003. AS/NZS6400:2003 Australian/New Zealand Standards Water Efficient Products – Rating and Labelling. Standards Australia International, ISBN 0 7337 3439 1
- Stankovic, S. (2019). Impacts of integrated blue-green infrastructure on the urban design and urban ecosystem services (Doctoral dissertation, Imperial College London).
- Steiner, F. (2014). Frontiers in urban ecological design and planning research. *Landscape and Urban Planning*, 125, 304-311.
- Stovin, V. (2010). The potential of green roofs to manage urban stormwater. *Water and Environment Journal*, 24(3), 192-199.
- Stovin, V. R., Moore, S. L., Wall, M., & Ashley, R. M. (2013). The potential to retrofit sustainable drainage systems to address combined sewer overflow discharges in the Thames Tideway catchment. *Water and Environment Journal*, 27(2), 216-228.
- Strang, G. L. (1996). Infrastructure as landscape [infrastructure as landscape, landscape as infrastructure]. *Places*, 10(3).

- Suppakittpaisarn, P., Jiang, X., & Sullivan, W. C. (2017). Green infrastructure, green stormwater infrastructure, and human health: A review. *Current Landscape Ecology Reports*, 2(4), 96-110.
- Susca, T., Gaffin, S. R., & Dell'Osso, G. R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental pollution*, 159(8-9), 2119-2126.
- T.C. Rize Valiliği. (2022), Rize ili 2021 Yılı Çevre Durum Raporu, T.C. Rize Valiliği, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü.
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2017), Taşkın Yönetimi, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Taguchi, V. J., Weiss, P. T., Gulliver, J. S., Klein, M. R., Hozalski, R. M., Baker, L. A., ... & Nieber, J. L. (2020). It is not easy being green: Recognizing unintended consequences of green stormwater infrastructure. *Water*, 12(2), 522.
- Tahmasebi Birgani, Y., & Yazdandoost, F. (2018). An integrated framework to evaluate resilient-sustainable urban drainage management plans using a combined-adaptive MCDM technique. *Water Resources Management*, 32(8), 2817-2835.
- Tahvili, Z., Khosravi, H., Malekian, A., Khalighi Sigaroodi, S., Pishyar, S., Singh, V. P., & Ghodsi, M. (2021). Locating suitable sites for rainwater harvesting (RWH) in the central arid region of Iran. *Sustainable Water Resources Management*, 7(1), 1-11.
- Tang, S., Jiang, J., Zheng, Y., Hong, Y., Chung, E. S., Shamseldin, A. Y., ... & Wang, X. (2021). Robustness analysis of storm water quality modelling with LID infrastructures from natural event-based field monitoring. *Science of the Total Environment*, 753, 142007.
- Taylor, M. S., Wheeler, B. W., White, M. P., Economou, T., & Osborne, N. J. (2015). Research note: Urban street tree density and antidepressant prescription rates—A cross-sectional study in London, UK. *Landscape and Urban Planning*, 136, 174-179.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2019). Ulusal Su Planı (2019-2023). Ankara: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı.
- The Iowa Stormwater Partnership, Rain gardens Iowa Rain Garden Design and Installation Manual, Iowa Department of Agriculture and Land Stewardship-Division of Soil Conservation (IDALS-DSC). 2008. Available online: <https://www.iowadnr.gov/IDALS-DSC>.
- Traves, W. H., Gardner, E. A., Dennien, B., & Spiller, D. (2008). Towards indirect potable reuse in South East Queensland. *Water Science and Technology*, 58(1), 153-161.
- Thungngern, J., Wijitkosum, S., Sriburi, T., & Sukhsri, C. (2015). A review of the analytical hierarchy process (AHP): an approach to water resource management in Thailand. *Applied Environmental Research*, 37(3), 13-32.
- Traves, W. H., Gardner, E. A., Dennien, B., & Spiller, D. (2008). Towards indirect potable reuse in South East Queensland. *Water Science and Technology*, 58(1), 153-161.

- Trowsdale, S. A., & Simcock, R. (2011). Urban stormwater treatment using bioretention. *Journal of Hydrology*, 397(3-4), 167-174.
- Tsihrintzis, V. A., & Hamid, R. (1997). Modeling and management of urban stormwater runoff quality: a review. *Water resources management*, 11(2), 136-164.
- Tucci, C. E. (2007). Urban flood management. WMO and Capnet.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases: Biases in judgments reveal some heuristics of thinking under uncertainty. *science*, 185(4157), 1124-1131.
- Tyrväinen, L., Pauleit, S., Seeland, K., & Vries, S. D. (2005). Benefits and uses of urban forests and trees. In *Urban forests and trees* (pp. 81-114). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Ulrich, R. S. (1983). Aesthetic and affective response to natural environment. In *Behavior and the natural environment* (pp. 85-125). Springer, Boston, MA.
- Ulrich, R. S. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. *science*, 224(4647), 420-421.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2010). *World population prospects: The 2009 revision*, New York.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division.(2012). *World population prospects: The 2011 revision*, New York.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). *World Population Prospects 2019: Highlights*. ST/ESA/SER.A/423.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2004. Stormwater Best Management Practice Design Guide: Volume 1 General Considerations. EPA/600/R-04/121. United State Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.
- URL-1, <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim.aspx?key=C>, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 25 Haziran 2021
- URL-2, <https://www.weforum.org/agenda/2019/09/mapped-the-dramatic-global-rise-of-urbanization-1950-2020/>, 11 Ocak 2023
- URL-3, <http://www.adaptivecircularcities.com/designing-green-and-blue-infrastructure-to-support-healthy-urban-living/>, 11 Ocak 2023
- URL-4, <https://www.mgm.gov.tr/genel/yagisolcumleri.aspx?s=1>, 11 Ocak 2023

- URL-5, <https://www.alaskawatershedcoalition.org/juneauwatersheds/stormwater.html>, 28 Aralık 2022
- URL-6 <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/06/20170623-8.htm>, 11.02.2023
- URL-7, <https://www.epa.gov/npdes/npdes-stormwater-program>, 11.08.2022
- URL-8, <https://megamanual.geosyntec.com/npsmanual/bioretentionareasandraingardens.aspx>, 28 Aralık 2022
- URL-9, <https://www.horstexcavating.com/news-and-blog/are-rain-gardens-a-good-solution-for-stormwater-management/>, 28.05.2022
- URL-10, <https://www.urbangreenbluegrids.com/measures/bioswales/>, 10.06.2019
- URL-11, https://stormwater.pca.state.mn.us/images/f/f6/Types_of_permeable_pavement_-_Minnesota_Stormwater_Manual.pdf, 15.08.2022
- URL-12, <https://www.netyapi.com/uploads/GenelDosya/netyapi-yesil-cati-katalogu.pdf>, 19.08.2022
- URL-13, <https://www.portlandoregon.gov/bes/34598>, 28 Aralık 2022
- URL-14, <https://una.city/nbs/hannover/water-management-hanover-kronsberg>, 28 Aralık 2022
- URL-15, <https://www.publicspace.org/works/-/project/h034-water-square-in-benthemplein>, 28 Aralık 2022
- URL-16, <https://www.asla.org/2016awards/169669.html>, 28 Aralık 2022
- URL-17, <https://www.nigeldunnett.com/grey-to-green-2/>, 28 Aralık 2022
- USEPA. (2000). Low impact development (LID): A literature review. United States Environmental Protection Agency Washington, DC.
- U.S.EPA, 2003. National Management Measures for the Control of Non-point Pollution from Agriculture. EPA-841-B-03-004. US Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, pp. 2-8.
- USEPA. 2005. National management measures to control nonpoint source pollution from urban areas. EPA-841-B-05-001. USEPA, Washington, DC, USA.
- US Environmental Protection Agency. (2012). Benefits of Low Impact Development: How LID can Protect Your Community's Resources. Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds: Washington, DC, USA.

- U.S. Global Change Research Program. Fourth National Climate Assessment; Volume II: Impacts, Risks, and Adaptation in the United States; U.S. Global Change Research Program: Washington, DC, USA, 2018; p. 1524.
- ÜÇÜNCÜ, O. Kentsel Hidroloji: Türkiye Yağmur Suyu Toplama ve Bertaraf Yönetmeliğine Göre Kentsel Drenaj Durumu. *Türk Hidrolik Dergisi*, 6(2), 1-13.
- ÜNAL, U. & Akyüz, D. E. (2018). Yeşil altyapı uygulamaları kapsamında yağmur hendeklerinin önemi ve sürdürülebilir kent anlayışı ile değerlendirilmesi. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 3(2), 55-63.
- Vakilipour, S., Sadeghi-Niaraki, A., Ghodousi, M., & Choi, S. M. (2021). Comparison between multi-criteria decision-making methods and evaluating the quality of life at different spatial levels. *Sustainability*, 13(7), 4067.
- van Roon, MR and SJ Knight (2004). *Ecological Context of Development: New Zealand perspectives*. Auckland, Melbourne: Oxford University Press.
- van Roon, M. (2005). Emerging approaches to urban ecosystem management: the potential of low impact urban design and development principles. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 7(01), 125-148.
- van Roon, M. (2007). Water localisation and reclamation: Steps towards low impact urban design and development. *Journal of environmental management*, 83(4), 437-447.
- van Roon, M. R. (2011). Water sensitive residential developments: Application of LIUDD principles and methods in the Netherlands, Australia and New Zealand. *Urban Water Journal*, 8(6), 325-335.
- Van Seters, T., Smith, D., & MacMillan, G. (2006, November). Performance evaluation of permeable pavement and a bioretention swale. In *Proceedings eighth international conference on concrete block paving*.
- VanWoert, N. D., Rowe, D. B., Andresen, J. A., Rugh, C. L., Fernandez, R. T., & Xiao, L. (2005). Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth. *Journal of environmental quality*, 34(3), 1036-1044.
- Visitation, B. J., Booth, D. B., & Steinemann, A. C. (2009). Costs and benefits of stormwater management: Case study of the Puget Sound region. *Journal of Urban Planning and Development*, 135(4), 150-158.
- Qiao, X. J., Kristoffersson, A., & Randrup, T. B. (2018). Challenges to implementing urban sustainable stormwater management from a governance perspective: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 196, 943-952.
- Qiu, Z. (2013). Comparative assessment of stormwater and nonpoint source pollution best management practices in suburban watershed management. *Water*, 5(1), 280-291.

- Wang, L., Lyons, J., Kanehl, P., & Bannerman, R. (2001). Impacts of urbanization on stream habitat and fish across multiple spatial scales. *Environmental management*, 28(2), 255-266.
- Wang, J., Meng, Q., Zou, Y., Qi, Q., Tan, K., Santamouris, M., & He, B. J. (2022). Performance synergism of pervious pavement on stormwater management and urban heat island mitigation: A review of its benefits, key parameters, and co-benefits approach. *Water Research*, 118755.
- Wang, M., Sweetapple, C., Fu, G., Farmani, R., & Butler, D. (2017). A framework to support decision making in the selection of sustainable drainage system design alternatives. *Journal of Environmental Management*, 201, 145-152.
- Wang, X., Rodiek, S., Wu, C., Chen, Y., & Li, Y. (2016). Stress recovery and restorative effects of viewing different urban park scenes in Shanghai, China. *Urban forestry & urban greening*, 15, 112-122.
- Wang, Y., Beydoun, M. A., Liang, L., Caballero, B., & Kumanyika, S. K. (2008). Will all Americans become overweight or obese? Estimating the progression and cost of the US obesity epidemic. *Obesity*, 16(10), 2323-2330.
- Walsh, C. J. (2000). Urban impacts on the ecology of receiving waters: a framework for assessment, conservation and restoration. *Hydrobiologia*, 431(2), 107-114.
- Walsh, C. J., Fletcher, T. D., & Ladson, A. R. (2005). Stream restoration in urban catchments through redesigning stormwater systems: looking to the catchment to save the stream. *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3), 690-705.
- Weber, T., Sloan, A., & Wolf, J. (2006). Maryland's Green Infrastructure Assessment: Development of a comprehensive approach to land conservation. *Landscape and urban planning*, 77(1-2), 94-110.
- Wheater, H., & Evans, E. (2009). Land use, water management and future flood risk. *Land Use Policy*, 26S, 251–264.
- Whitford, V., Ennos, A. R., & Handley, J. F. (2001). “City form and natural process”—indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK. *Landscape and urban planning*, 57(2), 91-103.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., & Davis, I. (2014). *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Routledge.
- Wolch, J., Jerrett, M., Reynolds, K., McConnell, R., Chang, R., Dahmann, N., ... & Berhane, K. (2011). Childhood obesity and proximity to urban parks and recreational resources: a longitudinal cohort study. *Health & place*, 17(1), 207-214.

- Wolf, K. L. (2003). Ergonomics of the city: Green infrastructure and social benefits. In *Engineering Green: Proceedings of the 11th National Urban Forest Conference*. Washington DC: American Forests (Vol. 115).
- Wong, T., & Eadie, M. L. (2000, March). Water sensitive urban design-a paradigm shift in urban design. In *Proceedings of the 10th World Water Congress* (pp. 12-16).
- Wong, T. H. (2006). Water sensitive urban design-the journey thus far. *Australasian Journal of Water Resources*, 10(3), 213-222.
- Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., & Shaffer, P. (2007). *The SUDs Manual*. CIRIA C697.
- Wu, J., Wu, X., & Zhang, J. (2019). Development trend and frontier of stormwater management (1980–2019): a bibliometric overview based on CiteSpace. *Water*, 11(9), 1908.
- Xiao, Q., & McPherson, E. G. (2011). Performance of engineered soil and trees in a parking lot bioswale. *Urban Water Journal*, 8(4), 241-253.
- Yang, H., Dick, W. A., McCoy, E. L., Phelan, P. L., & Grewal, P. S. (2013). Field evaluation of a new biphasic rain garden for stormwater flow management and pollutant removal. *Ecological engineering*, 54, 22-31.
- Yang, J., McBride, J., Zhou, J., & Sun, Z. (2005). The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban forestry & urban greening*, 3(2), 65-78.
- Yang, X., You, X. Y., Ji, M., & Nima, C. (2013). Influence factors and prediction of stormwater runoff of urban green space in Tianjin, China: laboratory experiment and quantitative theory model. *Water science and technology*, 67(4), 869-876.
- Yin, S., Shen, Z., Zhou, P., Zou, X., Che, S., & Wang, W. (2011). Quantifying air pollution attenuation within urban parks: An experimental approach in Shanghai, China. *Environmental pollution*, 159(8-9), 2155-2163.
- Young, L. R., & Nestle, M. (2002). The contribution of expanding portion sizes to the US obesity epidemic. *American journal of public health*, 92(2), 246-249.
- Yu, P. L. (1973). A class of solutions for group decision problems. *Management science*, 19(8), 936-946.
- Yu, S. L., & Jia, H. (2016). China's ambitious Sponge City initiative: A monumental effort for green/gray infrastructure integration. *ASCE EWRI Currents*, 17(4), 8-9.
- Yuan, J., & Dunnett, N. (2018). Plant selection for rain gardens: Response to simulated cyclical flooding of 15 perennial species. *Urban Forestry & Urban Greening*, 35, 57-65.

- Yüksek, Ö., Kankal, M., & Üçüncü, O. (2013). Assessment of big floods in the Eastern Black Sea Basin of Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 185(1), 797-814.
- Zeng, J., Lin, G., & Huang, G. (2021). Evaluation of the cost-effectiveness of Green Infrastructure in climate change scenarios using TOPSIS. *Urban Forestry & Urban Greening*, 64, 127287.
- Zeng, Z., Yuan, X., Liang, J., & Li, Y. (2021). Designing and implementing an SWMM-based web service framework to provide decision support for real-time urban stormwater management. *Environmental Modelling & Software*, 135, 104887.
- Zevenbergen, C., Fu, D., & Pathirana, A. (2018). Transitioning to sponge cities: challenges and opportunities to address urban water problems in China. *Water*, 10(9), 1230.
- Zhang, B., Xie, G., Zhang, C., & Zhang, J. (2012). The economic benefits of rainwater-runoff reduction by urban green spaces: A case study in Beijing, China. *Journal of environmental management*, 100, 65-71.
- Zhang, Y., Chen, D., Chen, L., & Ashbolt, S. (2009). Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities. *Journal of environmental management*, 91(1), 222-226.
- Zhou, Q. (2014). A review of sustainable urban drainage systems considering the climate change and urbanization impacts. *Water*, 6(4), 976-992.
- Zhou, Q., Panduro, T. E., Thorsen, B. J., & Arnbjerg-Nielsen, K. (2013). Adaption to extreme rainfall with open urban drainage system: An integrated hydrological cost-benefit analysis. *Environmental management*, 51(3), 586-601.
- Zhu, Y., Li, H., Yang, B., Zhang, X., Mahmud, S., Zhang, X., ... & Zhu, Y. (2021). Permeable pavement design framework for urban stormwater management considering multiple criteria and uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126114.
- Zhu, Z., Chen, Z., Chen, X., & Yu, G. (2019). An assessment of the hydrologic effectiveness of low impact development (LID) practices for managing runoff with different objectives. *Journal of environmental management*, 231, 504-514.

8. EKLER

Ek 1. Uzman mesajı (Türkçe-İngilizce)

KONU: Uzman görüşünüz hakkında,

Sayın ...,

Umarım salgın günlerinde sağlığını ve keyfiniz yerindedir. Adım Fatih BEKİRYAZICI ve RTE Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı bölümünde araştırma görevlisiyim. Doktora çalışmalarım kapsamında uzman görüşüne ihtiyaç duyduğum için size ulaşıyorum. Çok vaktinizi almayacağını umduğum bu konuda yardımcı olabilirsiniz çok memnun olurum.

Çalışmalarım kapsamında bir alan için en uygun yağmur suyu yönetimi stratejisini belirlemek için çok kriterli karar verme yöntemleri kullanmayı amaçlıyorum. Bu kapsamda yüzey akış kontrolüne dayanan alan bazlı çalışmalar yapmayı amaçladığım için bir alanda yüzey akışını etkileyen en önemli kriterleri yüzde olarak ağırlıklandırabilirsiniz ve aşağıdaki kriterlerden eksik gördüklerinizi ekleyebilirsiniz sevinirim. Kriterleri belirlerken farklı alanlarda yüzey akışı etkileyen parametrelerin farklı olabileceğini düşünerek aşağıdaki gibi sınıflandırma yaptım.

1. Kent Parkları (Belirli bir yeşil alan miktarına sahip, insanlar tarafından yoğun kullanılan alanlar) için kriterler: Yüzey örtüsü, eğim, yağış miktarı, bitkisel yoğunluk, bitkisel çeşitlilik durumu, zemin kaplama materyali geçirimsizliği.
2. Otoyollar (Özellikle akarsu kenarındaki kırsal alan ve kent bağlantısına sahip otoyollar) için kriterler: Yüzey örtüsü, eğim, yağış miktarı, bitkisel yoğunluk, zemin kaplama materyali geçirimsizliği, yol genişliği, yol-akarsu bağlantısı, akarsu yatak genişliği.

Kriter ağırlıklarının toplamı 100 olacak şekilde ağırlıklandırılması gerekmektedir. İhtiyaç duyduğunuz takdirde detaylar ile ilgili yardımcı olmaya çalışırım. Arzu ederseniz katkınızın anonim kalması veya belirtilmesi ile ilgili tercihinizi göz önünde bulundurmaya hazırız.

Değerli vaktiniz ve ilgiliniz için teşekkür ederim.

Fatih BEKİRYAZICI

“Ek-1’in devamı”

SUBJECT: Regarding your expert opinion,

Dear ...,

I hope this email finds you well. My name is Fatih Bekiryazıcı and I’m a research assistant in the department of Landscape Architecture at RTE University in Turkey. I’m contacting you as I need expert opinion for my PhD studies. I will be really grateful if you can help me on this matter which, I hope, will not take much of your time.

I am planning to use multi-criteria decision-making methods in order to determine the most suitable strategy for rainwater management. As I plan to make area-based surface runoff control studies, I listed below some criteria for the types of areas I will be focusing on in my study. Could you please take a moment to have a look at them and then assign weights as percentages to the most important criteria that affect surface runoff in an area? If you deem necessary, your additions to the list would also be much welcome.

- 1) Criteria for City Parks (Areas having certain amount of green space and used by people extensively): Surface cover, slope, amount of rainfall, vegetative density, vegetative diversity, ground cover material permeability.
- 2) Criteria for Highways (especially the ones near the stream, connecting rural and urban areas): Surface cover, slope, amount of rainfall, vegetative density, ground cover material permeability, road width, road-stream connection, stream bed width.

The total criteria weight needs to be 100. I will be happy to help you with additional details if necessary. If you prefer so, your contribution will stay anonymous.

Thank you for taking the time to read my email. I will be looking forward to hearing from you.

Kind regards,

Fatih Bekiryazıcı

Ek 2. Uzman Listesi

1. Barbosa, A. E., Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisbon, Portugal, aestela@lnec.pt
2. David Luís Mesquita, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisbon, Portugal, ldavid@lnec.pt
3. Keith Beven, Lancaster Environment Centre, Lancaster, United Kingdom k.beven@lancaster.ac.uk
4. Ewa Burszta-Adamiak, Wrocław University of Environmental and Life Sciences ewa.burszta-adamiak@upwr.edu.pl
5. Vijay Singh, Department of Biological and Agricultural Engineering, Texas A&M University, vsingh@tamu.edu
6. Christopher J Walsh, Principal Research Fellow, School of Ecosystem and Forest Sciences, The University of Melbourne, cwalsh@unimelb.edu.au
7. John S Gulliver, University of Minnesota, gulli003@umn.edu
8. Robert Pitt, Emeritus Cudworth Professor of Urban Water Systems, University of Alabama, rpitt@eng.ua.edu
9. Ryan Winston, Department of Food, Agricultural and Biological Engineering, The Ohio State University, winston.201@osu.edu
10. Abdullah Al Mamun, International Islamic University Malaysia mamun@iiium.edu.my
11. Jorge Gironas, Pontificia Universidad Católica de Chile jgironas@ing.puc.cl
12. Perrine Hamel, Asian School of the Environment, Nanyang Technological University, Singapore, Singapore, perrine.hamel@ntu.edu.sg
13. Matt Hopton, US Environmental Protection Agency, hopton.matthew@epa.gov
14. Jennifer Drake, Department of Civil Engineering, University of Toronto jenn.drake@utoronto.ca
15. Ming-Han Li, Professor and School Director, School of Planning, Design and Construction, Michigan State, minghan@msu.edu
16. Christian Berretta, Lecturer, School of Civil Engineering, University of Leeds, C.Berretta@leeds.ac.uk
17. Nabiul Afrooz, California State Water Resources Control Board, rnabiul@gmail.com

“Ek-2’nin devamı”

18. Carmen Agouridis, Extension Associate Professor, University of Kentucky, carmen.agouridis@uky.edu
19. Christopher D. Ellis, Professor, University of Maryland Landscape Architecture, cdellis@umd.edu
20. Tone Muthanna, Norwegian University of Science and Technology, tone.muthanna@ntnu.no
21. Andrés Torres, Profesor Titular, Pontificia Universidad Javeriana andres.torres@javeriana.edu.co
22. Tim D Fletcher, Professor of Urban Ecohydrology - University of Melbourne, timf@unimelb.edu.au
23. Say-Leong Ong, Professor of Environmental Engineering, National University of Singapore, ceeongsl@nus.edu.sg
24. William Shuster, Chair, Professor of Civil and Environmental Engineering, Wayne State University, Detroit MI, wshuster@wayne.edu
25. Virginia R Stovin, Professor of Green Infrastructure for Stormwater Management, The University of Sheffield, v.stovin@sheffield.ac.uk
26. Lee-Hyung Kim, Kongju National University, leehyung@kongju.ac.kr
27. Jay Martin, Professor of Ecological Engineering, Ohio State University, martin.1130@osu.edu
28. Slobodan Mickovski, Glasgow Caledonian University, slobodan.mickovski@gcu.ac.uk
29. Francesc Baró, Asst. Prof. at Vrije Universiteit Brussel (VUB), francesc.baro@vub.be
30. Cheryl Desha, Griffith University, c.desha@griffith.edu.au
31. Jon Hathaway, University of Tennessee, Department of Civil and Environmental Engineering, jhathaw2@utk.edu
32. Jennifer Cherrier, Professor, Earth and Environmental Sciences, Brooklyn College-City University of New York, jennifer.cherrier18@brooklyn.cuny.edu
33. Elizabeth Fassman-Beck, Principal Engineer, Southern California Coastal Water Research Project, elizabethfb@sccwrp.org
34. Andre Luiz Lopes da Silveira, Full Professor, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, andre@iph.ufrgs.br

“Ek-2’nin devamı”

35. Yaoze Liu, Assistant Professor, Department of Environmental & Sustainable Engineering, University at Albany, yliu46@albany.edu
36. Elisabetta Salvatori, Department for Sustainability, ENEA, Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, elisabetta.salvatori@enea.it
37. Marla Maniquiz Redillas, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, De La Salle University Manila, marla.redillas@dlsu.edu.ph
38. Qizhong Guo, Rutgers University, qguo@soe.rutgers.edu
39. Thomas P. O'Connor, Environmental Engineer in EPA's National Risk Management Research Laboratory, U S. Environmental Protection Agency, oconnor.thomas@epa.gov
40. Joong Gwang Lee, President, Center for Urban Green Infrastructure Engineering, jglee@ugiengineering.com
41. Andy Erickson, University of Minnesota, eric0706@umn.edu
42. Carlos Eduardo Morelli Tucci, Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS, Rhama Consultoria – Brazil, cemtucci@uol.com.br
43. Ashantha Goonetilleke, Queensland University of Technology, a.goonetilleke@qut.edu.au
44. Miklas Scholz, Professor in Civil Engineering, The University of Salford, m.scholz@salford.ac.uk
45. Joan Iverson Nassauer, University of Michigan, landscape architecture nassauer@umich.edu
46. Vivek Shandas, Portland State University, vshandas@pdx.edu
47. LAI SAI HIN, Department of Civil Engineering, University of Malaysia, laish@um.edu.my
48. Kathy DeBusk Gee, Longwood University, geekd@longwood.edu
49. Ulrich Dittmer, WATER INFRASTRUCTURE RESSOURCES (INSTITUTE), Technical University of Kaiserslautern, ulrich.dittmer@bauing.uni-kl.de
50. Shouhong Zhang, Beijing Forestry University, zhangs@bjfu.edu.cn

Ek-3 Bazı Uzman Dönütleri

1-

Jorge Gironás León <jgironas@ing.puc.cl>
Alici: ben

27 Haz 2022 Pzt 05:24

İngilizce > Türkçe İletiyi çevir

İngilizce için kapat

Hello,

Please see my answers below

- 1) Criteria for City Parks (Areas having certain amount of green space and used by people extensively): Surface cover (30%), slope(2,5%), amount of rainfall (25%), vegetative density (15%), vegetative diversity (2,5%), ground cover material permeability (25%).
- 2) Criteria for Highways (especially the ones near the stream, connecting rural and urban areas): Surface cover (30%), slope (5%), amount of rainfall (20%), vegetative density (15%), ground cover material permeability (10%), road width (2,5%), road-stream connection (15%), stream bed width (2,5%).

Regards

On Mon, Jun 20, 2022 at 7:06 AM Fatih BEKİRYAZICI <fatih.bekiryazici@erdogan.edu.tr> wrote:

Dear Professor Jorge Gironas

I hope this email finds you well. My name is Fatih Bekiryazıcı and I'm a research assistant in the department of Landscape Architecture at RTE University in Turkey. I'm contacting you as I need expert opinion for my PhD studies. I will be really grateful if you can help me on this matter which, I hope, will not take much of your time.

I am planning to use multi-criteria decision-making methods in order to determine the most suitable strategy for rainwater management. As I plan to make area-based surface runoff control studies, I listed below some criteria for the types of areas I will be focusing on in my study. Could you please take a moment to have a look at them and then assign weights as percentages to the most important criteria that affect surface runoff in an area? If you deem necessary, your additions to the list would also be much welcome.

- 1) Criteria for City Parks (Areas having certain amount of green space and used by people extensively): Surface cover (30%), slope(2,5%), amount of rainfall (25%), vegetative density (15%), vegetative diversity (2,5%), ground cover material permeability (25%).
- 2) Criteria for Highways (especially the ones near the stream, connecting rural and urban areas): Surface cover (30%), slope (5%), amount of rainfall (20%), vegetative density (15%), ground cover material permeability (10%), road width (2,5%), road-stream connection (15%), stream bed width (2,5%).

The total criteria weight needs to be 100. I will be happy to help you with additional details if necessary. If you prefer so, your contribution will stay anonymous.

Thank you for taking the time to read my email. I will be looking forward to hearing from you.

Kind regards,
Fatih Bekiryazıcı

Arş. Gör. Fatih BEKİRYAZICI

Research Assistant
Fatih BEKİRYAZICI

Mail : fatihbekiryazici@hotmail.com
fatih.bekiryazici@erdogan.edu.tr

2-

George Guo <gguo@rutgers.edu>
Alici: ben

21 Haz 2022 Sal 21:25

İngilizce > Türkçe İletiyi çevir

İngilizce için kapat

Dear Dr. Fatih Bekiryazıcı,

You have posed a survey that are very difficult to respond properly. I am an engineering professor (not a landscape architecture professor) and I would have used a mathematical formula or a model to quantify the runoff based on all the possible physical factors rather than now mentally assign the weights to the possible physical factors. In any case, my mental responses follow, but they should be used with caution as I have explained:

- 1) Criteria for City Parks (Areas having certain amount of green space and used by people extensively): Surface cover, slope, amount of rainfall, vegetative density, vegetative diversity, ground cover material permeability.

Non-pervious surface cover (e.g., pavement): 20%
Slope (a part of the surface cover characteristics): 5%
Amount of rainfall (i.e., volume of rainfall): 35%
Pervious surface cover (e.g., vegetative surface): 20%. Vegetative density (15% out of 20%) and vegetative diversity (5% out of 20%) are subsets of the pervious surface cover.
Ground cover material permeability (i.e., permeability of base soil/subsoil beneath the land surface cover): 20%

My responses above are based on the volume of runoff (cubic meter), not the peak rate of runoff (cubic meter per second), that would be generated from a land surface area for a given volume of rainfall on it. We can use a rainfall-runoff formula or model to estimate/quantify the relative contributions of all the possible physical factors. One such formula was developed by the Natural Resources Conservation Services (NRCS) of the United State for estimating the "runoff depth" for a given "rainfall depth" and it can be found from the following report (Page 2-1):

Urban Hydrology for Small Watersheds: TR-55
https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprd1044171.pdf

Note the runoff volume is equal to the runoff depth multiplied by the catchment/watershed area.

- 2) Criteria for Highways (especially the ones near the stream, connecting rural and urban areas): Surface cover, slope, amount of rainfall, vegetative density, ground cover material permeability, road width, road-stream connection, stream bed width.

Surface cover: 20%. Note the vegetative density (10% out of 20%) is a part of the surface cover characteristics.
Slope (a part of the surface cover characteristics): 5%
Amount of rainfall: 40%
Ground cover material permeability: 15%
Road width (a part of the surface cover characteristics): 5%
Road-stream connection: 10%
Stream bed width: 5%

My responses above are based on the volume of runoff (cubic meter), not the peak rate of runoff (cubic meter per second), that would be generated from a land/highway surface area for a given volume of rainfall on it and *transported* afterward to the stream immediate downstream.

Best wishes!

Prof. Guo

“Ek-3’ün devamı”

3-

Vijay P. Singh <Vijay.Singh@ag.tamu.edu>
Alıcı: ben

21 Tem 2022 Per 10:20 ☆ ↶ ⋮

İngilizce > Türkçe İletiyi çevir İngilizce için kapat x

Dear Fatih:

I have been in India since the beginning of June and am traveling in rural areas where I do not have limited intermittent access to Internet. Here is my take on you questions:

I am planning to use multi-criteria decision-making methods in order to determine the most suitable strategy for rainwater management. As I plan to make area-based surface runoff control studies, I listed below some criteria for the types of areas I will be focusing on in my study. Could you please take a moment to have a look at them and then assign weights as percentages to the most important criteria that affect surface runoff in an area? If you deem necessary, your additions to the list would also be much welcome.

- 1) Criteria for City Parks (Areas having certain amount of green space and used by people extensively): Surface cover: 10
Slope: 15
Amount of rainfall: 40
Vegetative density: 10
Vegetative diversity: 5
Ground cover material permeability: 20
- 2) Criteria for Highways (especially the ones near the stream, connecting rural and urban areas):
Surface cover: 10
Slope: 10
Amount of rainfall: 40
Vegetative density: 5
Ground cover material permeability: 15
Road width: 10
Road-stream connection: 5
Stream bed width: 5

Best wishes.

Professor Vijay P. Singh, Ph.D., D.Sc., D. Eng. (Hon.), Ph.D. (Hon.), D.Sc. (Hon.), P.E., P.H., Hon. D. WRE, Dist.M. ASCE, Dist.Hon.M. IWRA, Dist.F. AGGS, Hon.M. AWRA, Academician (GFA), NAE

4-

John Gulliver <gull003@umn.edu>
Alıcı: ben

20 Haz 2022 Pzt 17:28 ☆ ↶ ⋮

İngilizce > Türkçe İletiyi çevir İngilizce için kapat x

Hi Faith,

I would include impervious drainage area ratio (impervious drainage area/area of mitigation practice) in your considerations. I don't have much experience in your other criteria, however.

John Gulliver

Önemli Duyuru: Bu elektronik postadaki bilgiler ve ekteki dosyalar sadece ilgili alıcılara içindir. Eğer bu e-postanın ilgili alıcısı ya da ilgililere ulaştırmakla yükümlü kişi değilseniz, içindekileri başka bir tarafla paylaşmadan, e-postayı sisteminizden hemen silmeniz ve e-postayı yanıtlarak ya da e-postada belirtilen numarayı arayarak göndereni bilgilendirmeniz gerekmektedir. Gönderildikten sonra e-postada değişiklik yapılması, virüsten dolayı e-postanın hasar görmesi ya da kaybolması durumlarında sorumluluk kabul edilmemektedir. Bu e-postada yer alan görüşler yazara ait olup, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi'ni bağlamamaktadır.

Important Notice: The information in this email and any attachments is for the sole use of the intended recipient(s). If you are not an intended recipient, or a person responsible for delivering it to an intended recipient, you should delete it from your system immediately without disclosing its contents elsewhere and advise the sender by returning the email or by telephoning a number contained in the body of the email. No responsibility is accepted for loss or damage arising from viruses or changes made to this message after it was sent. The views contained in this email are those of the author and not necessarily those of Recep Tayyip Erdoğan University.

...

John S. Gulliver, Ph. D.
Professor Emeritus
Department of Civil Engineering
Resident Fellow
Institute on the Environment
University of Minnesota
gull003@umn.edu
www.stormwater.saf.umn/
www.ce.umn.edu/

ÖZGEÇMİŞ

Fatih BEKİRYAZICI ilköğretimi İhsan Bayrakçı İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Liseyi Hacı Hatice Bayraktar Lisesi (Y.D.A)'nde tamamladı. 2007 yılında başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı bölümü 4 yıllık lisans eğitimini 2011 yılında tamamladı. Yüksek lisans eğitimini 2015 yılında Karadeniz Teknik Üniversite Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalında tamamladı. Doktora eğitimine 2015 yılında Karadeniz Teknik Üniversite Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalında başladı. 2014 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversite Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü'ne araştırma görevlisi olarak atandı. 2020 yılından beri Recep Tayyip Erdoğan Üniversite Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Peyzaj Mimarlığı görev yapmakta olup, iyi seviyede İngilizce bilmektedir.