



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



SÜRDÜRÜLEBİLİR YAĞIŞ SUYU TESİSLERİNİN PROJELENDİRİLMESİ; MELES HAVZASI ÖRNEĞİNDE BİR UYGULAMA

Yüksek Lisans Tezi

Damla GÜÇLÜ

Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

İzmir
2024

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**Sürdürülebilir Yağış Suyu Tesislerinin
Projelendirilmesi; Meles Havzası Örneğinde Bir
Uygulama**

Damla GÜÇLÜ

Danışman: Prof. Dr. Şerif HEPCAN

Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı
Peyzaj Mimarlığı Yüksek Lisans Programı

İzmir
2024

Damla GÜÇLÜ tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “Sürdürülebilir Yağış Suyu Tesislerinin Projelendirilmesi; Meles Havzası Örneğinde Bir Uygulama” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 25 / 04 / 2024 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	: Prof. Dr. Şerif HEPCAN
Raportör Üye	: Doç. Dr. Ayşe KALAYCI ÖNAÇ
Üye	: Prof. Dr. Bahriye GÜLGÜN

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “SÜRDÜRÜLEBİLİR YAĞIŞ SUYU TESİSLERİNİN PROJELENDİRİLMESİ; MELES HAVZASI ÖRNEĞİNDE BİR UYGULAMA” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

25 / 04 / 2024

Damla Güçlü

ÖZET**SÜRDÜRÜLEBİLİR YAĞIŞ SUYU TESİSLERİNİN
PROJELENDİRİLMESİ; MELES HAVZASI ÖRNEĞİNDE BİR
UYGULAMA**

GÜÇLÜ, Damla

Yüksek Lisans Tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şerif Hepcan

Nisan 2024, 112 sayfa

Tez çalışması kapsamında, İzmir kenti Meles Havzası sınırlarında yer alan 553 ha yüz ölçümüne sahip D-1 Mikro havzasında yüzey akışa geçen yağış suyu miktarı hesaplanarak, sürdürülebilir yağış suyu tesislerinin (LİD) yüzey akış miktarı ve dolayısı ile geleneksel alt yapı ağları üzerine etkisi ortaya konulmuştur.

Simülasyon çalışmalarını gerçekleştirmek için ArcGIS programı ile sırası ile arazi kullanımı, yükselti, eğim ve akış analizi yapılarak, D-1 mikro havzası 11 alt bölgeye ayrılarak, arazi kullanımlarında bulunan yüzeyler ve yüzeylere düşen yağış suyu miktarı belirlenmiştir. SWMM programına entegre edilen analiz sonuçları ile 5 yağış suyu tesisi (LİD) etkinliğini incelenmiştir. Yapılan çalışmada performansı değerlendirilen 5 farklı LID uygulamasından %48.64 oranıyla yağış suyu hacmini azaltan yeşil çatılar, daha sonra geçirimli kaplama (%15.41), yağmur varili (%13.65) yağmur bahçesi (%12.39) ve biyolojik hendeklerdir (%9.92) olduğu belirlenmiştir.

Simülasyon sonuçlarına göre D-1 mikro havzasında 109.589m³ suyun, yağış suyu tesisleri ile %45.61 oranında azaltıldığı sonucuna varılmıştır. Bu tesisler, kentsel alanlarda geleneksel altyapıya alternatif olarak kullanılabilirliği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yağmur Suyu Yönetimi, Yeşil Altyapı, Düşük Etki Geliştirme, SWMM, Yüzey Akışı

ABSTRACT**DESIGNING SUSTAINABLE RAINWATER FACILITIES; AN APPLICATION IN THE CASE OF THE MELES BASIN**

GÜÇLÜ, Damla

MSc in Landscape Architecture

Supervisor: Prof. Dr. Şerif Hepcan

April 2024, 112 pages

As part of the thesis study, it was calculated the amount of rainwater passed into the surface stream in the D-1 Micro Basin of 553 hectares, located in the border of the Meles Basin in the city of Izmir, and the effect of sustainable rainwater plants (LIDs) on the surface flow volume and, consequently, on traditional sub-construction networks.

In order to carry out the simulation work, the ArcGIS program determined the amount of rainfall falling on surfaces in the D-1 micro basin by analyzing land use, elevation, slope and flow respectively. The SWMM integrated the results of the analysis into the programme and examined the effectiveness of five rainwater plants (LIS). Out of five different LID applications evaluated in the study, green roofs reduced the volume of rainwater by 48.64%, followed by permeable coating (15.41%), rainforest (13.65%) and rainforests (12.39%) and biological reservoirs (9.92%).

According to the results of the simulation, 109.589 m³ of water in the D-1 micro basin was reduced by 45,61% with rainwater installations. These facilities have been identified as alternatives to traditional infrastructure in urban areas.

Keywords: Sponge City Techniques, Meles Basin, Water Management, SWMM Integration, Sustainable Urban Development.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, “Sürdürülebilir Yağış Suyu Tesislerinin Projelendirilmesi; Meles Havzası Örneğinde Bir Uygulama” üzerine yapılan araştırmaların derinlemesine incelenmesini ve sonuçlarının sunulmasını içermektedir. Çalışma Sürdürülebilir ve Yenilikçi yaklaşım doğrultusunda gerçekleştirilmiş ve tamamlanmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde emeği geçen herkese teşekkür etmek isterim. Öncelikle, tez danışmanım Prof. Dr. Şerif Hepcan’a rehberlikleri, değerli önerileri ve destekleri için teşekkür ederim.

Bu çalışmanın ilgili alanlara katkı sağlayacağını, okuyucuların ilgisini çekeceğini ve yeni araştırmalara ilham vereceğini umarım.

İZMİR

25/04/2024

Damla Güçlü

İÇİNDEKİLER

	<u>sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	x
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	3
2.1. Sürdürülebilir Yağış Suyu Kavramı	3
2.2. Sürdürülebilir Yağış Suyu Tesisleri	6
2.2.1. Biyolojik hendekler	6
2.2.2. Yağmur bahçeleri	8
2.2.3. Geçirimli zeminler	9
2.2.4. Yeşil çatılar	11
2.2.5. Yağmur varilleri	12
2.2.6. Sürdürülebilir yağış suyu tesislerinde kullanılan bitkilerin rolü	13
2.3. Dünyada ve Türkiye'de Sürdürülebilir Yağış Suyu Uygulama Örnekleri.	17
2.3.1. Dünya örnekleri	17

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>sayfa</u>
2.3.2. Türkiye örnekleri	21
2.4. Yağmur suyu yönetim modelleri	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
3.1. Araştırma Materyali	27
3.1.1. Meles havzası arazi kullanımı.....	28
3.1.2. İklim ve bitki örtüsü.....	30
3.1.3. Yüzey kaplama türleri.....	33
3.1.4. D-1 mikro havzası ve jeolojik formasyonları	35
3.2. Araştırma Yöntemi	38
3.2.1. Yağmur suyu yönetim modeli (SWMM).....	39
3.2.2. Yağış Suyu Yüzey Akışlarını Belirlemede Kullanılan Parametreler....	42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	43
4.1. D-1 Mikro Havzasına Ait Analizler.....	43
4.1.1. Arazi kullanımı	43
4.1.2. Yükselti analizi	46
4.1.3. Eğim analizi	47
4.1.4. Akış analizi	50
4.1.5. Çalışma alanına ait yağmursuyu altyapı verileri.....	53

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>sayfa</u>
4.1.6. Modellemede kullanılacak parametrelerin belirlenmesi.....	54
4.2. SWMM D-1 Mikro Havza Mevcut Durum Entegre Edilmesi ve Analizi	57
4.3. SWMM D-1 Mikro Havza Yağış Suyu Tesislerinin Entegre Edilmesi (Projeli Durum).....	60
5. TARTIŞMA	69
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	72
TEŞEKKÜRLER.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Yüzey Akış Anlatımı (a) Gelişme öncesi doğal alan; (b) kentleşmiş alan	5
Şekil 2.2 Biyolojik hendek yapısı ve ana akış sistemi.	7
Şekil 2.3 Biyolojik hendek örneği.....	7
Şekil 2.4 Yağmur bahçesi ve katmanları	8
Şekil 2.5 Yağmur bahçesi örneği	8
Şekil 2.6 Geçirimli zemin döşeme örneği.....	10
Şekil 2.7 Gaziemir Sakarya otoparkı geçirimli zemin döşeme örneği.....	10
Şekil 2.8 Yeşil çatı döşeme örneği.....	11
Şekil 2.9 Yağış suyu varili bağlantı gösterimi	12
Şekil 2.10 Yağış suyu tesislerinde bitkilerin su tutma işlevleri üzerine yapılan performans testi.....	16
Şekil 2.11 Kopenhag, Danimarka’ da Sünger Şehir Teknikleri Kullanılarak Oluşturulmuş Park.....	17
Şekil 2.12 Portland, Oregon'da uygulanan biyolojik hendekler.....	18
Şekil 2.13 Meadow House Portland, Oregon.....	19
Şekil 2.14 Marina Barajı su rezervuarı	20
Şekil 2.15 Peynircioğlu ekolojik koridor projesi	22
Şekil 2.16 Sünger otopark projesi, biyolojik hendek ve kesik bordür uygulaması.	23

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

	<u>sayfa</u>
Şekil 2.17 Buca taşkın parkı, biyolojik hendek, kesik bordür ve taşkın drenaj kuyuları uygulaması.....	24
Şekil 2.18 İzmir Tarımı Geliştirme Merkezi	25
Şekil 3.1 Meles havzası ve D-1 mikro havzası lokasyon haritası.....	27
Şekil 3.2 Meles havzası ve D-1 mikro havzası.....	28
Şekil 3.3 Meles havzası arazi kullanım haritası.....	29
Şekil 3.4 İzmir bölge istasyonu ortalama yağışları 1938-2020 aralığı.....	31
Şekil 3.5 Yağış şiddeti, süre ve tekerrür eğrisi.	31
Şekil 3.6 İzmir bölge istasyonu yağış hiyetografi.	32
Şekil 3.7 SWMM zaman serisi editörü ekranı.....	33
Şekil 3.8 Belirli bir yağış şiddeti için infiltrasyon oranının zamana göre değişimi	37
Şekil 3.9 D-1 Havzası jeolojik formasyonlar	37
Şekil 3.10 Çalışmada izlenen yöntem akış şeması.	38
Şekil 3.11 Yağmur Suyu Yönetim Modeli (SWMM 5.2) ana ekran görüntüsü. .39	39
Şekil 3.12 D-1 mikro havzasının 11 alt böğeleri (S1, S2, ...S11).....	40
Şekil 3.13 Mikro havza (a) ve doğrusal olmayan mikro havza rezervuar modeli (b).....	41
Şekil 4.1 D-1 mikro havzası arazi kullanım haritası.....	44
Şekil 4.2 Sayısal yükseklik modeli haritası.	46

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

	<u>sayfa</u>
Şekil 4.3 Eğim analizi haritası (%).	47
Şekil 4.4 Kabartma haritası.	48
Şekil 4.5 Akış yönü haritası.	50
Şekil 4.6 Akarsu sıralaması haritası.	51
Şekil 4.7 Yağmur suyu ve kanalizasyon hatları haritası.	53
Şekil 4.8. SWMM D-1 havza bilgileri tanımlama ekranı (SWMM 5.2)	57
Şekil 4.9 SWMM yağış verileri tanımlama ekranı	58
Şekil 4.10. SWMM Horton verileri tanımlama ekranı.....	59
Şekil 4.11 D-1 Mikro havzası yağış suyu tesisleri uygulama alanları	61
Şekil 4.12 SWMM yağış suyu tesisleri tanımlama ekranı	62
Şekil 4.13 SWMM Yağış suyu tesislerini D-1 havzasına tanımlama ekranı.	63
Şekil 4.14 SWMM Yağış suyu tesisleri tanımlama ekranı.	64
Şekil 4.15 SWMM Mevcut ve projeli durum performans sonuçları.....	64
Şekil 4.16 SWMM yağış suyu tesisleri performans sonuçları	64
Şekil 4.17 SWMM projeli durum raporu	65
Şekil 4.18 SWMM mevcut ve projeli durum sonuçlarına göre akışa geçen yüzeysel akışın 24 saat boyunca saatlik değişim grafiği	66
Şekil 4.19 SWMM projeli durum infiltrasyon değerlerinin saatlik değişimi.	68

TABLolar DİZİNİsayfa

Tablo 2.1 Bitkilerin su tutma işlevleri üzerine yapılan bir deney.....	14
Tablo 2.2 Yeşil altyapı bileşenlerini modelleyebilen farklı yağmur suyu yönetim modelleme aracı.	26
Tablo 3.1 Meles havzası geçirimli, geçirimsiz alanlar ve su potansiyelleri	30
Tablo 3.2 Yüzey kaplamalarına göre akış katsayıları	34
Tablo 3.3. D-1 havzası farklı zemin türleri için sızma kapasitesi değerleri.....	35
Tablo 4.1 D-1 havzasına ait arazi kullanım verileri ve su potansiyelleri analiz tablosu	43
Tablo 4.2 Yeşil çatılar için kullanılan parametreler.....	54
Tablo 4.3 Geçirimli kaplama için kullanılan parametreler.	55
Tablo 4.4. Yağmur bahçesi için kullanılan parametreler.	55
Tablo 4.5 Yağmur varili için kullanılan parametreler.....	56
Tablo 4.6 Biyolojik hendek için kullanılan parametreler.	56
Tablo 4.7 Yağış suyu tesisleri SWMM simülasyon sonuçları (2 yıl 24 saat).....	66
Tablo 4.8 Mevcut durum ve projeli durum SWMM simülasyon sonuçları (2 yıl tekerrürlü 24 saat)	67

1. GİRİŞ

İnsan nüfusundaki artış, yerleşim bölgelerinin metropollere dönüşümüne öncülük etmiştir. Yapılan araştırmalar, kentlerin küresel karbon dioksit (CO₂) emisyonlarının %75'inin kentlerde oluştuğunu göstermektedir (Dinçer, 2022). Dünya genelinde sadece yüzde 2'lik bir yüzey alanını kaplayan kentler, aynı zamanda Birleşmiş Milletler'in verilerine göre ekonomik döngünün %70'ini barındırmaktadır. Enerji tüketiminin %75'i ve CO₂ salınımının %70'i kentlerde oluşmaktadır (Çakıcı vd., 2021; Aleta et al., 2017).

1927 yılında Türkiye'nin demografik yapısında belirgin bir farklılık göze çarpmaktadır. O dönemde, nüfusun %75.8'i belde ve köylerde yaşamakta olup, %24.2'si ise il ve ilçe merkezlerinde ikamet etmekteydi. Ancak, 1950 sonrasında ülkede gerçekleşen şehirleşme süreci, nüfusun kentsel alanlara yönelmesine yol açmıştır. TÜİK'in 2021 verilerine göre, nüfusun %93.2'si il ve ilçe merkezlerinde konumlanmıştır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023). Günümüzde ve gelecekte, hızla artan insan yapılaşmaları ve bozulmuş doğal sistemlerin etkileri, insanlık için daha büyük olumsuzluklara neden olmaya devam edeceği açıktır. Yeşil alanların azalması, toprak yapısının bozulması ve hidrolojik döngünün kesintiye uğraması kentlerdeki doğal dengeyi bozmaktadır (Baş vd, 2023).

Doğal döngülerin iyileştirilmesi ve kentlerdeki olumsuzlukların (taşkın, sel, kentsel ısı adası, vb.) çözümü için geliştirilen sürdürülebilir yağış suyu yönetimi, doğal ve kültürel yapı arasındaki bağlantının kopmadığı kentlerde teknolojiyi kullanarak doğal sistem döngülerini kentsel alanlara entegre etme potansiyelini göstermektedir (Doğru, 2023). Sürdürülebilir yağış suyu tesisleri, yağmur suyunu toplamak, tutmak, arıtmak ve yeniden kullanmak için tasarlanmış sistemlerdir (Esbah Tuncay, 2022). Bu tesisler, doğal ve kültürel yapıyı entegre ederek, kentlerde sürdürülebilir ve dirençli bir su yönetimi sağlar (Rau, 2022). Bu yaklaşım, doğal döngülerin korunması, ekosistem hizmetlerinin iyileştirilmesi ve insanların yaşam kalitesinin yükseltilmesi amacını taşır.

Değişen iklim koşulları ve kent nüfusunun artışı nedenleriyle meydana gelen taşkın ve sel felaketlerine alternatif olarak, geleneksel alt yapı sistemiyle entegre çalışabilen yağış suyu yönetim uygulamaları, artan geçirimsiz alanların oluşturduğu yüzey akış sorunlarına sürdürülebilir ve yenilikçi yaklaşımlarla çözüm üretmektedir. Tez çalışması kapsamında havza ölçeğinde yüzey akışa geçen yağış suyu miktarını tespit etmek için ArcGIS programı ile 1/5000 ölçekli hali hazır haritalarla, Meles havzasında detaylı akış analizi yapıp, havzada suyun akış kolları ve arazi kullanımına göre sınıflandırılmıştır. Bu analiz sonucunda, uygulanabilir çözümler üretmek için Meles Havzası 33 mikro havzaya ayrılmıştır. Meles havzasının bir mikro havzası olan D-1 mikro havzasının 1/1000'lik hali hazır haritalardan türetilen altlık ile yağış suyunun havzadaki analizi, D-1 mikro havzası arazi kullanım durumuna göre; 11 alt bölgeye ayrılarak, su potansiyeli hesaplanmıştır. Bulunan analiz sonuçları SWMM programına girilerek simülasyon çalışması başlatılmıştır. Bu çalışma yöntemi, arazi kullanımlarına uygun yağış suyu tesisi önerip, uygulanabilir sonuçlar ortaya koyarak gerçek ortamda nasıl işleyebileceğini anlamayı ve alternatif sistemlerin yaygınlaşmasını sağlamaktadır.

Bu çalışma, altı ana bölümden oluşmaktadır. İlk olarak, "Giriş" bölümünde araştırmanın temel odak noktaları belirlenmiş ve çalışmanın genel amacı ile temel sorular ve hedefler ortaya konmuştur. Ardından, "Kavramsal Çerçeve" bölümünde, çalışmanın temel kavramları açıklanmış ve daha önce yapılan çalışmaların sağladığı bilgiler derinleştirilmiştir. Üçüncü bölüm olan "Materyal ve Yöntem" kısmında, çalışmada kullanılan araştırma materyali detaylı bir şekilde tanıtılmış ve izlenen yöntemler ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır. Dördüncü aşama olan "Araştırma Bulguları" bölümünde, yapılan analizler neticesinde elde edilen bulgular sunulmuştur. Beşinci bölüm olan "Tartışma" kısmında, bulguların anlamları ve önemleri üzerinde değerlendirme yapıldığı bir tartışma yürütülmüş ve sonuçlar çeşitli açılardan ele alınmıştır. Son olarak, "Sonuç ve Öneriler" bölümünde ise elde edilen sonuçlar özetlenip, bu sonuçlardan yola çıkarak gelecekte yapılacak çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Sürdürülebilir Yağış Suyu Kavramı

Kentsel yağmur suyu yönetimi geleneksel olarak, su baskınlarını önlemek için inşa edilmiş, altyapıyı kullanarak suyun şehirden mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde taşındığı komuta ve kontrol teknokrasi ilkelerine dayanmaktadır (Müftüoğlu ve Perçin, 2015).

Sürdürülebilir yağmur suyu kavramı, 1990'larda öne çıkan sürdürülebilirlik tartışmaları, daha sürdürülebilir yağmur suyu çözümlerine geçiş yöneliminde geniş bir istek ortaya çıkmıştır. Bu çözümler, 21. yüzyılın başında Suyu Duyarlı Kentsel Tasarım (Water-sensitive urban design-WSUD), Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri (Sustainable urban drainage systems-SuDs) ve Düşük Etkili Geliştirme (Low-Impact Development-LID) gibi stratejilerle hayata geçirilmiş ve dünya kentleştikçe çevre dostu bir yaklaşım benimsemeye yönelik küresel bir ilgi kazanmıştır (Fletcher, et al., 2014). Benzer bir şekilde, Çin hükümeti tarafından 2012 yılında önerilen Sünger Şehir Girişimi (Sponge city initiative-SCI); şehirlerin yağmur suyunu sızdırabilme, tahliye edebilme ve filtreleyebilme kapasitesine sahip olmalarını hedeflemiş, bu sayede sel, kuraklık ve kirlenmeye karşı dirençlerini artırarak çağdaş çevresel kriz söyleminin ana sorunlarına çözüm sunmayı amaçlamıştır (Zhao, et al., 2022).

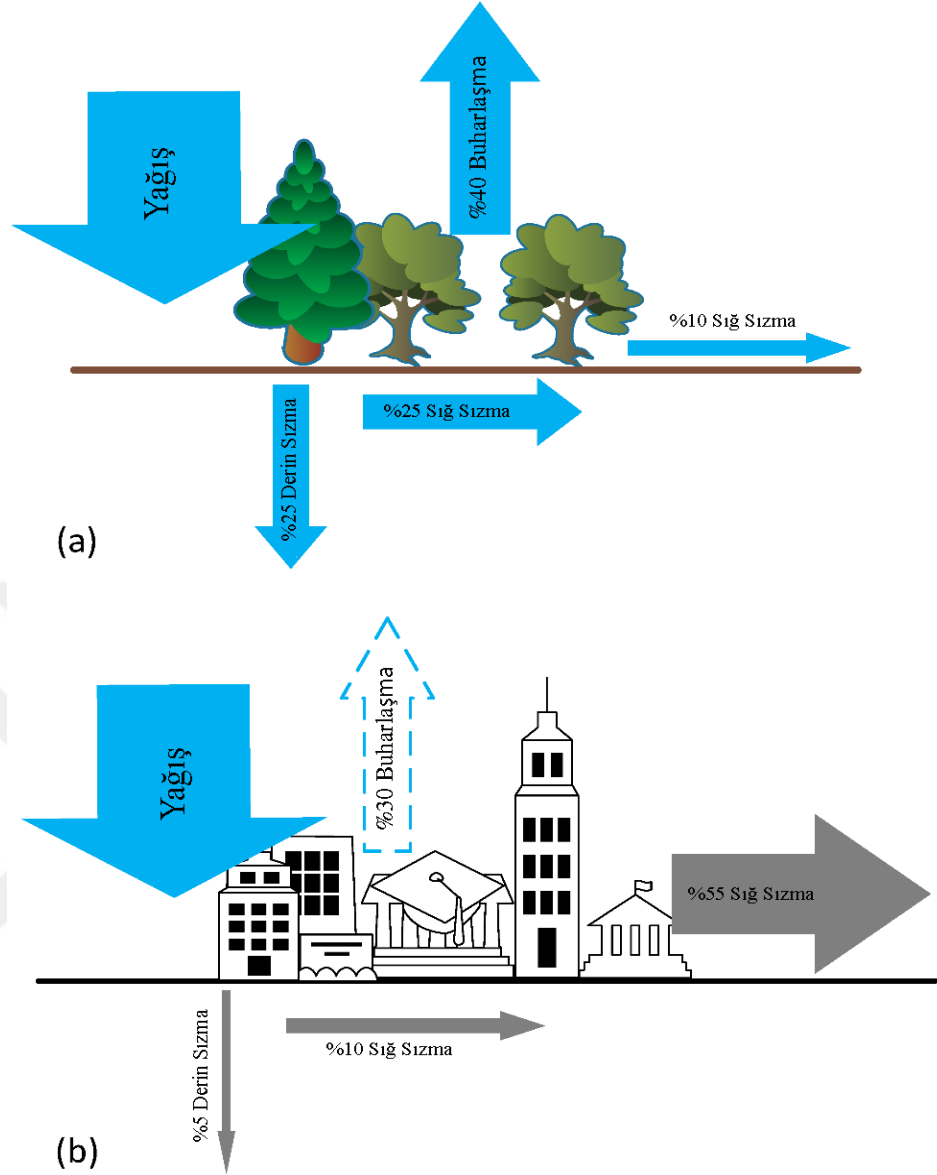
Sürdürülebilir yağış suyu kavramı, kentsel su yönetimi ile peyzaj mimarlığı bilim dalları arasında iş birliğini gerektirmektedir (Esbah Tuncay, 2022). Bu kavram, kentsel planlama ve inşasında doğal çevrelerin ekosistem hizmetini su döngüsünü korumasına odaklanarak iyileştirmeye önem vermektedir. Sürdürülebilir yağış suyu olarak adlandırılan bu yaklaşım, kentsel altyapıları yeşil altyapılara dönüştürmeyi amaçlamaktadır (Lfarakh, 2021). Bu altyapılar, akışa geçen yağış sularını yakalamak, kontrol etmek, filtrelemek ve yeniden kullanma yeteneğine sahiptir. Sürdürülebilir yağış suyu yönetimi, şehirlerin su sorunlarıyla başa çıkma yeteneğini artırmak için drenaj sistemlerini, su sistemlerinin

bağlantılarını, yağmur suyu ve kanalizasyon boru ağlarını iyileştirmeyi ve modern mühendislik önlemlerini teşvik etmeyi amaçlar (Liu et al., 2017).

Su döngüsü: Dünya jeolojisi, atmosferi ve yaşamı, su döngüsü (hidrolojik döngü) denilen sürekli su değişimi etkisiyle derinden etkilenmiştir (Narasimhan, 2009). Bu döngü, atmosferdeki su buharının yoğunlaşarak yağışa dönüşmesi, bir kısmının bitki örtüsü tarafından tutulması ve geri kalanının yere ulaşması şeklinde gerçekleşir (NOAA, 2019). Yer yüzeyindeki su, kara üzerinden okyanusa veya iç bölgelere akarken göletler, göller ve sulak alanlar tarafından durdurulur. Diğer bir kısım ise toprak tabakasından sızarak yeraltı suyu rezervuarını besler (Narasimhan, 2009).

Kentsel su döngüsü: su kaynakları ile insan faaliyetlerinin bağlantılılığını ve birbirine bağımlılığını, entegre yönetim ihtiyacını ortaya koymaktadır. Kentleşme, sanayileşme ve nüfus artışının birleşik etkileri, doğal alanları ve havzaların hidrolojik tepkisini etkilemektedir (Koç, 2022). Su döngüsü, şehirleşmenin çevre üzerindeki etkileri nedeniyle büyük ölçüde değişmektedir. Su temini, drenaj, atık su toplama ve yönetimi, yeraltı suların kullanımı dahil olmak üzere kentsel nüfusa su hizmetleri sağlama ihtiyacıdır. Kentsel alanlarda su döngüsü birçok antropojenik etki ve müdahale nedeniyle daha karmaşık hale gelmesiyle (McPherson, 1973; McPherson and Schneider, 1974) ortaya çıkan “kentsel” hidrolojik döngüye kentsel su döngüsü adı verilir.

Sürdürülebilir yağış suyu yönetimi, kentsel planlama (artan nüfusa su hizmetlerinin sağlanması) ve aşırı hava koşulları, iklim değişiklikleri ve potansiyel iklim değişikliği ile başa çıkma açısından özellikle önemlidir (**Şekil 2.1**). Aslında, kentsel su döngüsünün toplam yönetiminde uygulanan müdahale (yönetim) önlemleri yoluyla antropojenik baskıları ve etkileri iyileştirmeye çalışan kentsel suyun entegre yönetimi için su dengelerinin anlaşılması esastır (Marsalek et al., 2007).



Şekil 2.1.Yüzey Akış Anlatımı (a) Gelişme öncesi doğal alan; (b) kentleşmiş alan (Jiang, McBean, (2021)'den uyarlanmıştır, Marsalek et al., 2007).

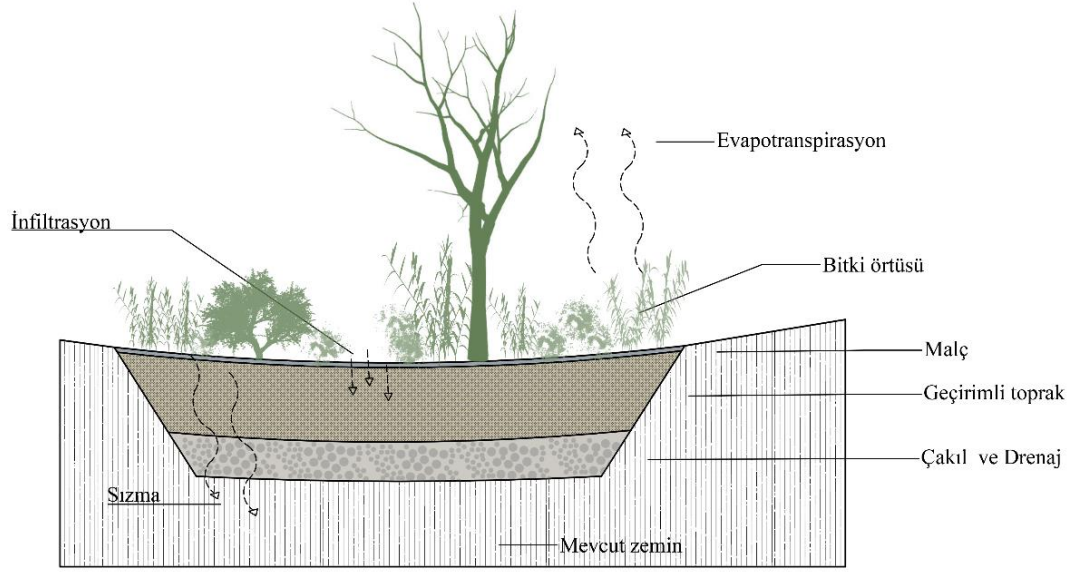
2.2. Sürdürülebilir Yağış Suyu Tesisleri

Sürdürülebilir yağış suyu tesisleri (LID), bir alanın gelişmeden önceki doğal hidrolojik döngüsünü taklit etmeyi amaçlayan, yağmur suyu yönetimi yaklaşımıdır. Bu amaçla, yağmur suyu akışını kaynağında veya yakınında sızdıran, süzen, depolayan ve buharlaştıran tasarım teknikleri kullanılmaktadır (USEPA, 2007).

Yalnızca yeraltı boru sistemi ve yer üstü beton kanalları aracılığıyla akışı ileten geleneksel yağmur suyu altyapısının aksine LID, doğal drenaj özelliklerini koruyan ve yağmur suyu akışını sızdıran veya yakalayan çeşitli peyzaj uygulamaları ve tasarlanmış sistemler aracılığıyla ele almaktadır. LID, yüksek yoğunluklu yerleşimlerden düşük yoğunluklu yerleşimlere kadar çeşitli arazi kullanımına uyarlanmıştır (Vogel, et al., 2017). Bu çalışma kapsamında 5 farklı yağış suyu tesisi çalışma alanında uygulanmıştır. Bu tesisler; biyolojik hendekler, yağmur bahçeleri, geçirimli zeminler, yeşil çatılar ve yağmur varilleridir.

2.2.1. Biyolojik hendekler

Biyolojik hendek, yağmur suyu akışını azaltan ve noktasal olmayan su akışı problemlerini çözen bir sistemdir. Bu sistem, bitkilerin, toprağın ve taşın kimyasal, biyolojik ve fiziksel özelliklerini kullanarak çevresel kirleticilerin kaynağını ele alır (Irvine, 2019). Yağış suyunu geçici olarak depolayan ve ardından tasarlanan yağmur suyu hacmini süzen bir toprak filtre sistemidir. Biyolojik hendekler kanala benzer şekilde, kanalın altında bulunan geçirimli toprak ve çakıl ortamına dayanır. (Ali, et al., 2021) Toprak aşırı derecede geçirgen ise, akış alttaki topraklara sızar. Ancak çoğu durumda, toprak ortamı tarafından arıtılan akış bir alt drenaja akar, bu da arıtılan akışı daha aşağı akış yönündeki taşıma sistemine iletir. Alt drenaj sistemi, filtre ortamının altındaki hendek tabanındaki çakıl tabakası içindeki delikli bir borudan oluşur (**Şekil 2.2**) (Center for Watershed Protection, 2012).



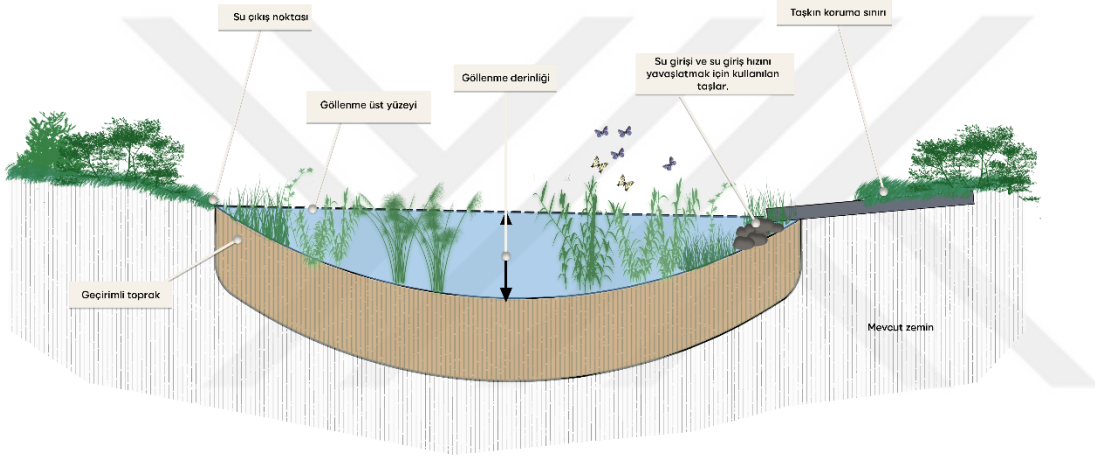
Şekil 2.2. Biyolojik hendek yapısı ve ana akış sistemi (Dagenais et al, 2023'ten uyarlanmıştır).



Şekil 2.3 Biyolojik hendek örneği (Şerif Hepcan'nın arşivinden)

2.2.2. Yağmur bahçeleri

Yağmur bahçeleri genellikle daha küçük ölçekli çatılardan veya diğer yüzeylerden gelen yağmur sularını toplamak için kullanılmaktadır. Toplanacak su, bitki örtüsü ve yapılan zemin etüdüne göre seçilmiş zemin karışımları aracılığıyla emilir. Bitkiler, sadece suyu emerek değil aynı zamanda suyu temizleyerek, zararlı maddelerden arındırır (Şekil 2.4). Bu süreç, yeraltı su kaynaklarını besler ve suyun doğal döngüsüne daha kontrollü bir şekilde katkı sağlar (Center for Watershed Protection, 2012).



Şekil 2.4 Yağmur bahçesi ve katmanları (Rui and Yingzi, 2023'ten uyarlanmıştır)

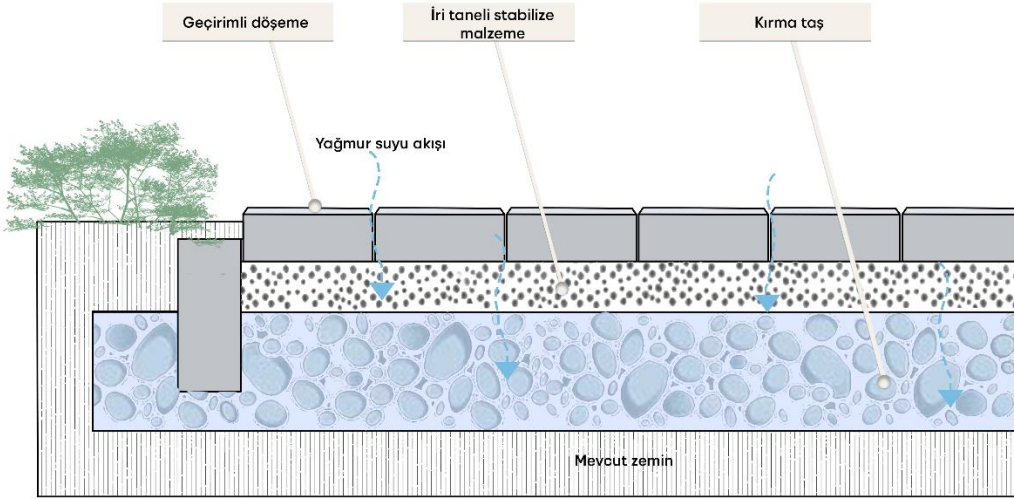


Şekil 2.5 Yağmur bahçesi örneği (Şerif Hepcan'ın arşivinden)

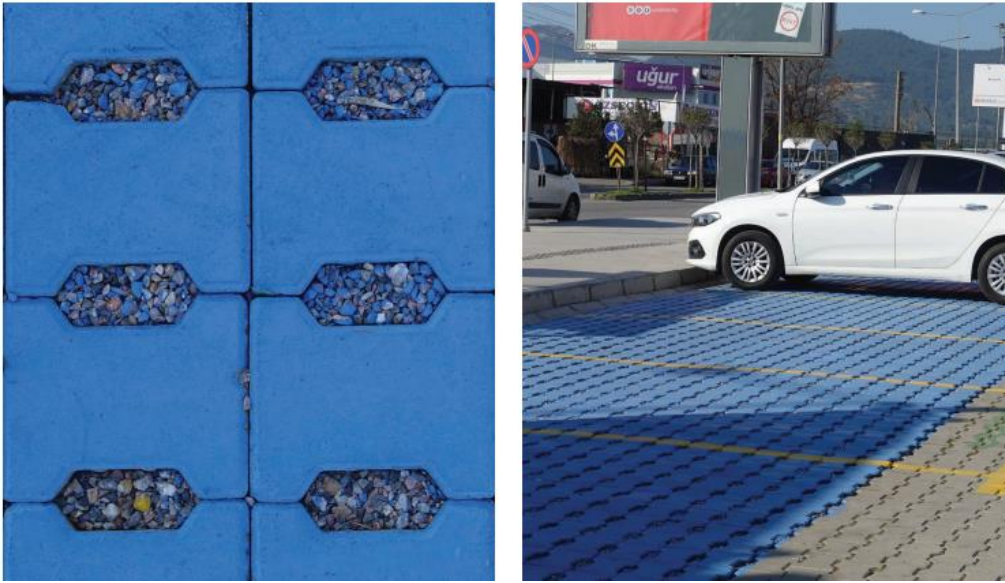
2.2.3. Geçirimli zeminler

Bu materyaller, suyun yüzeylelerden geçmesine ve altındaki toprağa ulaşmasına izin vermektedir. Kaplamanın kendisi veya arasındaki boşluklardan, yağmur suyunun geçmesine olanak tanıyan malzemelerdir (**Şekil 2.6**) (İnan, 2020). Gözenekli kaplamalar, yeraltı suyunun yeniden doldurulmasını sağlamak ve yağmur suyu akışındaki kirleticileri azaltmak için etkili bir çözüm olarak kullanılabilir. Literatürde yer alan bazı verilere göre geçirimli zemin uygulamalarının, yıllık yağışın %70 ila %80'inin yeraltı suyunun beslenmesine katkı sağlayacağı öngörülmektedir (Gburek ve Urban, 1980). Ancak, bu verilerin güvenilirliği tasarım özelliklerine ve altta yatan toprak koşullarına bağlı olarak değişebilir. Özellikle, bu sonuçların farklı uygulama alanlarına genelleştirilmesi zor olsa da her iki durumda da yüksek düzeyde kirletici giderimini önlemektedir. Çin'de sünger şehir tekniklerinde geçirimli kaplamalar üzerine yapılan araştırmaya göre, geçirimli kaplamaların taşkınların azaltılması üzerindeki hidrolojik etkilerinin büyük ölçüde geçirimli kaplama türlerine, tıkanma durumuna ve yağış miktarına göre değiştiği tespit edilmiştir (Hu et al., 2018).

Bu bulgular, gözenekli kaplamaların su döngüsü üzerindeki olumlu etkilerini vurgulamaktadır. Ancak, uygulamaların başarısı, tasarımın yerel koşullara uygunluğu ve düzenli bakımın sağlanması gibi faktörlere bağlı olacaktır. Bu nedenle, gözenekli kaplamaların sürdürülebilir su yönetimi stratejilerinde önemli bir rol oynaması için, yerel koşulların ve uygulama gereksinimlerinin dikkate alınması gerekmektedir (Gburek and Urban, 1980). Kaplama malzemeleri için yeni gereklilikleri belirleyerek özellikle "sızma, tutma, filtreleme, buharlaştırma ve drenaj" özelliklerine vurgu yapılmaktadır (Guan et al., 2007). Bu bağlamda, kaplama malzemeleri, belirtilen gereksinimleri karşılamak üzere özel olarak tasarlanmış, gözenekli ve geçirgen özelliklere sahip olmalıdır.



Şekil 2.6 Geçirimli zemin döşeme örneği (Guan et al., 2007' den uyarlanmıştır).

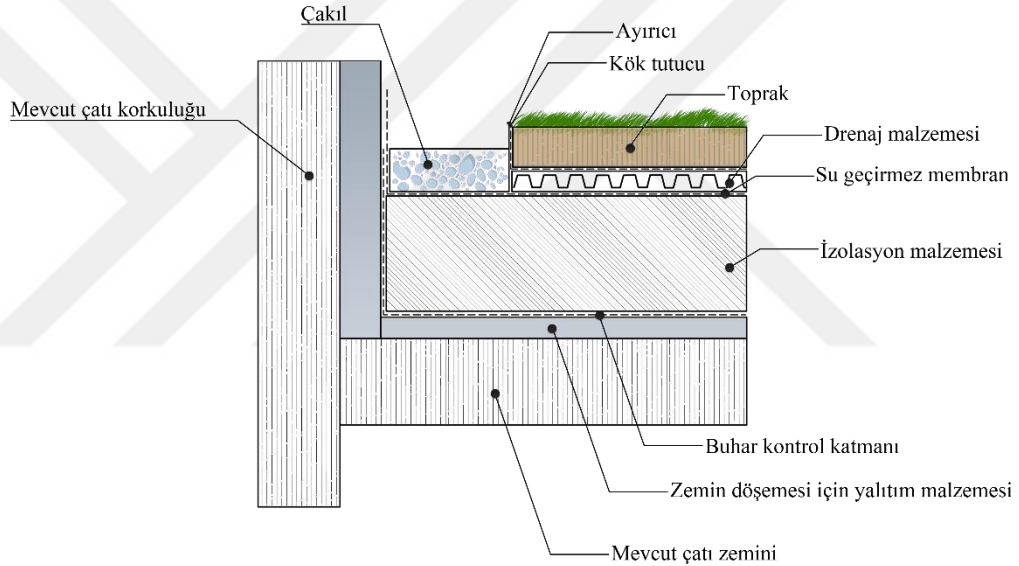


Şekil 2.7 Gaziemir Sakarya otoparkı geçirimli zemin döşeme örneği (İBB-Su Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi, 2023)

Su varlığında, geçirimli kaplamalar kaldırım veya yol yüzeyindeki suyu süzerek arındırır, depolar ve yeraltına iletir. Su bulunmadığında ise, geçirimli kaplamalar, kalan suyu buharlaştırarak, dış ortam ile etkileşim kapasitesine sahiptir. Bu özellikleri ile geçirimli kaplamalar, çevresel sürdürülebilirlik ve su yönetimi konularında önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir (Guan et al., 2007).

2.2.4. Yeşil çatılar

Yeşil çatılar, toprak karışımı, su yalıtım malzemeleri ve drenaj gibi farklı katmanları içerebilecek sistemin üzerine bitki eklenmesidir (**Şekil 2.8**)(Abuseif ve Gou 2018). Yeşil çatılar, doğal su döngüsünü taklit ederek yağmur suyunu düştüğü yerde tutar ve katmanlarda biriken fazla suyu drenaj kanalları ile planlanan yöne iletir, toprakta biriken fazla su bitkiler tarafından yakalanır ve buharlaşır. Yeşil çatılar böylece kanalizasyon sistemi üzerindeki baskıyı hafifleterek sel baskınlarının önlenmesine veya en azından etkilerinin azaltılmasına yardımcı olur (IPAC, 2022).



Şekil 2.8 Yeşil çatı döşeme örneği (Bianchini and Hewage, 2012'den uyarlanmıştır).

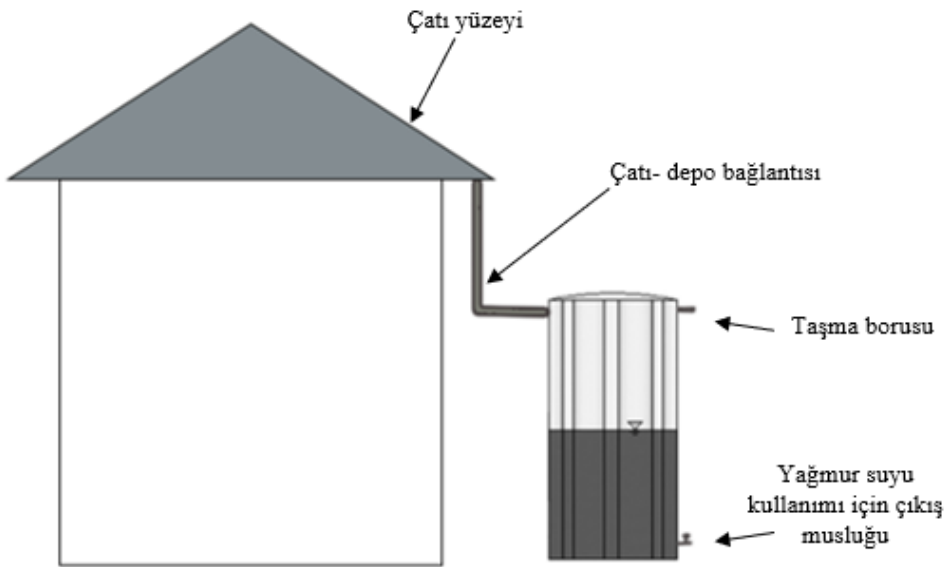
Yeşil çatılarda genellikle farklı türde bitkiler yetiştirilebilir. Bu alanda özellikle Crassulacean Acid Metabolism (CAM) bitkileri tercih edilmektedir. Bu tercihin temel nedeni, CAM bitkilerinin kuraklık koşullarında su muhafaza etme kapasiteleridir. CAM bitkileri, suyu etkili bir şekilde tutabilme özellikleri sayesinde yeşil çatıların sıklıkla tercih edilen bitki türleri arasında yer almaktadır. Bu bitkiler genellikle sukkulent yapıdadırlar ve kuraklık koşullarında su muhafaza etme kapasitelerinden dolayı tercih edilmektedir (Bianchini and Hewage, 2012).

Yeşil çatıların kentsel ortamda enerji tasarrufu ve çevresel sürdürülebilirlik sağlama potansiyeli yönünde bakıldığında, yeşil çatılar, çatı sistemi aracılığıyla geçen ısı akışını azaltarak bina içindeki enerji talebini düşürmekte, yağmur suyu akışını geciktirme ve azaltmada etkilidir. Ayrıca, tutma verimliliği yağış olayının özelliklerine bağlıdır (Liu and Minor, 2005).

2.2.5. Yağmur varilleri

Yağmur varilleri, yağmur suyunu toplamak ve geçici olarak depolamak için kullanılan bir tür su toplama ekipmanıdır. Genellikle plastik veya metal malzemeden yapılmış silindirik veya dikdörtgen şeklindedirler. Yağmur varilleri, genellikle evlerin çatılarından veya diğer toplama alanlarından yağan yağmur suyunu toplamak için kullanılmaktadır (**Şekil 2.9.**) (Un, 2016).

Bu variller, genellikle nispeten küçük toplama alanları üzerine yağan yağış suyunu yakalayıp kaynak kontrol çözümleri olarak işlev görmektedirler (örneğin, bina çatıları, teraslar, döşeli avlular vb.). Son dönemde yapılan birçok çalışma, varil tabanlı yağış suyu toplama uygulamasının kentsel havza su tutma kapasitesini artırabileceğini ve yağışlı hava olayları sırasında akış oluşumunu azaltabileceğini göstermektedir (Campisano et al, 2017).



Şekil 2.9 Yağmur suyu varili bağlantı gösterimi (Campisano et al, 2017'den uyarlanmıştır).

Yağış suyu varilleri sistemlerinin büyük bir kısmı genellikle üç temel bileşenden oluşur: suyun toplanabileceği bir yüzey, yüzey ile varil arasında bağlantı ve depolanan suyun yönlendirilmesi için çıkış.

Yağmur suyu çatı tarafından yakalandığında, oluklar ve su borusu tesisatı, suyu varile yönlendirilerek kullanıma hazır hale getirmektedir. Yakalanan yağış suyu miktarı tank kapasitesinden büyükse, fazla su varildeki taşma borusu ile doğrudan kanalizasyon sistemine veya sokaklara yüksek yüzey akışı ile boşaltılır. Varilin boşaltılma süreci kullanıma bağlıdır, bu nedenle bağlı kullanıcıların davranış alışkanlıkları, yağış suyu toplama sisteminin tutma performansını önemli ölçüde etkilemektedir (Campisano ve Modica 2010).

2.2.6. Sürdürülebilir yağış suyu tesislerinde kullanılan bitkilerin rolü

Bitkiler gerçek ekosistem mühendisleri olarak kabul edilmektedir, bitkiler terleme yoluyla suyu buharlaştırmak, tortuları tutmak, besinleri almak, kökleri yardımı ile oksijen ve organik bileşikleri depolamak, bakteri gelişimi için substrat sağlamak vb. çok yönlü işlevleri sayesinde sürdürülebilir yağış suyu yönetiminde önemli rol oynamaktadır (**Tablo 2.1**). Sistem hidroliği açısından, bitki köklerinin büyümesi, yaşlanması, ölümü ve bozulması, toprak gözenekliliğinin korunmasına yardımcı olan ve böylece toprağın genel sızma oranını artıran gözenekler oluşturur (Dagenais et al., 2018; Gonzalez-Merchan et al., 2012; Le Coustumer et al., 2012). Dagenais et al., (2018) yaptığı çalışmada;

“Biyolojik tutma tasarım kılavuzlarında bitkilerin rolüne ilişkin dört temel hipotez belirlenmiştir: (i) Bitkili sistemler bitkisiz sistemlerden daha etkilidir, (ii) Bitki türlerinin etkinlikleri farklıdır, (iii) Yerli türler egzotik olanlardan daha etkilidir, (iv) Çeşitli sistemler monokültürlerden daha verimlidir”, sonucuna ulaşılmıştır.

Bitkiler ayrıca belirli metalleri ve metaloidleri (yarı metaller) değişen derecelerde alım gösterirler ve bazı bitki türleri, sürgünlerinde ve yapraklarında belirli metalleri emme ve konsantre etme konusundaki yüksek kapasiteleri nedeniyle hiperakümülatörler olarak kabul edilir. Bitkilerin toprak üstü kısmının

hasat edilmesi, bitki dokusunda depolanan besin maddelerini ve kirleticileri kalıcı olarak ortadan kaldırmaktadır (Ali et al., 2013).

Bununla birlikte teoride, biyolojik tutmada su arıtımının büyük bir kısmı, bitki alımından ziyade mikrobiyal süreçlerin doğrudan sonucudur; organik moleküllerin mineralizasyonu, nitrifikasyon-denitrifikasyon, vb. bakteriyel aktivite için elverişli koşullar sağlayarak su arıtımında önemli bir rol oynar. Örneğin, Rizosfer, bitişik oksijenli ve oksijensiz toprak ceplerinin oluşturulması yoluyla, birleşik nitrifikasyon-denitrifikasyon için ideal koşullar yaratır (Payne et al., 2013). Bilimsel çalışmalara dayalı olarak bitkilerin Biyotutma performansı üzerindeki etkisinin niteliksel özeti;

Bitkilerin rolü: ihmal edilebilir (0), küçük (+), önemli (++) , çok önemli (+++), minörden negatife (+-), daha fazla çalışma gerekli (?).

Tablo 2.1 Bitkilerin su tutma işlevleri üzerine yapılan bir deney (Dagenais et al., 2018).

Biyotutma sistemi işlevleri	Bitkilerin yararlı katkıları için olası mekanizmalar	DeneySEL çalışmalardan ampirik kanıtlar	Bitkilerin performans üzerindeki kalitatif rolü
Hidrolik	*Terleme *Geçirgenlik/gözeneklilik Bitki köklerinin büyümesi, yaşlanması, ölümü ve ardından bozulması, toprak gözenekliliğinin korunmasına yardımcı olan gözenekler oluşturur.	*Suyun toplama alanına yapılacak biyolojik tutma alanı arttıkça yaprak alanı artacağı için suyun tutulması artacaktır. Terleme çalışması yok, sadece evapotranspirasyon. Bitkisiz kontrol yok. Diğer çalışmalardan çıkarım. Terlemeyi ölçmenin zorluğu. *Bitki kökleri tarafından makro gözenek gelişimi. Bitki örtüsünün biyolojik tutmada geçirgenliğin korunmasına yardımcı olduğu ifadesini desteklemek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.	+ ++
Sediment filtrasyonu	Hava boşlukları akış hızını azaltır ve askıda katı maddelerin çökmesini destekler	DeneySEL çalışmalara göre bitkilerin etkisi yoktur.	0
Nitrojen giderme	Bitki alımı yoluyla uzaklaştırma. Rizosfer, bitişik oksijenli ve oksijensiz toprak ceplerinin oluşturulması yoluyla nitrifikasyon-denitrifikasyon	Bitkisiz biyolojik tutma, aslında, biyotik asimilasyonla çıkarılan neredeyse tüm nitratin net nitrojen ihracatına yol açabilir.	+++

	için ideal koşullar sunar.		
Fosfor giderimi	Bitki alımı yoluyla uzaklaştırma	Doymamış toprakta köklü bitki toplulukları için olası pozitif rizosfer etkisi. Aksi takdirde hiçbir etkisi yoktur.	+
Metal giderimi	Bitki alımı yoluyla uzaklaştırma	Toprak ve malç ile birlikte giderimi çok yüksektir. Bitki alımı düşük (örneğin metallerin toplam tutulmasının %0,5-%14'ü). Toprak özelliklerinin bitkiler tarafından değiştirilmesi (düşük pH, daha fazla çözünür OM) atık sudaki metalleri artırabilir.	+ -
Patojen giderimi	Toprak nemini azaltma. Diğer mikroorganizmalar ve biyofilmlerin rekabetinin uyarılması.	Farklı çalışmalardan çelişkili sonuçlar. Geçirgenlik artarsa, tutma süresi ve dolayısıyla patojen giderimi azalır. Ekilmiş bir sistemin yaşanması, sızma oranı ve mikrobiyal topluluğun gelişimi üzerinde bir etkiye sahip olabilir.	?
Organiklerin (hidrokarbonlar) uzaklaştırılması.	Organiklerin (hidrokarbonlar) uzaklaştırılması. Bitki alımı yoluyla giderim (mümkün ancak sınırlı). Rizosfer, hidrokarbonların bakteriyel bozulmasını destekleyen koşullar yaratır.	Rizosferde mikrobiyal aktivitenin artması yoluyla hiçbir etki veya dolaylı etki.	?

Bitkiler üzerine yapılan başka bir çalışmada, yağış suyu yönetim sistemlerinde uygulanmak üzere, Çin'e özgü veya Çin'de yerel olarak mevcut olan çok çeşitli bitki türlerinin hidrolik ve kirletici arıtma performansı araştırılmıştır. Sonuçlar, bitkilerin kirletici maddelerin giderilmesinde evrensel olarak etkili olmasa da geniş bir yaşam formu yelpazesindeki çeşitli bitki türlerinin etkili yağmur suyu arıtımı için kullanılabileceğini gösterdi (Fowdar et al., 2022).



Şekil 2.10 Yağış suyu tesislerinde bitkilerin su tutma işlevleri üzerine yapılan performans testi (Fowdar et al., 2022).

Yaklaşık 15 aylık sistem gözleminin sonuçlarına göre, sistem infiltrasyon kapasitesi farklı bitki türleri arasında 39 mm/saat ile 315 mm/saat arasında değişim göstermiştir (Şekil 2.10). Bu sonuçlar, çeşitli bitki türlerinin sistemlerin hidrolik iletkenliğini farklı derecelerde etkileyeceğini göstermektedir. Özellikle, etkili besin giderimi sağlayan bazı türlerin en düşük infiltrasyon oranlarına sahip olduğu belirlenmiştir (örneğin, *Fargesia nitida*). Bu durum arzu edilmeyen bir durumdur, çünkü özellikle yoğun yağışlar sırasında, akışın çoğu bu tür bitkiler tarafından işlenmeden sistemi atlayacaktır. Bu sonuçlar, tesis seçimi sürecinde hem hidrolik hem de biyolojik faktörlerin dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır (Fowdar et al., 2022).

2.3. Dünyada ve Türkiye'de Sürdürülebilir Yağış Suyu Uygulama Örnekleri

Dünyada birçok ülke tarafından, kentsel yağmur suyu yönetimi ile ilgili yeni stratejiler geliştirilmiştir. Bu stratejilerin temelinde bozulan hidrolojik döngünün yerine doğal döngüyü taklit eden ve böylece doğal su akışının sürdürülebilirliğini sağlayan yağmur suyu yönetimi sistemleri yer almaktadır. (Salata ve Arslan, 2022). Dünyada ve Türkiye'de çeşitli yağış suyu yönetimi uygulama örnekleri bulunmaktadır.

2.3.1. Dünya örnekleri

Kopenhag, Danimarka: Kopenhag, sünger şehir konseptini benimseyen öncü bir şehir olarak bilinmektedir. Yağmur sularını toplayan ve yeniden kullanım sağlayan bir dizi su tutma alanı ve yeşil çatılar gibi sürdürülebilir yağış suyu tesisleri kullanmaktadır (Rona, 2023).



Şekil 2.11 Kopenhag, Danimarka' da Sünger Şehir Teknikleri Kullanılarak Oluşturulmuş Park (Rona, 2023).

35.000 m'lik bir alanı kaplayan iklim parkı, eğimli bir arazi üzerine konumlandırılmıştır ve özel bir tasarım ile 100 yılda bir gerçekleşebilecek şiddetli yağış olaylarına karşı dayanıklılığı artırmayı amaçlamaktadır (**Şekil 2.11**). Parkın tasarımı, yağışlar azalana kadar bir tampon görevi üstlenerek yaklaşık 25.000 m³ su depolama kapasitesine sahiptir. Bu amacı gerçekleştirmek için, betonarme spor alanı başlangıç noktası olarak belirlenmiş, 3 metre derinliğinde tasarlanarak yağmur suyunu depolamak üzere kullanılmıştır (Rona, 2023).

Portland, ABD: Portland, yağmur suyu yönetimi için sünger şehir tekniklerini uygulayan örnek bir şehirdir (Coşkun Hepcan, 2019). Yeşil altyapı projeleri, yağmur bahçeleri, göletler ve yeraltı suyu şarj sistemleri gibi bileşenler kullanılarak yağmur suyunu etkin şekilde yönetimi hedeflenir.



Şekil 2.12 Portland, Oregon'da uygulanan biyolojik hendekler (Serdar Yakut ve Erdem Kaya, 2020).

ASLA tarafından 2006 yılında ödüllendirilen “SW 12th Avenue Yeşil Cadde” Projesi, Portland'ın geleneksel caddelerini ekolojik bir çevreye dönüştüren ilk projelerden biri olarak kabul edilebilir (**Şekil 2.12**). Bu girişim, yağmur suyu akışını etkili bir şekilde kontrol etmeyi amaçlayarak aynı zamanda sokakları park

alanlarına çevirmeyi hedefler. Tasarım, su kalitesini artırarak akışın sızma hızını en üst düzeye çıkarmaktadır. Her biyolojik hendek, yaklaşık 15 cm yüzey derinliği ile yağmur suyunu başarılı bir şekilde tutma kapasitesine sahiptir, bu da çevresel sürdürülebilirliği maksimize etmeyi amaçlar (Serdar Yakut ve Erdem Kaya, 2020).



Şekil 2.13: Meadow House Portland, Oregon. (Karaağaçlı, 2023).

Meadow House, Oregon kentinin, Eugene'nin College Hill bölgesinde 2.000 m² alana sahip özel bir konut olarak tasarlanmıştır (**Şekil 2.13**). Yöreye özgü bitkiler kullanılarak tasarlanan bahçe, yağmur suyunu etkili bir şekilde kullanarak, yağış suyu yönetimiyle birlikte doğal bir mimari karaktere sahiptir. Bu tasarımdaki temel hedef, sürdürülebilir, dayanıklı ve ekonomik bir ev inşa etmektir. (Karaağaçlı, 2023).

Singapur: Singapur, yoğun yağışlara maruz kalan bir şehir olmasına rağmen sünger şehir yaklaşımını benimseyerek su yönetimi sorunlarına çözüm bulmuştur. Örnekler arasında yağmur suyu hasadı, yeraltı suyu şarjı ve su geri kazanımı sistemleri bulunmaktadır.



Şekil 2.14 Marina Barajı su rezervuarı (Wikipedia, 2023).

Marina Barajı su rezervuarı, 2008 yılında tamamlanan bu proje, Singapur'un içme suyu ihtiyacını karşılamak için yağmur sularını toplamak ve depolamak amacıyla tasarlanmıştır (**Şekil 2.14**). Marina Barajı, şehirdeki yağmur sularını biriktirerek büyük bir rezervuar oluşturmaktadır ve bu suyu içme suyu ihtiyacını karşılamak, sel kontrolü sağlamak ve tarım sulaması için kullanmak üzere depolamaktadır (Harley and Yap, 2009).

2.3.2. Türkiye örnekleri

Ülkemizde su kaynaklarını yönetme, kullanma ve koruma stratejileri, dünyadaki gelişmeler ve politikalar ile aynı yönde ilerlemektedir. 1990'lı yılların başlarından itibaren suyla ilgili uluslararası faaliyetlerde artış kaydetmiştir. 1992'de gerçekleşen Rio Zirvesi'nde su kaynaklarının sürdürülebilir olmayan kullanımlarına karşı tedbir alınması gerekliliği vurgulanmıştır. (Esbah Tunçay, 2022).

Ankara: Peyzaj Araştırmaları Derneği'nin liderliğindeki "Yağmur Hasadı Yoluyla İklim Değişikliğine Uyum Projesi," Çankaya Belediyesi tarafından desteklenerek 2017'de tamamlanmıştır. Proje, Çankaya Belediyesi'nin katkılarıyla ilçe genelindeki yaklaşık 500 parkta depolanan yağış suyunun sulama amacıyla kullanılmasını sağlamak üzere teknik ve fiziki dönüşümleri içeren çalışmaları da kapsamaktadır. Bu sayede proje deneyimleri pratik uygulamalara dönüştürülerek çevresel sürdürülebilirliği artırmayı hedeflemektedir (Coşkun Hepcan, 2019).

İzmir: Avrupa Birliği'nin "HORIZON 2020" programı kapsamında geliştirilen "Urban Green Up-Nature-Based Solutions" projesi, İzmir Karşıyaka-Mavişehir bölgesinde hayata geçirilmiştir. Projede, Peynircioğlu Deresi'nin kıyı kesimi ile Halk Park ve devamındaki güzergâh boyunca "kesintisiz bir ekolojik koridor" oluşturulmuştur (**Şekil 2.15**). Doğa ile uyumlu teknikler kullanılarak, dere üzerinde taşkın kontrolü sağlanmakta ve aynı zamanda dere çevresinde yaklaşık 40 bin metrekarelik yeşil alan oluşturulmaktadır (İBB., 2020).



Şekil 2.15 Peynircioğlu ekolojik koridor projesi (İBB.,2020)

Eylül 2021 itibarıyla, "Su Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi"ni bünyesinde barındıran yerel yönetim, İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından faaliyete geçirilmiş ve çalışmalarına başlamıştır. İzmir, kendisini bir "sünger kent" olarak tanımlama yolundaki adımları atan bir şehirdir. Sünger kent projesi, şehirde çeşitli önlemler alarak sürdürülebilir su yönetimi sağlamayı hedeflemektedir (İBB-Su Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi, 2021). Bu kapsamda çeşitli pilot projeler uygulanmıştır (**Şekil 2.16**). Bu projelerden biri Gaziemir İzelman Sünger Otopark Projesidir. Otoparkta geçirimli döşeme ve biyolojik hendek uygulanarak yeşil otoparka dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Toplamda 8.200 m² büyüklüğe sahip açık otopark alanında 206 m² alanda 9 ayrı biyolojik hendek ve 600m² geçirimli döşeme uygulanmıştır. 2 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışta yüzey akışı %93 oranında azaltacak şekilde projelendirilmiştir (İBB-Su Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi, 2023).



Şekil 2.16 Sünger otopark projesi, biyolojik hendek ve kesik bordür uygulaması (İBB-Su Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi, 2023).

Diğer bir proje ise Buca Bahçekapı parkında uygulanan taşkın drenaj kuyusu ve kesik bordür uygulamasıdır (Şekil 2.17). Bu park çevresine kıyasla düşük kota sahip olduğu için akışa geçen yağış suları park içerisinde birikmektedir. Bu sorunu temel alarak geliştirilen projede, her biri 60 metre olan üç adet taşkın drenaj kuyusu, saatte yaklaşık olarak 54 ton suyun yer altına sızdırılmasını sağlayarak akışa geçen yağmur sularının park içerisinde tutularak çevrede oluşabilecek su baskınlarının önlemektedir (İBB-Su Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi, 2023).



Şekil 2.17 Buca taşkın parkı, biyolojik hendek, kesik bordür ve taşkın drenaj kuyuları uygulaması (İBB-Su Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi, 2023).

İzmir Tarımı Geliştirme Merkezi, İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin "HORIZON 2020" programı kapsamında gerçekleştirdiği "Doğa Esaslı Çözümler" projesinin önemli bir bileşenidir. Bu merkez, gelecekte yaşanabilecek kuraklık durumlarına karşı toplumu bilgilendirmeyi ve tarımda doğru yöntemleri uygulamalı olarak anlatmayı amaçlamaktadır. Merkez, kent tarımının markalaşması için ARGE ve ihracat birimini içermekte olup, eğitim salonu, laboratuvar ve tarım kütüphanesi gibi tesislere sahiptir (**Şekil 2.18**). Ayrıca, iklim değişikliğinin tarıma etkilerini gösteren uygulama seraları ve ziyaretçilere iklim değişikliğinin etkilerini anlatan bir gezi alanı bulunmaktadır. Alanda, arılar ve böcekler için polinatör evleri de oluşturulmuştur (İztam., 2022).



Şekil 2.18 İzmir Tarımı Geliştirme Merkezi (İztam, 2022).

2.4. Yağmur suyu yönetim modelleri

Çevresel modelleme araçları, doğal süreçleri anlamak, tahmin etmek ve yönetmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu hesaplamalar, özellikle yağmur suyu yönetimi, su döngüsü, toprak erozyonu kontrolü gibi doğal süreçlerin anlaşılması ve etkili bir şekilde yönetilmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Anonim, 2013a). Matematiksel modeller, doğal süreçlerin karmaşıklığını anlamak, gelecekteki değişiklikleri öngörmek ve sürdürülebilir yönetim stratejileri geliştirmek amacıyla kullanılır. Bu yöntemler sayesinde, doğal kaynakların etkili bir biçimde korunması ve ekosistemlerin sağlıklı devamlılığı için bilinçli ve bilimsel temellere dayanan kararlar alınabilmektedir (Anonim, 2013a).

Bu çalışma, genel olarak yeşil altyapı sistemleri kapsamında LID bileşenlerinin yağmur suyu yönetimindeki performansını ele almaktadır. Bu bağlamda, LID bileşenlerini tasarlayabilen ve dünya genelinde yaygın olarak kullanılan yağmur suyu yönetim modellerine odaklanılmıştır. Bu modellerden bazıları yağmur suyu hacimlerini ve yüzey akış miktarlarını tahmin ederken, bazıları ise yağmur suyu kalitesini ölçmeye odaklanmaktadır. Bazı modeller ise

her iki bileşeni etkili bir şekilde tahmin edebilmektedir. Dünya genelinde yaygın olarak kullanılan 10 farklı yağmur suyu yönetim modelinin özetine, **Tablo 2.2'**de yer verilmiştir.

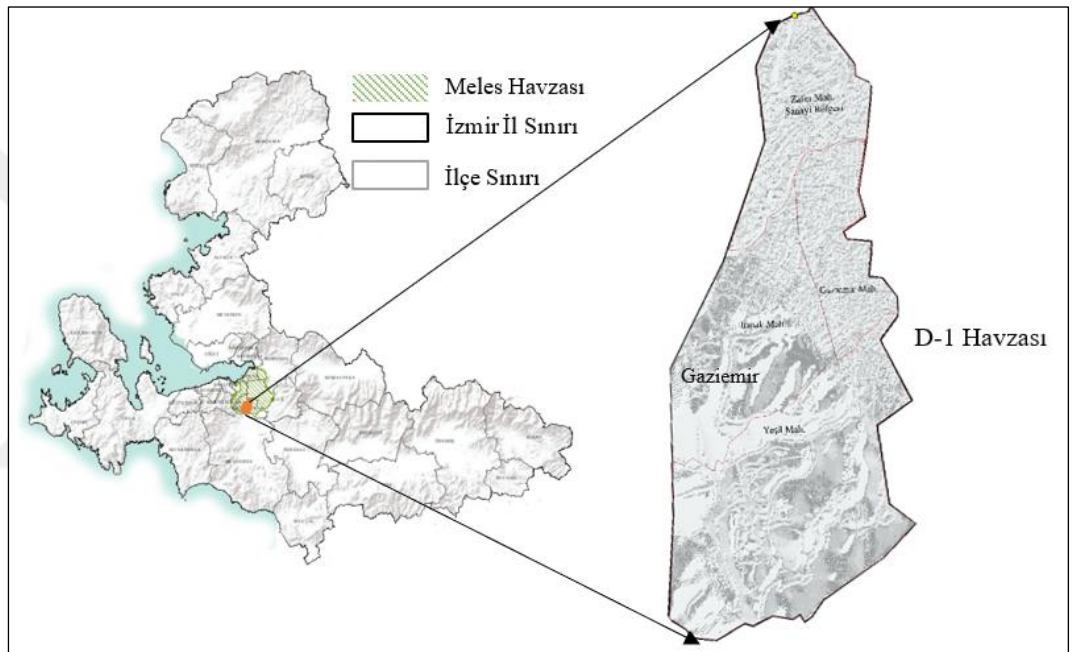
Tablo 2.2 Yeşil altyapı bileşenlerini modelleyebilen farklı yağmur suyu yönetim modelleme aracı. Anonim (2013a)' den uyarlanmıştır.

Modelleme Aracı	Ulaşılabilirlik	Modellenebilen Bileşenleri (LID /YA)	Amaçlanan Kullanım
EPA SWMM	https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm Adresinden kamuya açık yazılım olarak ulaşılabilir.	Geçirgen kaldırım, yağmur bahçeleri, yeşil çatılar, bitki kutuları, yağmur varilleri, sızma hendekleri ve bitkisel hendekler dahil olmak üzere Düşük Etkili Geliştirme (LID) kontrollerinin akış hızını, akış derinliğini ve kalitesini modelleme yeteneğini içerir.	Kentsel alanlar için, tek olaylı veya uzun vadeli, dinamik bir yağış-akış ve su kalitesi simülasyon modelidir
HEC-HMS	https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/downloads.aspx Adresinden kamuya açık yazılım olarak ulaşılabilir.	Hiçbiri	Yağış akışı tahminine dayanan havza sistemlerinin tüm hidrolojik süreçlerini simüle etmek için tasarlanmış bir modeldir.
SUSTAIN	https://www.epa.gov/water-research/system-urban-stormwater-treatment-and-analysis-integration-sustain Adresinden Kamuya açık yazılım olarak ulaşılabilir.	Biyolojik muhafaza, sarnıçlar, inşa edilmiş sulak alanlar, kuru/ıslak göletler, hendekler, yeşil çatılar, sızma havuzları, sızma hendekleri, gözenekli kaldırım, yağmur varilleri, kum filtreleri, filtre şeritleri	Yağmur suyunu havza ölçeğinde yağmur suyu akışı ve kirletici kontrollerine yönelik planlar geliştirmesi ve Maliyet etkinliğine dayalı olarak istenen su kalitesi hedeflerine ulaşmak için geliştirilmiş bir modeldir.
RECARGA	https://dnr.wisconsin.gov/topic/Stormwater/standards/recarga.html Adresinden Kamuya açık yazılım olarak ulaşılabilir.	Biyolojik tutma tesisleri, yağmur bahçesi ve sızma tesisleri	Akış hacimlerinin azaltmak ve suyun yeraltına sızmasına izin verip yeraltı sularının beslenmesini sağlamak.
P8	https://www.walker.net/p8/ Adresinden Kamuya açık yazılım olarak ulaşılabilir.	Hendekler, tampon şeritler, tutma havuzları (kuru, ıslak ve genişletilmiş), akış ayırıcılar ve sızma havuzları	Çukurlar, su birikintileri ve göletlerden kirletici parçacık geçişini tahmin etme programı

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Araştırma Materyali

Araştırma alanını; İzmir kent merkezi sınırları içinde yer alan ve yoğun yapılaşmanın gözlemlendiği kentsel bir havza olan Meles Havzası ve Meles havzasının sınırlarında yer alan D-1 mikro havzası oluşturmaktadır. Meles havzası ve çalışma alanı olan D-1 mikro havzası aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (**Şekil 3.1**).

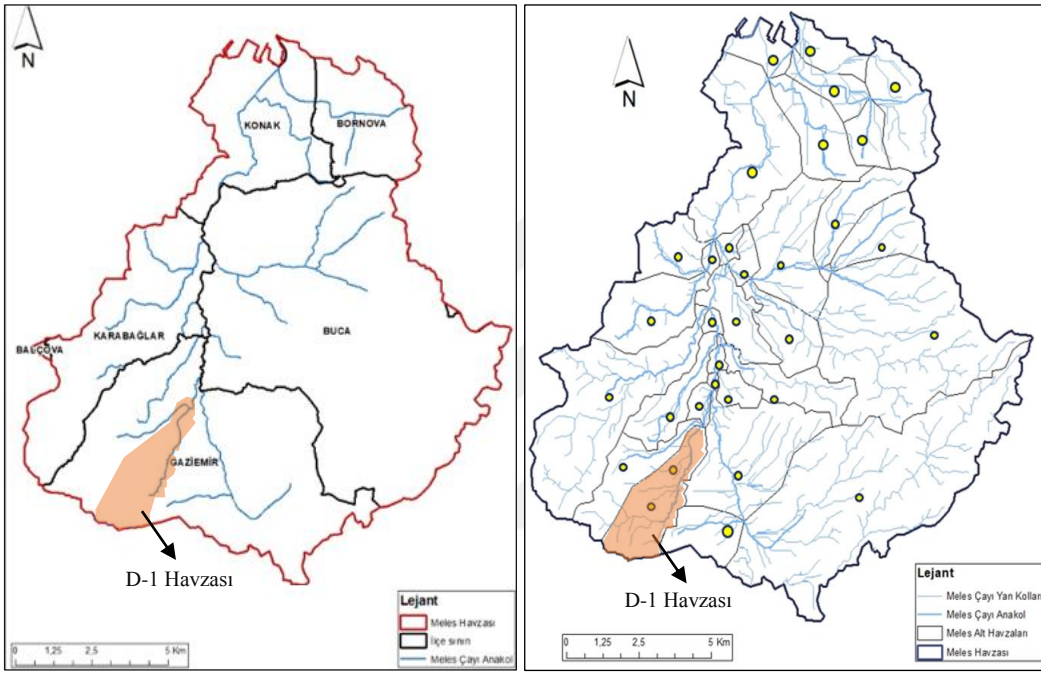


Şekil 3.1. Meles havzası ve D-1 mikro havzası lokasyon haritası.

Meles Havzası, Gaziemir, Bornova, Buca, Karabağlar, Konak ve Balçova ilçelerinin bir bölümünden oluşan toplamda 16.000 hektarlık (160 km²) bir alanı kaplamaktadır.

Meles Havzası sürdürülebilir yağış suyu tesislerinin su kontrolünü daha uygulanabilir olmasını sağlaması için, yağış suyu akış analizlerine göre 33 mikro havzaya ayrılmıştır (**Şekil 3.2**). Bu havzalardan biri olan ve Gaziemir ilçe sınırlarında yer alan D-1 mikro havzası, örnek uygulamalarının projelendirildiği bölümü oluşturmaktadır. Bu havza, Meles Havzası'nın doğal alandan kentsel alana

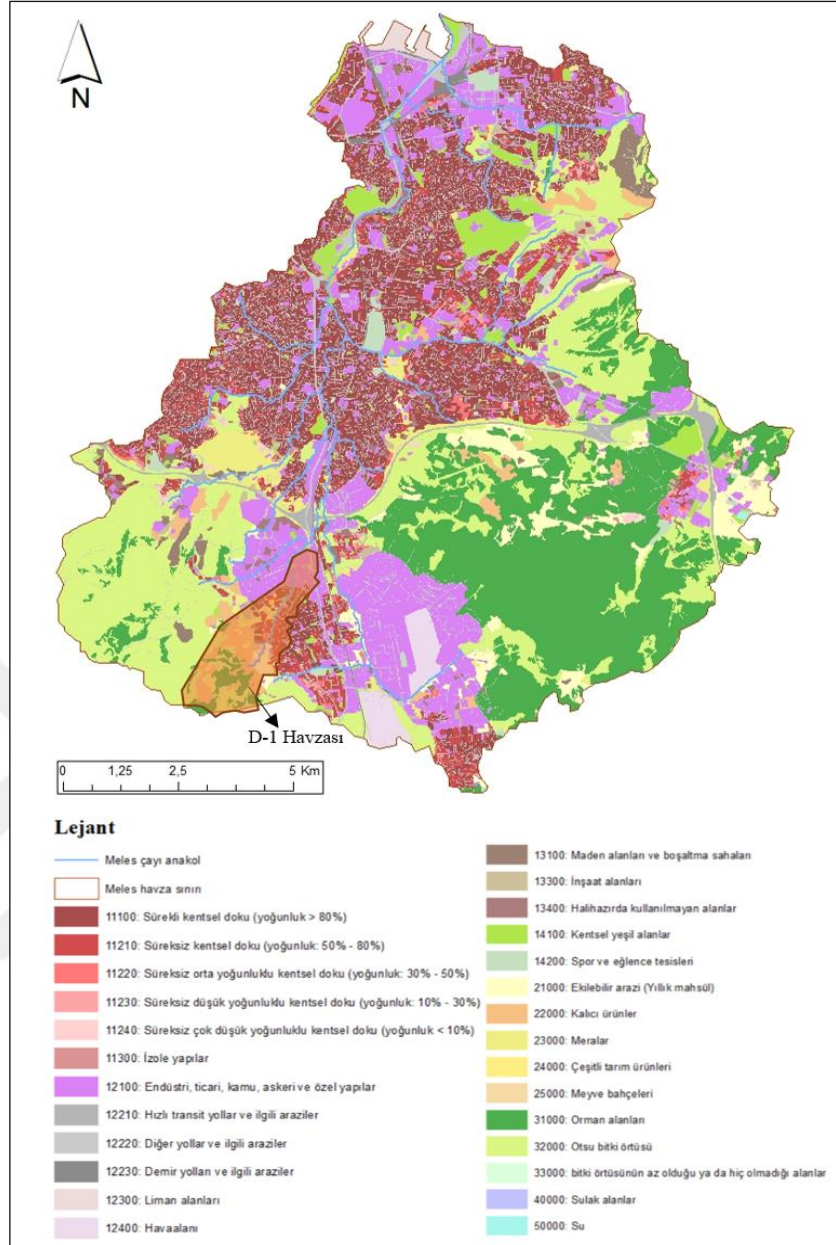
geçiş yaptığı ve Meles Çayı'na su taşıyan bir kolu çevresinde yer almaktadır. Toplamda 553 hektarlık bir alanı kapsar. Bu mikro havza hem doğal hem de insan etkisi altında olan özelliklere sahiptir. Havza içinde tarım arazileri, yeşil alanlar, orman alanları, sanayi bölgesi ve yerleşim bölgeleri gibi çeşitli arazi kullanımı özellikleri bulunmaktadır. Bu kullanımlar, havzanın hidrolojik dengesi üzerindeki etkilerin anlaşılması açısından kritiktir. D-1 havzası, Meles Çayı'na su taşıyan bir kol olması nedeniyle su yönetimi ve drenaj açısından kritik bir rol oynamaktadır.



Şekil 3.2. Meles havzası ve D-1 mikro havzası.

3.1.1. Meles havzası arazi kullanımı

Meles Havzası, İzmir'in merkezine yakın konumunda bulunan bölgedir. Bu havza, Meles Çayı'nın çevresinde yer almakta olup tarih, kültür, sanat ve doğal güzellikleriyle bilinmektedir. Meles Nehri, antik Roma döneminden beri bölgenin önemli su kaynağı olarak varlığını sürdürmekte ve İzmir Körfezi'ne dökülmektedir (Özeren Alkan ve Kaplan, 2013).



Şekil 3.3. Meles havzası arazi kullanım haritası (Urban atlas 2018 ve ArcGIS 2023 ile oluşturulmuştur).

Havza içerisinde, özel konut bölgeleri, resmî kurumlar, kent parkları, mahalle parkları, otoyollar ve otoparklar gibi farklı kullanım alanları bulunmaktadır. Bu alanları yüzey akış katsayılarına göre sınıflandırılmıştır. Havzanın genel hesaplamalarına göre, %40.59 geçirimsiz (asfalt, beton ve çatı yüzeyleri), %59.41 geçirimli yüzeylerden (orman alanı, parklar, toprak alanlar) oluştuğu görülmektedir (Şekil 3.3). Meles havzası içerisinde bulunan kentsel yerleşim bölgesini kapsayan alan 141.36 km²'dir. Kentsel yerleşim bölgesine

(**Tablo 3.1**) düşen yıllık toplam su potansiyeli 65.66 hm³/yıl (65.000.000m³/yıl) 'tür.

Tablo 3.1 Meles havzası geçirimli, geçirimsiz alanlar ve su potansiyelleri

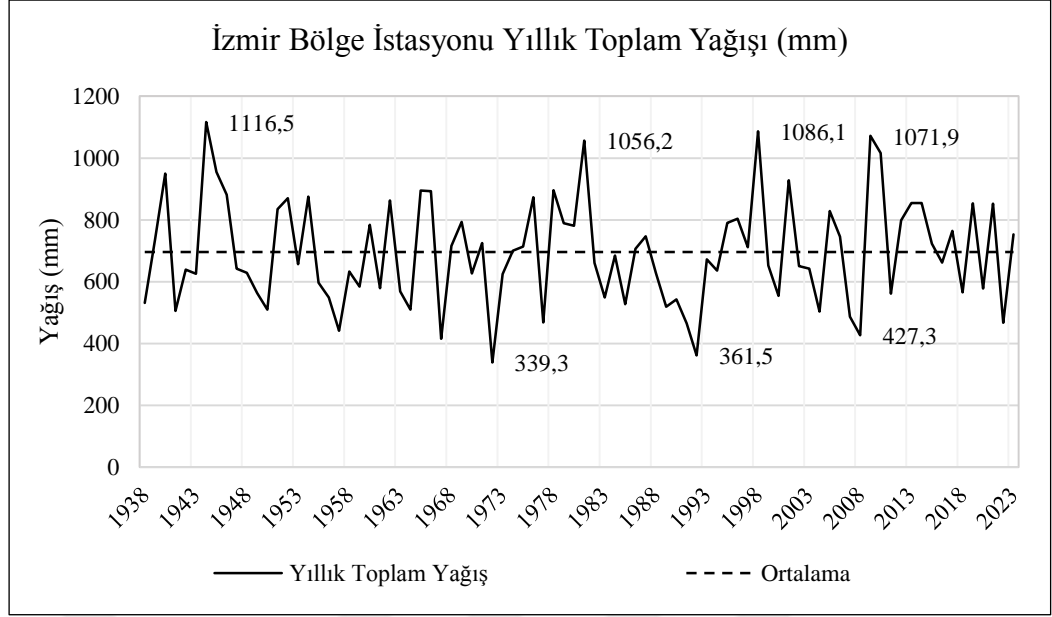
MELES HAVZASI	Çatı	Yol	Yeşil Alan	Diğer Geçirimsiz Alanlar	Toplam
Alanlar (km²)	26.76	15.33	5.74	22.85	70.68
Su₃ Potansiyeli (hm³/yıl)	16.81	8.56	1.40	6.06	32.83

Meles havzası kentsel yerleşim bölgeleri dışında kalan 18,64 km²'lik bölümü orman ve tarım alanlarından oluşmaktadır.

3.1.2. İklim ve bitki örtüsü

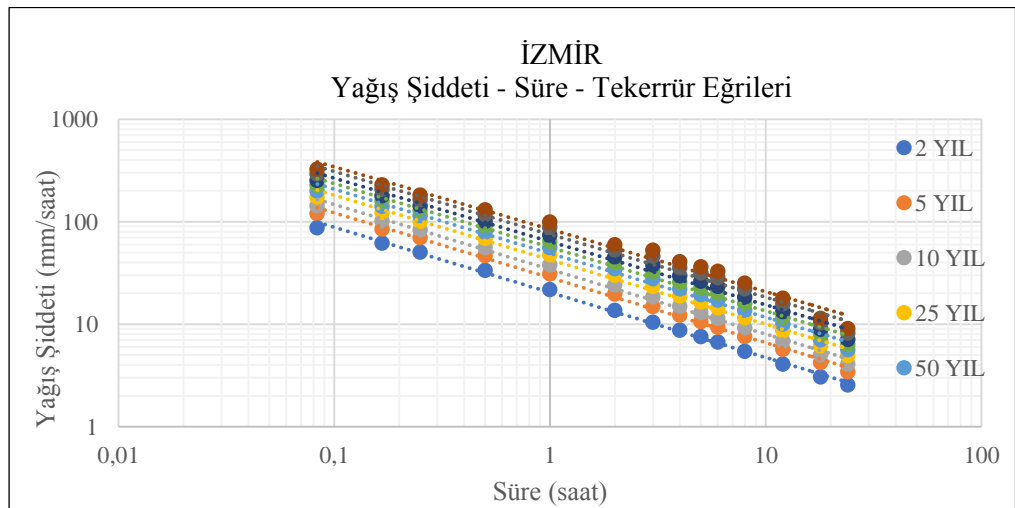
İzmir, Akdeniz ikliminin etkisinde bir kenttir ve rakım 0 ile 1200 m arasında değişmekte olup, yazları kurak kışları yağışlı geçmektedir (Salata ve Arslan, 2022). Maki bitki örtüsü, vadiler boyunca iç kısımlara doğru ilerler. Genellikle sıcaklık isteği yüksek türlerden oluşan kuru ormanlar, çöküntü alanları arasında yükselen platoluk bölgelerde yaygın olarak bulunur (Aydınözü, 2007).

İzmir ilini temsil eden tüm meteoroloji istasyonlarında 1938-2023 döneminde ölçülen günlük toplam yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'nden temin edilmiştir (**Şekil 3.4**). İzmir Bölge İstasyonu verilerine göre, İzmir ili 1938-2023 dönemi yıllık toplam yağış değerleri ortalaması 695.66 mm'dir. Bu çalışmada MGM'den temin edilen standart sürelerde (1 saatten 24 saate kadar) gözlenen 2 yıl tekerrürlü 24 saatlik maksimum yağış verileri kullanılmıştır.



Şekil 3.4 İzmir bölge istasyonu ortalama yağışları 1938-2020 aralığı (MGM, 2023).

İzmir Bölge İstasyonu'nun 1938-2021 dönemi için standart süreli maksimum yağış (mm) verileri MGM'den temin edilmiştir (Şekil 3.5). 5 dakikadan 24 saate kadar farklı süreler için ölçülen maksimum yağışların Log-Pearson III dağılımına uyduğu kabul edilmiş ve 2 yıldan 50 yıla kadar farklı tekerrür aralıkları için yağış yükseklikleri (mm) elde edilmiştir.

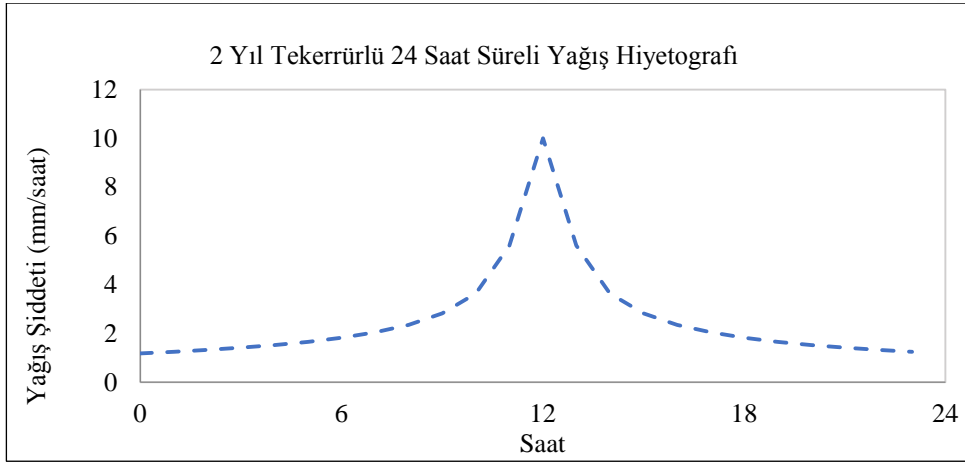


Şekil 3.5 Yağış şiddeti, süre ve tekerrür eğrisi.

İzmir Bölge istasyonu için yağış şiddeti-süre-tekerrür bağıntısı Bernard (1932) yöntemine göre hesaplanmış olup, aşağıda verilmiştir. Burada T tekerrürü, t yağış süresini temsil etmektedir. Burada a, b ve c bölgesel katsayılarıdır (a=19.756, b=0.218, c=0.624).

$$i = \frac{aT^b}{t^c}$$

İzmir ili için yağış hietografı elde edilmiştir. 2 yıl tekerrür aralıklı ve 24 saat süreli yağışların hietografı aşağıda verilmiştir (**Şekil 3.6**).



Şekil 3.6 İzmir bölge istasyonu yağış hietografı (MGM, 2023).

D-1 mikro havzası için hesaplanan yağış verileri SWMM programına, bir günde saatlik karşılık gelen değerler entegre edilmiştir (**Şekil 3.7**). **Bölüm 4.2**'de simülasyon çalışması başlatılarak saatlik yağış verilerinin yüzey akışlarında meydana gelen değişiklikler gösterilmektedir.

Time Series Editor

Time Series Name
2y24h

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
	00:00	0.000
	01:00	1.222
	02:00	1.293
	03:00	1.377
	04:00	1.476
	05:00	1.597
	06:00	1.748
	07:00	1.942
	08:00	2.206
	09:00	2.591
	10:00	3.230
	11:00	4.621

View

OK

Cancel

Help

Şekil 3.7 SWMM zaman serisi editörü ekranı.

3.1.3. Yüzey kaplama türleri

Meles havzası ve D-1 mikro havzasında, geçirimli yüzeyler olarak bilinen alanlar, yağmur sularının toprağa sızmasına izin verirken, geçirimsiz yüzeyler genellikle yağmur sularının toprağa geçişini engelleyerek yüzey akışlarını neden olmaktadır. Bu bağlamda geçirimli ve geçirimsiz alanlar olarak ayırım yapılmıştır. Geçirimli yüzeyler genellikle yeşil ve toprakla kaplı alanları içerirken, geçirimsiz yüzeyler genellikle beton, asfalt ve çatı gibi yüzeyleri kapsar. Bu iki grup incelenerek, yağmur sularının akış davranışı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir (Thompson, 2006).

Tablo 3.2 Yüzey kaplamalarına göre akış katsayıları. Thompson (2006); Ardıçlıoğlu (2018)'den uyarlanmıştır.

Yüzey Kaplamaları	Akış katsayıları
Yapılaşmış Alanlar	
Asfalt ve Beton Yüzeyler	0,70-0,95
Tuğla Yüzeyler	0,70-0,85
Çatı Yüzeyler	0,75-0,95
Bitki ile Kaplı Kumlu Toprak Alanlar	
Düz %2 Eğimli	0,05-0,10
Düz %2-7 Eğimli	0,10-0,15
Düz %7eğimli	0,15-0,20
Bitki ile Kaplı Ağır Toprak Alanlar	
Düz %2 Eğimli	0,13-0,17
Düz %2-7 Eğimli	0,18-0,22
Düz %7eğimli	0,25-0,35
Orman Alanlar %2-7 Eğimli	0,05-0,20

Akış kat sayıları, yağmur sularının belirli bir alandan nasıl akacağını ve suyun akış hızını belirlemede kullanılan önemli bir parametredir. Bu nedenle, çalışma alanındaki geçirimli ve geçirimsiz yüzeylerin oranlarının doğru bir şekilde belirlenmesi, su yönetimi stratejilerinin etkili bir şekilde geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. **Tablo 3.2** 'de görüldüğü gibi geçirimsiz yüzeylerin (asfalt yüzeyler, çatı yüzeyleri) akış katsayıları yüksek, toprak ve bitki ile kaplı geçirimli yüzeylerin ise az olduğu görülmektedir.

3.1.4. D-1 mikro havzası ve jeolojik formasyonları

D-1 mikro havzası Gaziemir ilçe sınırlarında yer alan, 553 ha yüz ölçümüne sahip bir mikro havzadır. Havza içerisinde, kentsel yerleşim yerleri, tarım arazileri, parklar, ormanlar ve endüstri bölgesi gibi farklı arazi kullanımları mevcuttur ve bu kullanım alanları yağış suyunun infiltrasyon hızını etkileyen faktörlerdir. Çalışma alanına düşen yağış suyu, havza boyunca yüzey akışa geçerek Meles çayına, dolayısıyla İzmir körfezine ulaşmaktadır. Yağış suyu tesislerinin, jeolojik formasyonlar ile infiltrasyon performanslarını değerlendirmek, tesislerin sürdürülebilirliği açısından önemlidir. Havza içinde ağırlıklı olarak Miyosen yaşlı Kumtaşı Çamurtaşı Kireçtaşı ardalanmaları ve bunları uyumsuz üzerleyen güncel Alüvyon çökelleri bulunmaktadır (Atay Kahraman, 2023). Yapılan araştırmalara göre yüzeyde bu formasyonların ayrışma ürünlerinin ve güncel alüvyonların Killi kumlu sedimanlar şeklinde gözlemlendiği tespit edilmiştir (MTA, 2023) (**Şekil 3.9**). Bu bağlamda zemin sızma değerleri **Tablo 3.3**'de verilmiştir.

Tablo 3.3. D-1 havzası farklı zemin türleri için sızma kapasitesi değerleri (Atay Kahraman, 2023)

Zemin Cinsi	Sızma kapasitesi (mm/saat)	İnfiltrasyon sınıfı
Kil, Silt	<1	Çok Az
Killi Silt	1-5	Az
Kumlu Silt	5-20	Az- Orta Arası
İnce Kum	20-63	Orta
Orta-İri Kum	63-127	Orta – Yüksek Arası
İri Kum – İnce Çakıl	127-254	Yüksek
İri Çakıl	>254	Çok Yüksek

Yağış esnasında birim zamanda zeminden süzülen su miktarına sızma hızı denir (

Şekil 3.8). Sızma hızı; bitki örtüsünün dağılımı ve türü, yüzeyin durumu, sıcaklık, yağışın şiddeti, toprağın fiziksel özellikleri ve su kalitesi gibi birçok faktöre bağlıdır (Yolcubal, 2024). Horton yöntemi, yağmur suyu akışını

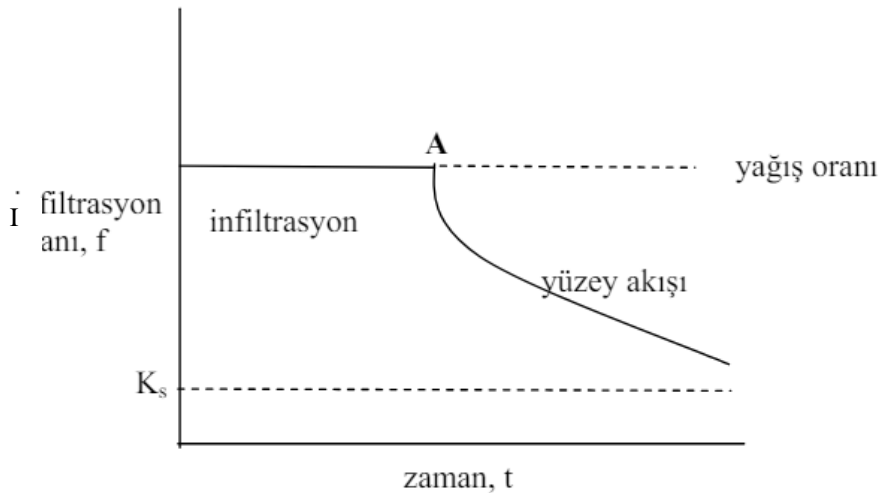
matematiksel olarak modellemek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, yağmurun yüzeyde birikmesi, infiltrasyonla toprak altına geçmesi ve bu süreçlerin zamanla değişimi üzerine kurulmuştur. Horton, yağışın şiddetine bağlı olarak toprakta suyun emilme hızının değiştiğini öne sürmüştür. Bu modelde, yağışın süresi ve yoğunluğu, toprak özellikleri ve bitki örtüsü gibi faktörlerin infiltrasyon hızını nasıl etkilediği dikkate alınır (Rossman, 2015). Horton sızma modeli için kullanılan temel formül şu şekildedir:

$$I = I_{max} - (I_{max} - I_{min}) e^{-kt}$$

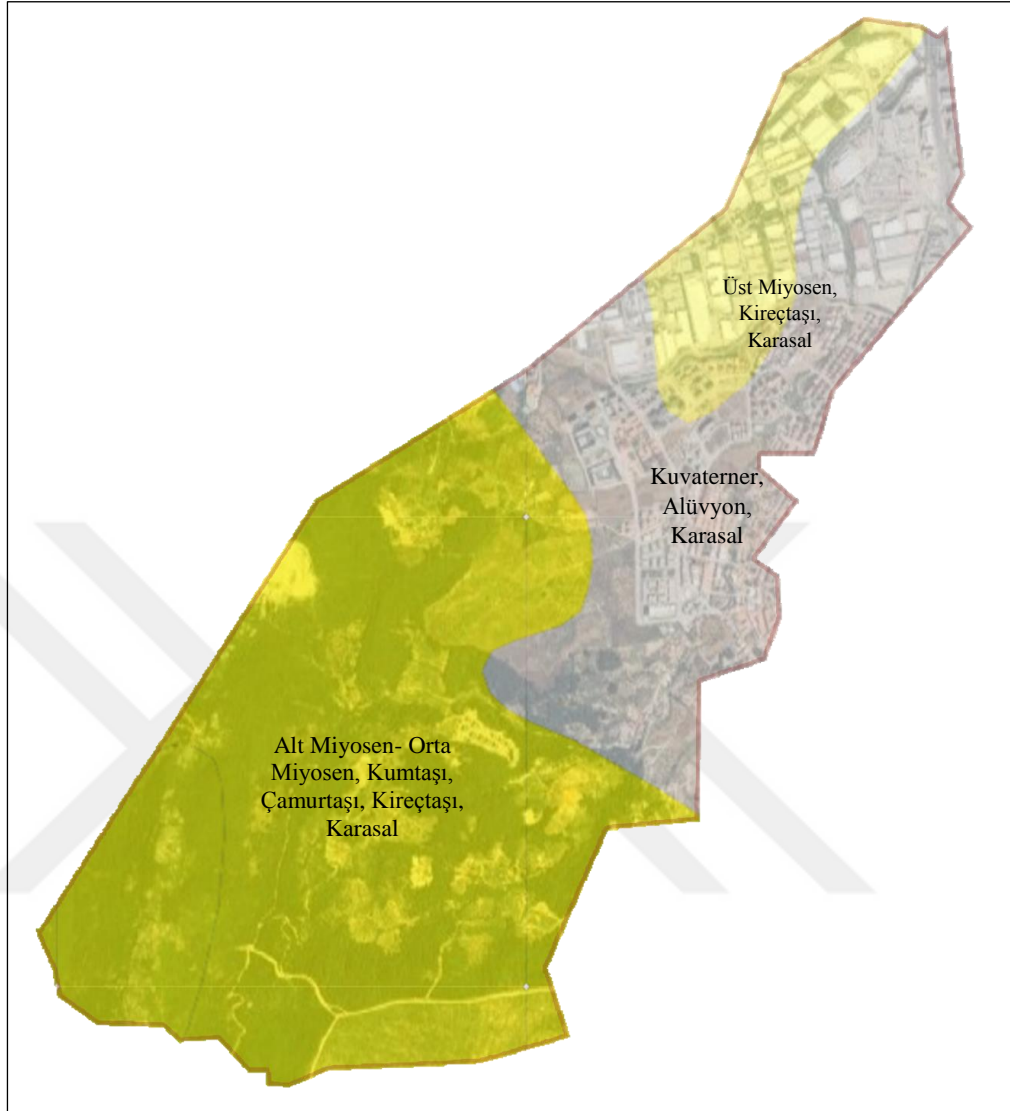
Burada:

- I = Sızma oranı (mm/saat)
- I_{max} = Maksimum sızma hızı (mm/saat)
- I_{min} = Minimum sızma hızı (mm/saat)
- k = Çürüme oranı (1/saat)
- t = Zaman (saat)
-

Bu formül, sızma hızının zamanla nasıl değiştiğini gösterir. Başlangıçta sızma hızı maksimum değerde başlar (I_{max}), ancak zamanla toprağın doygunluğa ulaşması ve sızma hızının azalması (e^{-kt} ifadesi) nedeniyle azalır. I_{min} minimum sızma hızını temsil etmektedir ve yağmur durduğunda veya toprak doygunluğa ulaştığında sızma hızının bu değere düşeceğini belirtmektedir (Yolcubal, 2024).



Şekil 3.8 Belirli bir yağış şiddeti için infiltrasyon oranının zamana göre değişimi (Yolcubal, 2024).

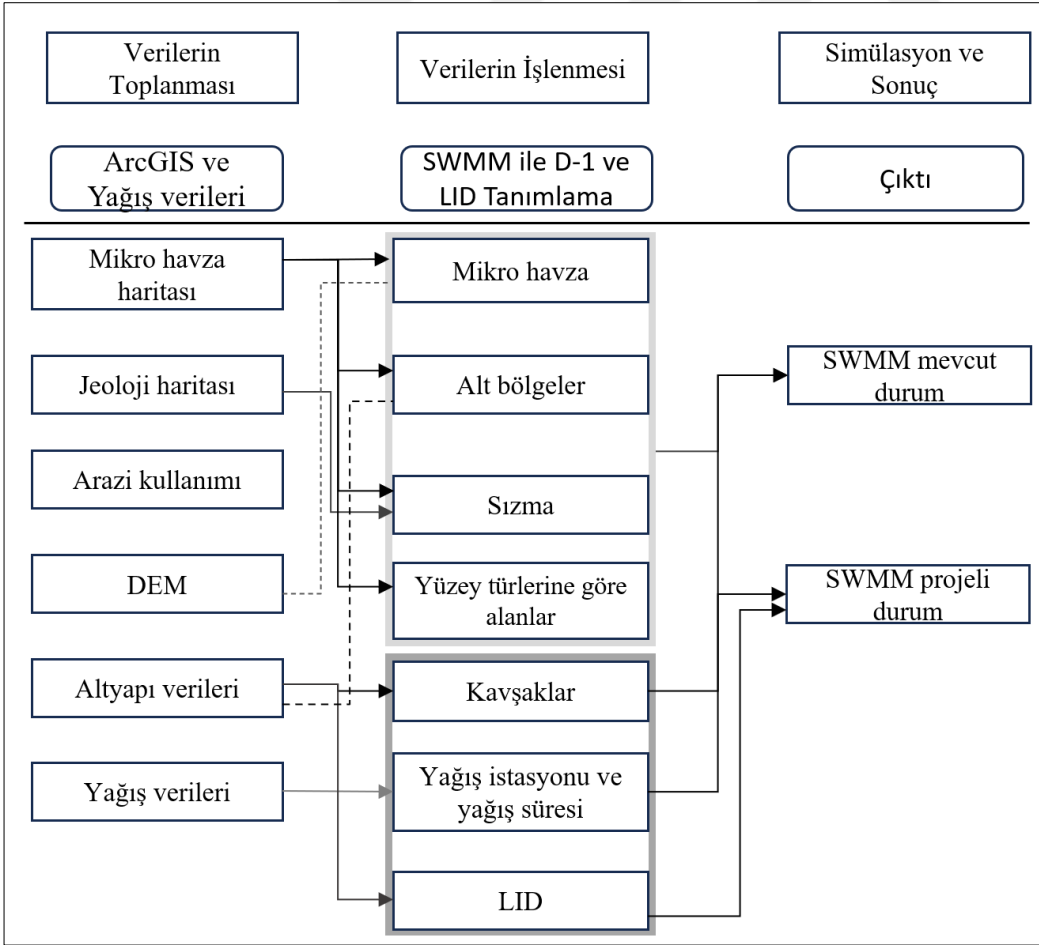


Şekil 3.9 D-1 Havzası jeolojik formasyonlar (MTA, 2023)

D-1 havzası için jeolojik formasyonlar incelendiğinde ve farklı zemin türlerindeki değerler karşılaştırıldığında, Horton eğrisinden elde edilen minimum ve maksimum sızma oranı (mm/saat) doymuş zeminin hidrolik iletkenliğine eşdeğerdir (Rossman, 2015) ve 5-60mm/saat değerleri alınmıştır (**Tablo 3.3**). Horton eğrisi için sızma oranı azalma sabiti (decay constant) (1/saat) tipik değerleri 2 ile 7 arasındadır (Rossman, 2015) ve SWMM için önerilen değer alınmıştır. Tamamen doymuş bir toprağın tamamen kuruması için geçen süreyi (gün) (Drying Time) (Rossman, 2015) ifade etmektedir ve 2 gün olarak alınmıştır.

3.2. Araştırma Yöntemi

Araştırma yönteminde ArcGIS ve SWMM programları ile çeşitli analizler yapılmıştır. Öncelikle ArcGIS programı kullanılarak arazi kullanımı, eğim, jeoloji, yükselti ve akış analizi haritaları oluşturulmuştur. Arazi kullanım durumu ve altyapı verileri potansiyel yağış suyu tesislerinin en uygun konumlarının belirlenmesi amacıyla oluşturulan haritalar ile detaylı bir analize tabi tutulmuştur. Meteorolojik istasyonlardan elde edilen 2 yıl tekerrürlü 24 saatlik yağış verileri SWMM (Storm Water Management Model) için uygun formata dönüştürülmüştür (Rossman, 2015). Tüm bu veri ve analizler, suyun havzada akış miktarını modellemek için temel girdi sağlamıştır. Elde edilen verilerin önemli bir bölümü, mikro havza (D-1) düzeyinde manuel olarak SWMM programına entegre edilerek simülasyon sonucunda mevcut durum ile projeli durum yağış potansiyeli ve yüzey akış azaltma performansı sonucuna ulaşılmıştır (**Şekil 3.10**).



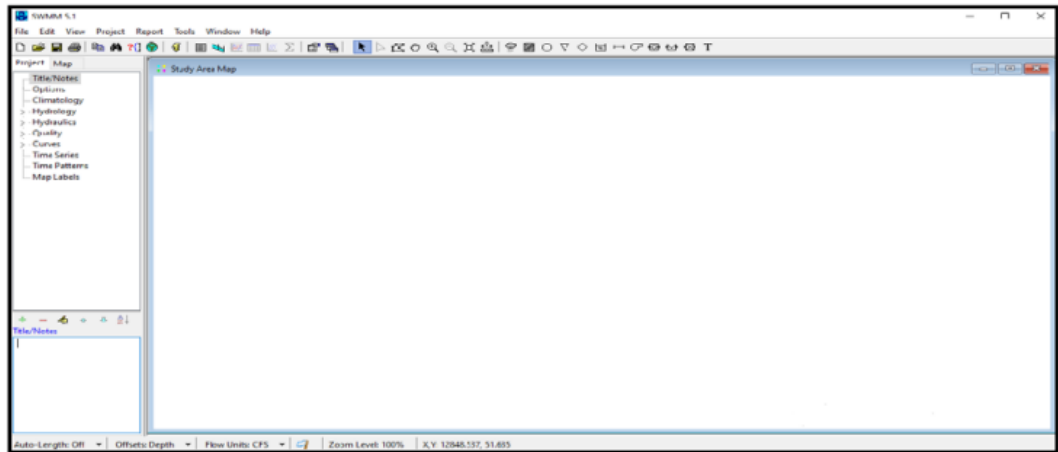
Şekil 3.10. Çalışmada izlenen yöntem akış şeması.

3.2.1. Yağmur suyu yönetim modeli (SWMM)

1971 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde geliştirilen “Yağmur Suyu Yönetim Modeli (SWMM)”, başlıca kentsel bölgelerden kaynaklanan yağışın akış miktarı ve kalitesinin hem tek olaylı hem de uzun vadeli (sürekli) simülasyonları için kullanılan dinamik bir yağış-akış simülasyon modelidir (Rossman, 2004).

SWMM, birden fazla zaman adımından oluşan bir simülasyon süresi boyunca her bir mikro havzada üretilen akışın miktarını ve kalitesini ve her bir boru ve kanaldaki suyun akış hızını, akış derinliğini ve kalitesini izler (Gülbaz, 2010). Bunlar şunları içerir:

- Zamanla değişen yağış
- Biriken yüzey suyunun buharlaşması
- Yağışın doymamış toprak katmanlarına sızması
- Sızan suyun yeraltı suyu katmanlarına süzülmesi
- Yer altı suyu ile drenaj sistemi arasındaki akış
- Karasal akışın doğrusal olmayan rezervuar yönlendirmesi
- Çeşitli düşük etkili geliştirme yöntemleriyle yağış/akıntının yakalanması ve tutulması (LID) uygulamaları (Rossman, 2004).



Şekil 3.11 Yağmur Suyu Yönetim Modeli (SWMM 5.2) ana ekran görüntüsü.

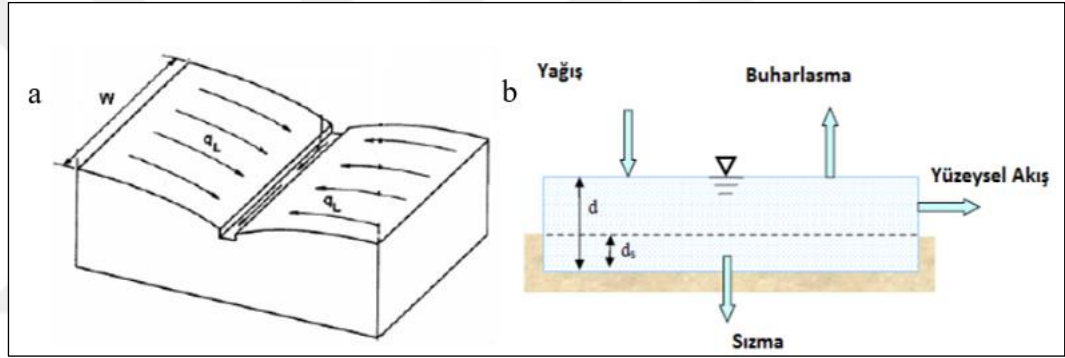
Program, sızma hesaplamaları için Entegre Horton Metodu, Green-Ampt Metodu veya SCS Eğri-Numarası Metodu gibi üç farklı seçenek sunar (Dinçer, 2022). Ayrıca, yağmur bahçeleri, yeşil çatılar, geçirimli döşemeler, yağmur varilleri, sarnıçlar, biyolojik hendekler ve diğer LID bileşenlerini etkili bir şekilde modelleyebilmektedir (EPA, 2014a). Yapılan çalışmada sızma hesaplamaları için entegre Horton metodu tercih edilmiştir. Bu metodun tercih edilme sebebi, yağışın topraktaki maksimum sızma oranı ile başlayıp, minimum sızma oranına ulaşıncaya kadar devam etmesidir. Toprak doygunluk seviyesine ulaşıncaya ve yüzey akışa geçen suyun hesaplamalarını detaylı olarak göstermektedir (Rossman, 2004). Bu çalışmada **Bölüm 3.1.4**'de yapılan araştırma sonucunda çıkan Horton değerleri kullanılıp, entegrasyonu **Bölüm 4.2**'de gösterilmiştir.

SWMM modeli ile yağışta yere düşen miktarın (yağmur suyu ve/ veya kar) sızma, buharlaşma gibi süreçlerden kalan miktarının yüzeysel akış ile drenajının hesabı yapılmaktadır. SWMM ile yağışın toplandığı havza birden fazla mikro havzaya bölünebilmekte ve bu şekilde alt bölgelere farklı hidrolojik kullanım amacı atanabilmektedir (Cebe ve İnan, 2020). Bu alt bölgeler programda S=Subcatchment, alanların su akış kollarının bir araya geldiği düğümlerini J=JunctionNode (J1, J2, J3.....J8) ve havza çıkış düğümlerini O= Outfall (O1) olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. D-1 mikro havzasının 11 alt bölgesi (S1, S2, ...S11).

SWMM yüzeysel akımın hesabı için doğrusal olmayan bir rezervuar modeli kullanır. Doğrusal olmayan rezervuar modeli tanımına göre, mikro havzada yağışla (yağmur, kar vb.) gelen su miktarında buharlaşma ve sızma sonucu kayıplardan kalan miktarın göllenme oluşturduğu kabulü yapılmaktadır (Rossman, 2015). Mikro havzada oluşan göllenmedeki suyun baskılanan depolama derinliği üzerinde kalan kısmı yüzeysel akışa geçmektedir. **Şekil 3.13**'te görüldüğü gibi model, mikro havzayı uniform S eğimine sahip, W ortalama genişliğinde bir arazi olarak varsayarak, yüzeyde oluşan yüzeysel akışın bir drenaj havzasına aktarıldığı kabulleri ile hesap yapmaktadır (Cebe ve İnan, 2020).



Şekil 3.13 Mikro havza (a) ve doğrusal olmayan mikro havza rezervuar modeli (b) (Cebe ve İnan, 2020; Rossman, 2015).

Kütlenin korunumu denkleminde göre t zamanında d derinliğindeki net değişim, mikro havzadaki girdilerin ve çıktılarının arasındaki farka eşittir. (Rossman, 2015).

3.2.2. Yağış Suyu Yüzey Akışlarını Belirlemede Kullanılan Parametreler

SWMM parametrelerinin doğru bir şekilde girilmesi, gerçekçi bir simülasyon çalışması için kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, havzaların alan miktarları (hektar), geçirimli ve geçirimsiz alan yüzdeleri, eğimleri ve maksimum kara akış genişlikleri (metre) gibi parametreler, ArcGIS yazılımı kullanılarak sayısal yükseklik modeli ile belirlenmiş ve ilgili değerler manuel olarak programa girilmiştir. Geçirimli ve geçirimsiz alanlar için program tarafından belirlenen manning n değerleri kullanılmıştır. Ayrıca, alan içinde bulunan yağmur suyu drenaj kanalları çok az olduğu için bu faktör göz ardı edilmiştir. Bu durum, drenaj kanallarının etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğunu ve modelleme sonuçlarını önemli ölçüde etkilemeyeceğini göstermektedir. Bu nedenle, drenaj kanallarının modellemeye dahil edilmemesi uygun görülmüştür.

İzmir ilini temsil eden tüm meteoroloji istasyonlarında 1938-2023 döneminde ölçülen günlük toplam yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'nden temin edilmiştir. İzmir Bölge İstasyonu verilerine göre, İzmir ili 1938-2023 dönemi yıllık toplam yağış değerleri ortalaması 662,8 mm ve 2 yıl tekerrürlü 24 saatlik yağış 61 mm'dir. Çalışmanın temel konusu olan yağış suyu tesisleri için kullanılacak parametreler, bilimsel çalışmalarda kullanılan değerler esas alınarak belirlenmiştir.

Bu arazi verileri ve meteorolojik girdiler, D-1 Mikro havzasında, 553 (5,53km²) hektarlık bir alanın yağmur suyu yüzey akışlarının analiz edilmesi amacıyla SWMM yazılımına girilmiş ve yağış suyu tesislerinin etkinlikleri değerlendirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

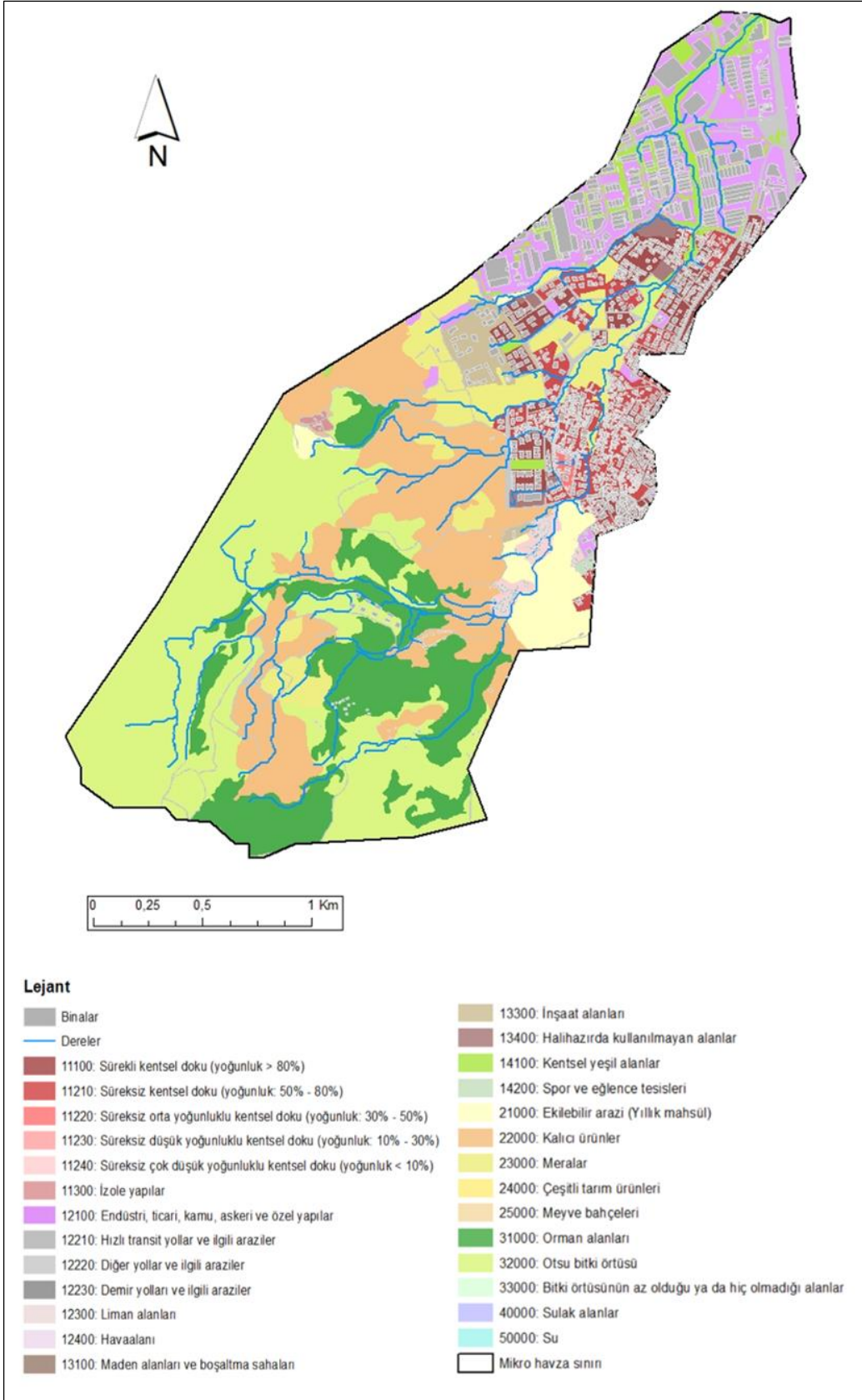
4.1. D-1 Mikro Havzasına Ait Analizler

4.1.1. Arazi kullanımı

D-1 mikro havzasında sanayi, park, orman, tarım ve konut alanı gibi arazi kullanımlarına göre ayrılmıştır ve (Alanların büyüklükleri, eğimleri, kara akış uzunlukları, geçirimli alan oranları, geçirimsiz alan oranları ve su potansiyelleri) ArcGIS yazılımı kullanılarak analiz edilerek, alanlar hesaplanmıştır (**Şekil 4.1**). **Tablo 4.1.**'de ArcGIS yazılımında oluşturulmuş zemin analiz hesaplamaları ve yağış suyu potansiyelleri göstermektedir.

Tablo 4.1 D-1 havzasına ait arazi kullanım verileri ve su potansiyelleri analiz tablosu.

2 yıl tekerrürlü 24 saatlik yağış verilerine göre									
			Geçirimsiz		Geçirimli		Geçirimsiz alandan gelecek	Geçirimli alandan gelecek	Toplam Su potansiyeli
Adı	Yağış (mm)	Alan (m2)	Alan (m2)	Katsayı	Alan (m2)	Katsayı	Su pot (m3)	Su pot m3)	(m3)
Kentsel Alan	61	427.035	128.110	0,7	298.924	0,20	12.764	3.646	16.410
Sanayi ve Ticaret Alanı	61	482.517	386.013	0,8	96.504	0,20	18.837	1.177	20.014
Kentsel Yeşil Alan	61	50.876	0,00	0	50.876	0,20	0,00	621	621
Çatı Alanı	61	529.835	529.835	0,9	0,00	0	25.855	0,00	25.855
Yaya ve Araç yolu	61	523.889	523.889	0,8	0,00	0	3.808	0,00	3.807
Orman ve Tarım Alanı	61	3.514.717	0,00	0	3.514.717	0,20	0	42.879	42.879
TOPLAM		5.528.869	1.738.662		3.790.206		61.265	48.324	109.589
ORAN			31,45		68,55		55,90	44,10	



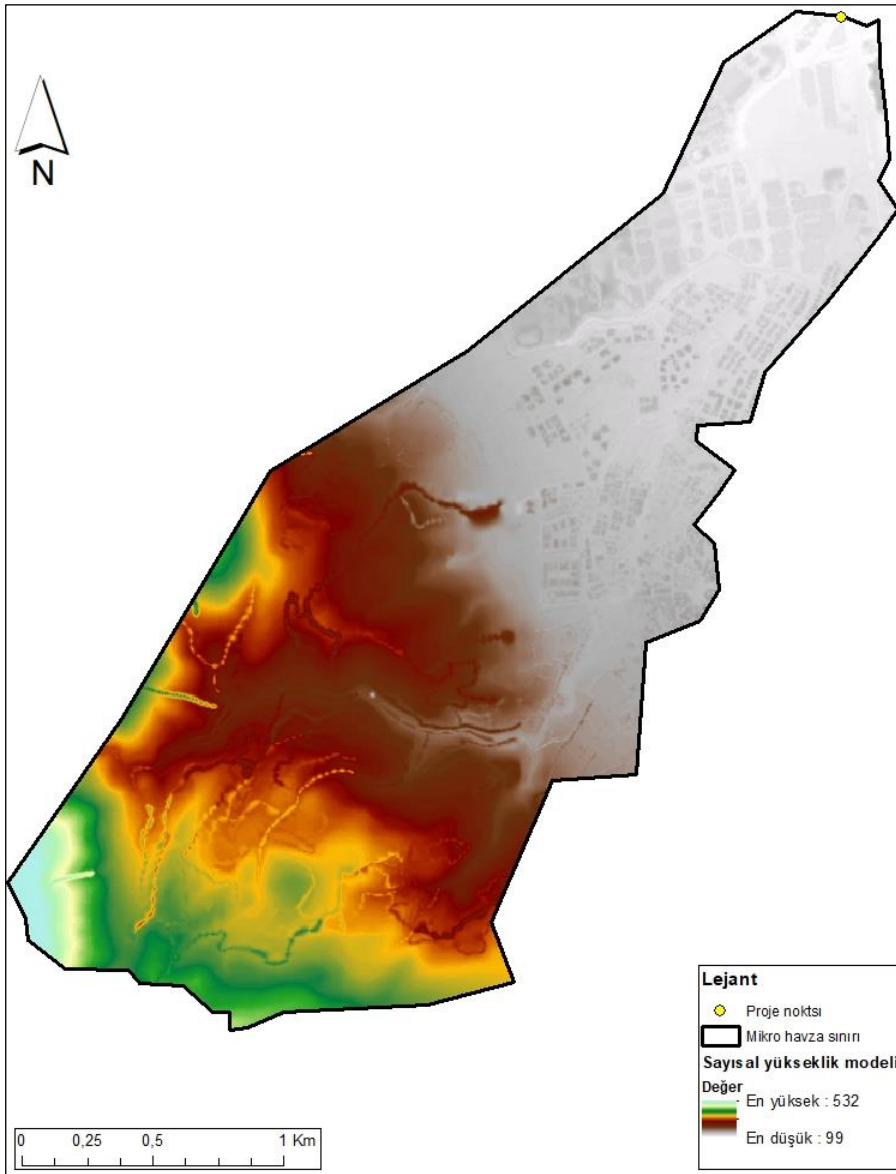
Şekil 4.1. D-1 mikro havzası arazi kullanım haritası (Urban atlas 2018 ve ArcGIS 2023 ile oluşturulmuştur).

Yapılan analizler sonucunda; Geçirimsiz alanlar olarak belirlenen kent yerleşim alanları, beton kaplanmış yollar, bina çatıları ve otoparklar gibi yapılaşmış bölgeleri içermektedir. D-1 havzası %31.45 oranı geçirimsiz olarak hesaplanmıştır. Bu oran içerisinde kent yerleşim yerlerinin 0.7 oranında geçirimsiz olarak kabul edilip, akış kat sayısı 0.7 olarak alınmıştır. Geçirimli alanlar ise, yeşil alanlar, çayırlar, ormanlar ve tarım arazileri gibi doğal veya düzenlenmiş alanlar olarak sınıflandırılmıştır. Havzanın %68.55'ini kapsamaktadır. Bu hesaplamalar sonucunda, geçirimsiz alanlardan gelecek su potansiyeli 61.265m^3 geçirimli alandan gelecek su potansiyeli ise 48.324m^3 'tür **(Bkz. Tablo 4.1)**.



4.1.2. Yükselti analizi

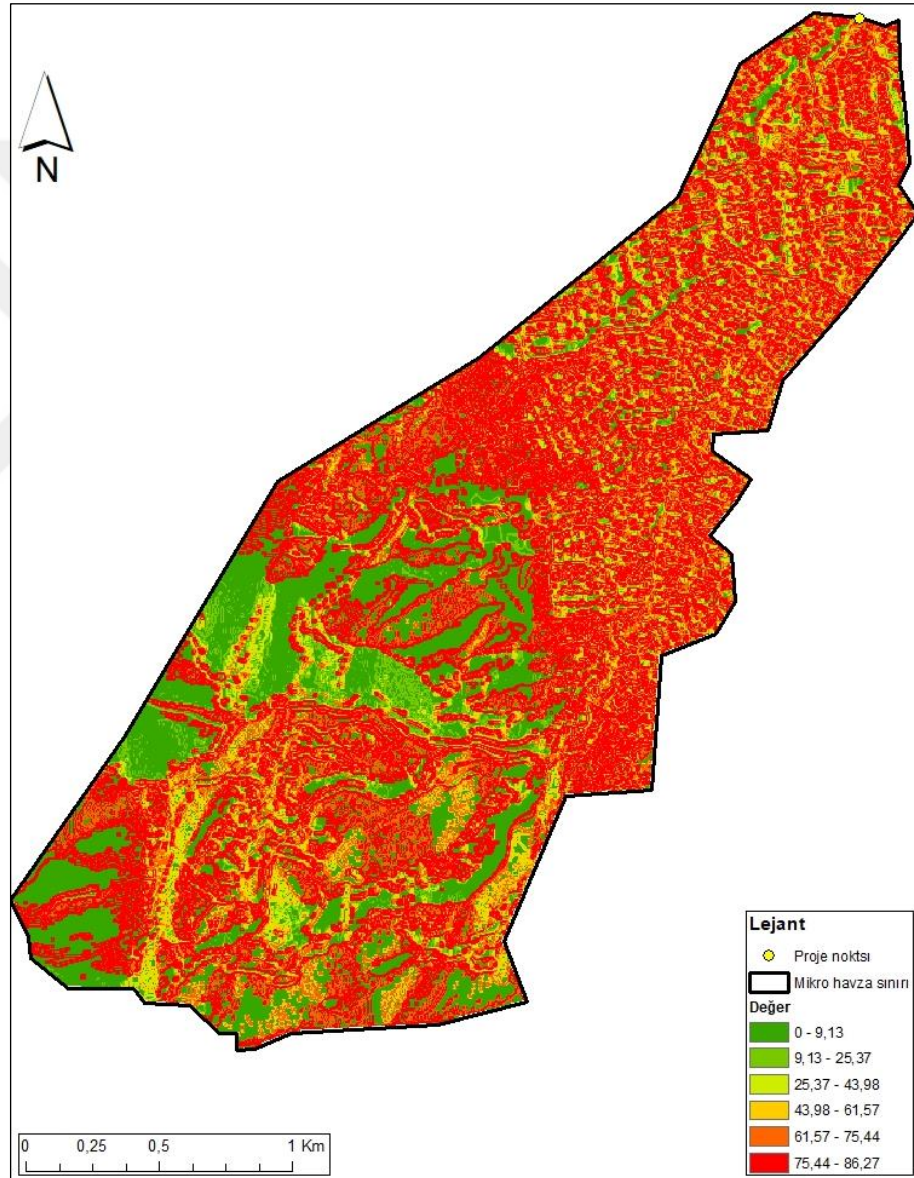
Yükselti analizine göre; çalışma alanının büyük bir kısmı 532-99m yükseltiye sahip alanlardan oluşurken, yükseltinin en fazla olduğu kısım 532m yükseklik ile orman bölgeleridir. Çalışma alanının en yüksek ve en alçak kısımları arasındaki yükselti farkı ise 432m ve en uzun akış kolu 1500m olarak tespit edilmiştir. **Şekil 4.2.** ArcGIS yazılımında oluşturulmuş alana ait yükseklik analiz görüntüsünü ifade etmektedir.



Şekil 4.2 Sayısal yükseklik modeli haritası.

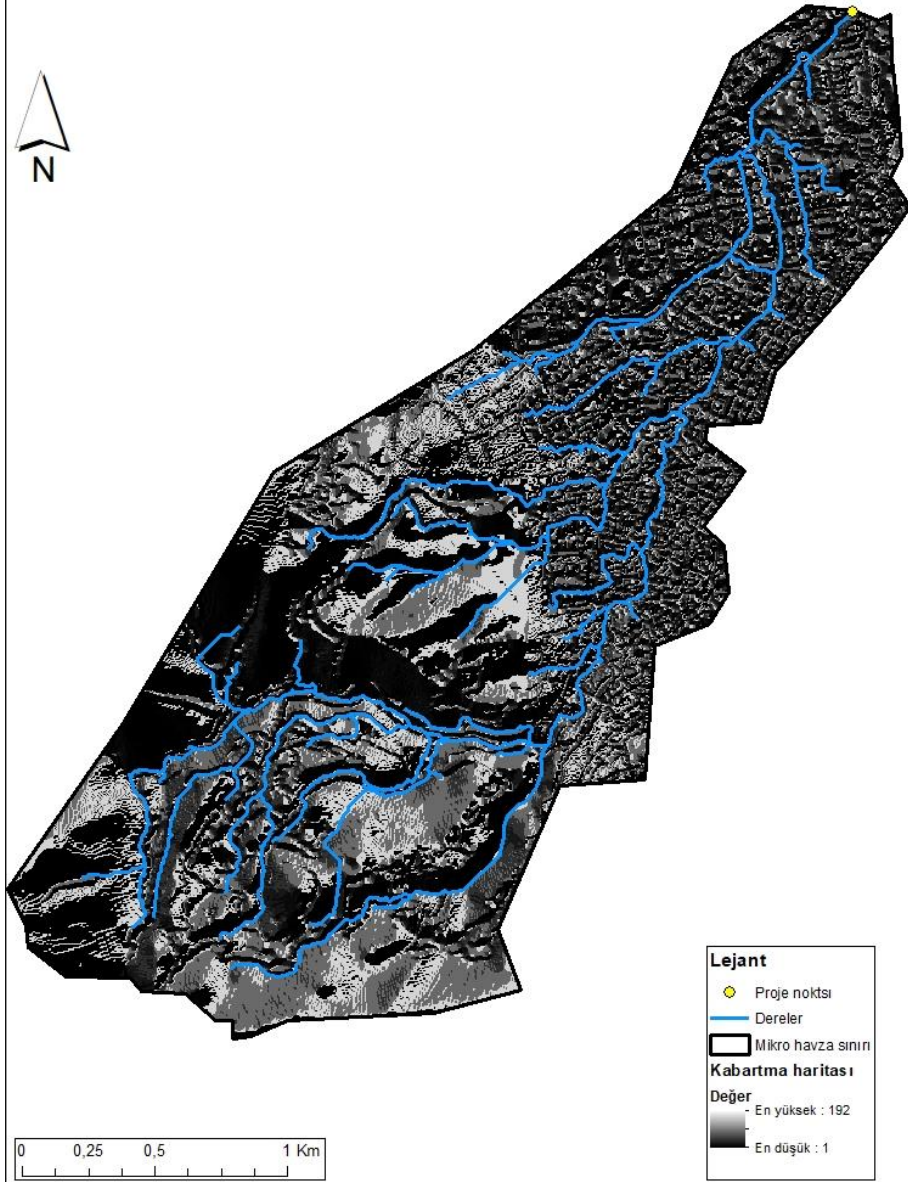
4.1.3. Eğim analizi

Eğim analizine göre, D-1 havzası içerisindeki yerleşim yerlerinin yoğun olduğu bölge ortalama %4.8 eğime sahiptir. Alanın en yüksek kısmı ile en alçak kısmı arasında ortalama %9.8 eğim olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.3 ArcGIS yazılımında oluşturulmuş alanın eğim analiz görüntüsünü ifade etmektedir.



Şekil 4.3 Eğim analizi haritası (%).

Sayısal yüksek modelliden türetilen kabartma haritası ile D-1 mikro havzasında suyun yeryüzündeki hareketini ve akışını anlamak, arazi yükseklik farklarını daha detaylı görmek için **Şekil 4.4** oluşturulmuştur.



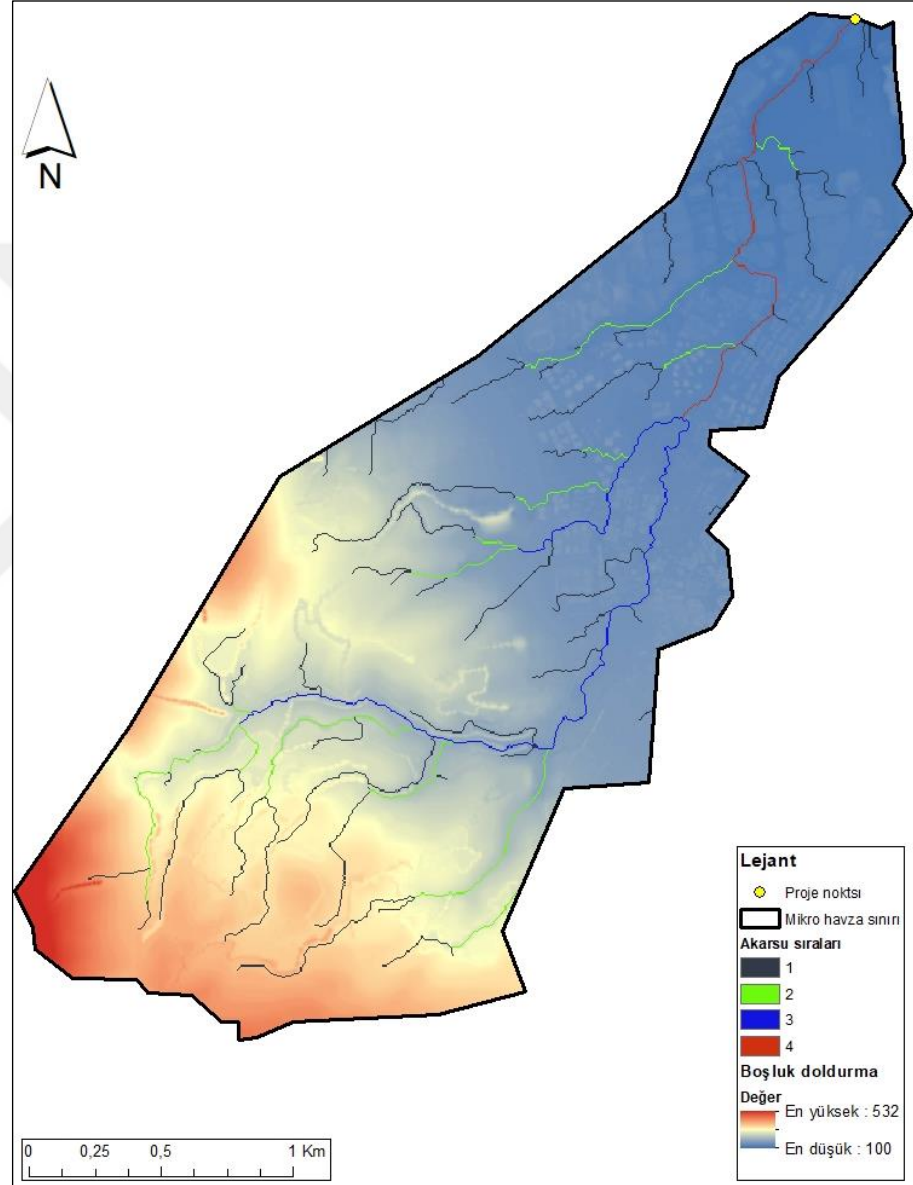
Şekil 4.4 Kabartma haritası.

D-1 havza için akış analizi 1/1000'lik hali hazır haritalardan türetilen sayısal yükseklik modeli (DEM) kullanılarak yapılmıştır. ArcGIS'te 'Hydrology' aracı kullanılarak sırasıyla aşağıdaki yöntemler uygulanmıştır:

- Boşluk Doldurma (Fill): DEM'deki düzensizlikleri gidermek için boşluk doldurma işlemi uygulanmıştır.
- Akış Yönlerinin Çıkarılması (Flow Direction): Suyun hangi yönde akacağını belirlemek için akış yönleri çıkarılmıştır.
- Eklenik (Kümülatif) Akışın Elde Edilmesi (Flow Accumulation): Akışın belirli bir noktada birikeceği miktarı gösteren kümülatif akış hesaplanmıştır.
- Akarsu Kollarının Bağlantılarının Oluşturulması (Stream Link): Akarsu kollarının birbirine bağlanması sağlanmıştır.
- Akarsu Kollarının Sıralanması (Stream Order): Akarsu kolları, hiyerarşik olarak sıralanmıştır.
- Akarsuların Oluşturulması (Stream to Feature): Akarsu ağının harita üzerinde oluşturulması sağlanmıştır.

Bu adımların ardından, ArcGIS'in 'Hillshade' aracı kullanılarak kabartma haritası oluşturulmuştur. Bu işlemler sayesinde D-1 havzasının hidrolojik özellikleri ve akış paternleri belirlenerek detaylı bir analiz gerçekleştirilmiştir.

şekilde birbirine bağlanmış ve **Şekil 4.6**'da gösterildiği gibi akarsu kollarının derecelerine göre ana kol veya yan kol olarak sıralanmıştır. Akarsu sıralaması ile en çok akış toplayan akarsu kolunu bulmak için oluşturulmuştur. Bu bağlamda yağış suyu tekniklerinin uygulamasında akış kolları temel oluşturmaktadır.



Şekil 4.6 Akarsu sıralaması haritası.

Bu çalışma, D-1 Mikro havzasında yağmur suyu yönetimi için önemli bir araç sağlar. 1/1000 ölçekli hazır haritalardan türetilen sayısal yükseklik modeli (DEM)

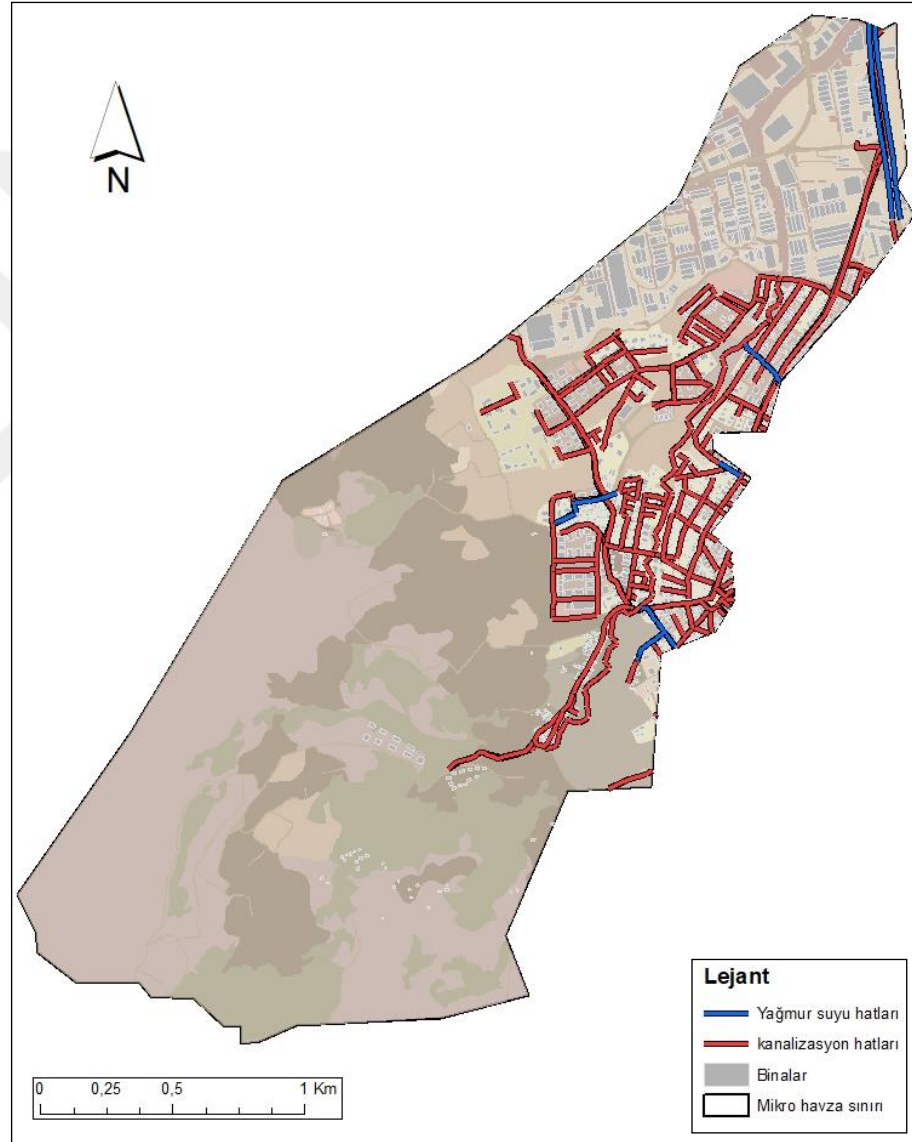
kullanılarak gerçekleştirilen akış analizi, suyun havzada nasıl hareket ettiğini ve akarsu sistemlerinin nasıl şekillendiğini anlamamıza yardımcı olur. ArcGIS'in 'Hydrology' aracı kullanılarak uygulanan yöntemler, yağmur suyu yönetimi için kritik öneme sahiptir;

- Boşluk Doldurma (Fill): Yükseklik verilerindeki düzensizlikleri gidererek daha doğru bir analiz sağlar. Bu adım, verilerin tutarlılığını artırır.
- Akış Yönlerinin Çıkarılması (Flow Direction): Hangi yönde suyun akacağını belirler. Bu bilgi, suyun havzada nasıl hareket edeceğini tahmin etmemize yardımcı olur.
- Eklenik (Kümülatif) Akışın Elde Edilmesi (Flow Accumulation): Akışın belirli bir noktada birikeceği miktarı gösterir. Bu, suyun toplandığı bölgeleri belirlememize olanak tanır.
- Akarsu Kollarının Bağlantılarının Oluşturulması (Stream Link): Akarsu sistemlerinin şekillendirilmesinde önemlidir. Bu adım, akarsu ağının nasıl oluşturulacağını belirler.
- Akarsu Kollarının Sıralanması (Stream Order): Akarsu sistemlerinin karmaşıklığını ve hiyerarşisini belirler. Bu, suyun akışını yönlendirme ve su yönetimi stratejileri geliştirmeye yardımcı olur.
- Akarsuların Oluşturulması (Stream to Feature): Akarsu sistemlerini haritalamak için kullanılır. Bu adım, akarsu yataklarının ve akış yollarının belirlenmesini sağlar.

Bu yöntemin kullanılması, Meles havzasında su yönetimi planlarının oluşturulmasına ve su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde yönetilmesine katkıda bulunur. Bu kollar üzerinde veya yakınında bulunan bölgelerde yeşil alt yapı tekniklerinin uygulanması için elverişli odak alanları tespit edilerek, müdahale noktaları ve uygulanacak yeşil alt yapı tekniklerine karar verilmiştir.

4.1.5. Çalışma alanına ait yağmursuyu altyapı verileri

D-1 havzasına ait alt yapı verileri incelendiğinde kanalizasyon hattı uzunluğu 29.291,40 m, Yağmur suyu hat uzunluğu ise 2.620,45 m olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.7). Bu analizler SWMM programında kavşak noktaları ve konumları, çıkış noktaları ve bağlantıları şeklinde aktarılmıştır.



Şekil 4.7 Yağmur suyu ve kanalizasyon hatları haritası.

4.1.6. Modellemede kullanılacak parametrelerin belirlenmesi

Çalışma alanının yağmursuyu altyapısına alternatif olarak 5 farklı yağış suyu tesisi (LİD) (yeşil çatı, yağmur bahçesi, geçirimli kaplama, yağmur varili ve biyolojik hendek) performansı üzerinde değerlendirme yapılmıştır. Bileşenlerin teknik değerleri belirlenirken referans değerler olarak Bai et al. (2019)' un yapmış olduğu LID bileşenlerinin kapsamlı performans değerlendirmesi modeli, Chui et al. (2016)'nın büyük yağış olayları karşısında LID uygulama tasarımlarının maliyet etkinliğinin değerlendirildiği çalışma, Guan et al. (2015)'in Güney Finlandiya'daki kentleşmiş bir havzada kalkınma öncesi akış rejimini eski haline getirmeye yönelik LID uygulamalarının değerlendirilmesi çalışma ve Rossman, L. ve Huber, W., (2016)'nın Yağmur Suyu Yönetim Modeli Referans Kılavuzu Cilt III – Su Kalitesi yayınındaki oranlar esas alınmıştır. Aşağıdaki tablolarda; **(Tablo 4.2)** yeşil çatılar, **(Tablo 4.3)** geçirimli kaplamalar, **(Tablo 4.4)** yağmur bahçeleri, **(Tablo 4.5)** yağmur varilleri ve **(Tablo 4.6)** biyolojik hendek için SWMM'de kullanılan parametreler ayrıntılı bir şekilde göstermektedir.

Tablo 4.2 Yeşil çatılar için kullanılan parametreler.

Yüzey Katmanı	Yüksekliği (mm)	Bitki Örtüsü Hacim	Yüzey Pürüzlülüğü		Yüzey Eğimi (%)	
		50	0.20	0.13		1
Toprak Katmanı	Kalınlık (mm)	Gözeneklilik	İletkenlik	Alan kapasitesi	Solma Noktası	Emme Başlığı
		500	0.50	0.10	0.30	10
Drenaj Katmanı	Kalınlık (mm)		Boşluk oranı		Pürüzlülük	
	20		0.43		0.03	

Tablo 4.3. Geçirimli kaplama için kullanılan parametreler.

Yüzey Katmanı	Sedde Yüksekliği (mm)	Bitki Örtüsü Hacim	Yüzey Pürüzlülüğü		Yüzey Eğimi (%)
	25		0	0.12	
Kum filtre Katmanı	Kalınlık (mm)	Gözeneklilik	İletkenlik	Alan kapasitesi	-
	10				
Kaplama katmanı	Kalınlık (mm)		Boşluk oranı	Geçirgenlik	-
	80				
Depolama katmanı	Kalınlık (mm)		Boşluk oranı	Sızıntı oranı	Tıkanma faktörü
	300				
Boşaltma katmanı	Akış katsayısı		Akış kuvveti	Ofset yüksekliği (mm)	-
	0.69				

Tablo 4.4. Yağmur bahçesi için kullanılan parametreler.

Yüzey Katman	Sedde Yüksekliği (mm)	Bitki Örtüsü Hacim	Yüzey Pürüzlülüğü			Yüzey Eğimi (%)	
	1		150	0.10	0.12		
Toprak Katman 1	Kalınlık (mm)	Gözeneklilik	İletkenlik (mm/h)	Alan kapasitesi	İletkenlik Eğimi	Solma Noktası	Emme Başlığı
	500						
Depolama Katman 1	Kalınlık (mm)		Boşluk oranı		Sızıntı oranı (mm/h)	Tıkanma faktörü	
	0		0.75			400	0

Tablo 4.5. Yağmur varili için kullanılan parametreler.

Depolama Katmanı	Varil Yüksekliği (mm)			
	2000			
Boşaltma Katmanı	Akış katsayısı	Akış kuvveti	Ofset yüksekliği (mm)	Boşaltma Gecikmesi (saat)
	0.68	0.50	125	5.8

Tablo 4.6. Biyolojik hendek için kullanılan parametreler.

Yüzey Katmanı	Sedde Yüksekliği (mm)	Bitki Örtüsü Hacim	Yüzey Pürüzlülüğü			Yüzey Eğimi (%)	
		600	0.10	0.12			2
Toprak Katmanı	Kalınlık (mm)	Gözeneklilik	İletkenlik (mm/h)	Alan kapasitesi	İletkenlik Eğimi	Solma Noktası	Emme Başlığı
	300	0.35	0.5	0.20	10	0.10	3.5
Depolama Katmanı	Kalınlık (mm)		Boşluk oranı	Sızıntı oranı (mm/h)	Tıkanma faktörü		
	500		0.75	25	0		
Boşaltma katmanı	Akış Katsayısı		Akış kuvveti	Ofset yüksekliği (mm)	-		
	0.50		0.50	150	-		

4.2. SWMM D-1 Mikro Havza Mevcut Durum Entegre Edilmesi ve Analizi

ArcGIS programından elde edilen arazi kullanım hesaplamaları (Bkz. **Tablo 4.1**), yağış verileri ve Horton parametreleri D-1 havzası için SWMM programına yüklenerek simülasyon çalışması sonuçları elde edilmiştir. **Şekil 4.8**'de SWMM D-1 havzası için bilgilerin giriş ekranı gösterilmektedir.

Property	Value
X-Coordinate	120.997
Y-Coordinate	174.394
Description	Sürdürülebilir Yağış Suyu Tesislerinin Projelendirilmesi
Tag	D-1
Rain Gage	İstasyon
Outlet	o1
Area	553
Width	1500
% Slope	9.8
% Imperv	31.45
N-Imperv	0.012
N-Perv	0.1
Dstore-Imperv	3.2
Dstore-Perv	6.6
%Zero-Imperv	25
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration Data	HORTON
Groundwater	NO
Snow Pack	
LID Controls	0
Land Uses	0
Initial Buildup	NONE
Curb Length	0
N-Perv Pattern	
Dstore Pattern	
Infil. Pattern	

Optional monthly pattern that adjusts infiltration rate

Şekil 4.8. SWMM D-1 havza bilgileri tanımlama ekranı (SWMM 5.2)

Yağış verilerinin tanımlanması

Elde edilen yağış verileri (**Bkz. Bölüm 3.1.2**) SWMM programı tarafından otomatik olarak tanınması için kullanım kılavuzunda belirtilen bir formatta veri dosyası şekline dönüştürülmüş ve programa yüklenmiştir (**Bkz. Şekil 3.7.**). **Bkz. Şekil 3.5**'te gösterilen yağış şiddetinin zamana bağlı değişim (hiyetograf) verileri sisteme girilmiştir.

Rain Gage İstasyon	
Property	Value
Name	İstasyon
X-Coordinate	-743.576
Y-Coordinate	2532.544
Description	
Tag	
Rain Format	VOLUME
Time Interval	1:00
Snow Catch Factor	1.0
Data Source	TIMESERIES
TIME SERIES:	
- Series Name	2y24h
DATA FILE:	
- File Name	
- Station ID	*
- Rain Units	MM
Name of rainfall time series (double-click to edit time series)	

Şekil 4.9 SWMM yağış verileri tanımlama ekranı

Sızma Parametrelerinin Tanımlanması

SWMM Horton veri girişi için D-1 havzası toprak sızma değerleri (**Bkz. Tablo 3.3**) Bölüm 3.1.4’de analiz sonucu sisteme girilmiştir. Simülasyon çalışması başlatıldığında yağışın topraktaki maksimum ve minimum sızma, horton eğrisi için sızma hızı azalma sabiti ve doymuş toprağın kurumması için geçen süre hesaplamaya dahil edilmiştir.

Property	Value
Name	D-1_Mikro_Havzası
X-Coordinate	120.997
Y-Coordinate	174.394
Description	Sürdürülebilir Yağış Suyu Tesislerinin Projelendirilmesi
Tag	D-1
Rain Gage	İstasyon
Outlet	o1
Area	553
Width	1500
% Slope	9.8
% Imperv	28.36
N-Imperv	0.012
N-Perv	0.1
Dstore-Imperv	3.2
Dstore-Perv	6.6
%Zero-Imperv	25
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration Data	HORTON

Property	Value
Max. Infil. Rate	60
Min. Infil. Rate	5
Decay Constant	2.675
Drying Time	2
Max. Volume	0

Infiltration parameters (Maximum rate on the Horton infiltration curve (in/hr or mm/hr))

OK Cancel Help

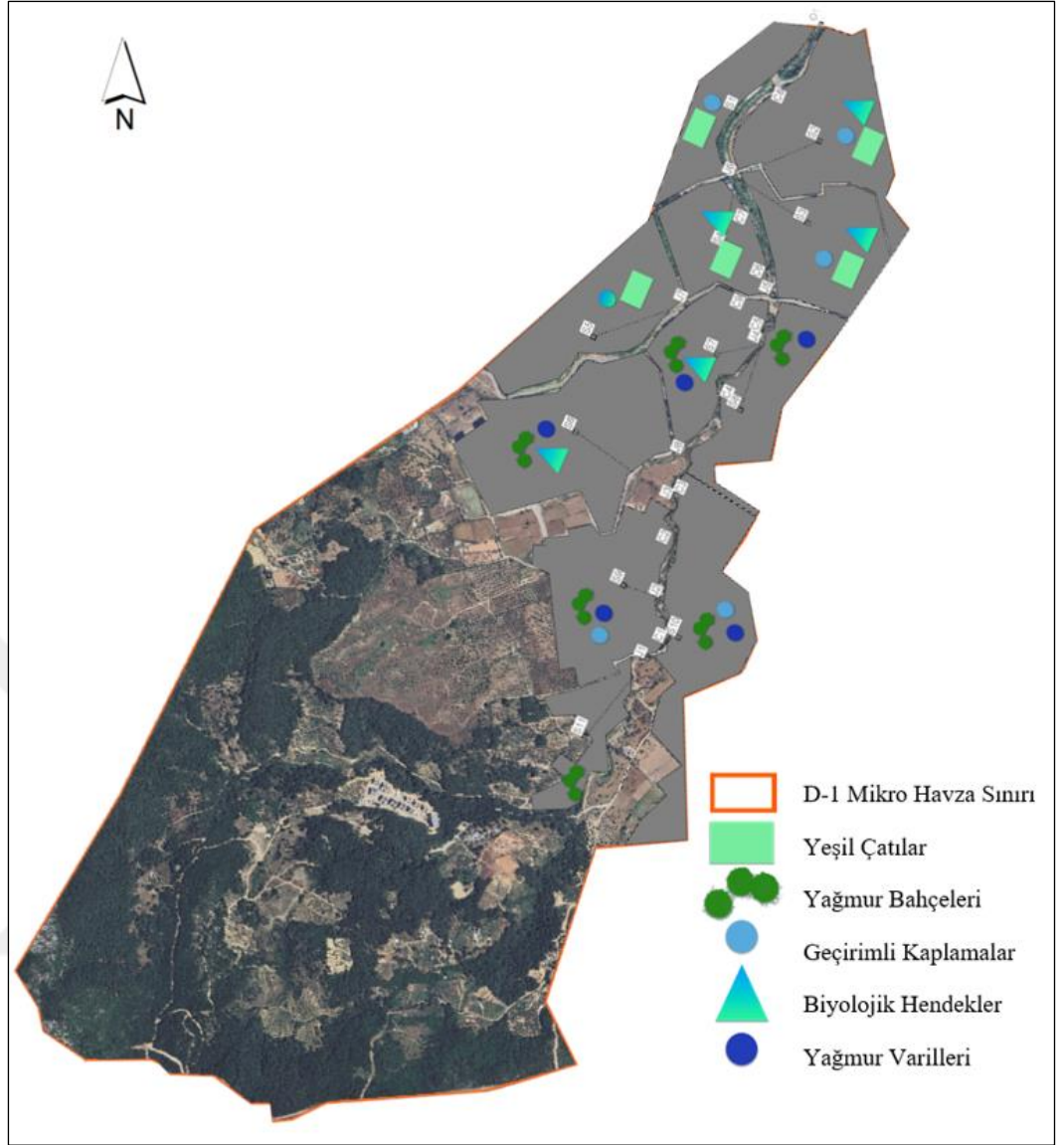
Şekil 4.10. SWMM Horton verileri tanımlama ekranı

4.3. SWMM D-1 Mikro Havza Yağış Suyu Tesislerinin Entegre Edilmesi (Projeli Durum)

D-1 mikro havzası, kendi içinde suyun toplandığı noktalara göre 11 alt bölgeye ayrılıp, 5 farklı yağış suyu tesisi (LID) (yeşil çatı, yağmur bahçesi, geçirimli kaplama, yağmur varilleri, biyolojik hendek) alan kullanımları dikkate alınarak entegre edilmiştir. Bu yöntem ile kentlerde havza bazlı sürdürülebilir yağış suyu kontrolüne ilişkin, su baskınlarına müdahale etmek ve uyum sağlama ilkesini taşımaktadır. LID yerleşimlerinin uygulandığı alanlar aşağıdaki gibidir;

- Yeşil çatı: endüstriyel alan ve 1000 m² üzeri çatılar,
- Yağmur varili: özel konut bölgeleri, ticari alan, kamusal alan,
- Geçirimli kaplama: kaldırım, bisiklet yolu ve otopark,
- Yağmur bahçesi: özel konut bölgeleri (siteler ve bahçeli evler)
- Biyolojik hendek: refüjler ve park alanı

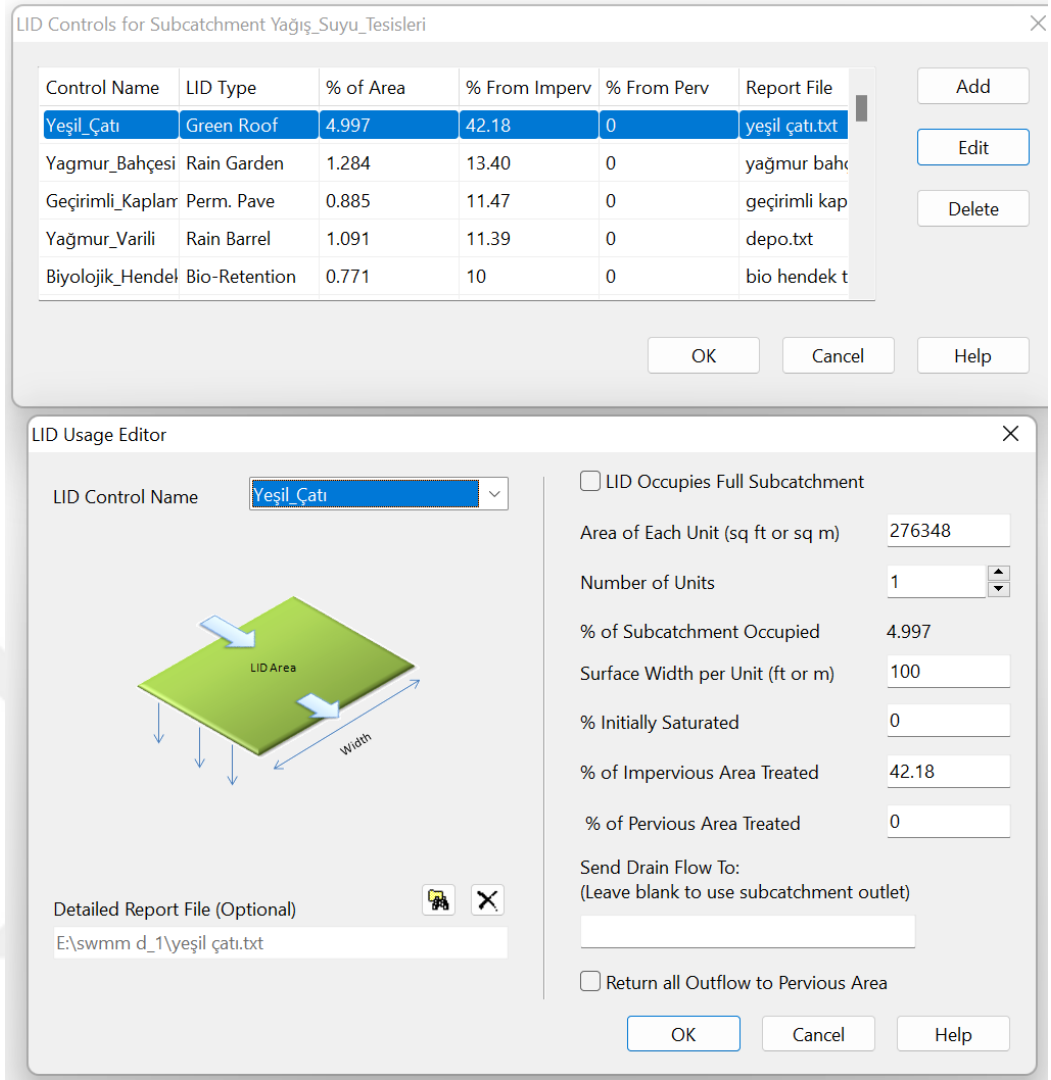
D-1 mikro havzası SWMM simülasyon modeli LID entegrasyon haritası **Şekil 4.11**'de gösterilmiştir. Model, 11 alt bölge (S), su akış kollarının bir araya geldiği 8 düğüm noktası (J) ve bir havza çıkışından (O) oluşmaktadır. Mikro havza yüzey akışı modülü (hidroloji) için ilgili parametreler çalışma alanının fizyografik-hidrolojik koşullarına ve SWMM kılavuzuna göre giriş yapılmıştır.



Şekil 4.11 D-1 Mikro havzası yağış suyu tesisleri uygulama alanları

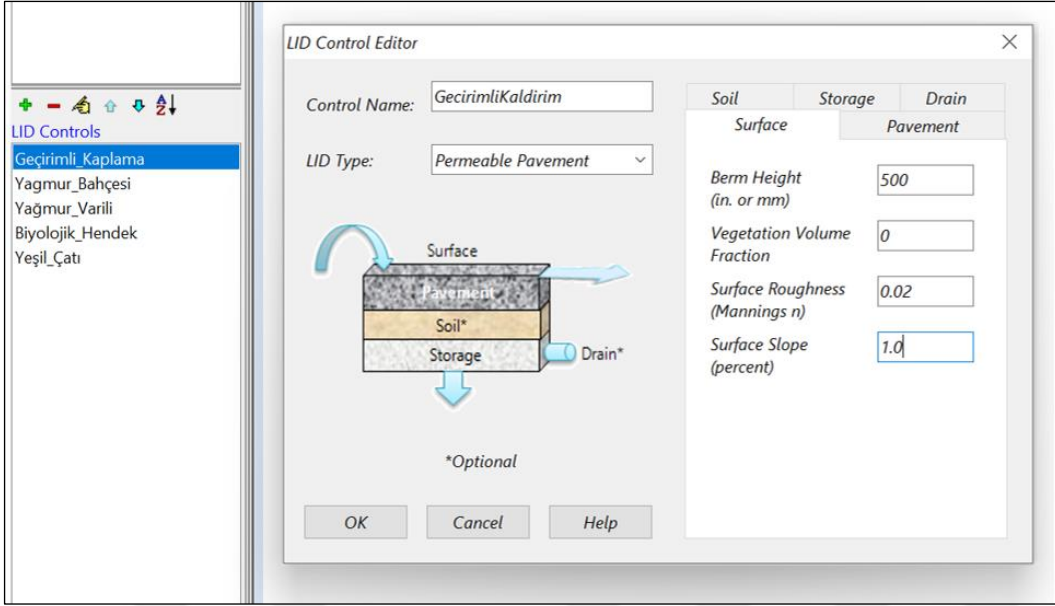
Bu girişlere göre havzadaki yağış suyu tesislerinin havzaya oranları aşağıdaki gibidir;

- Yeşil Çatı: Toplam çatı alanlarının %42,18'ine,
- Yağmur Varilleri: Toplam çatı alanlarının %11,39'una
- Geçirimli Kaplamalar: Çatı alanları dışında kalan diğer kentsel geçirimsiz alanların (otoparklar, yollar) %11,47'sine,
- Yağmur Bahçeleri: Toplam çatı alanlarının % 13,40'ına
- Biyolojik hendekler kentsel alanlarda kalan yeşil alanların %10'una uygulanmıştır.



Şekil 4.13 SWMM Yağış suyu tesislerini D-1 havzasına tanımlama ekranı.

D-1 havzasına entegre edilmesine karar verilen yağış suyu tesisleri (LİD) için SWMM de Hydrology sekmesinin altında bulunan LID Controls seçilerek her biri için belirlenen değerler (**Bkz. Tablo 4.2, Tablo 4.3, Tablo 4.4, Tablo 4.5 ve Tablo 4.6**) sisteme girilerek tanımlanmıştır (**Şekil 4.14**).



Şekil 4.14 SWMM Yağış suyu tesisleri tanımlama ekranı.

Tüm tesislerin entegrasyonu sonucu başlatılan 24 saatlik simülasyon çalışması SWMM programı mevcut ve projeli durum **Şekil 4.15** ve her bir tesis için performans sonuçları **Şekil 4.16**'daki gibidir.

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Imperv Runoff mm	Perv Runoff mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10^6 ltr	Peak Runoff CMS	Runoff Coeff
D-1_Mikro_Havzası	61.00	0.00	1.41	43.26	15.33	0.00	15.33	84.79	3.33	0.251
Yağış_Suyu_Tesisleri	61.00	0.00	1.49	42.19	14.20	0.00	9.72	53.73	2.10	0.159

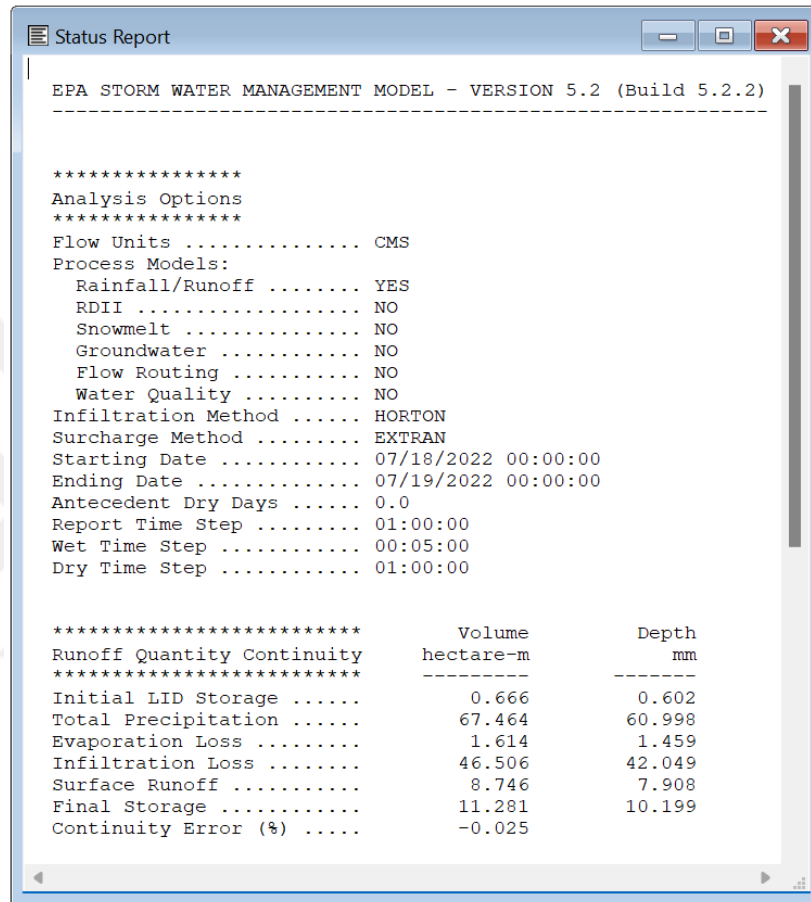
Şekil 4.15 SWMM Mevcut ve projeli durum performans sonuçları

Subcatchment	LID Control	Total Inflow mm	Evap Loss mm	Infil Loss mm	Surface Outflow mm	Drain Outflow mm	Initial Storage mm	Final Storage mm	Continuity Error %
Yağış_Suyu_Tesisleri	Biyolojik_Hende	116.27	3.37	11.35	0.00	0.00	0.10	101.50	0.13
Yağış_Suyu_Tesisleri	Yağmur_Varili	113.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	112.90	0.18
Yağış_Suyu_Tesisleri	Gecirimli_Kaplan	157.25	3.42	145.30	0.00	0.00	6.75	15.28	-0.00
Yağış_Suyu_Tesisleri	Yağmur_Bahçesi	166.83	0.00	116.53	0.00	0.00	50.00	100.30	-0.00
Yağış_Suyu_Tesisleri	Yeşil_Çatı	110.20	3.13	0.00	1.43	0.00	20.00	125.50	0.10

Şekil 4.16 SWMM yağış suyu tesisleri performans sonuçları

Bu çalışma kapsamında simülasyon sonuçları %0.025 akış süreklilik hatasıyla oldukça ihmal edilebilir bir kütle dengesi olduğunu göstermiştir. Entegre

edilen tesislerin SWMM analizi sonuçlarına göre, 2 yıl tekerrürlü 24 saatlik toplam yağış miktarı olan 61 mm yağışın, tesislerin entegrasyonu sonucu 7.908 mm'ye düşürüldüğü ölçülmüştür (**Şekil 4.17**). Bu bağlamda havzada meydana gelen yüzeysel akış miktarı %45.61 oranında düşürülmüştür.



```

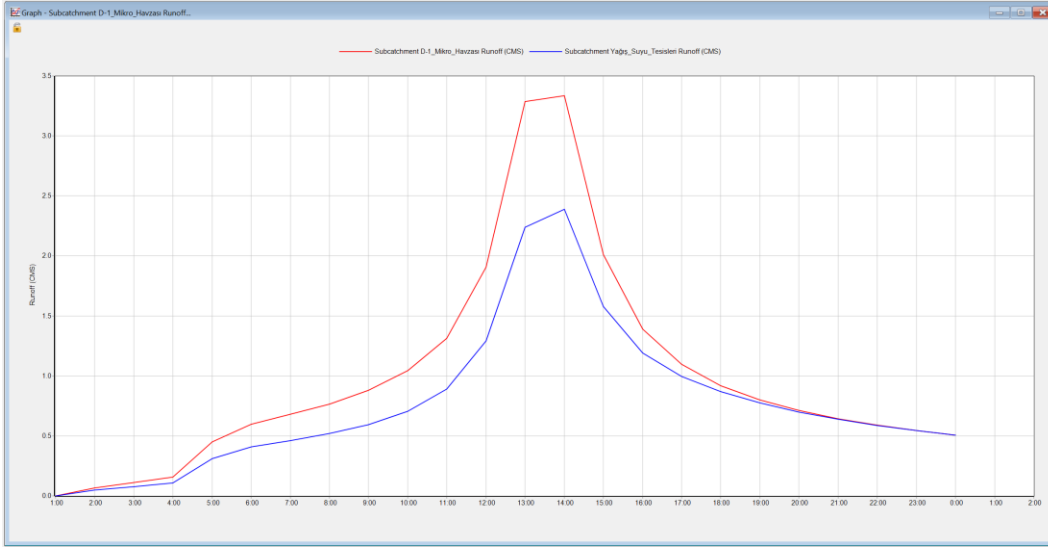
Status Report
EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.2 (Build 5.2.2)
-----
*****
Analysis Options
*****
Flow Units ..... CMS
Process Models:
  Rainfall/Runoff ..... YES
  RDII ..... NO
  Snowmelt ..... NO
  Groundwater ..... NO
  Flow Routing ..... NO
  Water Quality ..... NO
  Infiltration Method ..... HORTON
  Surcharge Method ..... EXTRAN
  Starting Date ..... 07/18/2022 00:00:00
  Ending Date ..... 07/19/2022 00:00:00
  Antecedent Dry Days ..... 0.0
  Report Time Step ..... 01:00:00
  Wet Time Step ..... 00:05:00
  Dry Time Step ..... 01:00:00

*****
Runoff Quantity Continuity          Volume      Depth
*****                          hectare-m    mm
*****                          -----
Initial LID Storage .....          0.666        0.602
Total Precipitation .....         67.464       60.998
Evaporation Loss .....            1.614        1.459
Infiltration Loss .....           46.506       42.049
Surface Runoff .....              8.746        7.908
Final Storage .....              11.281       10.199
Continuity Error (%) .....        -0.025

```

Şekil 4.17 SWMM projeli durum raporu

D-1 mikro havzası SWMM mevcut ve projeli durum sonuçlarına göre, akışa geçen yüzeysel akışın 24 saat boyunca saatlik değişim grafiği ve karşılaştırması **Şekil 4.18**'de verilmiştir.



Şekil 4.18 SWMM mevcut ve projeli durum sonuçlarına göre akışa geçen yüzeysel akışın 24 saat boyunca saatlik değişim grafiği

D-1 mikro havzası toplam yüzey akışın her bir yağış suyu tesisi uygulama alanına göre azaltılan akış hacmi **Tablo 4.7** de gösterilmiştir. Aşağıdaki tabloda 5 adet LID tesisi ve önerilen alanlara göre çeşitli yağış azaltım hesapları verilmiştir. Buna göre önerilen alana gelen akış değeriyle çarpılıp 1000'e bölünerek gelen akış hacmi m^3 cinsinden hesaplanmıştır. Sonrasında LID tesislerine gelen akış değerleri taşan akış değerinden çıkartılarak öneri alanla çarpılmış, son aşamada 1000'e bölünmüş ve böylece azaltılan akış hacimlerinin m^3 cinsinden değerlerine ulaşılmıştır.

Tablo 4.7. Yağış suyu tesisleri SWMM simülasyon sonuçları (2 yıl 24 saat)

Yağış Suyu Tesisleri	Önerilen Alan (m^2)	Gelen Akış (mm)	Gelen Akış Hacmi (m^3)	Sızma (mm)	Taşan (mm)	İlk Depolama (mm)	Son Depolama (mm)	Azaltılan Akış Hacmi (m^3)
Biyolojik Hendek	42.628	116,27	4.956	11,35	0	0,1	101,50	4.956
Yağmur varili	60.302	113,1	6.820	0	0	0	112,9	6.820
Geçirimli kaplama	48.960	157,25	7.698	97,26	0	6,75	15,19	7.698
Yağmur bahçesi	37.107	166,83	6.190	74,28	0	50	100,22	6.190
Yeşil çatı	223.501	110,2	24.632	0	36,28	20	90,54	24.312

D-1 mikro havzası toplam yüzey akışın mevcut ve projeli duruma göre azaltılan akış hacmi **Tablo 4.8**'de gösterilmiştir. SWMM'de havzanın arazi kullanımları, geçirimsiz alan oranı, en uzun akış kolu, Horton değeri ve yağış periyodu tanımlanarak mevcut durum yüzey akış hacmine ulaşılmıştır. Bu bilgiler aynı kalarak, havzaya LID tesisleri entegre edilmesi sonucu toplam yüzeysel akış miktarına ulaşılmıştır.

Tablo 4.8. Mevcut durum ve projeli durum SWMM simülasyonu sonuçları (2 yıl tekerrürlü 24 saat)

Yağış Değerleri	Durum	Yağış (mm)	Buharlaşma (mm)	Sızma (mm)	Akış (mm)	Havza Alanı (ha)	Toplam Yüzeysel Akış (m ³)
2 yıl 24 saat	Mevcut	61	1,41	43,26	15,33	553	109.590
	Projeli	61	1,49	42.19	14,20		49.978

Birgün boyunca çalıştırılan simülasyonda toprak infiltrasyon hızının saatteki değişimi **Şekil 4.19**'de gösterilmiştir. Saatte akışa geçen yağış oranı artıka infiltrasyon artmış ve toprak doygunluk oranı artıka infiltrasyon hızının azaldığı görülmektedir.

Elapsed Days	Elapsed Hours	Precipitation (mm/hr)	Infiltration (mm/hr)
0	01:00:00	1.22	0.00
0	02:00:00	1.29	0.88
0	03:00:00	1.38	0.93
0	04:00:00	1.48	0.99
0	05:00:00	1.60	1.06
0	06:00:00	1.75	1.14
0	07:00:00	1.94	1.25
0	08:00:00	2.21	1.39
0	09:00:00	2.59	1.58
0	10:00:00	3.23	1.86
0	11:00:00	4.62	2.31
0	12:00:00	7.81	3.31
0	13:00:00	7.81	3.87
0	14:00:00	4.62	3.60
0	15:00:00	3.23	3.58
0	16:00:00	2.59	3.58
0	17:00:00	2.21	1.86
0	18:00:00	1.94	1.58
0	19:00:00	1.75	1.39
0	20:00:00	1.60	1.25
0	21:00:00	1.48	1.14
0	22:00:00	1.38	1.06
0	23:00:00	1.29	0.99
1	00:00:00	0.00	0.93

Şekil 4.19 SWMM projeli durum infiltrasyon değerlerinin saatlik değişimi.

Bu sonuçlar, belirtilen LID uygulamalarının kentsel su yönetiminde etkili bir şekilde kullanılmasının, yağış sularının kontrol altına alınması ve yüzey akışlarının azaltılması açısından önemli olduğunu göstermektedir. Özellikle, yağmur bahçeleri ve biyolojik hendekler gibi doğal su arıtma sistemlerinin yanı sıra yeşil çatılar ve geçirimli kaplamalar gibi yeşil altyapı uygulamalarının kentsel su yönetimindeki etkileri belirgin bir şekilde görülmektedir.

5. TARTIŞMA

Yağış suyu yönetimi konusunda yapılan akademik çalışmalar incelendiğinde, havza bazlı çalışma yerine site ölçeğinde LID bileşenlerinin tek başına ya da birlikte performansına yer verilmiştir. Yapılan bu çalışma ise yağış suyu yüzey akış hesaplamalarını 5 farklı LID uygulamaları ile havza ölçeğinde alan kullanımına ve fizyografik özelliklerine uygun olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Tesislerin çevresel ve hidrolojik performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda, havza içinde konumlanan site yerleşim bölgelerinin çatı drenajı sistemleri doğrudan kanalizasyon altyapısına yönlendirildiği tespit edilmiş olup, yağmur bahçeleri önerilmiştir. Diğer alanlarda ise yüzey akışa geçen suların kanalizasyon sistemine ulaşmadan, alan kullanımlarına göre; biyolojik hendek, yeşil çatı, yağmur varili ve geçirimli kaplama önerilmiştir.

Yapılan çalışmada performansı değerlendirilen 5 farklı LID uygulamasından %48.64 oranıyla yağış suyu hacmini azaltan yeşil çatılar olduğu görülmektedir. Daha sonra geçirimli kaplama (%15.41), yağmur varili (%13.65) yağmur bahçesi (%12.39) ve biyolojik hendeklerdir (%9.92). D-1 mikro havzasında 1000 m² üzeri çatı alanlarının bulunduğu ve havza çatı toplamının %42.18'ini oluşturan endüstri bölgesi yeşil çatı uygulaması için seçilmiştir. Bu nedenle toplam uygulama alanı diğer tesislere oranla daha fazladır. Kanada'nın Toronto kentinde birbirinden farklı bitki yoğunluğu ve toprak derinliği katmanı (70-100 mm) bulunan iki yeşil çatı uygulaması iki yıl test edildiğinde, yağış suyu akışında yıllık ortalama %57'lik bir azalma sağladığı gözlemlenmiştir (Liu and Minor, 2005). Tez çalışması kapsamın uygulanan yeşil çatı sistemlerinin toprak katmanı 50 mm ve %48.64 oranında bir yağış suyu hacminde azaltma sağlanmıştır. Bu çalışmalar kıyaslandığında, her iki çalışmanın farklı bölgelerde gerçekleştirilmesi, yağış süresi, hava sıcaklığı ve yeşil çatıyı oluşturan diğer katmanların farklı ölçüleri yağış suyu yakalamadaki oranların değişmesine neden olmuştur. Bu çalışmada sağlanan yaklaşık %45.61'lik azalma pek çok literatürle karşılaştırıldığında oldukça kayda değer bir azalmadır.

Çalışma alanında en düşük performansı gösteren biyolojik hendeklerin olmasının sebebi, yağmur varilleri veya yeşil çatılar gibi diğer LID teknolojileri, suyu daha hızlı ve doğrudan toplayarak tutar, bu da biyolojik hendeklerden daha

hızlı ve etkili bir şekilde suyun yönetilmesini sağlamaktadır. Biyolojik hendekler genellikle suyun yavaşlatılmasına ve toprağa sızmasına yardımcı olmak için tasarlanmıştır. Bu özellikleri sayesinde, yağmur suyunun hızlı bir şekilde yüzey akışıyla hareket etmesini önleyerek, erozyonu azaltır ve suyun toprağa sızmasını sağlar. Ancak, bu yavaşlatma işlemi yüksek debide gelen yağış sularının hızlı bir şekilde kontrol edilmesini zorlaştırabilir ve biyolojik hendeklerin performansını diğer LID teknolojilerine göre düşük hale getirmektedir.

Bai et al. (2019)'un Çin'in Suqian şehrindeki Sucheng bölgesinde çeşitli LID senaryolarının hidrolojik etkilerini: yüzey akış azaltma, tepe akış azaltma ve ekonomik maliyet açısından analiz etmiştir ve çalışma için 4 senaryo belirlenerek LID'lerin uygulama alanlarını arazi kullanımlarına göre tepe akış ve yüzey akış açısından karşılaştırma yapılmıştır. Her senaryoda uygulama alanı arttıkça yüzey akış oranında azalma görülmüştür. Örnek olarak her bir LID tesisi %40 oranında alan kullanımlarına uygun olarak çalışma alanlarına yerleştirdiklerinde %35.75 olan tepe akışını, birim alan başına (ha) azalma oranları şu şekilde sıralanmıştır: yeşil çatı (%7.48), geçirimsiz döşeme (%3.76), konkav yeşil kuşak (%4.01), yağmur bahçesi (%2.71). Yeşil çatılar, yeşil altyapı bileşenleri arasında en iyi performansı sergilerken, yağmur bahçeleri en düşük performansı göstermiştir. Her bir LID tesisi, maksimum uygulama alanı içindeki LID oranıyla ilişkili olarak akış ve tepe akışı azaltımında farklı sonuçlar vermiştir. Maksimum uygulama alanı içindeki LID oranı azaldıkça, her bir LID tesisi için yağmur suyu yönetimi kapasitesi sınırlı hale gelmiştir. Sonuç olarak, LID tesislerinin genel yüzey akış hacminin azaltılmasında tepe akışına göre daha etkili olduğu bulunmuştur. D-1 mikro havzası içinde uygulanan LID tesisleri tepe akışı $3.33\text{m}^3/\text{s}$ 'den $2.10\text{m}^3/\text{s}$ 'ye düşürmüştür. Bu sonuç, %36.9 oranında bir azaltmaya denk geldiğini göstermektedir. Yüzey akış azaltma oranı ise %45.61 olarak hesaplanmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda Bai et al. (2019)'un yaptığı çalışma gibi, yağış suyu tesislerinin (LID) geçirimsiz alanların fazla olduğu yerleşim yerlerinde yağmur suyunun meydana getirdiği olumsuzlukları ve yüzey akış miktarını azaltmada daha etkili sistemler olduğu ve geleneksel altyapı sistemlerine alternatif olarak kullanılabilmesi tespit edilmiştir.

Hua et al. (2020) Çin'in Anhui Eyaleti, Chaohu Şehri'nin merkezinde yaptığı çalışmada biyolojik tutma (BR), sızma hendeği (IT), geçirimi kaplama (PP), yağmur varili (RB) ve bitkisel hendek (VS) uygulamaları tüm alana eşit oranda entegre edilmiş (%15) ve yüzey akışı sırası ile %17.78, %11.78, %10.29, %13.39, %13.69 oranında azalttığı görülmüştür. Hepsinin birlikte kullanıldığı başka bir senaryoda ise BR+IT+RB %42.95, BR+PP+RB %41.46 oranında düşürmüştür. Bu çalışmada görüldüğü gibi alan kullanımına uygun yerleştirilen farklı LİD tesisleri kombinasyonu yüzey akış oranını azaltmada daha başarılıdır. Bunun nedeni her tesis yağış suyu yakalamada farklı performansa sahip olmasıdır. Tez çalışması kapsamında ise arazi kullanımına uygun yerleştirilen yeşil çatı, yağmur varili, geçirimli kaplama, yağmur bahçesi ve biyolojik hendek sırası ile tüm alanın %42.18, %11.39, %11.47, %13.40 ve %10'una uygulanmıştır ve yüzey akışı azaltma oranı sıra ile %48.64, %13.65, %15.41, %12.39 ve %9.92'dir.

Dinçer, (2022)'nin Malatya kent merkezinde, yeşil altyapı sistemleri kapsamında yaptığı çalışmada, 32 aylık toplam yağış verileri kullanılarak yapılan analiz sonucu %88.70 oranında yağış suyunun yüzeysel akışa sebep olduğu belirlemiştir. Çalışma alanında 5 farklı senaryoda toplam çatı alanlarının %20 si yeşil çatı bileşenleriyle kaplandığında toplam yüzeysel akışların %2.15 oranında azaldığı, toplam çatı alanlarının %20 sinden toplanan suların yağmur varillerine yönlendirilmesiyle yüzeysel akışların %8.10 oranında azaldığı, çatı alanları dışında kalan diğer geçirimsiz alanların %20'si geçirimli kaplama ile planlandığında yüzeysel akışların %6.60 oranında azaldığı ve yine çatı alanları dışında kalan geçirimsiz alanların %20 si yağmur bahçesi ile planlandığında yüzeysel akışların aynı oranda %6.60 oranında azaldığı ve tüm sistemlerin birlikte kullanılması durumunda %22,20 oranında azaldığını tespit etmiştir. Bu çalışmada geçmiş dönem aralığında gerçekleşen 32 aylık yağış verisi toplamı olarak 907.20 mm alınmış ve tüm LİD tesislerin kullanıldığı senaryoda %22.20 oranında yüzey akışı azaltılmıştır. D-1 mikro havzası için yapılan çalışmada ise 2 yıl tekerrürlü 24 saatlik yağış verisi olan 61 mm alınmış ve %45.61 oranında yüzey akışı azaltıldığı tespit edilmiştir. Her iki çalışmada yağış periyodu, analizi yapılan bölgenin arazi kullanımı, fizyografik özellikleri ve diğer iklim özellikleri birbirinden farklılık gösterdiği açıktır.

Bah et al (2023)'ün Gine'nin başkenti Konakri'de bulunan 26.66 km²'lik bir alanda LID stratejilerine dayalı olarak taşkınların azaltılması için sürdürülebilir yağış suyu tesislerinin uygulanabilirliğini araştıran çalışmada, sızma hendekleri, biyolojik tutma, yağmur varili, yağmur bahçesi ve geçirimli kaplama uygulanmıştır. Beş geri dönüş periyodu için (1, 5, 20, 50 ve 100 yıl) LID simülasyonuna göre, yüzey akışı azaltma oranı %67.83, %65.02, %50.44, %40.18 ve %35.88 sonucuna ulaşılmıştır. Yağış tekrarlama süresi ve yoğunluğu arttıkça yüzey akışı azaltma verimliliğinin düştüğü görülmektedir. D-1 mikro havzası için bir geri dönüş periyodu (2 yıl tekerrürlü 24 saatlik) yağış verisi kullanılmıştır. LID tesislerinin boyutlandırılmasında 5 yıl tekerrürlü veya daha uzun vadeli yağış verisi kullanılmasının nedeni, kentsel bir mikro havzadaki uygulama katmanlarının büyüme ihtiyaçlarından kaynaklanarak bakım ve uygulama maliyetini artırmasıdır. Aynı zamanda kentleşmiş bölgelerde büyük boyutlarda uygulamalar sınırlı olduğu için %50 (2 yıl tekerrürlü) olasılıklı gelecek yağış miktarı kullanılmıştır.

Bu çalışmanın kapsamı ve metodolojisi bazı sınırlamalara sahiptir. Örneğin, su kalitesi gibi belirli faktörlerin etkisi tam olarak değerlendirilmemiştir. Yapılan bir araştırmada yağış suyu tesislerinde kullanılan bitkilerin azot giderimini %20-80 arasında, fosfor giderimini %35-95 arasında ve ağır metal giderimini %90 oranında azalttığı gözlemlenmiştir (Fowdar et al., 2022). Başka bir çalışmada ise fosfor ve askıda katı maddelerin arttığı gözlemlenmiştir (Bedan, and Clausen, 2009). Bu oranlar uygulanan tesislerin filtreleme özeliğine, bitki çeşitliliğine ve bakım sıklığına göre farklılık gösterebilmektedir.

Tez çalışması kapsamında elde edilen analizler ve sonuçlar D-1 havzasına özgüdür ve genelleştirilmesi zor olabilir. Farklı coğrafi bölgelerde ve farklı iklim koşullarında, yağış suyu tesislerinin etkinliği farklılık gösterebilir. Bu nedenle, analiz çalışmalarının uygulama yapılacak bölgelere göre yapılması önemlidir. Bu çalışma sürdürülebilir yağış suyu tesislerinin önemini vurgulamış ve bu tesislerin simülasyon performansını değerlendirmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Meles Havzası'nın mikro havzası olan D-1 mikro havzasında sürdürülebilir yağış suyu tesislerinin etkinliğini değerlendirmek için kapsamlı bir yağış suyu yüzey akış hesaplaması sistemi kullanılmıştır. Tesislerin çevresel ve hidrolojik performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Havzada yüzey akışa geçen yağış suyu miktarını kontrol edebilmesi için alan kullanım özelliklerine göre alanlara yağış suyu tesisleri önerilmiştir. Bu bağlamda öncelikle ortaya konulan ana hedeflerden biri olan havzanın 2 yıl tekerrürlü 24 saatlik akış potansiyeli hesaplanmış ve yağış suyu miktarını azaltmak için planlama ve tasarım önerileri geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında Meles havzası yüzey akış analizi yapıldığında kentsel yerleşim bölgesine (14.136 ha) düşen yıllık toplam yağış su potansiyeli 65,66 hm³/yıl olarak hesaplanmıştır. İklim değişikliği etkileri ile artan taşkın ve sel olaylarına kentsel bir havzada sürdürülebilir bir çalışma gerçekleştirmek için Meles havzası 33 mikro havzaya ayrılmış ve yağış suyu tesislerinin (LİD), mikro havza (D-1) ölçeğinde SWMM programı ile simülasyon çalışması yapılarak, yüzey akışında %45.61 oranında azaltma sağlanmıştır. Bu sayede sürdürülebilir bir yağış suyu yönetimi anlayışı, yağış suyu miktarının kontrol edilmesinin mümkün olduğunu ortaya koymuştur.

D-1 mikro havzası, sürdürülebilir yağış suyu tesislerinin, 1/1000 ölçekli hali hazır haritayla oluşturulan arazi kullanımı, fizyografisi ve hidrolojik durumuna göre kendi içinde 11 farklı alt bölgeye ayrılması ile 5 farklı LID tesisinin simülasyon çalışmalarının gerçekleştirildiği havzadır. Bu tesisler yeşil çatılar, geçirimli kaplamalar, yağmur varilleri, yağmur bahçesi ve biyolojik hendeklerdir. Mikro havzada 2 yıl tekerrürlü 24 saatlik yağış suyu hesaplamaları sonucunda 109.589 m³ olan yüzey akış suyu miktarı, tesislerin uygulanması sonucunda 49.978 m³'e düşürülmüştür. Bu bağlamda, tesislerin uygulama alanı büyüklüklerine göre simülasyon sonucu, yağış suyu azaltma performansları ise, biyolojik hendek 4.956 m³, yağmur varili 6.820 m³, geçirimli kaplama 7.698 m³, yağmur bahçesi 6.190 m³ ve yeşil çatı 24.312 m³'tür.

D-1 mikro havzasında sürdürülebilir yağış suyu tesislerinin yüzey akış suyunu azaltma performansları üzerine yapılan bu çalışma, meles havzasının diğer mikro havzalarında uygulanması ile kentsel alanda taşkın, sel ve iklim değişikliği etkilerine uyumlu, havzaya özgü sürdürülebilir stratejilerin geliştirilmesi ve tasarlanmasını sağlayacaktır.

Sosyal ve ekonomik faktörlerin tesislerin etkinliği üzerindeki etkisi göz ardı edilmemelidir. Bu faktörler, yağış suyu tesislerinin kabul edilme oranını ve uzun vadeli sürdürülebilirliğini etkileyebilir. Bu nedenle, gelecekteki çalışmalarda, tesislerin toplumsal kabulünü ve ekonomik uygunluğunu değerlendirmek için sosyal bilimler ve ekonomi disiplinlerinden araştırmacılarla iş birliği yapılmalıdır.

Tez çalışmasında kullanılan SWMM programı, ArcGis ile yapılan analizler, gri altyapı sistemi ve yağış verileri ile entegreli çalışması, tüm kullanıcılar için açık ve yazılımının sürekli güncellendiği kaynak olması nedeni ile yağış suyu hesaplamalarında sıklıkla tercih edilen bir yöntem olmasını sağlamaktadır.

Çalışma alanının arazi kullanım durumuna bakıldığında, geçirimli alanların (orman, tarım arazileri ve yeşil alanlar), havzanın %68,55'ini kapladığı ve havzada yüzey akışa geçen yağış suyu miktarının %44,10'unu oluşturduğu görülmektedir. Bu miktar yağış suyu (42.879m³) tarım ve orman alanlarından gelerek bir kısmı kentsel alana, dolayısı ile altyapı sistemine ya da meles çayına, diğer bir kısmı ise doğrudan meles çayına ulaşmaktadır. Bu alanlarda yüzey akışa geçen yağış sularının kontrolünün sağlanması amacıyla, yağış suyu yönetim uygulamaları ve bitkilendirme çalışmalarının hayata geçirilmesi geçirimsiz alanların yoğun olduğu bölgenin yükünü azaltacaktır. Bornova çayı havzasında sürdürülebilir yağış suyu yönetimine ilişkin peyzaj planlama önerileri başlıklı tez çalışmasında; ağaçlandırılacak alan plan kararı bulunan %76'sı maki, %8'i frigana formasyonu ile kaplı olan alanların, plan kararı gereği ağaçlandırılması durumunda bu alanlarda yüzey akışa geçen yağış suyu hacminde %18'lik, havza genelinde ise %2,49'lük bir artış söz konusu olacağı sonucuna ulaşılmıştır (Özeren Alkan, 2019). Bu çıkarım tarım ve orman alanları ile ilgili ulaşılan sonucu destekler niteliktedir. Sonuç olarak D-1 havzasının yüksek kesimlerini oluşturan doğal bitki örtüsü, yağış suyu ve ekolojik faydalar gözetilerek

uzmanlarca tekrar değerlendirilmesi ve bu alanlarda yüzey akışa geçen yağış suyu kontrolü için bitkilendirmelerin yapılması gerekmektedir.

Meles ayı, orman ekosistemi ile deniz ekosistemi arasında bir koridor görevi görerek, taşınan yağış sularının körfeze ulaşmasıyla ekolojik dengeyi sağlamak için önemli katkılarda bulunmaktadır. Bu sular, deniz suyunun tuzluluk dengesini, kıyıdaki bitki ve hayvan yaşamını destekleyerek ekosistemler üzerinde etkili olabilmektedir. Ayrıca, suyun taşıdığı besin maddeleri ve tortular, kıyı ekosistemlerinin beslenmesine katkıda bulunarak doğal denge için önemlidir. Bununla birlikte, suların körfeze ulaşmasıyla birlikte körfezin i akıntısına da katkı sağladığı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durum, körfezdeki su dolaşımı ve besin akışı üzerinde önemli etkilere sahip olabilir, dolayısıyla çevresel açıdan kapsamlı bir değerlendirme gerekmektedir.

Kentsel bir bölgede bulunan D-1 Mikro Havzası'nın yağış sularının etkin yönetimi, çevresel sürdürülebilirlik ve su kaynaklarının korunması açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, havza yönetiminde doğal vejetasyonun korunması ve restore edilmesi, toprak erozyonunu azaltarak suyun kalitesini ve miktarını korumak için önemli bir stratejidir. Özellikle, havzada bulunan ormanlık alanların korunması ve yeniden ağaçlandırılması, yağış sularının emilimini artırarak akarsuların düzenli beslenmesine katkı sağlar. Havza leğinde iş birliği ve entegrasyon, farklı paydaşların bir araya gelerek ortak hedeflere ulaşmasını sağlar. Yerel yönetimler, çiftçiler, sivil toplum örgütleri ve akademik kuruluşlar arasında yapılacak iş birliği, havzanın sürdürülebilir su kaynakları yönetiminde başarıya ulaşılmasını sağlayabilir.

Sonuç olarak, D-1 Mikro Havzası'nda yağış sularının etkin yönetimi için doğal kaynakların korunması, sürdürülebilir tarım uygulamalarının teşviki ve iş birliğine dayalı yaklaşımların benimsenmesi gerekmektedir. Bu stratejiler hem çevresel sürdürülebilirliği sağlayacak hem de toplumun su kaynaklarına sürdürülebilir erişimini garanti altına alacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ali, W., Takaijudin, H., and Yusof, K. W.,** 2021, The Role of Bioretention Plant on Nutrient Removal of Storm water Runoff. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 721. 012015. 10.1088/1755-1315/721/1/012015. Malaysia, 5p, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/721/1/012015>. (Erişim tarihi: 11 Kasım 2023)
- Aydınozü, D.,** (2007), Türkiye’de Gerçek Sıcaklıkların Dağılışı ile Bitki Örtüsü Arasındaki İlişkiler, *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 15(1), 353-372 <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kefdergi/issue/49108/626731> . (Erişim tarihi: 12 Aralık 2023)
- Anonim. 2013a.** Available stormwater models and selecting a model. Defining Model Objectives and Selecting a Stormwater Model. Retrieved from https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Available_stormwater_models_and_selecting_a_model. (Erişim tarihi: 12 Kasım 2023)
- Atay Kahraman, S.,** (2023). Doğal yapıtaşları olarak kullanılan Buca yeşil andezitinin durabilitesi. *MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi*, 2(2), 25-39. https://dergipark.org.tr/tr/pub/mtayermad/issue/73800/1217882#article_cite . (Erişim tarihi: 15 Ocak 2024)
- Baş, S., Kaptan Ayhan, Ç.,** 2023, İklim Değişikliğinin Kentlerdeki Yansıması Bağlamında Edirne Kent Merkezinin Mevcut Durumu. Lapseki Meslek Yüksekokulu Uygulamalı Araştırmalar Dergisi, 4(7), 20-33, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ljar/issue/78716/1298969>. (Erişim tarihi: 10 Eylül 2023)
- Optimal Allocation of LID Facilities. *Water*. 2019; 11(2):341. <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/2/341>. (Erişim tarihi: 13 Ocak 2024)

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Bai Y, Li Y, Zhang R, Zhao N, Zeng X.,** (2019). Comprehensive Performance Evaluation System Based on Environmental and Economic Benefits for
- Bah, A., Hongbo, Z., Bah, A., Jufang, H., Zhumei, L.,** (2023). Study of the applicability of Sponge City concepts for flood mitigation based on LID (low impact development) measures: A case study in Conakry City, Republic of Guinea. *Water Science and Technology*, 88(4), 901–921. <https://iwaponline.com/wst/article/88/4/901/96739/Study-of-the-applicability-of-Sponge-City-concepts?searchresult=1> . (Erişim tarihi: 26 Ocak 2024)
- Bernard, M. M.,** (1932). Formulas for rainfall intensities of long duration. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 96(1), pp.592-606. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/TACEAT.0004323> . (Erişim tarihi: 13 Ocak 2024)
- Bedan, E., and Clausen, J.,** (2009). Stormwater Runoff Quality and Quantity From Traditional and Low Impact Development Watersheds1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. 45. 998-1008. https://www.researchgate.net/publication/227974156_Stormwater_Runoff_Quality_and_Quantity_From_Traditional_and_Low_Impact_Development_Watersheds1 . (Erişim tarihi: 15 Ocak 2024)
- Bianchini, F., Hewage, K.,** 2012, Probabilistic Social Cost-Benefit Analysis For Green Roofs: A Lifecycle Approach, *Building and Environment*, 58:152-162, ISSN 0360-1323, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231200193X>. (Erişim tarihi: 9 Haziran 2023)

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Campisano, A., Catania, F. V., and Modica, C.,** (2017). Evaluating the SWMM LID Editor rain barrel option for the estimation of retention potential of rainwater harvesting systems. *Urban Water Journal*, 14(8), 876–881. <https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/1573062X.2016.1254259?scroll=top&needAccess=true> . (Erişim tarihi: 02 Şubat 2024)
- Campisano, A. and Modica, C.,** (2010). Experimental investigation on water saving by the reuse of washbasin grey waters for toilet flushing. *Urban Water Journal*, 7 (1), 17–24. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15730621003596739> . (Erişim tarihi: 02 Şubat 2024)
- Center for Watershed Protection,** 2012, Stormwater Management Guidebook, Ellicott City, MD 21043, ABD, 25-230, 323p. https://nacto.org/wp-content/uploads/2015/04/stormwater_management_guide_district_columbia.pdf. (Erişim tarihi: 11 Kasım 2023)
- Cebe, K., İnan, A.,** (2020). Havran Baraj Gölüne Dökülen Yüzeysel Akışın SWMM ile Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*152-160. https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejosat/issue/53473/710740#article_cite . (Erişim tarihi: 03 Şubat 2024)
- Coşkun Hepcan, Ç.,** 2019, Kentlerde İklim Değişikliği ile Mücadele İçin Yeşil Altyapı Çözümleri, 16-26, İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi 12, Ankara, 37s, <https://www.iklimin.org/moduller/kentmodulu-yesilaltyapi.pdf>. (Erişim tarihi: 10 Eylül 2023)
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (CSB),** Kentsel- Kırsal Nüfus Oranı, https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/kentsel---kirsal-nufus-orani-i-85670#_edn1. (Erişim tarihi: 3 Eylül 2023)

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Çakıcı, K., ve Kızılboğa Özasan, R., (2021), Birleşmiş Milletler 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarının Akıllı Kent Uygulamalarındaki Karşılığı: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Örneği, Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 12(2), 209-233.
https://dergipark.org.tr/tr/pub/gumus/issue/62554/829733#article_cite.
(Erişim tarihi: 10 Eylül 2023).

Dinçer, T., 2022, Yeşil altyapı sistemleri kapsamında yağmur suyu yönetimi: Malatya kent örneği. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 9(4), 1088-1101. <https://doi.org/10.30910/turkjans.1177827>. (Erişim tarihi: 10 Eylül 2023)

Dagenais, D., Brisson, J., Fletcher, T.D., 2018, The role of plants in bioretention systems; does the science underpin current guidance, *Ecological engineering*, 120:532-545p,
<https://www.Sciencedirect.Com/science/article/abs/pii/S0925857418302453>. (Erişim tarihi: 10 Haziran 2023)

Doğru, M., 2023, Sünger Şehir veya Yağmur Suyu Geçirimli Şehir Nedir ve Nasıl Çalışır. <https://www.ecobuild.com.tr/post/s%C3%BCnger-%C5%9Fehir-veya-ya%C4%9Fmur-suyu-ge%C3%A7irimli-%C5%9Fehir-nedir-ve-nas%C4%B1l-%C3%A7al%C4%B1%C5%9F%C4%B1r> (Erişim tarihi: 10 Eylül 2023).

Ellis, J. B., Revitt, D. M., and Lundy, L., (2008). "The significance of impermeable urban surfaces for attenuating pollutants in urban stormwater." *Science of the Total Environment*, 395(1), 50-59.
https://www.researchgate.net/publication/345489159_The_influence_of_urban_surface_type_and_characteristics_on_runoff_water_quality . (Erişim tarihi: 5 Şubat 2024)

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Esbah Tuncay, H.**, 2022, Sünger Şehirler, Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik, 23(2) 99–108.
https://dergipark.org.tr/tr/pub/itucis/issue/70227/1086932#article_cite .
(Erişim tarihi: 9 Şubat 2024).
- Fan, X, Matsumoto, T.**, 2019, GIS-Based social cost–benefit analysis on integrated urban water management in china: A case study of sponge city in harbin. *Sustainability*, 11(19):5527.
<https://doi.org/10.3390/su11195527>. (Erişim tarihi: 1 Mart 2023)
- Fowdar, H., Payne, E., Deletic A., Zhang, K., and McCarthy D.**, (2022), Advancing The Sponge City Agenda: Evaluation Of 22 Plant Species Across A Broad Range Of Life Forms For Stormwater Management, *Ecological Engineering*, 175 (2022) 106501. Australia. (Erişim tarihi: 5 Şubat 2024)
- Fletcher, T.D., Shuster, W., Hunt, W.F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.-L., Mikkelsen, P., Rivard, G., Uhl, M., & Dagenais, D., Viklander, M.**, (2014), SUDS, LID, BMPs, WSUD and more—The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water J.* , 12, 525–542,
https://www.researchgate.net/publication/272121458_SUDS_LID_BMPs_WSUD_and_more_-_The_evolution_and_application_of_terminology_surrounding_urban_drainage . (Erişim tarihi: 3 Şubat 2024)

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Fowdar, H., Payne, E., Deletic, A., Zhang, K., McCarthy, D.,** (2022). Advancing the Sponge City Agenda: Evaluation of 22 plant species across a broad range of life forms for stormwater management, *Ecological Engineering*, Volume 175, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857421003566>. (Erişim tarihi: 15 Şubat 2024)
- Guan, X., Wang, J., Xiao, F.,** 2021, Sponge city strategy and application of pavement materials in sponge city. *Journal of Cleaner Production*, China, 127022, 303p, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127022>. (Erişim tarihi: 12 Temmuz 2023)
- Gburek, W.J., and Urban, N.R.,** (1980). Rainfall infiltration into a forested watershed in East Central New York. *Journal of Hydrology*, 46(1-2), 213-236
https://www.bostongroundwater.org/uploads/2/0/5/1/20517842/stormwater_management_fact_sheet.pdf . (Erişim tarihi: 12 Temmuz 2023)
- Guan, M., Sillanpää, N., Koivusalo, H.,** (2015). Assessment of LID practices for restoring pre-development runoff regime in an urbanized catchment in southern. *Finland. Water Science and Technology*, 71(10), 1485–1491. <https://iwaponline.com/wst/article-abstract/71/10/1485/18753/Assessment-of-LID-practices-for-restoring-pre?redirectedFrom=fulltext> . (Erişim tarihi: 12 Mart 2024)
- Hu, M., Zhang X., Siu YL., Li Y., Tanaka K., Yang H., Xu Y.,** 2018, Flood Mitigation by Permeable Pavements in Chinese Sponge City Construction, 5, *Water*, 2018; 10(2):172, 12p <https://doi.org/10.3390/w10020172>. (Erişim tarihi: 11 Kasım 2023)

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Hua, P., Yang, W., Qi, X., Jiang, S., Xie, J., Gu, X., Li, H., Zhang, J., Krebs, P., (2020). Evaluating the effect of urban flooding reduction strategies in response to design rainfall and low impact development. *Journal of Cleaner Production*, 242.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619333852>.

(Erişim tarihi: 3 Mart 2024)

Harley, M. B., Yap, Y. K., 2009, Singapore's Marina Barrage - Changing Mindsets in Urban Solutions. *Water Practice and Technology*; 4 (4): wpt2009075.

doi: <https://doi.org/10.2166/wpt.2009.075>. (Erişim tarihi: 5 Kasım 2023)

IPAC (International Programme For Action on Climate), 2022, Germany's sponge cities to tackle heat and flooding, <https://www.oecd.org/climate-action/ipac/practices/germany-s-sponge-cities-to-tackle-heat-and-flooding-7b6caa58/>. (Erişim tarihi: 11 Kasım 2023)

Irvine, J. L., 2019, Predictive theoretical and computational approaches for characterizing an engineered bioswale systems performance, 5-26, University of Hawai'i at Manoa, 114p, <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/items/8634799b-3d5c-43d6-811b-9a0bc3c3f5a6>. (Erişim tarihi: 11 Mart 2023)

İzmir Büyükşehir Belediyesi (İBB), 2020, Kentsel ve Ekolojik Omurga Olarak Meles Çayı Ulusal Kentsel Tasarım Fikir Projesi Yarışması, <https://melesyarisma.izmir.bel.tr/CKYuklenen/2-1.pdf>. (Erişim tarihi: 3 Ağustos 2023)

İnan, Z., 2020, Sürdürülebilir Kentler İçin Griden Yeşile Otopark Tasarımı, 25-26, *Peyzaj-Eğitim, Bilim, Kültür ve Sanat Dergisi*, 1 (2020), İstanbul, 22-32s, <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1178502>. (Erişim tarihi: 12 Eylül 2023)

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- İzmir Tarımı Geliştirme Merkezi (İztam),** (2022),
<https://www.iztam.com/haber/izmir-tarimi-gelistirme-merkezi-ne-odul>.
(Erişim tarihi: 11 Ocak 2023)
- Karaağaçlı, Y.,** 2023, Yağmur Suyuyla Beslenen Bahçe,
<https://www.arkitera.com/haber/yagmur-suyuyla-beslenen-bahce/>. (Erişim tarihi: 11 Kasım 2023)
- Koç, C.,** 2022, Entegre Kentsel Su Yönetimi, Kentsel Su Güvenliği ve Değerlendirme Yöntemi Üzerine Bir Çalışma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (38):282-295, <https://doi.org/10.31590/ejosat.1104414>. (Erişim tarihi: 8 Kasım 2023)
- Liu, H., Jia, Y., and Niu, C.,** 2017, Sponge City Concept Helps Solve China's Urban Water Problems. *Environ Earth Sci*, Germany, 76:473p. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-017-6652-3#citeas>. (Erişim tarihi: 12 Ekim 2023)
- Liu, K., Minor, J.,** 2005. Performance evaluation of an extensive green roof (No. NRCC-48204). *In Greening Rooftops for Sustainable Communities*, Washington, D.C., May 5-6, 2005 (pp. 1-11). https://sustainabletechnologies.ca/app/uploads/2013/03/NRC_EastviewGRr_ept.pdf . (Erişim tarihi: 18 Ocak 2023)
- McPherson, M.B., and Schneider, W.J.,** 1974, Problems In Modeling Urban Watersheds, *Water Resources Research*, 10(3):434-440pp. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/WR010i003p00434> . (Erişim tarihi: 15 Ekim 2023)

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Marsalek, J., Jiménez-Cisneros, B.E., Malmquist, P.-A., Karamouz, M., Goldenfum J. and Chocat B., 2007, Urban Water Cycle Processes and Interactions: Urban Water Series, UNESCO-IHP (1st ed.), CRC Press, Paris,

https://www.researchgate.net/publication/242591919_Urban_Water_Cycle_Processes_and_Interactions. (Erişim tarihi: 9 Ağustos 2023)

Müftüoğlu, V., Perçin, H. (2015), Sürdürülebilir Kentsel Yağmur Suyu Yönetimi Kapsamında Yağmur Bahçesi. İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi, 5(11), 27-37. (Erişim tarihi: 9 Ağustos 2023)

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), (2023). <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx> . (Erişim tarihi: 9 Mart 2024)

Narasimhan, T.N., 2009, Hydrological Cycle and Water Budgets, University of California at Berkeley, CA, USA, 714-720p. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780123706263000107> . (Erişim tarihi: 3 Ekim 2023)

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2019, Water cycle, <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/freshwater/water-cycle>. (Erişim tarihi: 3 Eylül 2023)

Nair, G., 2018, İlkel Toplumlardan Günümüze İnsan-Doğa İlişkileri Bağlamında Çevre Sorunları Üzerine Bir Değerlendirme. *Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(2): 77-89s. https://dergipark.org.tr/tr/pub/aksos/issue/39204/459925#article_cite . (Erişim tarihi: 15 Eylül 2023)

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Özeren Alkan, M., Hepcan, Ş., 2013, Kent İçi Akarsu Koridorlarının Canlandırılması İzmir Kent Merkezi Örneği, TMMOB 2. İzmir Kent Sempozyumu, 839-849s.

https://www.researchgate.net/publication/325595972_Kent_Ici_Akarsu_Koridorlarinin_Canlandirilmesi_Izmir_Kent_Merkezi_Ornegi. (3 Ağustos 2023)

Özeren Alkan, M., Kaplan, A., 2013. Yeşil Altyapı Sistemi Kapsamında Meles Deltası ve Çevresinin Kurgulanması, Peyzaj Mimarlığı 5. Kongresi-Dönüşen Peyzaj, Adana, 278-290s, https://www.researchgate.net/publication/325595863_Yesil_Altyapi_Sistemi_Kapsaminda_Meles_Deltasi_ve_Cevresinin_Kurgulanmasi. (Erişim tarihi: 5 Mart 2023)

Özeren Alkan, M., 2019. Sürdürülebilir yağış suyu yönetimine ilişkin peyzaj planlama önerileri: Bornova çayı havzası örneği. Ege Üniversitesi, İzmir. https://docplayer.biz.tr/202700775-Surdurulebilir-yagis-suyu-yonetimine-iliskin-peyzaj-planlama-ve-tasarim-onerileri-bornova-cayi-havzasi-ornegi.html#google_vignette . (Erişim tarihi: 10 Şubat 2024)

Rau, S., 2022, Sponge Cities: Integrating Green and Gray Infrastructure to Build Climate Change Resilience in the People's Republic of China, 1-6, Asian Development Bank, ADB Briefs, Philippines, 11p. <https://www.adb.org/publications/sponge-cities-climate-change-resilience-prc> . (Erişim tarihi: 5 Eylül 2023)

Rentachintala, L. R. N. P., Gangireddy, M. R. M., and Mohapatra, P. K., (2023). Stormwater reuse for water-sensitive city – Integrated analysis of urban hydrology for efficient alternatives of Amaravati city, India. *Water Science and Technology*, 88(12), 3151–3167. <https://iwaponline.com/wst/article/88/12/3151/99229/Stormwater-reuse-for-water-sensitive-city> .(Erişim tarihi: 3 Şubat 2024)

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Rona, E.**, 2023, Sünger kentlerle iklime uyum, <https://kurious.ku.edu.tr/sunger-kentlerle-iklime-uyum/>. (Erişim tarihi: 3 Ekim 2023)
- Rossman, L., A.**, 2015. Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1. *Environmental Scientist, Emeritus U.S. Environmental Protection Agency*. <https://www.openswmm.org/ReferenceDocumentation> . (Erişim tarihi: 3 Şubat 2024)
- Rui D., and Yingzi T.**, 2023, Chongqing's 'sponge garden' shows how to use rainwater, https://www.chinadaily.com.cn/a/202305/16/WS646341b9a310b6054fad3476_3.html . (Erişim tarihi: 17 Eylül 2023)
- Rossman, L.A.**, (2004), Yağmur Suyu Yönetim Modeli Kullanım Kılavuzu Sürüm 5.0., ABD Çevre Koruma Ajansı, Washington, DC, EPA/600/R-05/040, https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=114231. (Erişim tarihi: 12 Eylül 2023)
- Rossman, L., Huber, W.**, (2016). Storm Water Management Model Reference Manual Volume III – Water Quality. U.S. EPA Office of Research and Development, Washington, DC, EPA/600/R-16/093. https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=327450 . (Erişim tarihi: 8 Şubat 2024)
- Serdar Yakut, E., ve Erdem Kaya, M.**, 2020, Yeşil Altyapı Bağlamında Kentsel Açık Alanların Optimizasyonuna Yönelik Parametrik Bir Model Önerisi, *PEYZAJ-Eğitim, Bilim, Kültür ve Sanat Dergisi* 1(2020):1-11s, <https://dergipark.org.tr/tr/download/issue-full-file/55616>. (Erişim tarihi: 10 Kasım 2023)

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Salata, S., and Arslan, B., 2022, Designing With Ecosystem Modelling: The Sponge District Application İn İzmir, Turkey, Sustainability, 14(6):26s, <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/6/3420>. (Erişim tarihi: 1 Mart 2023)

Su Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi, (2021). İzmir Büyük Şehir Belediyesi. <https://sungerkent.izmir.bel.tr/>. (Erişim tarihi: 3 Mart 2024)

Thompson, D. B., (2006). The Rational Method. Retrieved from <http://drdbthompson.net/writings/rational.pdf> . (Erişim tarihi: 23 Şubat 2024)

The World Bank, 2018, Urban population (% of total population), United Nations Population Division. World Urbanization Prospects: 2018 Revision, <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?contextual=default> . (Erişim tarihi: 10 Haziran 2023)

Un, K. (2016). Cisterns and Rain Barrels. *Metropolitan Area Planning Council*. <https://www.mapc.org/resource-library/fact-sheet-cisterns-and-rain-barrels/>. (Erişim tarihi: 10 Nisan 2023)

Vogel, J., Stringer, A., Beem, M., (2017). Understanding Stormwater Runoff and Low Impact Development (LID). Retrieved from Oklahoma State University Extension Fact Sheets. <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/understanding-stormwater-runoff-and-low-impact-development-lid.html#:~:text=streams%20and%20lakes,-.What%20is%20LID%3F,or%20close%20to%20its%20source> . (Erişim tarihi: 3 Nisan 2024)

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Yolcubal, İ., (2024). Hidrojeoloji Ders Notları. Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü.

https://kursatozcan.com/~kursatoz/ders_notlari/hidrojeoloji/irfan_yolcubal_hidrojeoloji.pdf . (Erişim tarihi: 5 Nisan 2024)

Yılmaz, B., 2022, Kentsel Sürdürülebilirlik İklim Değişikliği, Kentler ve Yerel İklim Eylem Planları Yeşil Büyüme Bülteni, <https://yesilbuyume.org/iklim-degisikligi-kentler-ve-yerel-iklim-eylem-planlari/>. (Erişim tarihi: 5 Ağustos 2023)

Zhao Y, Price M, Trowsdale S., (2022), Comparison of the Transition to More Sustainable Stormwater Management in China and the USA. *Water*, 2022; 14(12):1960,

https://www.mdpi.com/20734441/14/12/1960?utm_campaign=releaseissue_waterutm_medium=emailutm_source=releaseissueutm_term=titlelink119#B2-water-14-01960 . (Erişim tarihi: 11 Nisan 2024)

TEŞEKKÜR

Her türlü desteğiyle emek veren değerli Danışman hocam sayın Prof. Dr. Şerif HEPCAN'a teşekkürlerimi sunarım. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü Öğretim Üyesi sayın Prof. Dr. Bahriye GÜLGÜN ve Katip Çelebi üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü Öğretim Üyesi sayın Doç. Dr. Ayşe KALAYCI ÖNAÇ'a tezimi izleyerek, sundukları değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca, çalışma sürecinde desteklerini esirgemeyen ve katkılarıyla beni yönlendiren sevgili aileme minnettarım.

Bu süreçte bilgi ve deneyimlerini paylaşarak tezime katkıda bulunan tüm akademisyenlere ve çalışma arkadaşlarıma da teşekkürlerimi sunarım. Son olarak, araştırmamda bana yardımcı olan ve veri sağlayan İzmir Büyükşehir Belediyesi Su Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi'ne (Sünger Kent İzmir) içtenlikle teşekkür ederim.

25 / 04 / 2024

Damla GÜÇLÜ

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyadı: Damla Güçlü

Eğitim Bilgileri:

2016 – 2020 **Lisans Eğitimi**
Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı, İzmir

2007 – 2009 **Ön Lisans Eğitimi**
Sakarya Üniversitesi, Sakarya

İş Deneyimi:

2022 – Bugün Peyzaj Mimarı
İzmir Büyükşehir Belediyesi, İzmir

2021 – 2022 Peyzaj Mimarı
Karaburun Belediyesi, İzmir

2021 – 2021 Peyzaj Mimarı
Peyzaj Firması, İzmir

2011 – 2014 Peyzaj Teknikeri
İnşaat firması, Erzincan

2009 – 2011 Peyzaj Teknikeri
Peyzaj firması, İstanbul

Proje Deneyimleri: Özel konut ve işyeri peyzaj tasarımı ve uygulama, belediye sorumluluk sahasında yer alan yeşil alan planlama ve tasarımı, Sünger Kent İzmir Projesi kapsamında LİD tesisleri planlama, tasarım ve uygulama, havza ölçekli yüzey akış hesaplamaları ve gerekli haritalar oluşturmak.

Kullandığı programlar: ArcGIS, SWMM, Lumion, Sketchup, Adobe, AutoCAD ve MS Office

Yabancı Dil Bilgisi: İngilizce B1