

**T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**YEŞİL ÇATI UYGULAMASININ KENTSEL
ALANLARDAKİ YAĞMUR SUYU DRENAJ SİSTEMİ
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELEMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Nihad HAJ NASSAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA

İstanbul – 2025

TEZ TANITIM FORMU

Yazar Adı Soyadı : Nihad HAJ NASSAN

Tezin Dili : Türkçe

Tezin Adı : Yeşil Çatı Uygulamasının Kentsel Alanlardaki Yağmur Suyu Drenaj Sistemi Üzerindeki Etkisinin İncelemesi

Enstitü : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tezin Türü : Yüksek Lisans

Tezin Tarihi : 26.06.2025

Sayfa Sayısı : 78

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA

Dizin Terimleri : Yeşil Çatı, Düşük Etkili Kentleşme (DEK), EPA SWMM, LID (Low Impact Development), Yağmur Bahçeleri, Geçirimli Kaldırım, Yağmur Varili ve Sürdürülebilirlik

Türkçe Özet : Bu çalışmada, şehirlerdeki yağmur suyu sorunlarını çözmek için kullanılan EPA SWMM programıyla yeşil çatılar incelendi. Farklı özelliklere sahip 36 tane senaryosu oluşturuldu. Daha sonra, 2 yıldan 100 yıla kadar olan farklı şiddetteki yağmurlarda bu yeşil çatıların çalışma alanındaki su çıkış noktalarındaki en yüksek su akış hızları nasıl etkilendiği araştırıldı.

Dağıtım Listesi : 1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

İmzası

Nihad HAJ NASSAN

**T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**YEŞİL ÇATI UYGULAMASININ KENTSEL
ALANLARDAKİ YAĞMUR SUYU DRENAJ SİSTEMİ
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELEMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Nihad HAJ NASSAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA

İstanbul – 2025

BEYAN

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını beyan ederim.

Nihad HAJ NASSAN

.../.../2025



İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Nihad HAJ NASSAN'ın Yeşil Çatı Uygulamasının Kentsel Alanlardaki Yağmur Suyu Drenaj Sistemi Üzerindeki Etkisinin İncelemesi adlı tez çalışması, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği ana bilim dalı, İnşaat Mühendisliği bilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Başkan *Dr. Öğr. Üyesi Ferruh MAHNAMFAR*

İmza

Üye *Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA*
(Danışman)

İmza

Üye *Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NURİ*

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

... / ... / 20..

İmzası

Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bugünlerde, kırsal bölgelerden şehirlere yapılan göçler, şehirlerdeki nüfusu artırarak şehirlerin yapısını kötü etkilemiştir. Çok sayıda insanın yaşamasıyla birlikte daha çok binaya ihtiyaç var artık ve ziftli yolların inşası dolayısıyla su geçirmez katmanlar oluştu. Şu su geçirmez yerler, yağmur suyunun yer altına geçmesini engelleyerek yağmur suyunun akışını engellemiştir. Bu su geçirmez alanlarda, yağmur suları akıp gitmeyerek sel felaketlerine neden olmuştur. Sel felaketlerinin sonuçları can ve mal kayıplarına yol açmıştır.

Bu çalışmada, İstanbul'un Bağcılar ilçesinde yağmur suyu modeli oluşturulmuştur. Bütün bilgilere bakarak toplamda 487 tane su toplama havzası (alt havza) oluşturulmuştur. Bu model, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan Florya istasyonu verileri ve İSKİ Genel Müdürlüğü'nden temin edilen altyapı verileri kullanılarak EPA-SWMM programında geliştirilmiştir. Sonrasında, modele yeşil çatı Düşük Etkili Kentleşme (DEK) verileri eklenerek, bu uygulamaların yoğun nüfuslu kentsel alanlardaki yüzey akışına etkisi araştırılmış ve yağmur suyunun daha verimli bir şekilde nasıl yönetilebileceği incelenmiştir.

Bu çalışmada DEK uygulamalarından biri olan yeşil çatılar incelenmiştir. Bu inceleme için 36 farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar, 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık dönüş aralıklı yağış verileri ve değişik yüzdeler ile yeşil çatı uygulamaları (%20-%40-%60-%80 ve %100) kombinasyonu ile hazırlanmıştır. Yani, farklı yıllardaki olası yağış miktarlarına göre yeşil çatının nasıl davranacağı araştırılmıştır. Bu modelde, yağmur verileri kullanılarak inceleme alanındaki su çıkış noktalarındaki en yüksek su akış miktarları yorumlanmıştır. En etkili olan 2 yıllık seriye sahip ve %80 oranında yeşil çatı DEK uygulaması içeren bir sistemde, çıkış noktasının toplam debisi incelendiğinde %85,57 oranında önemli bir azalma tespit edilmiştir. Ancak 50 yıllık seri ve %60 Yeşil Çatı DEK uygulaması uygulandığında; çıkış noktasının maksimum akış hızının en düşük olduğu değerde %94,24 oranında azalma meydana gelmiştir.

Bu bulgu, yeşil çatı sistemlerinin yüzeysel akış kontrolündeki etkinliğini açıkça ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yeşil Çatı, DEK, EPA- SWMM, LID, Sürdürülebilirlik Şehirler.

SUMMARY

Contemporary cities face major water-related problems, made worse by people moving from rural areas to cities. As more people crowd into urban areas, more buildings and roads are needed. These hard surfaces, like concrete and asphalt, stop rainwater from soaking into the ground naturally. This disrupts the natural water cycle, increasing the risk of floods. Flooding can cause serious harm, including deaths and widespread damage to property.

To address these critical issues, a comprehensive rainwater management model was developed for the Bağcılar district of Istanbul. Considering all the information, a total of 487 water collection basins (sub-basins) were created. This model was constructed using the EPA-SWMM (Environmental Protection Agency - Storm Water Management Model), an internationally recognized software for urban stormwater analysis. The model used carefully collected data, including precipitation records from the Florya station, provided by the General Directorate of Meteorology, and detailed infrastructure specifications from the General Directorate of İSKİ (Istanbul Water and Sewerage Administration).

This study integrated green roof data into the EPA-SWMM model to evaluate their effectiveness as a Low Impact Development (LID) strategy. The main goal was to determine how well green roofs reduce surface runoff in urban areas and improve rainwater management.

The study specifically focused on green roofs as a representative LID application. To thoroughly evaluate their impact, 36 distinct scenarios were formulated. These scenarios systematically varied two key parameters: precipitation return intervals (2, 5, 10, 25, 50, and 100 years) and the percentage of green roof coverage (20%, 40%, 60%, 80%, and 100%). This comprehensive approach allowed for a deep investigation into how green roofs would perform under diverse rainfall magnitudes and frequencies.

The model enabled the interpretation of peak water flow at the study area's outlet points, directly correlating these values with various rainfall events. A particularly significant finding emerged from scenarios incorporating a two-year return interval rainfall event and an 80% green roof LID application. In these conditions, a remarkable

85.57% reduction in the total flow rate at the outlet point was observed. but when we apply 50-year series and 60% Green Roof DEK application; the most minimum speed of maximum flow of the outlet point was observed, a decrease of 94.24% occurred.

The study conclusively establishes the substantial role of green infrastructure, specifically green roofs, in controlling, managing and reducing stormwater runoff in urban environments.

Keywords: Green Roof, EPA-SWMM, LID, Rain Gardens, Sustainability, Sustainable Cities.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
SUMMARY	ii
İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMALAR	vi
TABLolar LİSTESİ.....	vii
GRAFİKLER LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	xi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM GENEL BİLGİLER

1.1. Tezin Amacı.....	3
1.2. Literatür Taraması	3
1.3. Hipotez.....	7

İKİNCİ BÖLÜM MATERYAL VE METODOLOJİ

2.1. SWMM /Storm Water Management Model (Yağmur Suyu Yönetim Modeli)..	8
2.2. Model Bileşenleri ve Kullanılacak Veriler	8
2.3. Hesaplama Metotları.....	9
2.3.1. Yüzey akımı.....	10
2.3.2. Sızma	10
2.4. DEK Türleri/ Düşük Etkili Kentleşme Türleri	11
2.4.1. Yeşil Çatılar Türü (Green Roof).....	11
2.4.2. Biyotutma Türü	15
2.4.3. Geçirgen Yol Türü	16
2.4.4. Sızdırma Hendeği Türü.....	17
2.4.5. Bitkili Yağmur Hendeği Türü.....	18
2.4.6. Yağmur Bahçesi Türü	19
2.5. Evrensel yeşil çatı örnekleri.....	20

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM MODEL KURULUMU VE SENARYOLAR

3.1. Uygulama Alanı.....	23
3.2. Modeli Hazırlama	25
3.2.1. Alt Havzaların Belirlenmesi (Subcatchment).....	26
3.2.2. (Junction) Birleşim Noktaları Kurulması	27
3.2.3. Boruların Yerleştirilmesi (Conduits).....	29

3.2.4. Yağış Ölçer Kurulması(Rain Gage)	29
3.3. Yeşil Çatı (DEK) Uygulamasının Modele Eklenmesi	32
3.4. Yeşil Çatı DEK Uygulamasının detayları	33

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

MODEL SONUÇLARI

4.1. İki (2) Yıllık Olası Yağış Durumları	36
4.2. Beş (5) Yıllık Olası Yağış Durumları	38
4.3. On (10) Yıllık Olası Yağış Durumları	41
4.4. Yermi Beş (25) Yıllık Olası Yağış Durumları	43
4.5. Elli (50) Yıllık Olası Yağış Durumları	45
4.6. Yüz(100) Yıllık Olası Yağış Durumları	48
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	51
KAYNAKÇA	53
EKLER.....	58

KISALTMALAR

CN	:	(Curve Number) Havza Yüzey Akış Eğri Numarası
DEK	:	Düşük Etkili Kentleşme
EPA	:	Environmental Protection Agency
İSKİ	:	İstanbul Su ve Kanalizasyon İşleri
L	:	Liter
LID	:	Low Impact Development
LPS	:	Liters Per Second
MGM	:	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
SWMM	:	Storm Water Management Model

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Yıllara göre nüfusun artması	25
Tablo 2. Florya Meteoroloji İstasyonu'nda farklı zamanlardaki en yüksek yağış miktarları.	30
Tablo 3. Florya Meteoroloji İstasyonunun Bilgileri	31
Tablo 4. Bütün senaryolar için kullandığımız özellikler/değerler.	33
Tablo 5. 2 yıllık yağış serisinde toplam gerçek debi etkinliğin sonuçları.....	36
Tablo 6. 2 yıllık yağış serisinde maksimum gerçek debi etkinliğin sonuçları	37
Tablo 7. 5 yıllık yağış serisinde toplam gerçek debi etkinliğin sonuçları	39
Tablo 8. 5 yıllık yağış serisinde maksimum gerçek debi etkinliğin sonuçları	40
Tablo 9. 10 yıllık yağış serisinde toplam gerçek debi etkinliğin sonuçları	41
Tablo 10. 10 yıllık yağış serisinde maksimum gerçek debi etkinliğin sonuçları.....	42
Tablo 11. 25 beş yıllık yağış serisinde toplam gerçek debi etkinliğin sonuçları.....	43
Tablo 12. 25 yıllık yağış serisinde maksimum gerçek debi etkinliğin sonuçları	45
Tablo 13. 50 yıllık yağış serisinde toplam gerçek debi etkinliğin sonuçları	46
Tablo 14. 50 yıllık yağış serisinde maksimum gerçek debi etkinliğin sonuçları.....	47
Tablo 15. 100 yıllık yağış serisinde toplam gerçek debi etkinliğin sonuçları	48
Tablo 16. 100 yıllık yağış serisinde maksimum gerçek debi etkinliğin sonuçları.....	49

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 1. Yıllara göre nüfusun artması	25
Grafik 2. Florya Metroloji İstasyonu'na Şiddet- Süre-Tekerrür eğrisi.....	32
Grafik 3. Florya İstasyonuna ait çeşitli tekerrürlerin hiyetografi	32



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Su Döngüsüne İnsan Etkisi	1
Şekil 2. EPA (Enviromental Protecion Agency) building, USA 2025.....	3
Şekil 3. SWMM modelinde yüzey akımının oluşumu	10
Şekil 4. Yeşil çatı sisteminin inşaat örneği	12
Şekil 5. Yoğun ve geniş yeşil çatılar	12
Şekil 6. Yeşil çatılar ekosistemler üzerindeki etkileri	13
Şekil 7. yeşil çatı katmanları	13
Şekil 8. Şematik olarak yeşil çatı katmanları.....	14
Şekil 9. Eksentif yeşil çatı örneği (London Roof Garden)	14
Şekil 10. Yeşil Çatıların Çevresel ve Yağmur Suyu Faydaları	15
Şekil 11. İzmir Karşıyaka Belediyesi Biyotutma uygulaması, 2017	16
Şekil 12. Suyu geçiren yol yapımı	17
Şekil 13. Suyu geçiren yol yapımı şematik sistemin basit çizimi	17
Şekil 14. Sızdırma çukurunun şematik görüntüsü	18
Şekil 15. Yağmur hendeğinin genel görünüşü	18
Şekil 16. yağmur bahçesi,.....	19
Şekil 17. Yağmur bahçelerinde su çevrimi.....	20
Şekil 18. San Francisco'daki yeni Kaliforniya Bilimler Akademisi binası, 2005.....	21
Şekil 19. Mountain Equipment Coop, Kanada'daki yeşil çatı. Mağaza 1998.....	21
Şekil 20. Historial de la Vendée, Les-Lucs-sur-Boulogne, Fransa, 2005	22
Şekil 21. Singapur Botanik Bahçeleri'ndeki Yeşil Pavyon'daki yeşil çatı, 2007	22
Şekil 22. Çalışma alanı konumu.....	23
Şekil 23. İnceleme yeri planı.	24
Şekil 24. Bağcılar bölgesinde su toplama alt havzaları	26
Şekil 25. Alt havza karakterleri girdi örneği(Subcatchment 001).....	27
Şekil 26. Birleşim noktaları (Junction) özellikleri.....	28
Şekil 27. AK37404Y birleşim noktası (junction) verileri.....	28
Şekil 28. C149 boru (conduits) verileri.....	29
Şekil 29. SWMM programında yeşil çatı yapılan alt havzalar.	34
Şekil 30. SWMM programında yeşil çatı nitelikleri	34
Şekil 31. SWMM programında toprak nitelikleri.....	35
Şekil 32. SWMM programında drenaj nitelikleri.....	35
Şekil 33. 2 yıllık durumda çıkış noktasının toplam gerçek debisinin grafiği	37
Şekil 34. 2 yıllık durumda çıkış noktasının maksimum gerçek debisinin grafiği.....	38
Şekil 35. 5 yıllık durumda çıkış noktasının toplam gerçek debisinin grafiği	39
Şekil 36. 5 yıllık durumda çıkış noktasının maksimum gerçek debisinin grafiği.....	40
Şekil 37. 10 yıllık durumda çıkış noktasının toplam gerçek debisinin grafiği.....	42
Şekil 38. 10 yıllık durumda çıkış noktasının maksimum gerçek debisinin grafiği	43
Şekil 39. 25 yıllık durumda çıkış noktasının toplam gerçek debisinin grafiği.....	44
Şekil 40. 25 yıllık durumda çıkış noktasının maksimum gerçek debisinin grafiği.	45

Şekil 41. 50 yıllık durumda çıkış noktasının toplam gerçek debisinin grafiği.....	46
Şekil 42. 50 yıllık durumda çıkış noktasının maksimum gerçek debisinin grafiği	47
Şekil 43. 100 yıllık durumda çıkış noktasının toplam gerçek debisinin grafiği.....	49
Şekil 44. 100 yıl durumda çıkış noktasının maksimum gerçek debisinin grafiği.....	50
Şekil 45. EK-Şekil/ SWMM yağış ölçer için büyük yağışlar değerini 2 yıl boyunca.....	58
Şekil 46. EK-Şekil/ SWMM yağış ölçer için büyük yağışlar değerini 5 yıl boyunca.....	58
Şekil 47. EK-Şekil/ SWMM yağış ölçer için büyük yağışlar değerini 10 yıl boyunca.....	59
Şekil 48. EK-Şekil/ SWMM yağış ölçer için büyük yağışlar değerini 25 yıl boyunca.....	59
Şekil 49. EK-Şekil/ SWMM yağış ölçer için büyük yağışlar değerini 50 yıl boyunca.....	60
Şekil 50. EK-Şekil/ SWMM yağış ölçer için büyük yağışlar değerini 100 yıl boyunca.....	60



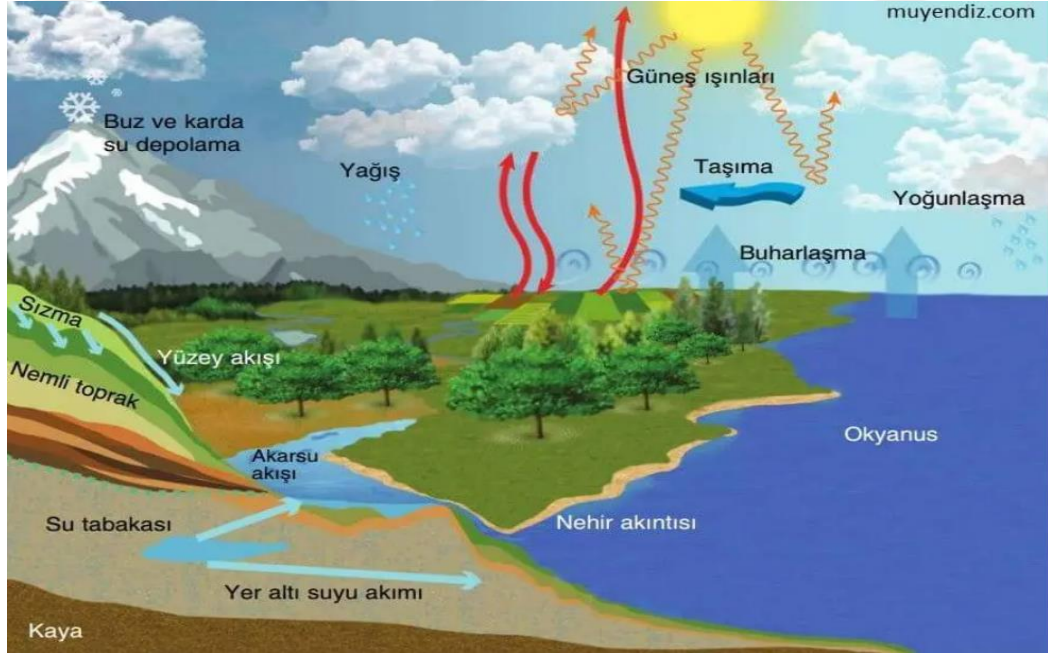
ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca bana yardımcı olan ve destek veriler seti bilgileri paylaşan çok değerli hocam Dr.Öğr.Üyesi Yasin PAŞA'ya çok teşekkür ederim. Desteklerinden dolayı Dr.öğr.üyesi Mustafa NURİ, Dr.Öğr.Üyesi Yüsra ZIADA, Dr.Öğr.Üyesi Mustafa YURDABAL ve bölüm direktörü Dr.öğr.üyesi Ahmet REŞAD NOORİ'ye teşekkür ederim. En sonunda, hayatımın her anında yanımda olan, bugünlere gelmem için her şeyi feda eden, bana hep destek olan ve sevgisini her zaman bulunan çok sevgili babacığım(Allah rehmet versin) ve çok sevgili hasta anneciğime(Allah şifa versin), çok sevgili kardeşlerime(İnş. Müh. Ahlam, Yüksek Müh. Nidal ve Dişçi Dr.Öğr.Üyesi Jihad), çok sevgili eşime, çok sevgili canım oğullarıma(Ahmad ve Abdullah) ve çok sevgili canım kızlarıma(Fatma, Alaa ve Arwa) -Allah onları her türlü kötülükten korusun- sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

GİRİŞ

Su, gezegenimizin oluşumundan itibaren yaşamın vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Okyanuslar, nehirler, göller ve yer altı suları gibi su kütleleri, atmosfer ve karasal sistemler arasında sürekli bir alışveriş içindedir (Şekil 1). Güneş enerjisiyle buharlaşan su, atmosferde yükselir, soğur ve yoğunlaşarak yağış olarak yeryüzüne döner. Yağış suları, yer altı sularını besler, bitkiler tarafından emilir veya yüzey akışı ile denizlere ulaşır. Bu döngü, sadece suyun dağılımını değil, aynı zamanda Dünya'nın iklimini, erozyonu ve sediment taşınımını da etkileyen karmaşık bir süreçtir.

İnsanlık tarihinin en eski su yönetimi çabalarından biri, tarımın doğuşuyla ortaya çıkmıştır. Başlangıçta doğal su kaynaklarına bağımlı olan insanlar, artan su ihtiyacını karşılamak amacıyla sulama sistemleri geliştirmiştir. Yeraltı sularının keşfiyle birlikte kuyular inşa edilerek yeni su kaynaklarına ulaşılmıştır. Ancak bu faaliyetler, yeraltı su seviyelerinde düşümlere neden olarak su kaynaklarının sürdürülebilirliğini tehdit etmeye başlamıştır. Canlıların su döngüsüne olan etkileri, tarihsel süreç içerisinde teknolojik gelişmeler ve değişen çevresel koşullar paralelinde sürekli olarak evrilmiştir. (url-1).



Şekil 1. Su Döngüsüne İnsan Etkisi

Kaynak: Url-1

İklim değişikliği ve artan nüfus baskısı, su kaynakları üzerindeki stresi artırarak su kıtlığı ve su baskınları gibi çelişkili sorunlara yol açmaktadır. Hızlı kentleşme, bu sorunları daha da şiddetlendirerek doğal ekosistemleri olumsuz etkilemektedir. Yağmur suyu yönetimi, bu sorunlara bütüncül bir yaklaşım sunarak su kaynaklarının daha etkin kullanılmasını ve su çevriminin korunmasını amaçlar. Yağmur suyu drenaj sistemleri, bu yaklaşımın önemli bir bileşenini oluşturarak su kaynaklarının korunmasına ve sürdürülebilirliğine katkıda bulunur.

Yağış sonrası oluşan yüzeysel akışın neden olduğu sorunları azaltmak amacıyla geliştirilen, yeşil çatı teknolojilerinin ve yağmur suyu drenaj sisteminin performansını değerlendirmek için bu çalışmada EPA (Environmental Protection Agency) SWMM (Storm Water Management Model) modelleme yazılımından yararlanılmıştır. EPA SWMM, kentsel alanlardaki yağış-akış ilişkisini simüle etmek ve su kalitesini değerlendirmek için sıklıkla kullanılan bir araçtır. Nuri (2014) tarafından da belirtildiği gibi, EPA-SWMM, kentsel havzalarda hidrolojik modelleme alanında önemli bir yere sahiptir.

EPA-SWMM programıyla belirlenen Düşük Etkili Kentleşme yöntemleri, yağmur sularının toplanıp taşınmasında kullanılan sistemlere dahil edilerek, su taşkınları gibi sorunların daha sürdürülebilir çözümlerle giderilmesini sağlar.

Bu çalışma, Bağcılar'da bir alanda yağmur suyu drenaj sistemini modelleyerek, Yeşil Çatı Düşük Etkili Kentleşme yöntemlerinin bu sistem üzerindeki etkisini incelemeyi hedeflemektedir.

BİRİNCİ BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Tezin Amacı

Çalışmada, kentsel alanlarda sıkça karşılaşılan geçirimsiz yüzeylerin neden olduğu sorunları değerlendirmek amacıyla EPA- SWMM (Environmental Protection Agency - Storm Water Management Model) modeli ve yeşil çatı teknolojilerini kullanılmıştır (Şekil 2).

1. EPA- SWMM modelini kullanarak çalışma alanındaki yağmur suyu drenaj sistemini simüle etmek.
2. EPA- SWMM modelinde yer alan Yeşil Çatı (DEK) uygulamaları ile suyun toprağa sızmasını sağlayarak yüzey akışını azaltmak ve böylece pik debi değerlerini düşürerek drenaj sisteminin daha etkin çalışmasını sağlamak amaçlanmaktadır.



Şekil 2. EPA (Enviromental Protecion Agency) building, USA 2025

1.2. Literatür Taraması

Bu tez çalışması hazırlanırken, bilimsel literatürdeki ilgili çalışmalardan yararlanılmıştır. Bu bölümde, söz konusu çalışmaların yöntemleri ve bulguları özetlenmiş, böylece tez kapsamında anlamlı ve doğru bir yaklaşım sergilenmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmalar aşağıdaki gibidir.

Gülbaz (2010) alışmasında, Sazlıdere Havzası'nın hidrolojik davranışını anlamak ve gelecekteki su kaynakları yönetimi için temel oluşturmak amacıyla EPA-SWMM modelini kullanmıştır. Havzada gerçekleştirilen detaylı hidrometrik ölçümler ve model sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilerek, havzadaki su miktarı ve akış rejimleri hakkında önemli tahminler elde edilmiştir. Ayrıca, havzada mevcut kirlilik yükünün taşınımı ve su kalitesinin değerlendirilmesi için SWMM modelinde kirlilik taşıma modülü kullanılarak bir su kalitesi modeli geliştirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, havzada özellikle nüfus artışı ve buna bağlı olarak artan yüzeysel akışlar nedeniyle su miktarında önemli artışlar olduğu ve mevcut altyapının bu duruma yetersiz kaldığı sonucuna varılmıştır.

Toy (2011) tarafından yrtlen çalışmada, Antalya ili yağmur suyu drenaj sisteminin taşkın riskini azaltmaya yönelik kapasite iyileştirme alternatifleri incelenmiştir. Araştırma sonuçları, mevcut sistemin yetersiz olduğunu ve bu durumun kentsel altyapıya yönelik önemli tehditler oluşturduğunu ortaya koymuştur. Çalışmada, yeşil çatı sistemleri, ana kolektör iyileştirmeleri, tünel sistemleri ve depolama havzaları gibi çeşitli çözüm nerileri değerlendirilmiştir. Yapılan detaylı analizler sonucunda, bekletme havzalarının Antalya ili koşullarında en uygun ve etkili çözüm olduğu belirtilmiştir.

Gülbaz vd. (2017), çalışmalarında, Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamaları kapsamında biyotutma sistemlerinin ulusal literatürdeki yerini güçlendirmeyi hedeflemişlerdir. Bu sürdürülebilir altyapı çözümünün amacı, işlevi ve uygulama alanları hakkında kapsamlı bir inceleme sunulmuştur.

İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü'nde inşa edilen yağış-havza-biyotutma deney düzeneği vasıtasıyla, farklı senaryolar altında detaylı bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, yağmur suyu drenaj sistemlerinin yetersizliği ve kontrolsüz yüzeysel akışın neden olduğu taşkın ve sel gibi hidrolojik olayların etkilerini azaltmada biyotutma yönteminin etkili bir çözüm olduğunu ortaya koymuştur.

nal ve Akyüz (2017), kentsel alanlarda yağmur suyunun yeraltına sızmasını sağlayarak su kaynaklarını koruyan yağmur hendeklerini incelemişlerdir. Çalışmada, geleneksel drenaj sistemlerine göre yağmur hendeklerinin daha sürdürülebilir ve

verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Kuru tip yağmur hendeklerinin kentsel, ıslak tip yağmur hendeklerinin ise kırsal alanlar için daha uygun olduğu belirtilmiştir.

Gülbaz vd. (2018), Avcılar kampüsünün hidrolojik modellenmesi üzerine yaptıkları çalışmada, EPA SWMM modelinin güçlü bir araç olduğunu göstermişlerdir. Araştırmacılar, modelde farklı DEK senaryoları oluşturarak, bu uygulamaların yüzeysel akış ve pik debi üzerindeki dozaj etkilerini analiz etmişlerdir. Elde edilen bulgular, DEK uygulamalarının hem yüzeysel akışın hacmini hem de pik debi değerlerini belirgin bir şekilde azalttığını ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, DEK uygulamalarının kentsel alanlarda su yönetimi sorunlarına çözüm sunmada etkin bir araç olabileceğini desteklemektedir.

Sadeghinazhad (2019), Bastam şehri için geliştirdiği hidrolik modelde, DEK uygulamalarının farklı senaryolarda pik akışlara olan etkisini nicel olarak değerlendirmiştir. Elde ettiği bulgulara göre, sızdırma çukurları ve yağmur varillerinin, kentsel alanlarda meydana gelen ani sel olaylarının şiddetini azaltmada önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.

Samouei (2019), İstanbul Teknik niversitesi kamp alanında gerçekleştirilen çalışmasında, DEK yöntemlerinin farklı kombinasyonlarını kullanarak hidrolojik modelleme üzerine odaklanmıştır. Özellikle 2009 ve 2011 yıllarında yaşanan aşırı yağış olaylarının yol açtığı su baskınları sorunu üzerine yoğunlaşan araştırmacı, yeşil çatı, geçirgen zemin ve biyolojik tutma havzaları gibi farklı DEK uygulamalarını modelde çeşitli oranlarda bir araya getirerek farklı fırtına dönüş aralıklarında simülasyonlar gerçekleştirmiştir. Elde ettiği sonuçlara göre, özellikle 50 yıllık dönüş aralığında tasarlanan fırtına senaryosu için pik debi ve toplam akış hacminde azalma elde edilmiştir. Bu bulgular, DEK uygulamalarının kentsel alanlarda su yönetimi sorunlarına çözüm üretme potansiyelini vurgulamaktadır.

şengün (2020), Ege niversitesi kampüsünde yer alan belirli bir alanda yağmur suyu yönetimi problemini ele alarak, SWMM modelleme aracılığıyla kapsamlı bir analiz gerçekleştirmiştir. Çalışmada, mevcut drenaj sisteminin taşkın riskini azaltmak amacıyla Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamalarının entegre edilmesi ve modelin bu doğrultuda optimize edilmesi hedeflenmiştir. Biyotutma havzaları, yeşil çatı sistemleri, geçirgen kaldırımlar, sızdırma hendekleri ve bitkili hendekler gibi çeşitli DEK tekniklerinin yüzeysel akışa olan etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu

sayede, çalışma alanında sürdürülebilir ve etkin bir yağmur suyu yönetimi stratejisi önerilmiştir.

Kaya (2021) yaptığı çalışmada, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Avcılar Kampüsü'nün yağmur suyu drenaj sistemi modellemesini EPA SWMM programı kullanarak gerçekleştirmiştir. Çalışma alanına komşu parsellerden gelebilecek yağmur suyu akışlarını da dikkate alarak, 2, 10 ve 50 yıllık dönüş sürelerine sahip yağış olayları için analizler yapmıştır. Model sonuçlarına göre, yeşil altyapı uygulamalarının sistem performansını artıracak önerisinde bulunmuştur. Sistemin maksimum akış hızları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu yağış verileri doğrultusunda, Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamaları arasında biyotutmanın maksimum akış hızını azaltmadaki etkinliğinin en düşük, yeşil çatı uygulamasının ise en yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Sevimli (2021), Bursa Uludağ Üniversitesi Görüklü Kampüsü'nde yürüttüğü kapsamlı çalışmasında, yağmur suyu yönetimi uygulamalarını inovatif bir yaklaşımla ele almıştır. Yeşil çatı gibi sürdürülebilir altyapı çözümleriyle binalarda su döngüsünün optimize edilmesini hedefleyen Sevimli, yağmur hasadı tekniği vasıtasıyla binaların su ayak izini önemli ölçüde azaltabileceğini deneysel olarak göstermiştir.

Berlin'de aşırı yağış olayı (>20 mm/saat) sırasında gerçekleştirilen bir yeşil çatı projesi, yüzey akışının %97'sini başarıyla azaltarak yeraltı suyu sistemleri üzerindeki baskıyı büyük ölçüde hafifletti. (Busker vd., 2022).

Edin (2023) ve Altun (2024), Yoğun yapılaşma ve kentleşmenin görüldüğü yerleşim alanlarında, geçirimsiz yüzeylerden akan yağmur sularının sel ve su baskını gibi olumsuz etkilerini azaltma ve kontrol etmede Düşük Etkili Kentleşme (DEK) yöntemlerinin önemi, yapılan çalışma sonucunda sayısal değerlerle ifade edilmiştir.

Zhang vd. (2024), çalışmalarında, Analizler, sürdürülebilir kentsel gelişim için yeşil çatı teknolojilerine ilişkin daha geniş uygulamanın ve daha fazla araştırmanın gerekli olduğunu göstermektedir. Kentsel alanlar, başta yağmur suyu yönetimi olmak üzere önemli çevresel zorluklarla karşı karşıyadır. Sürdürülebilir ekolojik altyapılar olarak Yeşil çatılar, bu sorunların çözümünde ikili faydalar sağlar.

Çalışma alanı için en uygun değişiklik oranları, toplam yıllık akış kontrolü hedefine ulaşmak için belirlendi. Bazı test örnekleri için, %70 toplam yıllık akış kontrolüne ulaşmak için, yeşil çatılar, geçirgen yollar, biotutmalar ve Bitkili Yağmur Hendekler için en uygun değişiklik oranları sırasıyla %67,5, %92,2, %88,9 ve %50'dir(Mai vd., 2025). Bu durum, yeşil çatının verimliliğinin yaklaşık olarak %100 seviyesinde olduğunu göstermektedir.

Sarı (2025) çalışmasında, söz konusu sorunları hafifletmek ve uzun vadede kalıcı çözümler üretmek amacıyla İstanbul'un Çatalca ilçesine bağlı Subaşı Mahallesi'nde meydana gelen aşırı yağışları ele almaktadır. Tasarlanan drenaj sisteminin performansı düzenli olarak izlenmeli ve gerekli iyileştirmeler yapılmalıdır. Bölgesel gelişim ve nüfus artışına paralel olarak kapasite değerlendirmeleri periyodik olarak güncellenmelidir.

Çakmak (2025) tarafından yürütölen çalışmada, İstanbul'un Bağcılar ilçesi Yıldıztepe ve İnönü Mahalleleri'nde, yoğun yapılaşmanın olduğu bir alandaki veriler kullanılarak SWMM programında gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışması, yoğun yapılaşmış şehirlerde yeşil çatıların sağladığı faydalar ve güncel maliyetleri göz önüne alındığında, bu sistemlerin geleneksel yağmursuyu altyapı sistemleriyle birlikte kullanılmasının daha uygun olacağını ortaya koymuştur. Özellikle İstanbul, Ankara, İzmir ve Bursa gibi nüfus ve kentleşmenin yoğun olduğu Türk şehirlerinde yeşil çatı uygulamalarının yaygınlaşması, daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

1.3. Hipotez

Yeşil çatının Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamalarının yağmur suyu drenaj sistemlerine entegrasyonu, yağış sonrası yüzeysel akış hacimlerinin ve pik debi değerlerinin azalmasına yol açarak daha sürdürülebilir bir kentsel hidroloji döngüsü oluşturmaktadır.

İKİNCİ BÖLÜM

MATERYAL VE METODOLOJİ

Bu bölümde, yağmur sularını yöneten bir bilgisayar programı olan ve Amerikan Birleşik Devletlerinin Çevre Koruma Ajansını geliştirdiği EPA-SWMM'den (Environmental Protection Agency- Storm Water Management Model) anlatılmıştır. Bu programla, yeşil çatı ve çevre dostu uygulamaları nasıl bir modele ekleneceği, detaylı olarak anlatılmıştır.

2.1. SWMM /Storm Water Management Model (Yağmur Suyu Yönetim Modeli)

1971'den beri kullanılan SWMM adlı bir bilgisayar programı, yağmur yağdığında yerdeki suların nasıl aktığını ve biriktiğini gösteren bir simülasyon yapmaktadır. Bu program, hem uzun süreli yağışları hem de kısa süreli şiddetli yağmurları inceleyebilmektedir. (Rossman, 2015); Huber ve Diekinson, 1988).

Bu model, yağmurun sürekli veya kısa süreli yağmasıyla oluşan su döngüsünü incelemektedir. Yağmurun toprağa sızması, buharlaşması, yeraltında birikmesi ve yüzeyde akması gibi olayları matematiksel formüllerle açıklamaktadır. (Huber ve Diekinson, 1988).

EPA-SWMM programı ile belirlenen küçük su havzalarının eğimi, genişliği, tasarlanan su yollarının uzunluğu, kesiti, suyun girdiği ve çıktığı noktaların yüksekliği gibi bilgiler elde edilebilmektedir. Yağış miktarı (hem kısa hem de uzun süreli) değiştiğinde, akışkanın hızla ne kadar aktığı, su seviyesinin ne olduğu gibi su havzasındaki önemli değerler de ölçülmektedir (Gülbaz vd., 2018).

2.2. Model Bileşenleri ve Kullanılacak Veriler

Yağmur ölçer (Rain Gage) : Bir ya da birkaç alt havzaya ait yağış değerlerini ölçmeyi sağlamaktadır. Veri türü ve zaman aralığı modeli kuran tarafınca belirlenir ve manuel ya da başka bir kaynaktan modele girilir.

Alt havzalar (Subcatchment) : Hidrolojik anlamda aynı çıkış noktasına aktarılan alanlar, alt havzaları meydana getirmektedir. Bu yapıların tanımlanmasında önemli argümanlar şöyledir;

1. Havza alanı
2. Ortalama eğim
3. Ölçülen yağış girdileri
4. Geçirimsiz yüzey oranı
5. Genişlik
6. Geçirimli ve geçirimsiz yüzeylerin Manning pürüzlülük katsayısı
7. Geçirimli ve geçirimsiz yüzeylerin depresyon depolaması

Birleşim ve Bağlantı düğüm noktaları (Junction) : Modellenen drenaj sisteminin bağlantı elemanıdır. Doğal yüzey kanallarının kesişimi ve boru bağlantı noktaları bu yapı elemanına örnektir. Söz konusu birleşim noktalarının bulunduğu kot önemli bir argümandır.

Çıkış noktası (Outfall) : Drenaj sisteminde suyun tahliye edildiği, bu sebeple en düşük kotta bulunan noktadır. Bu noktanın bulunduğu kot önemli bir argümandır.

Akım bölücü (Pumps) : Drenaj sisteminde düğüm noktasına gelen akımı belirli kanallara yönlendirmesini sağlayan sistem elemanıdır.

Depolama ünitesi (Storage Units) : Bu sistem elemanı, fiziksel olarak depolama kapasitesini ifade etmektedir. Yüzey alanı derinlik fonksiyonu ile hacimsel niteliği tanımlanmaktadır.

Boru (Conduit) : Drenaj sisteminde, iki farklı nokta arasında boru veya kanal şeklinde bir bağlantı kurularak su akışı sağlanır. (Nuri Balov, 2014)

2.3. Hesaplama Metotları

Çalışmanın bu bölümünde SWMM programının yaklaşımına göre, yağış- akış sürecinde kullanılan hesaplama yöntemlerinden ve model kurulumunda kullanılan hesaplama yöntemlerinden yüzey akımı ve sızma açıklanmıştır.

SWMM’de mevcut matematiksel hesaplama metotları aşağıdaki gibidir;

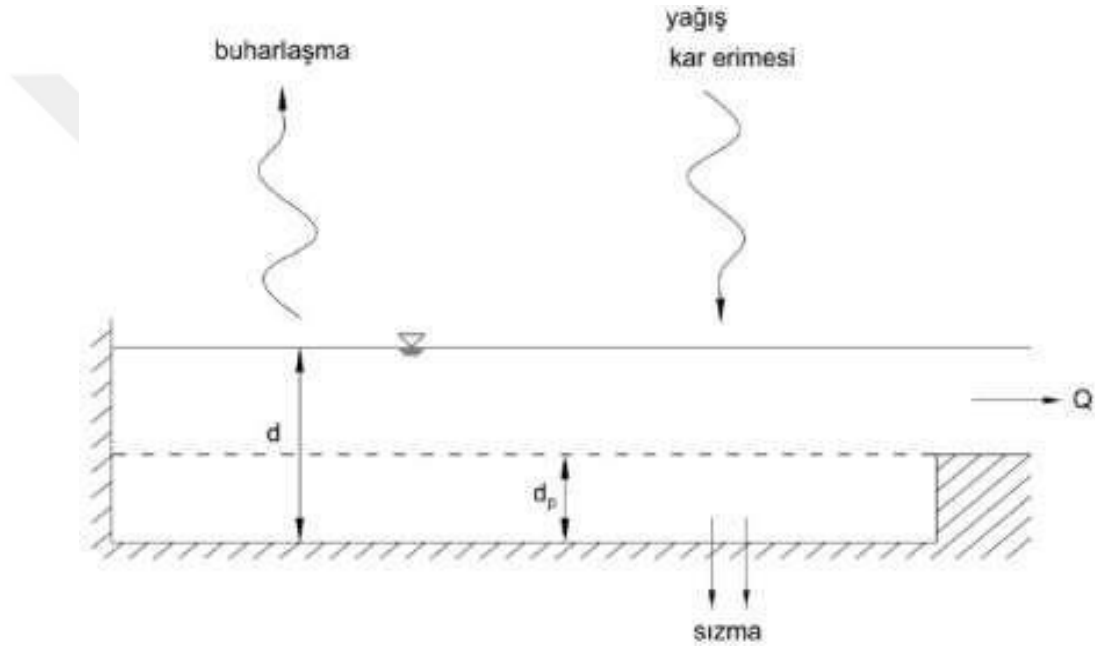
- 1) Yüzey akımı,
- 2) Sızma,
- 3) Yeraltı suyu,
- 4) Kar erimesi,
- 5) Akış ötelemesi,

6) Saint- Venant denklemleri.

Bu çalışmada kullanılacak olan hesaplama yöntemleri yüzey akımı ve sızmadır.

2.3.1. Yüzey akımı

Alt havzaların her biri, doğrusal olmayan bir depolama sistemi gibi davranır. Bu sisteme giren su, başka bir alt havzadan veya doğrudan yağıştan kaynaklanabilir. Çıkan su ise buharlaşma, infiltrasyon veya yüzeysel akış yoluyla kaybedilir. Deponun maksimum kapasitesi, depresyon depolama hacminin maksimumuna eşittir. Şekil 3'te SWMM modelinde yüzey akımı şematik olarak belirtilmiştir.



Şekil 3. SWMM modelinde yüzey akımının oluşumu

Kaynak: Nuri Balov, 2014

2.3.2. Sızma

EPA SWMM (Environmental Protection Agency) (Storm Water Management Model) modelinde sızma hesabı için Horton denklemi, Green-Ampt modeli ve SCS eğri numarası yöntemi olmak üzere üç farklı yaklaşım kullanılmaktadır (Nuri Balov, 2014).

Horton Denklemi: Yapılan deneylerde görüldü ki, bir şeyin içine sızma hızı ilk başta herhangi bir hızda (f_0) başlayabiliyor. Ama sonra bu hız giderek azalıyor ve sonunda sabit bir hıza (f_c) ulaşıyor. Hızın zamanla değişimi verilen formüllerle hesaplanmaktadır. Formülde kullanılan (k) değeri azalma sabitidir (Nuri Balov, 2014).

Green-Ampt Yöntemi: Bitki örtüsüyle kaplı ve nemli topraklarda suyun sızma hızını hesaplamak için özel bir yöntem kullanılmaktadır. (Huber ve Dickinson, 1988).

SCS Eğri Numarası Yöntemi: Bu hesaplama yöntemi ilk olarak 1954 yılında bulunmuştur. Daha sonra, ikinci bir akışın ne kadar olacağını tahmin etmek için NRCS (SCS) Eğri Numarası Yöntemi kullanılarak geliştirilmiştir. Bu yöntemde, bir toprağın suyu ne kadar hızlı emebileceğini, çizelgedeki eğrilerin sayısına bakarak anlaşılacaktır (Samouei, 2019).

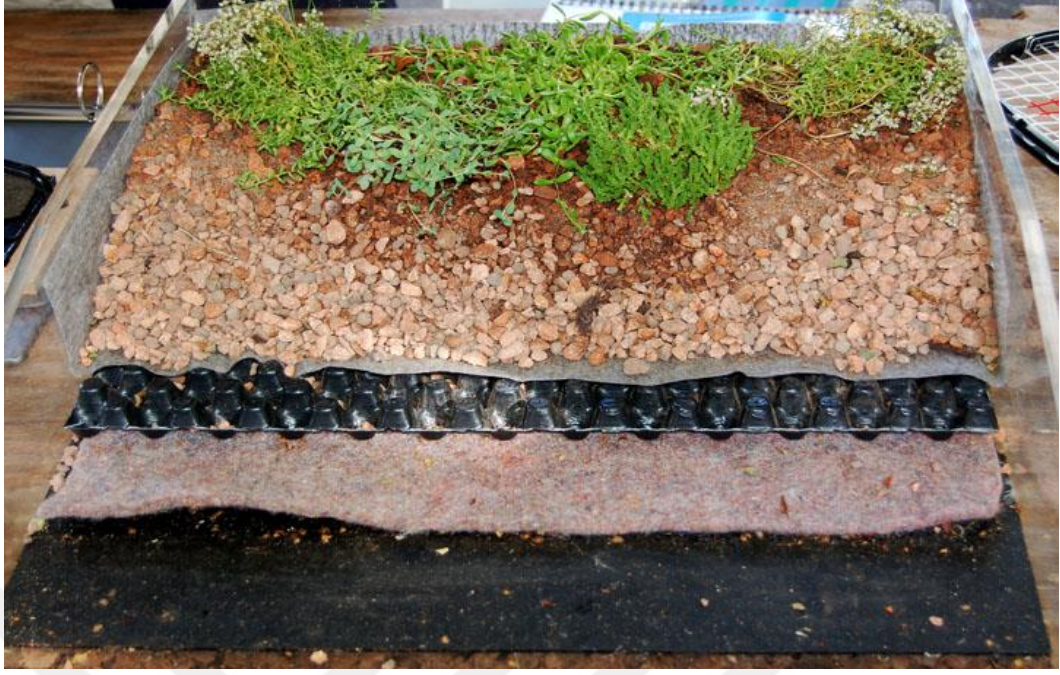
2.4. DEK Türleri/ Düşük Etkili Kentleşme Türleri

Düşük Etkili Kentleşme (DEK), suyun hidrolojik döngüsünü koruyarak yüzeysel akışı azaltmayı ve böylece sel ve taşkın riskini düşürmeyi hedefleyen bir su yönetimi stratejisidir. Bu yaklaşım, kentleşmeyle birlikte artan geçirimsiz yüzeylerin etkilerini azaltarak toprağa sızmayı artırmayı amaçlar. (Gülbaz, 2015).

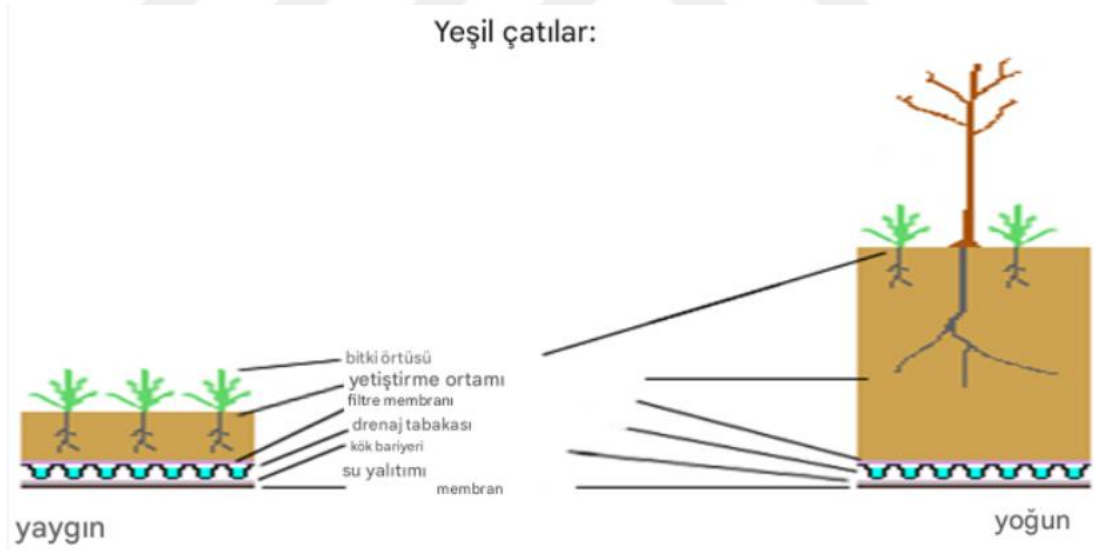
Sharma, Lee, Nicholas Ve Keller (2021), standart yağmur suyu borusu tasarım kılavuzlarına 1,4 ila 1,7 arasında bir güvenlik faktörü eklenmesinin, mevcut derin belirsizliklere karşı sağlam bir performans sağladığı tespit edilmiştir. Bu çalışma, sosyoekonomik ve çevresel değişimler ışığında altyapı güvenilirliğini artırmak amacıyla geleneksel mühendislik tasarım yaklaşımlarının güncellenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

2.4.1. Yeşil Çatılar Türü (Green Roof)

Yeşil çatı (Şekil 4, Şekil 5) için örnek olarak, Berlin'de aşırı yağış olayı (>20 mm/saat) sırasında gerçekleştirilen bir yeşil çatı projesi, yüzey akışının %97'sini başarıyla azaltarak yeraltı suyu sistemleri üzerindeki baskıyı büyük ölçüde hafifletmiştir(Busker vd. 2022).


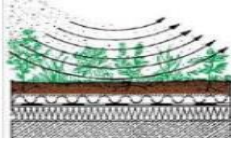
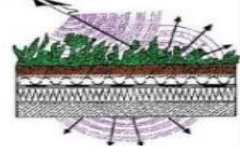
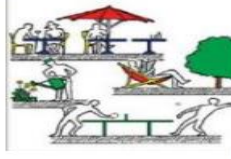

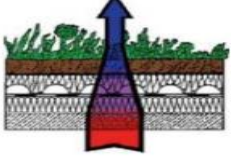
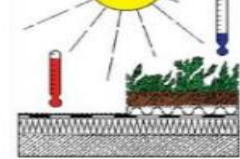



Şekil 4. Yeşil çatı sisteminin inşaat örneği
Kaynak: Url- 2



Şekil 5. Yoğun ve geniş yeşil çatılar
Kaynak: Url- 3

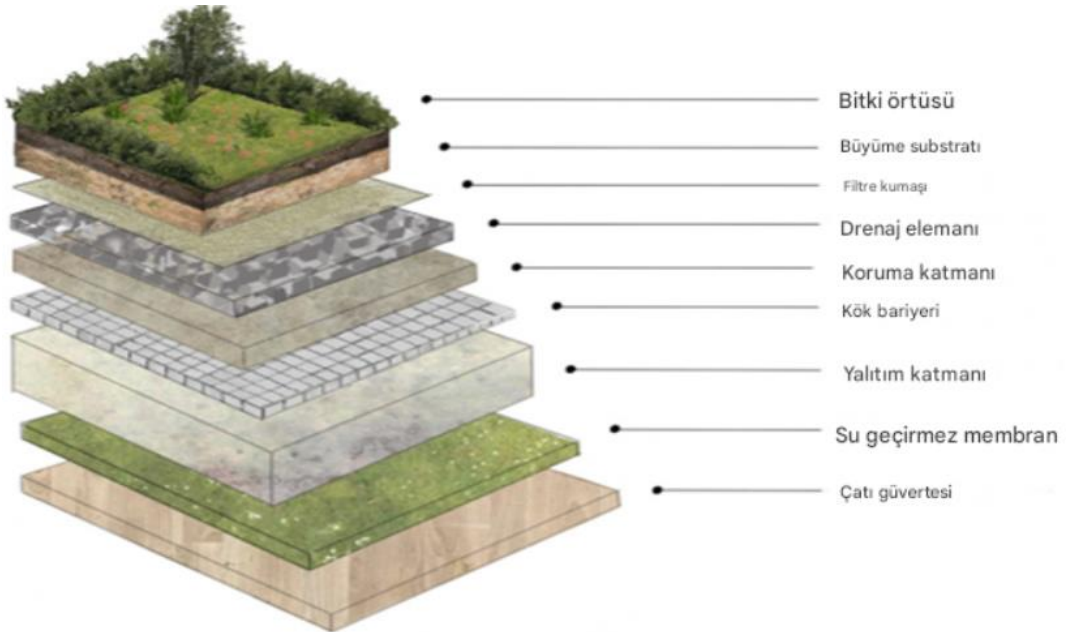
Yeşil çatı kavramı basit tanımının ötesinde ekolojik (Şekil 6) ve sosyal açıdan oldukça önemli avantajlar sunan sistemlerdir(Özyavuz vd.,2015).

			
Atık su miktarı azalır	Daha az tozlu ortam yaratır	Ortam gürültüsü azalır	Yeni yaşam alanları oluşturur
			
Ortamın iklim karakteristiği değiştirir, kent ısı adası etkisini azaltır	Çatının ısı izolasyonu artar, enerji verimliliği artar.	Su yalıtımı ile bina ömrünün daha uzun olmasını sağlar	Doğal çevre oluşturur, habitata destek sunar, estetik ve konfor sağlar

Şekil 6. Yeşil çatılar ekosistemler üzerindeki etkileri

Kaynak: Özyavuz vd., 2015

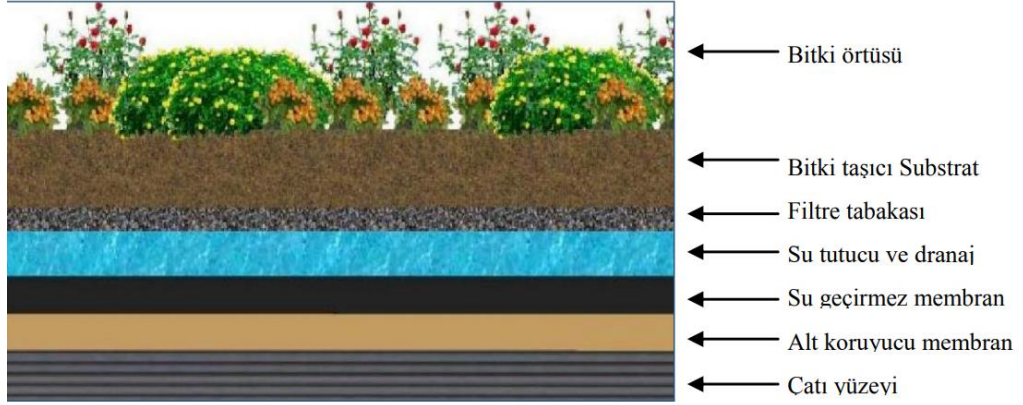
Yeşil çatı, binanın çatısına yapılan, su geçirmez bir tabakanın üzerine toprak ve bitki ekilerek oluşturulan bir bahçe gibidir(Şekil 7). Bu sayede binaların çatılarında bitkiler yetişebilir. Şehirlerde yeşil alanların azalması nedeniyle oluşan hava kirliliği ve sıcaklık artışı gibi sorunlara çözüm bulmak için yeşil çatılar çok faydalıdır. (Demirhan, 2021).



Şekil 7. yeşil çatı katmanları

Kaynak: Zhang vd., 2024

Çatılara su sızdırmaması için özel bir kaplama yapıldıktan sonra ekilen bitkiler, şehirdeki yaşamı ve havayı daha temiz hale getirerek, yağmur sularının neden olduğu sorunlara kalıcı ve yeni bir çözüm sunmaktadır(Şekil 8).



Şekil 8. Şematik olarak yeşil çatı katmanları

Kaynak: Daryaei, 2019

Doğal su tahliyesi sağlamak için eksentif yeşil çatılar en az %1,5–2 eğime sahip olmalıdır. (Külekçi Akpınar, 2017). Eksentif yeşil çatı örneği **Şekil 9**'da verilmiştir.



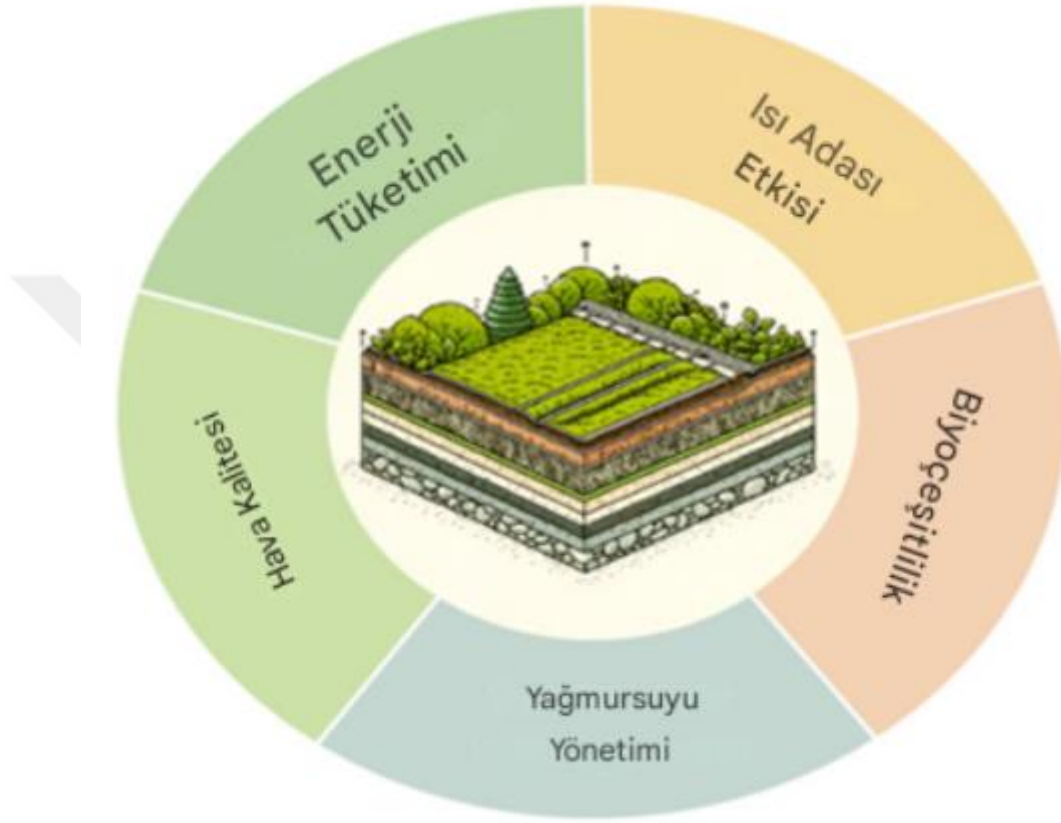
Şekil 9. Eksentif yeşil çatı örneği (London Roof Garden)

Kaynak: Külekçi Akpınar, 2017

Yeşil çatı sadece binaların üstünde değil, otoparkların üstü gibi boş alanlarda da kullanılabilir. (Şengün, 2020).

Yeşil çatıların dağıtımı, kentsel duman ve toz kirliliğiyle mücadelede basit ve etkili bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Araştırmalar, yeşil çatıların karbondioksit, nitrojen oksit ve kükürt oksitlerin azaltılmasına katkıda bulunurken aynı zamanda

uçucu organik bileşiklerin konsantrasyonunu artırdığını göstermiştir(Şekil 10). Dahası, kentsel rüzgar yolları boyunca yerleştirilen yeşil çatılar, yüksek çatı sıcaklıklarının rüzgar hızı üzerindeki sönümleme etkisini hafifletebilir ve böylece şehir genelinde daha düzgün bir hava akışı sağlayabilir. Bu yeşil çatılar aynı zamanda su akışının kontrolü üzerinde de çok büyük ve önemli etkilere sahiptir(Zhang vd., 2024).



Şekil 10. Yeşil Çatıların Çevresel ve Yağmur Suyu Faydaları

Kaynak: Zhang vd., 2024

2.4.2. Biyotutma Türü

Biyotutma sistemleri, tıpkı bir kum filtresinin suyu temizlemesi gibi, yağmur sularını hem yer üstünde hem de yer altında temizleyen doğal yapılar. Bu sistemler, yağmur suyunda bulunan kirlilikleri ayırıp suyu arıtlar. Böylece hem suyun kalitesi artar hem de yağmur sularının çok hızlı akması önlenir. Ayrıca, bu sistemler yer üstünde ve yer altında yaşayan canlıların su ihtiyacını da karşılayabilir. (Sadeghinazhad, 2019).

Son zamanlarda, hem suyun temizliğini artıran hem de toprağın suyu daha iyi tutmasına yardımcı olan yeni bir sistem oldukça popülerdir. Bu sistem, aynı zamanda

görsel olarak da çok hoş görünmektedir. Biyotutma sistemi olarak adlandırılan bu yapıda, suyun temizlenmesi için doğal yollar (biyolojik, kimyasal ve fiziksel filtreleme) kullanılmaktadır. Buna ek olarak, suyun bir kısmı buharlaşıyor, toprağa sızıyor veya bitkiler tarafından emildiğinden ötürü, su döngüsü doğallaşarak çevreye daha az zarar verecektir. Tüm bu çalışma prensipleri ile biyotutma, yağmur suyunun akışını dengelemek ve artırmakta verimli bir sistemdir (Gülbaz, 2015). Şekil 11’de biyotutmaya örnek verilmiştir.



Şekil 11. İzmir Karşıyaka Belediyesi Biyotutma uygulaması, 2017

Kaynak: Url-4

2.4.3. Geçirgen Yol Türü

Geçirgen yollar (Şekil 12, Şekil 13), yağmur sularının toprağa sızmasını sağlayarak sel ve taşkın riskini azaltan, çevre dostu bir yol yapım yöntemidir. Suyu yer altına göndermek, şehirlerdeki kirli suyu temizlemeye ve yer altı sularını beslemeye yardımcı olmaktadır (Levi, 2007).

Bu kaplamalar ikiye ayrılır:

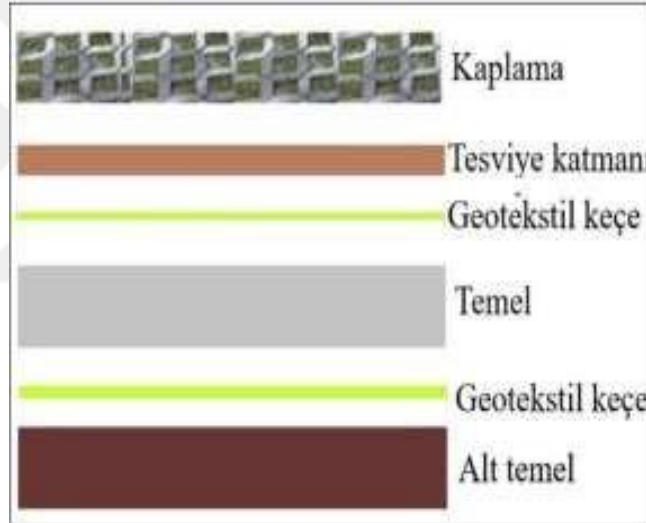
- *Gözenekli kaplamalar:* İçinde delikler olan, çim veya taşlarla dolu beton ya da asfalt gibi malzemelerden yapılır. Suyun bu deliklerden geçmesine izin verir.
- *Geçirgen kaplamalar:* Beton parçalarından yapılır ve suyun içinden geçmesine izin verir.

Bu yapıların kullanımı ile azami akış debisinin %42 oranda azaldığı görülmüştür (Scholz ve Grabowiecki, 2007).



Şekil 12. Suyu geçiren yol yapımı

Kaynak: Kaya, 2021

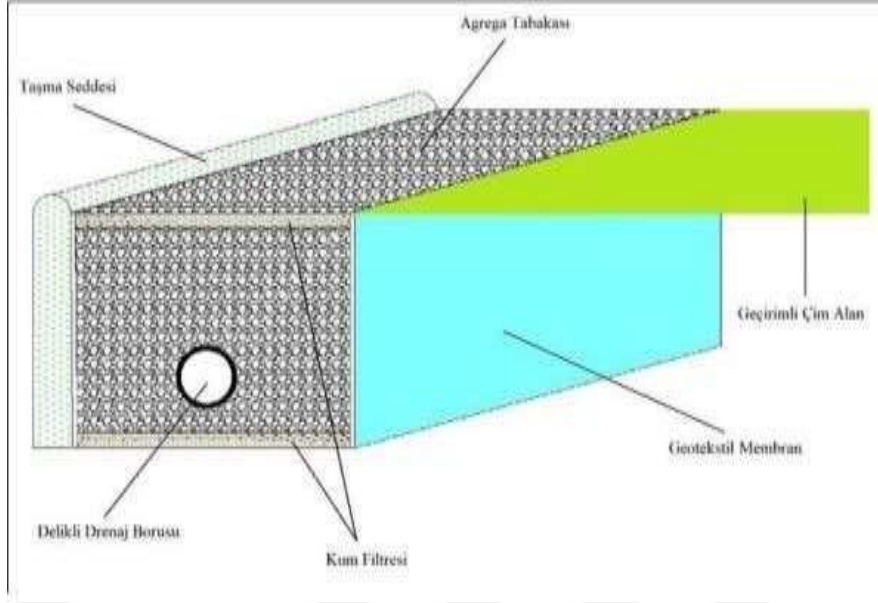


Şekil 13. Suyu geçiren yol yapımı şematik sistemin basit çizimi

Kaynak: Kaya,2021

2.4.4. Sızdırma Hendeği Türü

Sızdırma hendeği, yer altı sularının toplanmasını sağlayan, özel bir kumaşla kaplanmış ve çakılla doldurulmuş uzun ve dar bir çukur şeklindedir. Bu yöntem, çevreyi daha az etkileyen bir kentleşme yöntemi olarak kabul edilir. Suyun yerin üstünde birikmesini engelleyip toprağa emilmesini sağlayan bir sistemdir. Sızdırma çukurunun şematik görüntüsü Şekil 14’te Sunulmuştur (Demirezen, 2019).



Şekil 14. Sızdırma çukurunun şematik görüntüsü

Kaynak: Demirezen, 2019

2.4.5. Bitkili Yağmur Hendeği Türü

Şekil 15’de gösterilen bitkili yağmur hendeği, yağmur sularını toplamak ve yeraltına sızdırmak için kullanılan doğal bir filtre gibidir. Hem çevreye faydası var hem de sel gibi sorunların önüne geçmeye yardımcı olmaktadır. Böylece yüzeysel akışı yavaşlatarak, pik debiyi düşürmeyi sağlamaktadır (Demirezen, 2019).



Şekil 15. Yağmur hendeğinin genel görünüşü

Kaynak: Ünal ve Akyüz, 2017

2.4.6. Yağmur Bahçesi Türü

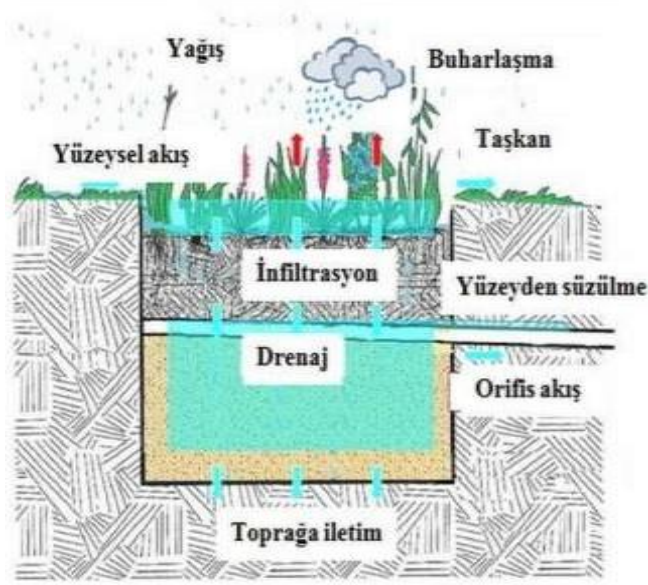
Yağmur bahçeleri, yağmur sularını toprağın içine çekerek sel gibi taşkınların önlemeye yardımcı olan özel alanlardır(Şekil 16). Bu sayede yağmur suları, yer altına sızarken doğal yollarla temizlenir ve yer altı su kaynaklarını besler. Farklı iklimlere uygun olarak tasarlanabilen yağmur bahçeleri, hem çevreyi korur hem de su kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlar. Bu metot ile nehirlere ulaşan suyun kirlilik oranında %30'a yakın azalma görülmüştür (Demir, 2012).



Şekil 16. yağmur bahçesi,

Kaynak: kılavuz Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018

Şekil 17’de yağmur suyu toplama sisteminde suyun nasıl hareket ettiği gösterilmiştir. Yağmur yağdığında, su toprağa sızarak yer altı suyuna karışıyor. Aşırı yağışlarda ise su, toprak yüzeyinde veya yer altında akarak başka yerlere ulaşıyor. Bahçe sisteminde bulunan su ise, bitkilerin solunumu ile atmosfere yeniden dönmektedir.



Şekil 17. Yağmur bahçelerinde su çevrimi

Kaynak: Demir, 2012

2.5. Evrensel yeşil çatı örnekleri

Yeşil çatıların yüzey sıcaklığı, geleneksel çatılara kıyasla 56 F (yaklaşık 13.3 C) daha düşük olabilirken, yakın çevredeki hava sıcaklığını 20 F (yaklaşık 11.1 C) kadar düşürebilir. (Barriuso ve Urbano, 2021).

Bu termal düşüş kabiliyeti, binaların soğutma yükünü %70 oranında azaltarak iç mekan hava sıcaklığını 27 F (yaklaşık 15 C) düşürme potansiyeli sunmaktadır. (Mihalakakou vd., 2023)

Metrekare bazında yapılan değerlendirmelerde, yeşil çatıların soğutma için yıllık \$0.15-0.57, enerji tasarrufu sağladığı, ısıtma için ise yıllık \$0.18, ek enerji tasarrufu sunduğu belirlenmiştir. (O'Hara vd., 2022)

Bu sıcaklık azaltma ve enerji verimliliği faydaları, Amerika Birleşik Devletleri'nde yeşil çatıların artan popülaritesinin temel nedenlerinden biridir. Kuzey Amerika yeşil çatı endüstrisi, 2013 yılından bu yana %5 ila %15 arasında bir büyüme göstererek, son on yıldaki büyüme eğilimini sürdürmüştür. 2019 yılında, sektör paydaşları tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nin 40 eyaletinde ve Kanada'nın üç eyaletinde toplamda 3.1 milyon metrekareyi aşan 763 yeşil çatı projesi rapor

edilmiştir. Bu veriler, yeşil çatıların sürdürülebilir kentsel gelişimdeki artan önemini ve benimsenmesini açıkça ortaya koymaktadır. (USEPA, 2019).

Şekil 18, Şekil 19, Şekil 20 ve Şekil 21’de yeşil çatılı binaların çok sayıda örneğini gözlemlenmektedir.



Şekil 18. San Francisco'daki yeni Kaliforniya Bilimler Akademisi binası, 2005
Kaynak: Url-5



Şekil 19. Mountain Equipment Coop, Kanada'daki yeşil çatı. Mağaza 1998
Kaynak: Url-6



Şekil 20. Historial de la Vendée, Les-Lucs-sur-Boulogne, Fransa, 2005

Kaynak: Url- 7



Şekil 21. Singapur Botanik Bahçeleri'ndeki Yeşil Pavyon'daki yeşil çatı, 2007

Kaynak: Url -8

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MODEL KURULUMU VE SENARYOLAR

3.1. Uygulama Alanı

Bağcılar, İstanbul ilinin bir belediyesi ve ilçesidir. Yüzölçümü 22 km², nüfusu 737.206'dır (2020). İstanbul'un Avrupa yakasında, şehir merkezine yakın, Bahçelievler'in hemen kuzeyinde, iki ana çevre yolu olan TEM ve E5 arasında yer almaktadır. İlçe, İstanbul Belediyesi'nin en kalabalık dördüncü ilçesidir. Bağcılar, 1970'ler ile 1990'lar arasında hızla gelişti ve esas olarak konut niteliğindedir. Mahalleye İstanbul Metrosu ve İstanbul Tramvayının T1 hattı hizmet vermektedir. Şekil 22'de çalışma alanının uydu görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 22. Çalışma alanı konumu

Kaynak: Google Earth Pro

Bu çalışma, İstanbul'un Avrupa tarafındaki Bağcılar ilçesinde yapıldı. Çalışma için seçilen Güneşli bölgesi yaklaşık 1,2 km² büyüklüğündedir. Bağcılar ilçesi, çok göç aldığı için son yıllarda nüfusu artmıştır (url-9).

Şekil 23'te gösterildiği gibi çalışma alanına ait binaların yerleşimi ve yollar verilmiştir.



Şekil 23. İnceleme yeri planı.

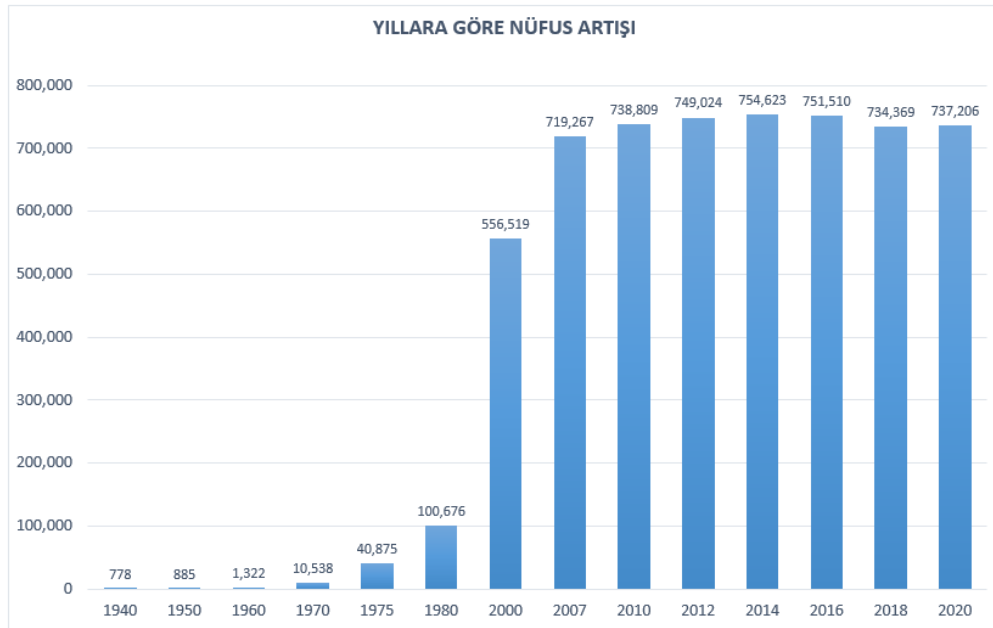
Bağcılar, İstanbul'un büyük bir ilçesi ve son zamanlarda çok fazla insan göç etmiştir. Tablo 1'de Bağcılar'ın 1940-2020 yıllar arası nüfusunun değişimi verilmiştir. Ayrıca Grafik 1'de Bağcılar'ın yıllara göre nüfusundaki artışın grafiği sunulmuştur.

Tablo 1. Yıllara göre nüfusun artması

Yıl	1940	1950	1960	1970	1975	1980	2000
Nüfus	778	885	1,322	10,538	40,875	100,676	556,519

Yıl	2007	2010	2012	2014	2016	2018	2020
Nüfus	719,267	738,809	749,024	754,623	751,510	734,369	737,206

Kaynak: url-9



Grafik 1. Yıllara göre nüfusun artması

Kaynak: url-9

Tablo 1 ve Grafik 1'de yıllara göre kaç kişi yaşadığını göstermektedir. 1980 senesinde 100.676 kişi yaşarken, 2020 senesinde bu sayı 737.206 kişiye yükselmiş olup yani nüfusun aşağı yukarı hep aynı şekilde arttığını söyleyebilir.

3.2. Modeli Hazırlama

Bu kısımda yapılan model için 36 adet ayrı senaryo düşünülmüştür. Bu senaryolarda yeşil çatı alansal uygulaması %0'dan başlayarak, (%20 şer artışla) % 100'e kadar artmaktadır. Bu durumlarda DEK Yeşil Çatı Sistemleri'nin nasıl sonuçlar verdiği incelenmiştir.

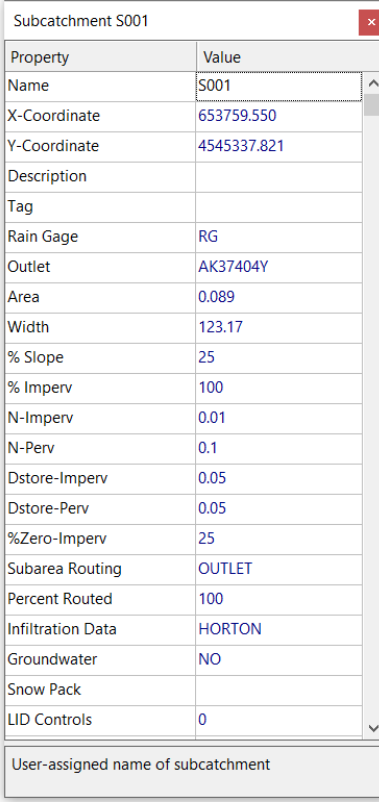
3.2.1. Alt Havzaların Belirlenmesi (Subcatchment)

Yeşil Çatı DEK uygulamalarına başlarken ilk iş, alt havzaları belirlemektir. Bu bölgeleri belirlemek için Google Earth Pro adında program kullanılmıştır. Bu program sayesinde arazinin ne kadar eğimli olduğunu, binaların yerleşimi ve caddelerdeki yağmur suyu giderlerinin yerleri kontrol edilmiştir. Bütün bu bilgilere bakarak toplamda 487 tane küçük su toplama havzası (alt havza) oluşturulmuştur. Şekil 24 'te çalışma alanına ait alt havzalar gösterilmiştir. Yeşil Çatı (DEK) uygulamaları için gerekli olan küçük su toplama havzaları Google Earth Pro programından alınarak EPA-SWMM programına aktarılmıştır.



Şekil 24. Bağcılar bölgesinde su toplama alt havzaları

Şekil 24’te gösterilen tüm alt havzaların havza karakterisitik bilgileri Şekil 25’te gösterildiği gibi manuel olarak girilmiştir. Şekil 25’te örnek bir alt havzanın karakteristiklerinin modele tanıma şekli gösterilmiştir (“Subcatchment 001” e aid).



Property	Value
Name	S001
X-Coordinate	653759.550
Y-Coordinate	4545337.821
Description	
Tag	
Rain Gage	RG
Outlet	AK37404Y
Area	0.089
Width	123.17
% Slope	25
% Imperv	100
N-Imperv	0.01
N-Perv	0.1
Dstore-Imperv	0.05
Dstore-Perv	0.05
%Zero-Imperv	25
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration Data	HORTON
Groundwater	NO
Snow Pack	
LID Controls	0

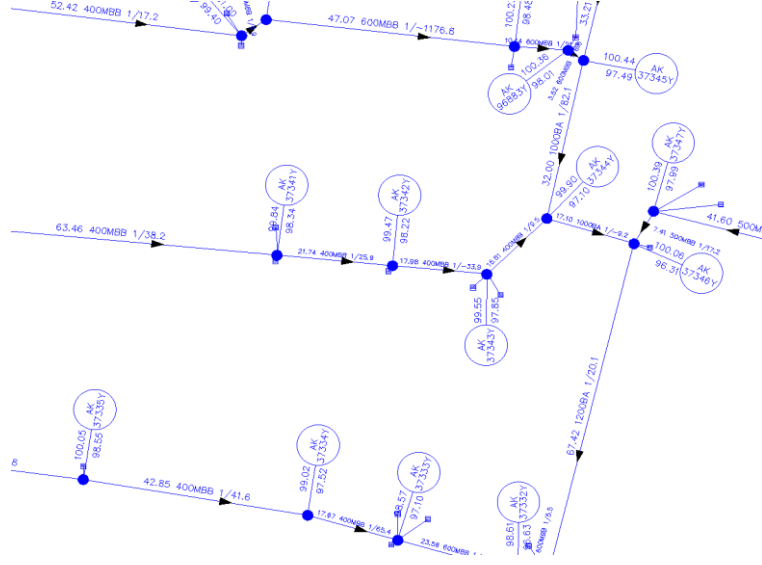
User-assigned name of subcatchment

Şekil 25. Alt havza karakterleri girdi örneği(Subcatchment 001)

Program, alt havzaların koordinatlarını otomatik olarak ayarlamıştır. Tezde kullanılan yağış değerleri Florya'daki yağmur ölçüm istasyonundan ölçülen ve işlenen veri setlerinden temin edilmiştir. Program, seçilen bölgeye göre alt havzanın alanını (Area) otomatik olarak bulmaktadır. Genişlik(Width), yüzeydeki suyun akış yönüne dik olan kısmın uzunluğunu göstermektedir. Google Earth Pro ile her alt havzanın eğimi (Slope) hesaplanmıştır. Geçirimsiz(impervious) alanların yüzdesi, bu konuda yapılan çalışmalardan temin edilmiştir. (FARHAR, 2022).

3.2.2. (Junction) Birleşim Noktaları Kurulması

SWMM programında yaptığımız birleşim noktalarının (junction) bilgileri İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresinden temin edilmiştir. Bu noktaların yükseklikleri ve üst seviyeleri, belediyeden aldığımız bilgilere göre SWMM programına girilmiştir. Şekil 26'da İSKİ'den aldığımız altyapı bilgilerinden bir örnek verilmiştir.



Şekil 26. Birleşim noktaları (Junction) özellikleri

Şekil 27’de gösterildiği gibi, AK37404Y'nin bağlandığı noktanın konumu program tarafından otomatik olarak girilmiştir.

Bu birleşme noktasının (invert el.) altındaki rakam, İSKİ’den alınmıştır. Bu rakam, deniz seviyesine göre olan yüksekliği gösteriyor. (Max depth) Üstteki noktanın, alttaki noktadan yüksekliğini göstermektedir.

Junction AK37404Y	
Property	Value
Name	AK37404Y
X-Coordinate	653811.007
Y-Coordinate	4545248.662
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	113.66
Max. Depth	1.2
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	0
User-assigned name of junction	

Şekil 27. AK37404Y birleşim noktası (junction) verileri

3.2.3. Boruların Yerleştirilmesi (Conduits)

Borular(Conduits) yağmur sularının iletimini sağlar. Çalışma alanında toplamda 151 adet boru mevcuttur. Sokaklarda bulunan boru çapları 0,3-0,6 m olup ana caddelerde ise 0,8-1,4 m arasındadır. Şekil 28’de gösterilen boru (conduits) verileri boru çapı (max. Depth), boru uzunluğu (length) iki birleşim noktası yerler arasındaki uzaklığa mesafe denilir. Şekil 28’de boruların karaktersitikleri sunulmuştur.

Property	Value
Name	C149
Inlet Node	AK37286Y
Outlet Node	AK96388Y
Description	
Tag	
Shape	CIRCULAR
Max. Depth	1.4
Length	60.59
Roughness	0.01
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	
Inlets	NO
User-assigned name of Conduit	

Şekil 28. C149 boru (conduits) verileri

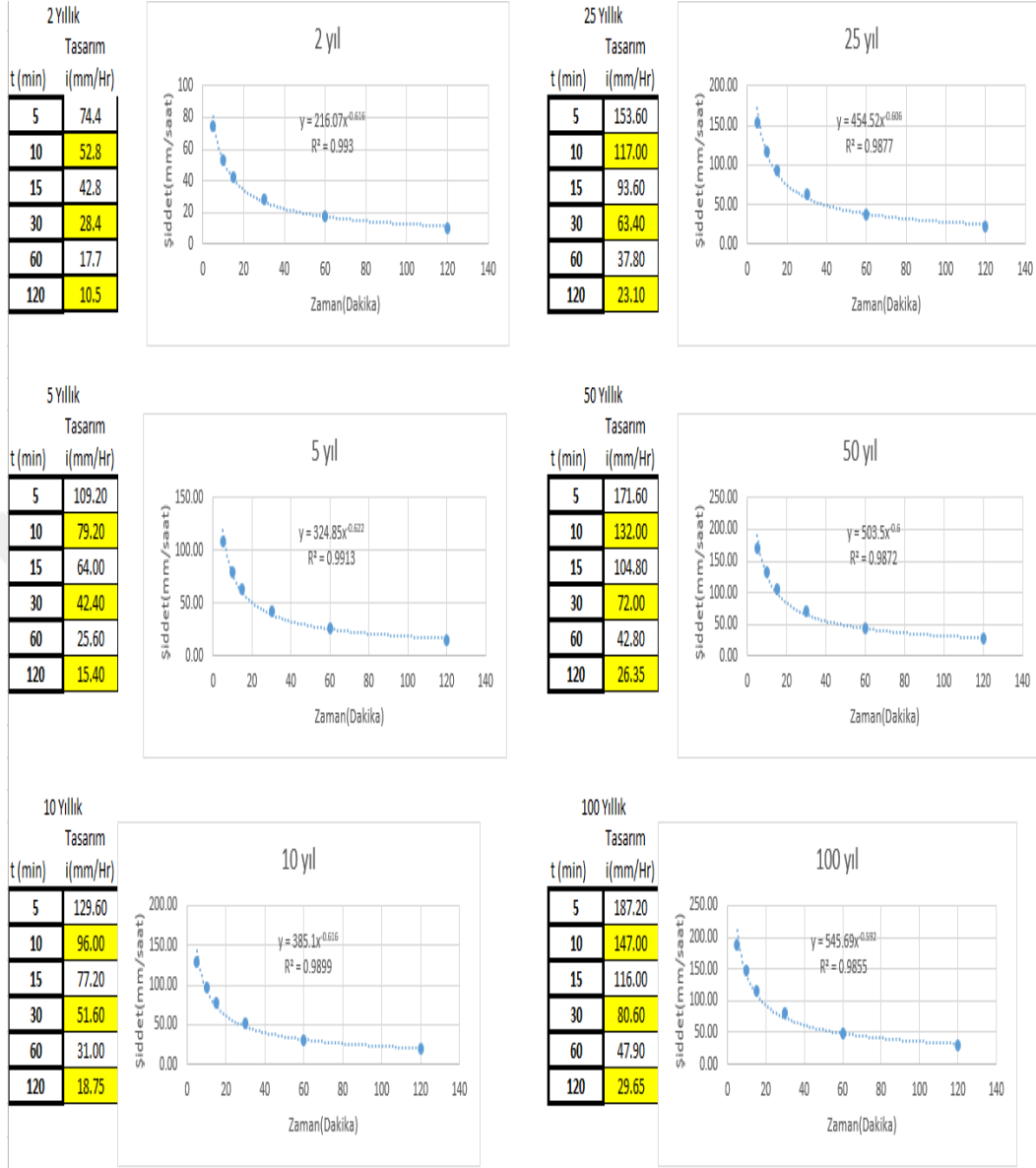
3.2.4. Yağış Ölçer Kurulması(Rain Gage)

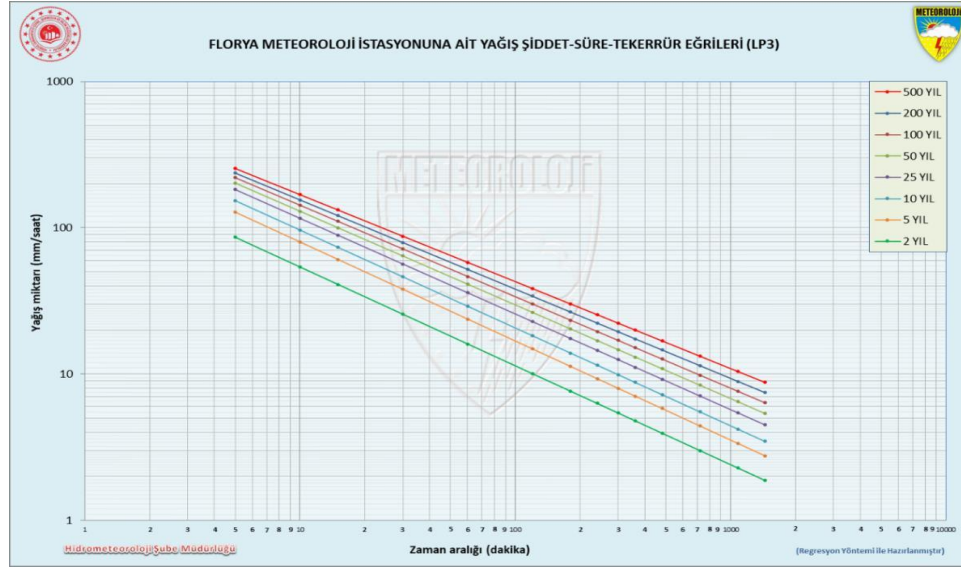
Yağmur bilgileri için, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün(MGM) Florya'daki istasyonuna ait veriler talep edilip kullanılmıştır. Bu veriler Yağış-Şiddet-Süre tekerrür eğrileri olup ölçülen yağış verilerinden ve analiz sonucu olarak sunulmuştur. Yapılan incelemeler sonucunda, Log-Pearson 3 olasılık yöntemiyle 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yılda bir tekrar etmesi beklenen yağış miktarları hesaplanmıştır. Veriler Tablo 2, Tablo 3 ve Grafik 2’de gösterilmiştir. Modelde 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık yağış verileri Grafik 3’te gösterildiği şekilde kullanılmıştır.

Tablo 2. Florya Meteoroloji İstasyonu'nda farklı zamanlardaki en yüksek yağış miktarları

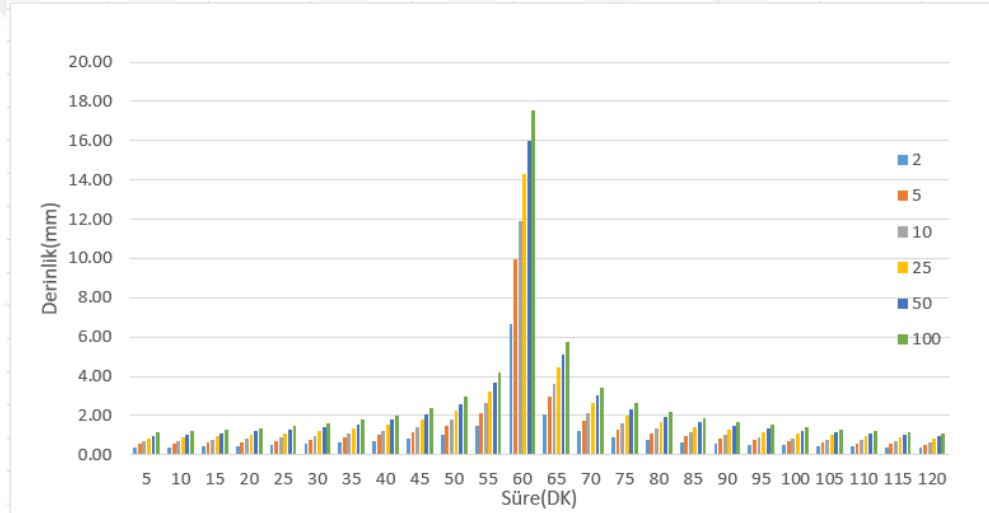
t (min)	Tasarım P(mm)					
	2	5	10	25	50	100
5	0.38	0.54	0.67	0.85	0.99	1.13
10	0.40	0.57	0.71	0.90	1.04	1.20
15	0.43	0.61	0.76	0.96	1.11	1.27
20	0.46	0.66	0.81	1.03	1.19	1.36
25	0.49	0.71	0.88	1.11	1.28	1.47
30	0.54	0.78	0.97	1.22	1.40	1.60
35	0.60	0.87	1.07	1.35	1.56	1.78
40	0.69	0.99	1.22	1.54	1.77	2.02
45	0.81	1.17	1.44	1.81	2.08	2.36
50	1.02	1.48	1.81	2.27	2.60	2.94
55	1.47	2.14	2.62	3.25	3.71	4.19
60	6.68	9.95	11.91	14.28	15.97	17.54
65	2.04	2.98	3.63	4.49	5.10	5.73
70	1.19	1.73	2.12	2.64	3.02	3.42
75	0.90	1.30	1.60	2.01	2.30	2.61
80	0.74	1.07	1.32	1.66	1.91	2.17
85	0.64	0.93	1.14	1.44	1.66	1.89
90	0.57	0.82	1.02	1.28	1.48	1.69
95	0.52	0.75	0.92	1.16	1.34	1.53
100	0.47	0.68	0.85	1.07	1.23	1.41
105	0.44	0.63	0.78	0.99	1.15	1.31
110	0.41	0.59	0.73	0.93	1.08	1.23
115	0.39	0.56	0.69	0.88	1.01	1.16
120	0.37	0.53	0.65	0.83	0.96	1.10

Tablo 3. Florya Meteoroloji İstasyonunun Bilgileri





Grafik 2. Florya Metroloji İstasyonu'na Şiddet- Süre-Tekerrür eğrisi



Grafik 3. Florya İstasyonuna ait çeşitli tekerrürlerin hiyetografı

3.3. Yeşil Çatı (DEK) Uygulamasının Modele Eklenmesi

Yeşil Çatı DEK uygulaması için gerekli parametreler açıklanmış ve değerleri program özelliklerinde bulunan kılavuzdan alınmıştır.

Bu farklı senaryolar düşünülerek hazırlanmıştır ve tezin amacına uygun olmuştur. Sonra da bu durumlar SWMM programına eklenmiştir.

Bu çalışmada 36 adet farklı senaryo hazırlanmıştır. Bu senaryolar Tablo 4'te gösterildiği gibi 2yıl + yeşil çatı %0'den başlayıp 100yıl + yeşil çatı %100'e kadar toplam 36 farklı senaryodan olmaktadır. Her senaryo için belirlenen yeşil çatı (DEK) uygulaması için verilen sayılar, yüzde olarak artışa göre sabit kalmıştır.

Tablo 4. Bütün senaryolar için kullandığımız özellikler/değerler.

Senaryo No.	Zaman Serisi	Yeşil Çatı%	Senaryo No.	Zaman Serisi	Yeşil Çatı%	Senaryo No.	Zaman Serisi	Yeşil Çatı%
1	2 Y	0%	7	5 Y	0%	13	10 Y	0%
2		20%	8		20%	14		20%
3		40%	9		40%	15		40%
4		60%	10		60%	16		60%
5		80%	11		80%	17		80%
6		100%	12		100%	18		100%
Senaryo No.	Zaman Serisi	Yeşil Çatı%	Senaryo No.	Zaman Serisi	Yeşil Çatı%	Senaryo No.	Zaman Serisi	Yeşil Çatı%
19	25 Y	0%	25	50 Y	0%	31	100 Y	0%
20		20%	26		20%	32		20%
21		40%	27		40%	33		40%
22		60%	28		60%	34		60%
23		80%	29		80%	35		80%
24		100%	30		100%	36		100%

3.4. Yeşil Çatı DEK Uygulamasının detayları

Bu tezde SWMM'de modellenen ve sahada yapılması planlanan tip DEK uygulaması Yeşil Çatılardır. Şekil 29'daki yeşil ile boyalı alanlar, 487 adet alt havzadan oluşmaktadır. Burası, yağmur yağdığına borulardaki su akışını yavaşlatmak için seçilmiştir.

DEK Kontrol seçeneğiyle girilen yeşil çatılar vardır. Bu çatıların uygulama şekli önceki araştırma ve uygulamalar incelendiğinde aşağıda verilmiştir.

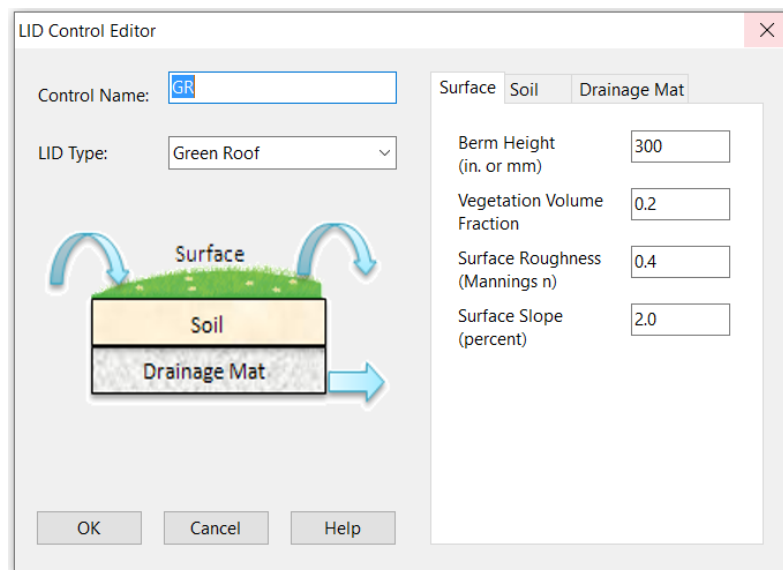
- Toplam yükseklikleri 300 mm (yani 30 santimetre kadar).
- Yüzeyleri hafif eğimli, %2 kadar bir eğimleri var.
- Yüzeyleri pürüzlü, bu pürüzlülük değeri (Manning değeri deniyor) 0.4.

Şekil 30'da bu yeşil çatıların özellikleri daha net bir şekilde gösterilmektedir.

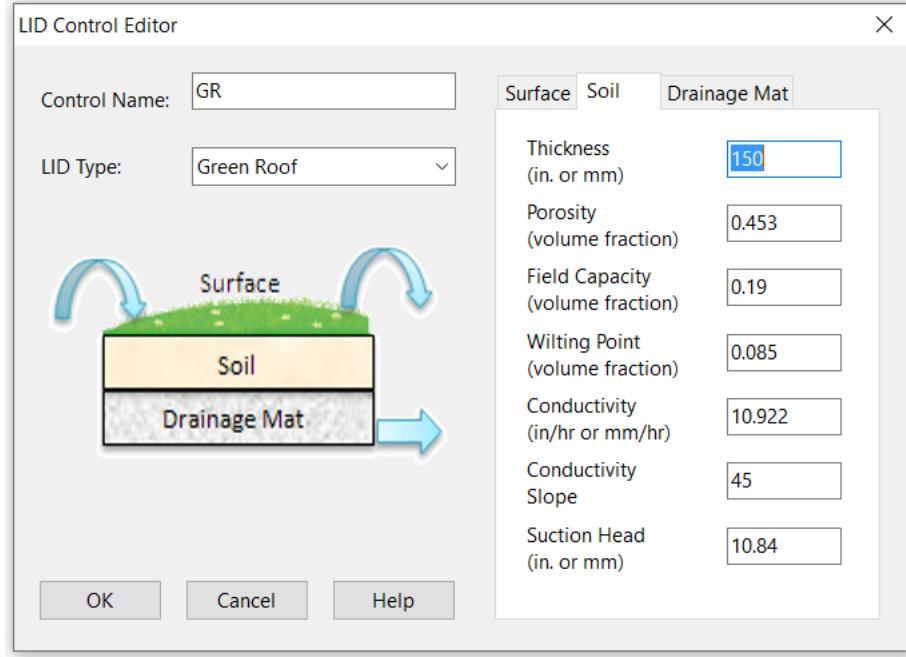
DEK Kontrol seçeneği kullanılarak yapılan yeşil çatılar incelenmiştir. Bu çatıların nasıl yapıldığına ve konuyla ilgili yazılanlara bakılarak, toprak kalınlığı 150 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 31'de yeşil çatıların özellikleri gösteriliyor.



Şekil 29. SWMM programında yeşil çatı yapılan alt havzalar.

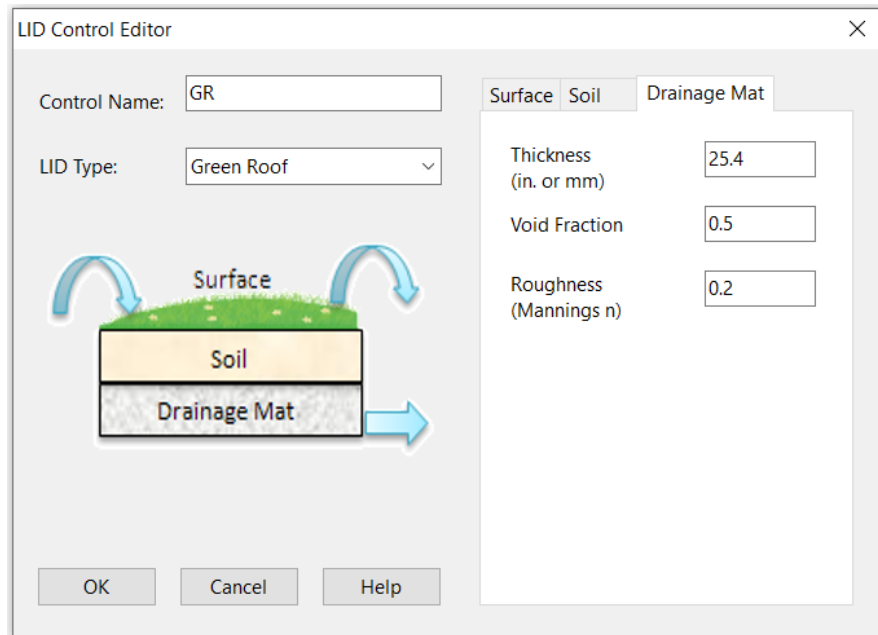


Şekil 30. SWMM programında yeşil çatı nitelikleri



Şekil 31. SWMM programında toprak nitelikleri

DEK Kontrol seçeneği kullanılarak oluşturulan yeşil çatılar için bazı özellikler belirlenmiştir. Bu özellikleri, yeşil çatıların nasıl yapıldığına ve bu konudaki bilgilere (literatür) bakarak gösterilmektedir. Buna göre, suyun ne kadar kolay akacağını gösteren "drenaj pürüzlülük katsayısı" değerini (manning) $n=0.2$ olarak seçilmiştir. Suyun akacağı tabakanın kalınlığını ise 25.4 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 32'de yeşil çatıların genel özellikleri gösterilmektedir.



Şekil 32. SWMM programında drenaj nitelikleri

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

MODEL SONUÇLARI

Model sonuçları, çalışma alanındaki yağmur suyu akışını ve bu akışın nereye doğru gittiğini gösteren modelin ne kadar iyi çalıştığını anlatmaktadır. Bunu yaparken de 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yılda bir görülebilecek altı farklı şiddetteki yağmur olayı incelenmiştir.

4.1. İki (2) Yıllık Olası Yağış Durumları

Bu çalışmanın ilk aşamasında, 2 yıllık yağış verileriyle bir model oluşturmayı amaçlanmıştır. Bir önceki bölümde ise bu model için kullanılan yağmur verileri hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Bu yağış miktarları, zaman içindeki değişimleri normal dağılım eğrisine benzeyen bir seri olarak modelde kullanılmıştır.

İlk aşamada, mevcut durum(Yeşil Çatı (DEK) olmayan bir çalışma alanı) EPA-SWMM programında modellenmiştir. Sonra bu alanda seçilen yerlerdeki geçirimsiz çatılardan alansal olarak %20'si Yeşil Çatı (DEK) uygulanmıştır. Bu işlem, %20 artırarak tüm geçirimsiz çatılar Yeşil Çatı (DEK) ile değiştirilene kadar (%100 olana kadar) tekrarlanmıştır. Yeşil Çatı DEK uygulamasının toplam debi sonuçları Tablo 5 ve Şekil 33'te gösterilmiştir.

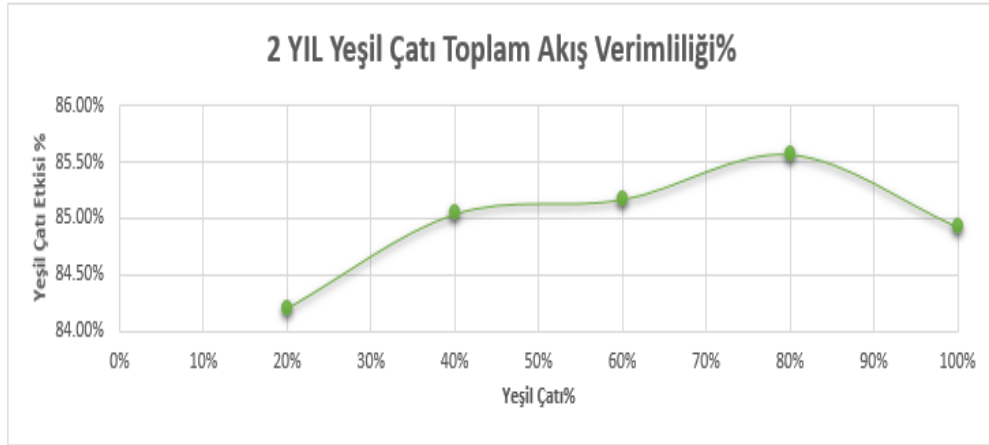
Bu bölümde verilen tablolarda Gerçek azalma toplam akış, o senaryonun mevcut duruma göre oranıdır (örneğin, (%20)/(%0)). Yeşil çatı etkisi ise o senaryonun mevcut duruma göre farkının mevcut duruma göre oranıdır(örneğin, (%20-%0)/(%0))

Tablo 5. 2 yıllık yağış serisinde toplam gerçek debi etkinliğinin sonuçları

Zaman Serisi	Yeşil Çatı%	Program Toplam Akış (L)	Azalma toplam akış (L)	Gerçek Azalma toplam akış %	Yeşil Çatı Etkisi %
2 Y	0%	496280.969	0	0.00%	0.00%
	20%	397948.688	98332.281	16.84%	84.21%
	40%	297664.875	198616.094	34.02%	85.04%
	60%	197907.953	298373.016	51.10%	85.17%
	80%	96587.086	399693.883	68.46%	85.57%
	100%	429.873	495851.096	84.93%	84.93%

Tablo 5 incelendiğinde, DEK uygulaması olmayan durumda (yani %0 senaryosunda) toplam su akışı 496280.7 litre olarak hesaplanmıştır. DEK uygulaması eklendikten sonraki su akışlarına bakıldığında, her durumda bir azalma olduğu görülmüştür.

Bu tablodan sunulan sonuçlara göre akış miktarlarında, yeşil çatı uygulamasının yüzde artışına yakın bir azalış gözlenmiştir. Ancak %100 yeşil çatı uygulamasında yani tüm çatılar yeşil çatı ile kaplıyken bile akışın hala olacağı ortaya konulmuştur.



Şekil 33. 2 yıllık durumda çıkış noktasının toplam gerçek debisinin grafiği

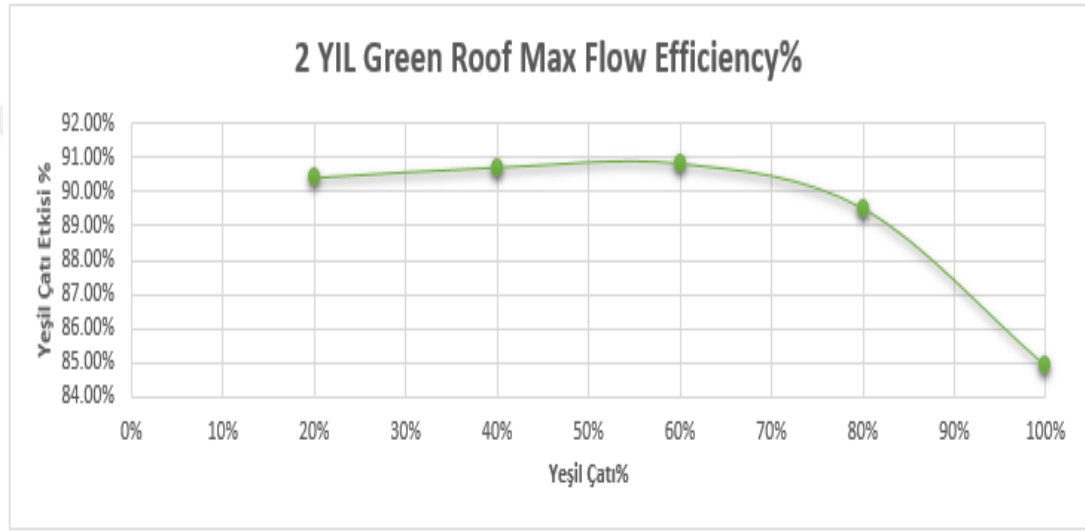
SWMM'de yeşil çatı DEK uygulaması içermeyen bir çalışma alanı oluşturuldu. Daha sonra bu alandaki geçirimsiz çatıların %20'si belirlenen bölgelerde yeşil çatı DEK sistemleriyle değiştirildi. Bu işlem, tüm geçirimsiz çatılar yeşil çatı DEK ile 100% kaplanana kadar aşamalı olarak artışlarla tekrarlandı. Yeşil çatı DEK uygulamasının en yüksek akış değerleri ise Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. 2 yıllık yağış serisinde maksimum gerçek debi etkinliği sonuçları

Zaman Serisi	Yeşil Çatı%	Program pik Akış (LPS)	Azalma pik akış (LPS)	Gerçek Azalma pik akış %	Yeşil Çatı Etkisi %
2 Y	0%	383.89	0	0.00%	0.00%
	20%	302.23	81.66	18.08%	90.40%
	40%	220.03	163.86	36.28%	90.70%
	60%	137.79	246.1	54.49%	90.82%
	80%	60.45	323.44	71.62%	89.52%
	100%	0.28	383.61	84.94%	84.94%

Şekil 33'e baktığımızda, başlangıç noktası için %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 DEK uygulamasının sonuçlarını görüyoruz. İlk başta, DEK uygulaması olmayan %0 durumunda en yüksek akış hızı 383.89 LPS olarak ölçülmüş. Ancak DEK uygulaması eklendikten sonra, tüm çıkış akışları karşılaştırıldığında her durumda bir düşüş olduğu görülüyor.

Tablo 6'ya bakıldığında çıkış noktasında uygulanan %60 yeşil çatı DEK uygulamasında %90.82 maksimum çıkış gerçek debi etkinlik oranında azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 34. 2 Yıllık durumda çıkış noktasının maksimum gerçek debisinin grafiği

4.2. Beş (5) Yıllık Olası Yağış Durumları

Önceki kısımda, 5 yıllık yağmur verilerini kullanarak Bağcılar için bir model oluşturduğumuzu anlatmaktadır. Bu modelde kullandığımız yağmur değerleri, zaman içinde normal bir dağılım gösteren bir yağmur serisimidir.

İlk olarak, çalışma alanımızda hiç yeşil çatı uygulaması yokken bu alanı SWMM programında modellenmiştir.

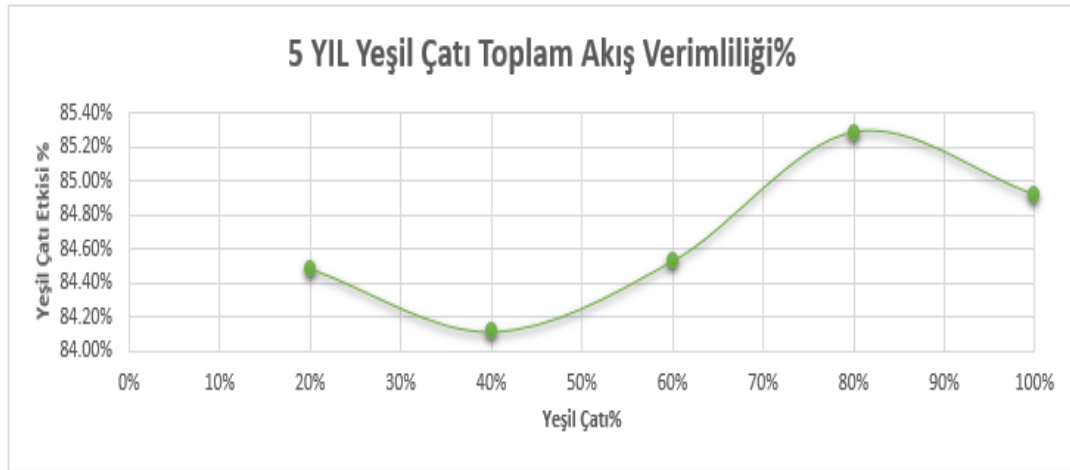
Sonra, belirlediğimiz bazı bölgelerdeki normal çatıların %20'sini yeşil çatılarla değiştirilmiştir ve bu durumu da modelimize yansıtılmıştır. Bu senaryo, %100 Yeşil Çatı DEK değişimine ulaşana kadar devam ettirilmiştir. Yeşil Çatı DEK uygulamasının toplam debi sonuçları Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. 5 Yıllık yağış serisinde toplam gerçek debi etkinliğin sonuçları

Zaman Serisi	Yeşil Çatı%	Program Toplam Akış (L)	Azalma toplam akış (L)	Gerçek Azalma toplam akış %	Yeşil Çatı Etkisi %
5 Y	0%	727408.25	0	0.00%	0.00%
	20%	582815.625	144592.625	16.90%	84.48%
	40%	439482.563	287925.687	33.65%	84.11%
	60%	293401.938	434006.312	50.72%	84.53%
	80%	143541.984	583866.266	68.23%	85.28%
	100%	703.666	726704.584	84.92%	84.92%

Şekil 34'e baktığımızda, başlangıç noktası için %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 DEK uygulamasının sonuçlarını görülmektedir. İlk başta, DEK uygulaması olmayan %0 durumunda toplam su akışı 727408.25 litre olarak ölçülmüş. DEK uygulaması eklendikten sonraki toplam su akışlarını karşılaştırdığımızda, bütün durumlarda azalmalar olduğu gösterilmektedir.

Tablo 7'ye bakıldığında çıkış noktasında uygulanan %80 yeşil çatı DEK uygulamasında %85.28 toplam çıkış gerçek debi etkinliğin sonuçlarının oranında azalma görülmektedir.



Şekil 35. 5 Yıllık durumda çıkış noktasının toplam gerçek debisinin grafiği

SWMM'de yeşil çatı DEK uygulaması içermeyen bir çalışma alanı oluşturuldu. Daha sonra bu alandaki geçirimsiz çatıların %20'si belirlenen bölgelerde yeşil çatı

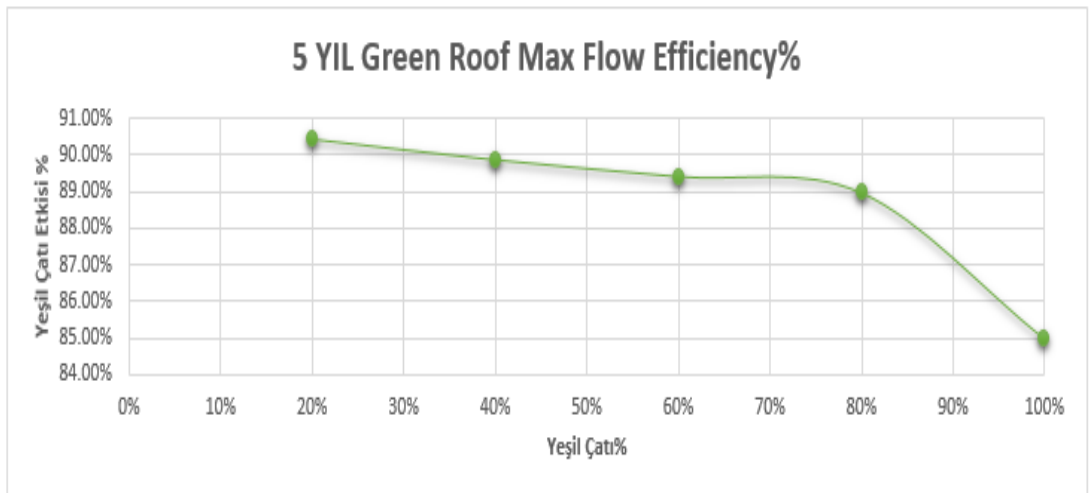
DEK sistemleriyle değiştirildi. Bu işlem, tüm geçirimsiz çatılar yeşil çatı DEK ile 100% kaplanana kadar aşamalı olarak artışlarla tekrarlandı. Yeşil çatı DEK uygulamasının en yüksek akış değerleri ise Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8. 5 Yıllık yağış serisinde maksimum gerçek debi etkinliğin sonuçları

Zaman Serisi	Yeşil Çatı%	Program pik Akış (LPS)	Azalma pik akış (LPS)	Gerçek Azalma pik akış %	Yeşil Çatı Etkisi %
5 Y	0%	595.54	0	0.00%	0.00%
	20%	468.82	126.72	18.09%	90.43%
	40%	343.69	251.85	35.95%	89.86%
	60%	219.68	375.86	53.65%	89.41%
	80%	96.89	498.65	71.17%	88.96%
	100%	0.29	595.25	84.96%	84.96%

Şekil 35'e baktığımızda, başlangıç noktası için %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 DEK uygulamasının sonuçlarını görüyoruz. İlk başta DEK uygulaması olmayan %0 seçeneğinde en yüksek akış hızı 595.54 LPS olarak ölçülmüş. DEK uygulaması entegre edildikten sonra toplam çıkış debileri kıyaslandığında her senaryoda azalmalar meydana geldiği görülmektedir.

Tablo 8'e bakıldığında çıkış noktasında kullanılan %20 yeşil çatı DEK uygulamasında %90.43 maksimum çıkış gerçek debi etkinlik oranında azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 36. 5 Yıllık durumda çıkış noktasının maksimum gerçek debisinin grafiği

4.3. On (10) Yıllık Olası Yağış Durumları

Önceki bölümde Bağcılar'daki yağmur verilerini inceledik. Bu verilerle 10 yıllık bir yağış dönemi için bir model oluşturduk.

Modelde kullandığımız yağış değerleri, zaman içinde normal bir dağılım gösteren bir yağış serisiydi. İlk olarak, çalışma alanımızda hiç yeşil çatı uygulaması yokken SWMM programında bir model oluşturduk. Daha sonra, belirlediğimiz bazı bölgelerdeki normal (su geçirmeyen) çatıların %20'sini yeşil çatılarla değiştirdik.

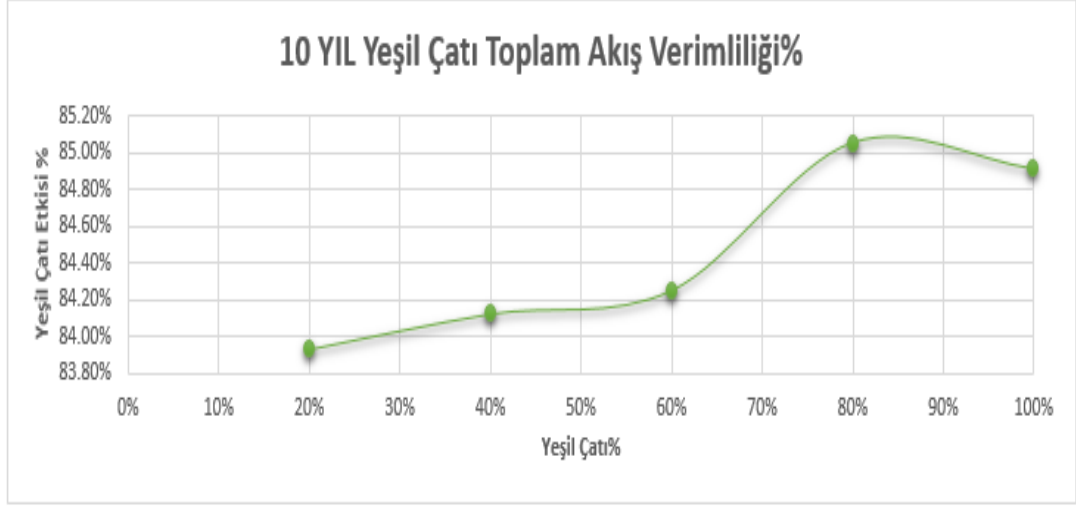
O senaryo, %100 Yeşil Çatı DEK değişimine ulaşana kadar devam ettirilmiştir. Yeşil Çatı DEK uygulamasının toplam debi sonuçları Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. 10 Yıllık yağış serisinde toplam gerçek debi etkinliğinin sonuçları

Zaman Serisi	Yeşil Çatı%	Program Toplam Akış (L)	Azalma toplam akış (L)	Gerçek Azalma toplam akış %	Yeşil Çatı Etkisi %
10 Y	0%	888985.375	0	0.00%	0.00%
	20%	713428.188	175557.187	16.79%	83.93%
	40%	537068.938	351916.437	33.65%	84.12%
	60%	360309.906	528675.469	50.55%	84.25%
	80%	177371.75	711613.625	68.04%	85.05%
	100%	948.335	888037.04	84.91%	84.91%

Şekil 36'ya baktığımızda, başlangıç noktası için %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında DEK uygulamasının sonuçlarını görüyoruz. İlk başta, DEK uygulaması olmayan %0 durumunda toplam su akışı 888985.375 litre olarak ölçülmüş. DEK uygulaması eklendikten sonraki toplam su akışlarını karşılaştırdığımızda, bütün senaryolarda azalmalar olduğunu fark ettik.

Tablo 9'a göre, çıkış noktasında %80 yeşil çatı DEK uygulandığında, toplam çıkan su miktarının %85.05 oranında azaldığı görülüyor. SWMM'de yeşil çatı DEK uygulaması içermeyen bir çalışma alanı oluşturuldu. Daha sonra bu alandaki geçirimsiz çatıların %20'si belirlenen bölgelerde yeşil çatı DEK sistemleriyle değiştirildi. Bu işlem, tüm geçirimsiz çatılar yeşil çatı DEK ile 100% kaplanana kadar aşamalı olarak artışlarla tekrarlandı. Yeşil çatı DEK uygulamasının en yüksek akış değerleri ise Tablo 10'da sunulmuştur.



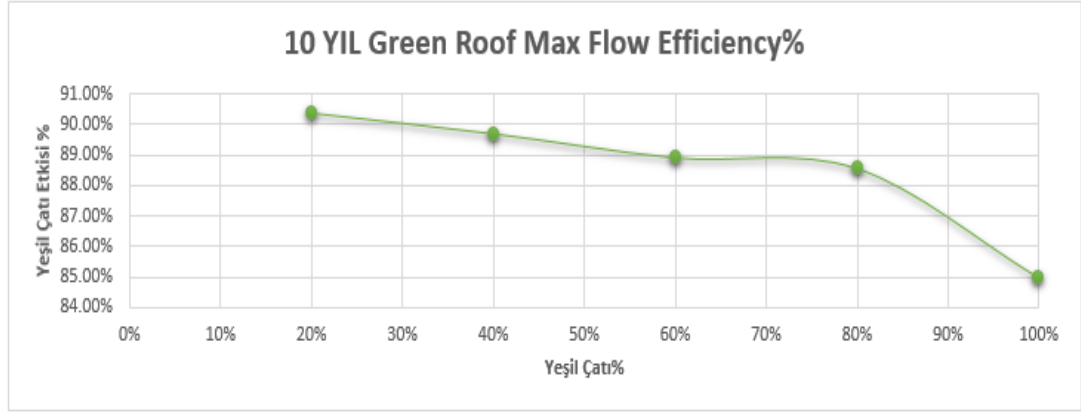
Şekil 37. 10 Yıllık durumda çıkış noktasının toplam gerçek debisinin grafiği

Tablo 10. 10 Yıllık yağış serisinde maksimum gerçek debi etkinliğin sonuçları

Zaman Serisi	Yeşil Çatı%	Program pik Akış (LPS)	Azalma pik akış (LPS)	Gerçek Azalma pik akış %	Yeşil Çatı Etkisi %
10 Y	0%	727.36	0	0.00%	0.00%
	20%	572.67	154.69	18.08%	90.39%
	40%	420.31	307.05	35.88%	89.71%
	60%	270.85	456.51	53.35%	88.91%
	80%	121.1	606.26	70.85%	88.56%
	100%	0.36	727	84.96%	84.96%

Şekil 37'ye baktığımızda, başlangıç noktası için %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 DEK uygulamasının sonuçlarını görüyoruz. İlk başta, DEK uygulaması olmayan %0 durumunda en yüksek akış hızı 727.36 LPS olarak ölçülmüş. Ancak DEK uygulaması eklendikten sonra, tüm senaryolarda toplam çıkış debisinin azaldığı görülüyor.

Tablo 10'a bakıldığında çıkış noktasında gerçekleştirilen %20 yeşil çatı DEK uygulamasında %90.39 maksimum çıkış gerçek debi etkinlik oranında azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 38. 10 Yıllık durumda çıkış noktasının maksimum gerçek debisinin grafiği

4.4. Yermi Beş (25) Yıllık Olası Yağış Durumları

Bu projede, SWMM programıyla 25 yıllık yağmur verilerini inceleyerek bir model oluşturduk. Daha önceki kısımda, Bağcılar'daki yağmur olayına ait ayrıntılı bilgilere yer vermiştik. İşte bu yağmur değerlerini, zaman içindeki değişimini gösteren ve normal dağılıma uygun bir şekilde hazırladığımız bir seri olarak modelimizde kullanmıştır.

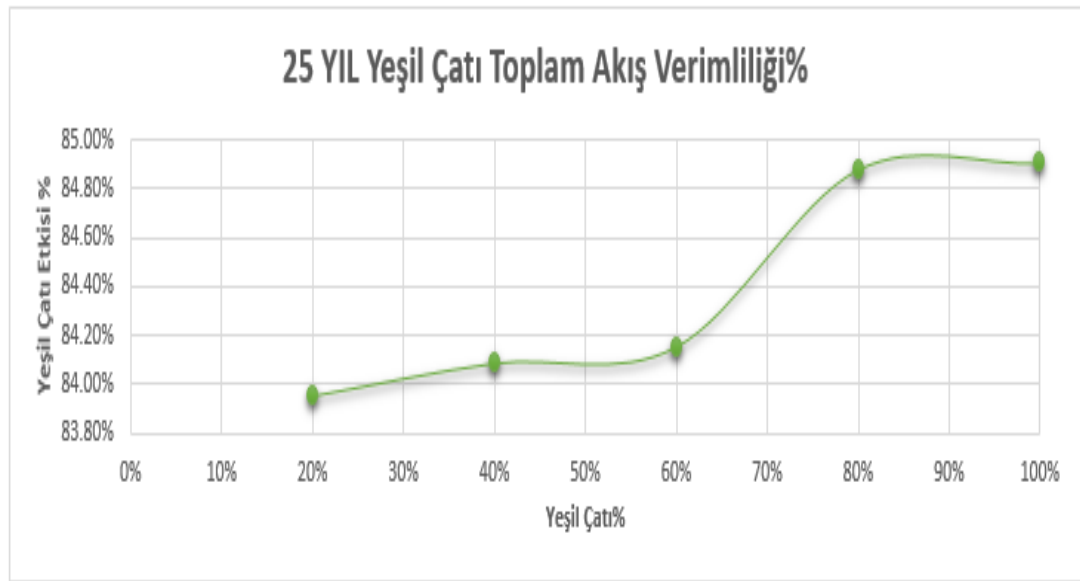
Öncelikle, Yeşil Çatı DEK'in olmadığı bir çalışma alanını bilgisayar programı SWMM ile modelledik. Sonra, bu alandaki su geçirmeyen çatıların %20'sini Yeşil Çatı DEK uygulamalarıyla değiştirdik. Bu işlemi, tüm çatılar Yeşil Çatı DEK olana kadar tekrar ettik. Yeşil Çatı DEK uygulamasının toplam su akışı üzerindeki sonuçlarını ise Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11. 25 Yıllık yağış serisinde toplam gerçek debi etkinliğin sonuçları

Zaman Serisi	Yeşil Çatı%	Program Toplam Akış (L)	Azalma toplam akış (L)	Gerçek Azalma toplam akış %	Yeşil Çatı Etkisi %
25 Y	0%	1103804.125	0	0.00%	0.00%
	20%	885769.688	218034.437	16.79%	83.95%
	40%	667038.063	436766.062	33.63%	84.08%
	60%	448131.406	655672.719	50.49%	84.15%
	80%	222005.016	881799.109	67.90%	84.88%
	100%	1201.387	1102602.738	84.91%	84.91%

Şekil 38'e baktığımızda, başlangıç noktası için %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 DEK uygulaması sonuçlarını görüyoruz. İlk başta DEK uygulaması olmayan %0 durumunda toplam su miktarı 1.103.804,125 litre olarak ölçülmüş. DEK uygulaması eklendikten sonraki toplam su miktarlarına baktığımızda, bütün durumlarda bir azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 11'e bakıldığında çıkış noktasında tatbik edilen %100 yeşil çatı DEK uygulamasında %84.91 toplam çıkış gerçek debi etkinliğinin sonuçlarının oranında azalma görülmektedir.



Şekil 39. 25 Yıllık durumda çıkış noktasının toplam gerçek debisinin grafiği.

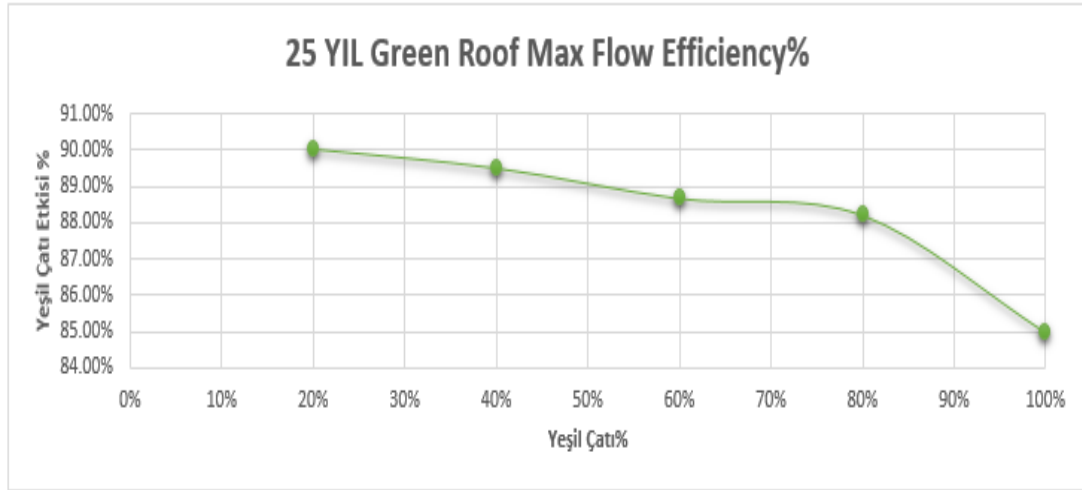
SWMM'de yeşil çatı DEK uygulaması içermeyen bir çalışma alanı oluşturuldu. Daha sonra bu alandaki geçirimsiz çatıların %20'si belirlenen bölgelerde yeşil çatı DEK sistemleriyle değiştirildi. Bu işlem, tüm geçirimsiz çatılar yeşil çatı DEK ile 100% kaplanana kadar aşamalı olarak artışlarla tekrarlandı. Yeşil çatı DEK uygulamasının en yüksek akış değerleri ise Tablo 12'de sunulmuştur.

Tablo 12'ye bakıldığında çıkış noktasında tatbik edilen %20 yeşil çatı DEK uygulamasında %90.05 maksimum çıkış gerçek debi etkinlik oranında azalma gözlemlenmiştir.

Tablo 12. 25 Yıllık yağış serisinde maksimum gerçek debi etkinliğin sonuçları

Zaman Serisi	Yeşil Çatı%	Program pik Akış (LPS)	Azalma pik akış (LPS)	Gerçek Azalma pik akış %	Yeşil Çatı Etkisi %
25 Y	0%	889.79	0	0.00%	0.00%
	20%	701.26	188.53	18.01%	90.05%
	40%	514.94	374.85	35.81%	89.52%
	60%	332.85	556.94	53.20%	88.67%
	80%	151.07	738.72	70.57%	88.21%
	100%	0.47	889.32	84.96%	84.96%

Şekil 39 incelendiğinde çıkış noktası için %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 DEK uygulaması sonuçları verilmiştir. Başlangıçta DEK uygulaması entegre edilmemiş olan %0 senaryosunda maksimum 889.79 LPS akış hızı ölçülmüştür. DEK uygulaması eklendikten sonra, bütün durumlarda toplam çıkan su miktarı azalmalar meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 40. 25 Yıllık durumda çıkış noktasının maksimum gerçek debisinin grafiği.

4.5. Elli (50) Yıllık Olası Yağış Durumları

Bu çalışmada, SWMM programıyla 50 yıllık yağış verileri incelenerek bir model oluşturuldu. Bir önceki kısımda anlatılan yağmur olayı için Bağcılar'daki yağış bilgileri ayrıntılı olarak verildi. Bu yağış değerleri, zaman içindeki değişimini gösteren ve normal dağılıma uygun bir şekilde modelde kullanıldı.

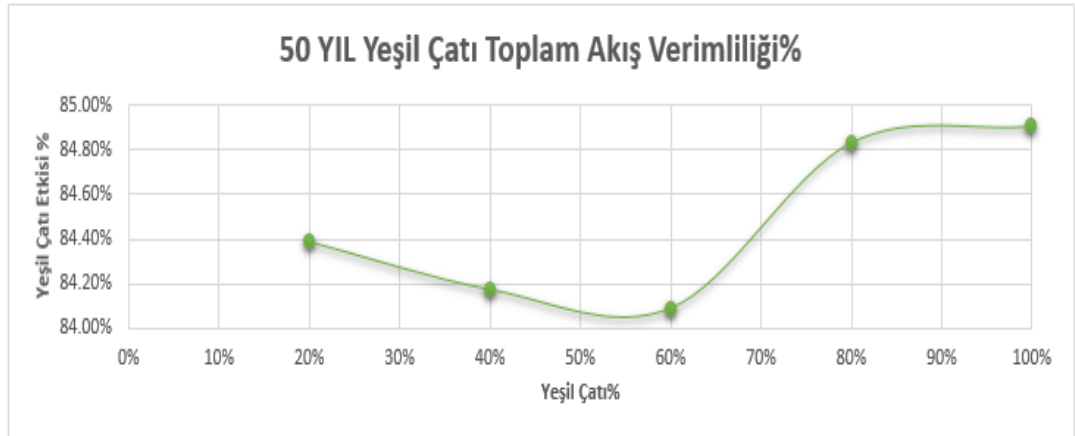
İlk olarak, çalışma alanında hiç yeşil çatı uygulaması yokken SWMM'de modelleme yapıldı. Sonra, belirlenen bölgelerdeki geçirimsiz çatıların %20'si yeşil çatılarla değiştirildi. Bu işlem, tüm geçirimsiz çatılar yeşil çatı olana kadar (%100 değişim) tekrarlandı. Yeşil çatı uygulamasının toplam su akışı üzerindeki etkileri Tablo 13'te gösterilmiştir.

Tablo 13. 50 Yıllık yağış serisinde toplam gerçek debi etkinliğin sonuçları

Zaman Serisi	Yeşil Çatı%	Program Toplam Akış (L)	Azalma toplam akış (L)	Gerçek Azalma toplam akış %	Yeşil Çatı Etkisi %
50 Y	0%	1261818.75	0	0.00%	0.00%
	20%	1011280.875	250537.875	16.88%	84.39%
	40%	762015.188	499803.562	33.67%	84.17%
	60%	512866.594	748952.156	50.45%	84.09%
	80%	254382.203	1007436.547	67.86%	84.83%
	100%	1420.486	1260398.264	84.90%	84.90%

Şekil 40'a baktığımızda, başlangıç noktası için %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 DEK uygulamasının sonuçlarını görüyoruz. İlk başta, DEK uygulaması olmayan %0 seçeneğinde toplam su akışı 1.261.818,75 litre olarak ölçülmüştür. DEK uygulaması entegre edildikten sonra toplam çıkış debileri kıyaslandığında her senaryoda azalmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Tablo 13'e bakıldığında çıkış noktasında gerçekleştirilen %100 yeşil çatı DEK uygulamasında %84,90 toplam çıkış gerçek debi etkinliğin sonuçlarının oranında azalma görülmektedir.



Şekil 41. 50 Yıllık durumda çıkış noktasının toplam gerçek debisinin grafiği.

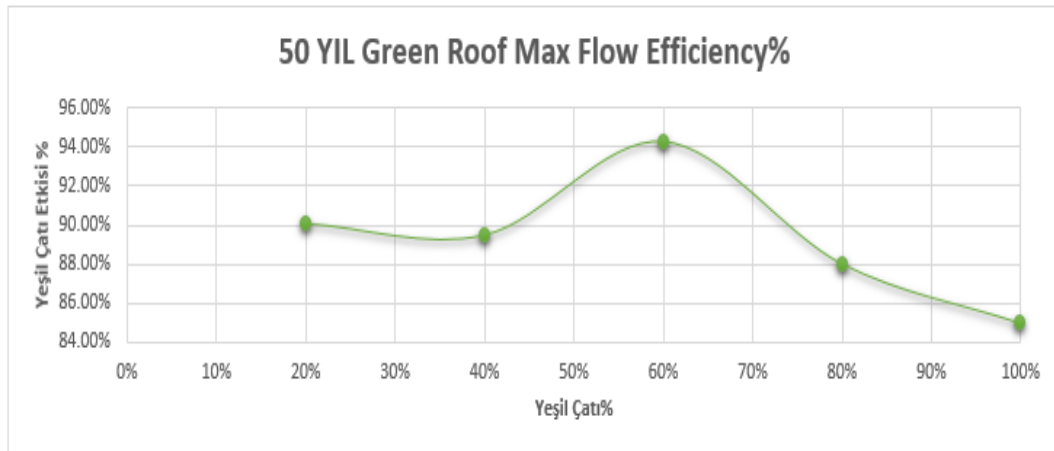
SWMM'de yeşil çatı DEK uygulaması içermeyen bir çalışma alanı oluşturuldu. Daha sonra bu alandaki geçirimsiz çatıların %20'si belirlenen bölgelerde yeşil çatı DEK sistemleriyle değiştirildi. Bu işlem, tüm geçirimsiz çatılar yeşil çatı DEK ile 100% kaplanana kadar aşamalı olarak artışlarla tekrarlandı. Yeşil çatı DEK uygulamasının en yüksek akış değerleri ise Tablo 14'te sunulmuştur.

Tablo 14. 50 Yıllık yağış serisinde maksimum gerçek debi etkinliğinin sonuçları

Zaman Serisi	Yeşil Çatı%	Program pik Akış (LPS)	Azalma pik akış (LPS)	Gerçek Azalma pik akış %	Yeşil Çatı Etkisi %
50 Y	0%	1006.85	0	0.00%	0.00%
	20%	793.54	213.31	18.01%	90.04%
	40%	582.99	423.86	35.78%	89.46%
	60%	337.09	669.76	56.54%	94.24%
	80%	173.07	833.78	70.39%	87.99%
	100%	0.57	1006.28	84.95%	84.95%

Şekil 41 incelendiğinde çıkış noktası için %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 DEK uygulaması sonuçları verilmiştir. Başlangıçta DEK uygulaması entegre edilmemiş olan %0 senaryosunda maksimum 1006.85 LPS akış hızı ölçülmüştür. DEK uygulaması entegre edildikten sonra toplam çıkış debileri kıyaslandığında her senaryoda azalmalar meydana geldiği görülmektedir.

Tablo 14'e baktığımızda, başlangıçta uygulanan %60 yeşil çatı DEK sayesinde, en yüksek çıkış suyu miktarında %94.24'lük bir azalma görülmüştür.



Şekil 42. 50 Yıllık durumda çıkış noktasının maksimum gerçek debisinin grafiği

4.6. Yüz(100) Yıllık Olası Yağış Durumları

Çalışma alanı SWMM'de analiz edilen 100 yıllık yağış periyodu sonucu model hazırlanması bir önceki bölümde sunulan yağış olayı için Bağcılar yağmur verileri hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Bu yağmur miktarları, zaman içinde normal bir dağılım gösteren, yani çoğu zaman ortalama değerlerde olan bir yağmur serisi gibi düşünülmüştür.

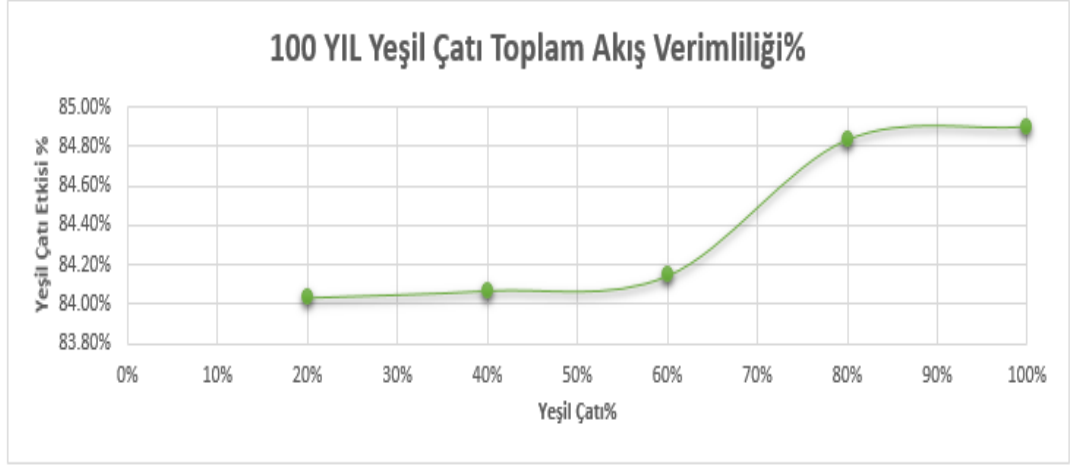
İlk adımda Yeşil Çatı DEK uygulaması olmayan çalışma alanı SWMM'de modellenmiş ve sonraki belirlenen alanlarda geçirimsiz Çatıların %20'i Yeşil Çatı DEK uygulamaları ile düzeltilmiştir. O senaryo, %100 Yeşil Çatı DEK değişimine ulaşana kadar devam ettirilmiştir. Yeşil Çatı DEK uygulamasının toplam akış sonuçları Tablo 15'te gösterilmiştir.

Tablo 15. 100 Yıllık yağış serisinde toplam gerçek debi etkinliğinin sonuçları

Zaman Serisi	Yeşil Çatı%	Program Toplam Akış (L)	Azalma toplam akış (L)	Gerçek Azalma toplam akış %	Yeşil Çatı Etkisi %
100 Y	0%	1421223	0	0.00%	0.00%
	20%	1140200.5	281022.5	16.81%	84.04%
	40%	858945.938	562277.062	33.63%	84.07%
	60%	577058.375	844164.625	50.49%	84.15%
	80%	286469.313	1134753.687	67.87%	84.83%
	100%	1661.332	1419561.668	84.90%	84.90%

Şekil 42'ye baktığımızda, başlangıç noktası için %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 DEK uygulamasının sonuçlarını görüyoruz. İlk başta DEK uygulaması olmayan %0 durumunda toplam su akışı 1.421.223 litre olarak ölçülmüştür. DEK uygulaması entegre edildikten sonra toplam çıkış debileri kıyaslandığında her senaryoda azalmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Tablo 16'ya bakıldığında çıkış noktasında yapılan %80 yeşil çatı DEK uygulamasında %84.90 toplam çıkış gerçek debi etkinliğinin sonuçlarının oranında azalma görülmektedir.



Şekil 43. 100 Yıllık durumda çıkış noktasının toplam gerçek debisinin grafiği

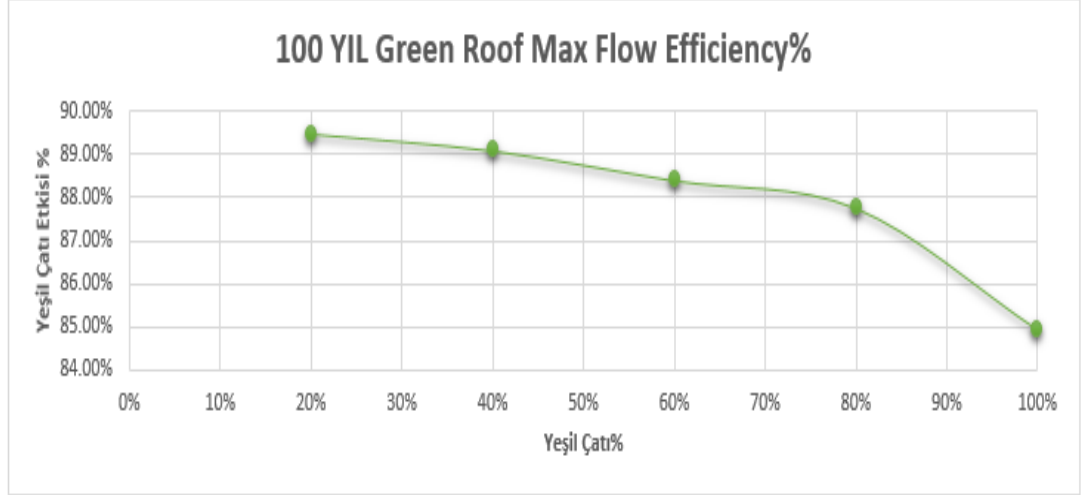
SWMM'de yeşil çatı DEK uygulaması içermeyen bir çalışma alanı oluşturuldu. Daha sonra bu alandaki geçirimsiz çatıların %20'si belirlenen bölgelerde yeşil çatı DEK sistemleriyle değiştirildi. Bu işlem, tüm geçirimsiz çatılar yeşil çatı DEK ile 100% kaplanana kadar aşamalı olarak artışlarla tekrarlandı. Yeşil çatı DEK uygulamasının en yüksek akış değerleri ise Tablo 16'da sunulmuştur.

Tablo 16. 100 Yıllık yağış serisinde maksimum gerçek debi etkinliğin sonuçları

Zaman Serisi	Yeşil Çatı%	Program pik Akış (LPS)	Azalma pik akış (LPS)	Gerçek Azalma pik akış %	Yeşil Çatı Etkisi %
100 Y	0%	1115.47	0	0.00%	0.00%
	20%	880.6	234.87	17.90%	89.49%
	40%	647.79	467.68	35.64%	89.09%
	60%	419.38	696.09	53.04%	88.40%
	80%	194.06	921.41	70.21%	87.77%
	100%	0.66	1114.81	84.95%	84.95%

Şekil 43'e baktığımızda, başlangıç noktası için %0'dan %100'e kadar farklı oranlarda DEK uygulamasının sonuçlarını görülmüştür. İlk başta DEK uygulaması içinde yokmuş olan %0 senaryosunda maksimum 1115.47 LPS akış hızı ölçülmüştür. DEK uygulaması entegre edildikten sonra toplam çıkış debileri kıyaslandığında her senaryoda azalmalar meydana geldiği görülmektedir.

Tablo 16'ya bakıldığında çıkış kısmında yapılan %20 yeşil çatı DEK uygulamasında %89.49 maksimum çıkış gerçek debi etkinlik oranında azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 44. 100 Yıl durumda çıkış noktasının maksimum gerçek debisinin grafiği

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kalabalık yerlerde kullanılabilir bir çalışma yaptık. Araştırmalarımıza göre, bu çalışma şimdiye kadar ilk kez yerleşim olan bir bölgede Yeşil Çatı ve Düşük Etkili Kentleşme (DEK) yöntemlerini bir araya getiriyor. Çalışma alanı nüfusun yoğun olduğu İstanbul ili Bağcılar ilçesi olup 1,2 km²'lik bir alana sahiptir. Bu seçilen yer, binalar ve asfalt yüzeyler yüzünden suyu geçirmeyen çok alana sahip, kalabalık bir bölgedir.

Tez çalışmasında, çalışma alanındaki binaların yerleri, caddeler, sokaklar ve bunların eğimleri Google Earth Pro programı aracılığıyla incelenerek daha küçük bölgelerin 487 adet su toplama havzası (alt havza) belirlenmiştir. Toplamda oluşturulmuştur. Bu alt havzalar SWMM 5.2 programına dahil edilmiştir. İSKİ Genel Müdürlüğünden alınan alt yapı verileri alınarak SWMM programında bağlantı noktaları, borular ve mevcut çıkış noktaları oluşturulmuştur. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Florya'daki yerinden alınan yağmurun ne kadar sürede ne kadar şiddetli yağdığı bilgileri, programda 'rain gage' komutuyla programa yüklendi.

Yapılan bu çalışmada DEK uygulamaları seçilecek alt havzalara entegre edilebilmesi için havzada bulunan mevcut boru hatlarına göre havzanın orta bölümünde bulunan alt havzalar seçilmiştir. Bunun nedeni ise havzadaki mevcut boru hattına giren yağışın debisini seçilen alt havzalardaki Yeşil Çatı DEK uygulamalarıyla yağış sularının gecikmesini sağlayabilmek amacıyla borulardaki oluşan pik debiyi azaltabilmek için olmasıdır.

Seçilen küçük su toplama alanlarının (alt havzaların) bölgeye uygunluğu dikkate alınarak, yeşil çatılar Tablo 4'te gösterildiği gibi SWMM programına eklendi. 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık yağış verileri kullanılarak, Yeşil Çatı DEK uygulamalarının yağış üzerindeki etkisi incelendi.

En etkili olan 2 yıllık serisi ve %80 Yeşil Çatı DEK uygulamasında; çıkış noktasının toplam debisi gözlemlendiğinde %85,57 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Ancak 50 yıllık seri ve %60 Yeşil Çatı DEK uygulaması uygulandığında; çıkış noktasının maksimum akış hızının en düşük olduğu değerinde %94,24 oranında azalma meydana gelmiştir.

Fang (2010), subtropikal bir bölgede bulunan Tayvan'daki yıllık yağışın 2400 mm kadar yüksek olduğunu araştırdı ve belirtti. Her yıl 3-4 tayfun kısa bir süre içinde büyük miktarda yağış (500-1400 mm) getiriyor. Yeşil çatıların yağmur suyunun yaklaşık %60-100'ünü tutabildiğini belirtti. Su tutma oranı %77-98'i alt tabaka, %2-23'ü ise bitki örtüsü tarafından sağlandı.

Böylece İstanbul'un Bağcılar ilçesinde yapılan Yeşil Çatı DEK uygulamaları sayesinde, seçilen bölgedeki su akışında azalmalar olduğu görüldü. Bu çalışma, nüfusu çok olan şehirlerde Yeşil Çatı DEK uygulamalarının yapılabileceğini ortaya koydu. Bu projenin başarılı bir şekilde hayata geçirilmesi için gerekli tüm bilgilerin sağlanması gerekmektedir.



KAYNAKÇA

- Balov, M.N. (2014), Akış Hidrografi Tahmin Modelleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Barriuso, F. U., and B. Urbano. 2021. Green Roofs and Walls Design Intended to Mitigate Climate Change in Urban Areas across All Continents. *Sustainability* 13(4):2245.
- Busker, T., de Moel, H., Haer, T., Schmeits, M., van den Hurk, B., Myers, K., ... ve Aerts, J. (2022). Bluegreen roofs with forecast-based operation to reduce the impact of weather extremes. *Journal of Environmental Management*, 301, 113750.
- Çakmak K. (2025), Yoğun Yapılaşmış Şehirlerde Düşük Etkili Kentleşme Uygulamalarının Taşkın Kontrolünde Etkinliğinin Araştırılması ve Maliyet Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul.
- Daryaei, A., (2019), Yeşil Çatı Sistemlerinin Enerji Verimliliğine Etkisinin Ölçülmesi Üzerine Bir Araştırma: Tahran Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Demir, D., (2012), Konvansiyonel Yağmursuyu Yönetim Sistemleri ile Sürdürülebilir Yağmursuyu Yönetim Sistemlerinin Karşılaştırılması: İTÜ Ayazağa Yerleşkesi Örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demirezen, K.İ., (2019), Sızdırma Hendeğinin Hidrolojik Performansının Deneysel ve Sayısal Modeller ile Değerlendirilmesi, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Yüksek Lisans Tezi, Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Demirhan, E. (2021), Yeşil Çatılarda Yağmur Suyu ve Güneş Enerjisi Sistemlerinin Sakarya Üniversitesi'ndeki Kazan Dairesi Binasında Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü
- Durhman, A., N.D. VanWoert, D.B.Rowe,C.L.Rugh, and D.Ebert May. 2004. Evaluation of Crassulacean species on extensive green roofs. p. 504–517. In *Proc. of the 2nd North American Green Roof Conf.: Greening Rooftops for Sustainable Communities*, Portland, OR. 2–4 June 2004. The Cardinal Group, Toronto.
- Dutal, H., (2016), Terbüzek Deresi Yağış Havzasının SWMM (Storm Water Management Model) Programı Kullanılarak Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Ece Altun S. (2024), Düşük Etkili Kentleşme Yöntemleri İle Yağmur Suyu Drenaj Sistemlerinin Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği

Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul.

- Edin, E. (2023), Şehirlerde Yağmursuyu Drenaj Sisteminin İncelenmesi ve Optimize Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul.
- Fang, C. F. (2010) Department of Landscape Architecture, National Chin-Yi University of Technology, R.O.C. Design and Nature. WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol 138, © 2010 WIT Press doi:10.2495/DN100211
- Farhar, A. (2022), Şehirleşme Etkisi Altında Taşkın Hidrografi Elde Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul. İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (2020), Yağmur Suyu Kanalizasyonu Teknik Şartnamesi.
- Gülbaz, S., 2010, Sazlıdere havzası'nın hidrolojik modellemesi ve su kalitesi tahmini, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Gülbaz, S., 2015, Yağış-Havza-Biyotutma Sisteminin Hidrolojik-Su Kalitesi Modellemesi Ve Deneysel Olarak İncelenmesi, İnşaat Mühendisliği Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi.
- Gülbaz, S. ve Kazezyılmaz Alhan, C.M., (2017), Düşük Etkili Kentleşme uygulaması: Biyotutmanın hidrolojik performansının deneysel modellerle araştırılması, 23(9): 1041-1048s , Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi.
- Gülbaz, S., Kaya, Y.E., ve Kazezyılmaz Alhan, C.M., (2018), Düşük Etkili Kentleşme uygulamalarının yüzeysel akışa etkisi, 3(1):45-50s: İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü örneği, İklim Değişikliği ve Çevre.
- Graham, P., and M. Kim. 2003. Evaluating the stormwater management benefits of green roofs through water balance modeling. p. 390–398. In Proc. of 1st North American Green Roof Conf.: Greening Rooftops for Sustainable Communities, Chicago. 29–30 May 2003. The Cardinal Group, Toronto.
- Heidarinejad, G. and Esmaili, A. 2016. Assessment of green roof energy savings compared to conventional roof. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
- Herman, R. 2003. Green roofs in Germany: Yesterday, today and tomorrow. p. 41–45. In Proc. of 1st North American Green Roof Conf.: Greening Rooftops for Sustainable Communities, Chicago. 29–30 May 2003. The Cardinal Group, Toronto.
- Huber, W.C., and Dickinson, R.E., 1988, Storm Water Management Model, Version 4, User's Manual, Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA, USA.

- Kaya, H. (2018). Meskun Bölge Yollarında Yağmur Suyu Drenajının Klasik Yöntemlerle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kaya, Y. E. (2021), İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Avcılar Kampüsü İçin EPA SWMM İle Yeşil Altyapı İçeren Yağmur Suyu Yönetim Modeli. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Kong, F., Ban, Y., Yin, H., James, P. ve Dronova, I. (2017), Modeling stormwater management at the city district level in response to changes in land use and low impact development. Environ. Modell. Software 95, 132–142.
- Külekçi Akpınar, E., (2017), Geçmişten Günümüze Yeşil Çatı Sistemleri ve Yeşil Çatılarda Kalite Standartlarının, Belirlenmesine Yönelik Bir Araştırma, ATA Planlama ve Tasarım Dergisi, 1:1, 35-53.
- Levi, S., (2007), Yağış Sularının Sürdürülebilir Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Mai, Y. ; Ma, X. ; Cheng, F. ; Mai, Y. ; Huang, G.(2025) .Comparative Analysis and Optimization of LID Practices for Urban Rainwater Management: Insights from SWMM Modeling and RSM Analysis. Sustainability
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2024), Florya Meteoroloji İstasyonuna ait veriler.
- Miao, Z.-T., Han, M. ve Hashemi, S. (2019), The effect of successive low-impact development rainwater systems on peak flow reduction in residential areas of Shizhuang, China. Environ. Earth Sci. 78 (2), 51.
- Mihalakakou, G., M. Souliotis, M. Papadaki, P. Menounous, P Dimopoulos, D. Kolokotsa, J.A. Paravantis, A. Tsangrassoulis, G. Panaras, E. Giannakopoulos, and S. Papaefthimiou. 2023. Green roofs as a nature-based solution for improving urban sustainability: Progress and perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews 180: 113306.
- O'Hara, A.C., A.C. Miller, H. Spinks, and A. Seifert. 2022. The Sustainable Prescription: Benefits of Green Roof Implementation for Urban Hospitals. Frontiers in Sustainable Cities 4: 798012.
- Özyavuz, M., Karakaya, B. ve Ertin, D.G. 2015. The Effects of Green Roofs on Urban Ecosystems, GreenAge Symposium, Mimar Sinan Fine Arts, University Faculty of Architecture 15-17 April 2015, İstanbul, Türkiye.
- Rossmann, L.A., (2015), Storm Water Management Model, User's Manual, Version 5.1, National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, September, EPA-600/R-14/413b.
- Rowe, D.B., C.L. Rugh, N. VanWoert, M.A. Monterusso, and D.K. Russell. 2003. Green roof slope, substrate depth, and vegetation influence runoff. p. 354–362. In Proc. of 1st North American Green Roof Conf.: Greening Rooftops

for Sustainable Communities, Chicago. 29–30 May 2003. The Cardinal Group, Toronto.

Sadeghinazhad, S., (2019), Low Impact Development (LID) Practices In Flood Control Of Urban Areas Using Storm Water Management Model/ SWMM, İstanbul Technical University, M.Sc. Thesis, Graduate School Of Science Engineering And Technology, İstanbul.

Samouei, S., (2019), Investigating The Effects Of Low Impact Developments/ LID On Urban Runoff Reduction, Graduate School Of Science Engineering And Technology, M.Sc. Thesis, Istanbul Technical University.

Samouei, S. ve Özger, M. (2020), A rainfall-runoff model for highly urbanized areas: a case study at Istanbul Technical University main campus. IOP Conference Series: Mater. Sci. Eng. 737 (1), 012163. doi:10.1088/1757-899x/737/1/012163.

Sarı D. (2025), Çatalca – Subaşı Mahallesi Yağmur Suyu Drenaj Sisteminin Projelendirilmesi ve Yaklaşık Maliyetinin Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul.

Scholz, M., and Grabowiecki, P., (2007), Review of permeable pavement systems, Building And Environment, 42(11):3830-3836pp.

Seçer Kariptaş F. 2010. Yeşil Çatıların Ekoloji Bağlamında Değerlendirilmesi Ve Turkcell Ar-Ge Binası Örneği. 5. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu 15 16 Nisan 2010 Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Tınaztepe yerleşkesi Buca, İzmir.

Sevimli, A. (2021). Sürdürülebilir Yağmur Suyu Yönetimi Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi. Bursa Üniversitesi Görükle Kampüsü Örneği, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Sharma, S., Lee, B. S., Nicholas, R. E., ve Keller, K. (2021). A safety factor approach to designing urban infrastructure for dynamic conditions. Earth's Future, 9, e2021EF002118.

Su ve Kanalizasyon Müdürlüğü - Bağcılar Belediyesi (2024).

Şengün, N. F. (2020). Ege Üniversitesi kampüsü yağmur suyu drenaj sisteminin projelendirilmesine ve kapasitesinin artırılmasına yönelik alternatif öneriler. Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

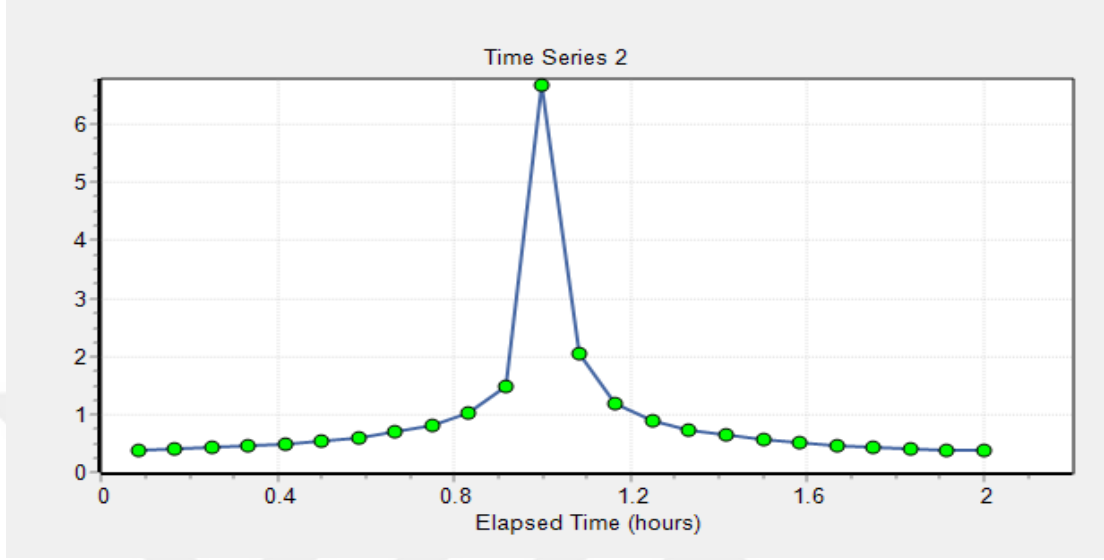
T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mekansal Planlama Genel Müdürlüğü, ANKARA, Nisan (2018), Yağmur Bahçesi Uygulama Kılavuzu

Toy, İ. (2011). Antalya Yağmur Suyu Drenaj Sistemi Kapasitesinin Geliştirilmesi İçin Alternatif Öneriler. Yüksek Lisans Tezi. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

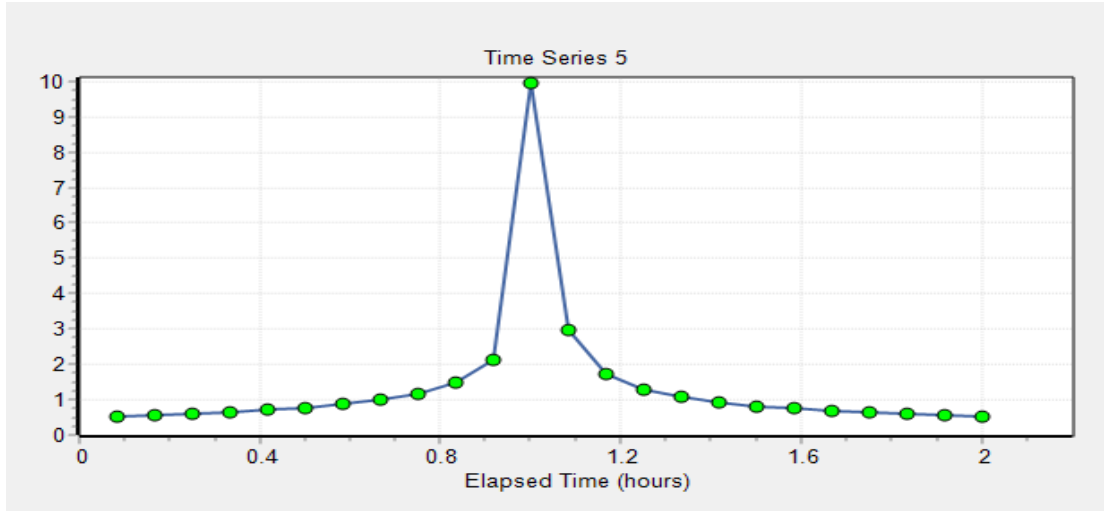
- Uyumaz, A. (1991). Yağmursuyu Drenajı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul: İTÜ.
- Ünal, U., ve Akyüz, D. E. (2017), Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemlerinde Yağmur Hendeklerinin Değerlendirilmesi. Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi, 1(1), 15-24.
- Zimmer, C. A., Heathcote, I. W., Whiteley, H. R. ve Schroter, H. (2007), Low impact development practices for stormwater: implications for urban hydrology. Can. Water Resour. J. 32 (3), 193–212.
- Zhang, S. ve Guo, Y. (2015), SWMM simulation of the storm water volume control performance of permeable pavement systems. J. Hydrol. Eng. 20 (8), 06014010.
- Zhang, X. ,Soe , A. N. ,Dong, S. ,Chen M. ,Wu M. and Htwe, T. (2024), Urban Resilience through Green Roofing, E3S Web of Conf. Volume 536, 01023.
- USEPA (2019) Green Roofs for Healthy Cities, 2019 Annual Green Roof Industry Survey.
- USEPA (2000), Low Impact Development (LID): A Literature Review. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA. EPA-841-b-00-005.
- (Url-1) muhendis.web.tr/madde-dongulerine-insan-etkisi Alıntı tarihi 05-11-2024
- (Url-2) en.wikipedia.org/wiki/File:Construction_sample_of_a_green_roof_system.jpg Alıntı tarihi 15-11-2024
- (Url-3) en.wikipedia.org/wiki/File:Intensive_extensive_green_roofs.png Alıntı tarihi 05-11-2024
- (Url-4) bioart.com.tr/projeler/biyolojik-havuz-projeleri Alıntı tarihi 12-10-2024
- (Url-5) calacademy.org Alıntı tarihi 18-11-2024
- (Url-6) en.wikipedia.org/wiki/File:MEC%27s_green_roof_among_others.jpg Alıntı tarihi 08-01-2025
- (Url-7) en.wikipedia.org/wiki/File:Green_Roof_at_Vend%C3%A9e_Historial,_les_Lucs.jpg Alıntı tarihi 22-11-2024
- (Url-8) en.wikipedia.org/wiki/File:GreenRoof-SingaporeBotanicGardens.jpg Alıntı tarihi 19-12-2024
- (Url-9) tr.wikipedia.org/wiki/Güneşli,_Bağcılar Alıntı tarihi 02-12-2024

EKLER

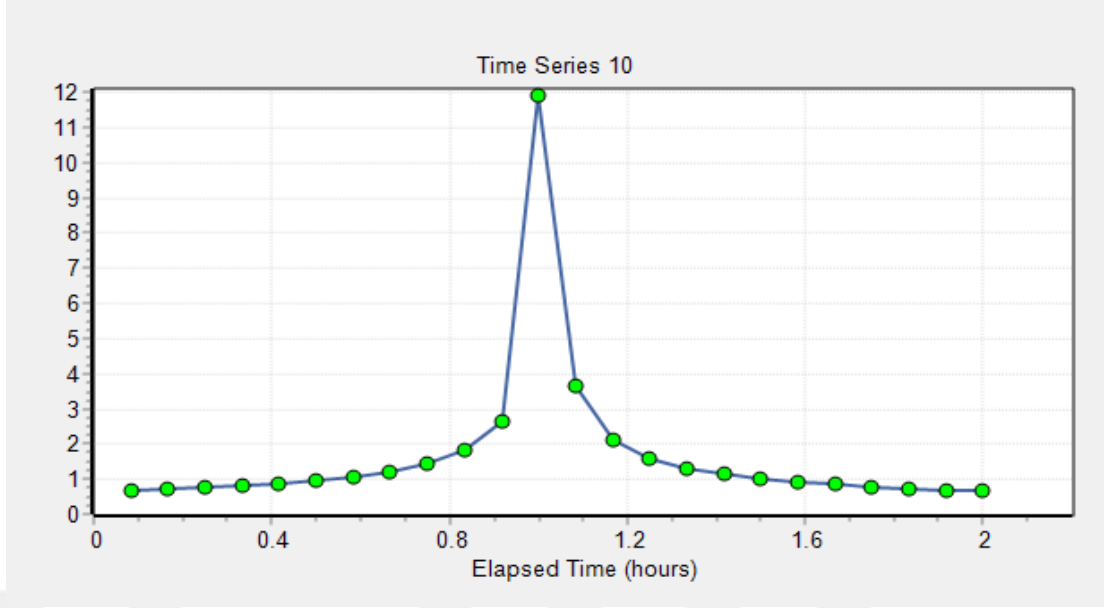
Zaman Serisi Histogramları



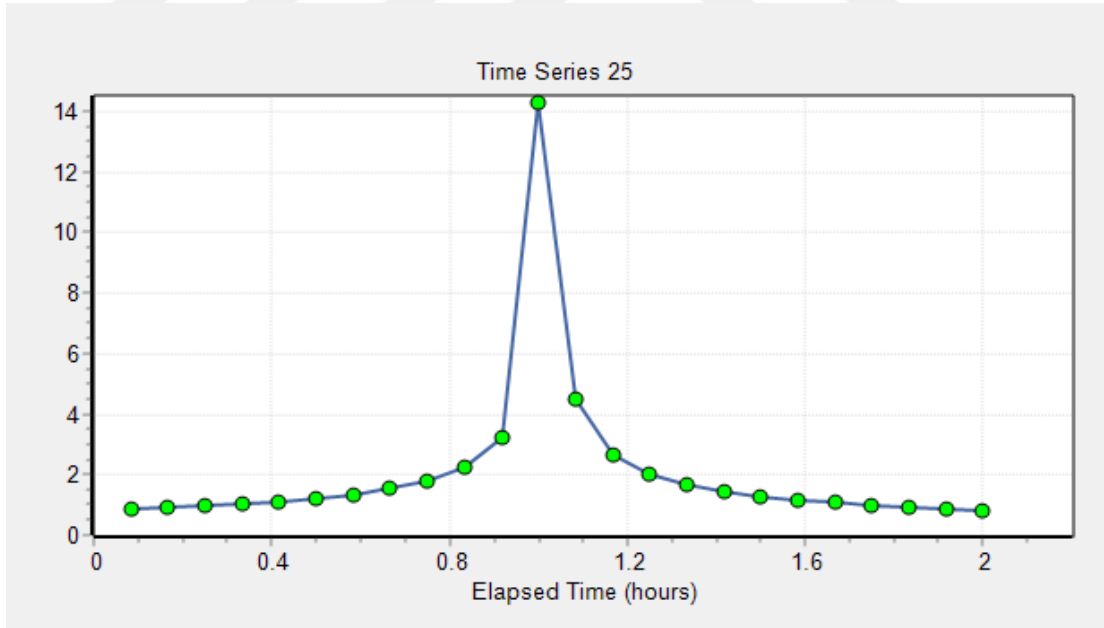
Şekil 45. EK-Şekil/ SWMM yağış ölçer için büyük yağışlar değerini 2 yıl boyunca EPA-SWMM, Standard Sürelerde En Büyük Yağışlar değerini(mm) , zaman serisini kullanan yağış ölçer için 2 yıl boyunca süren sabit bir değer olarak yorumlar.



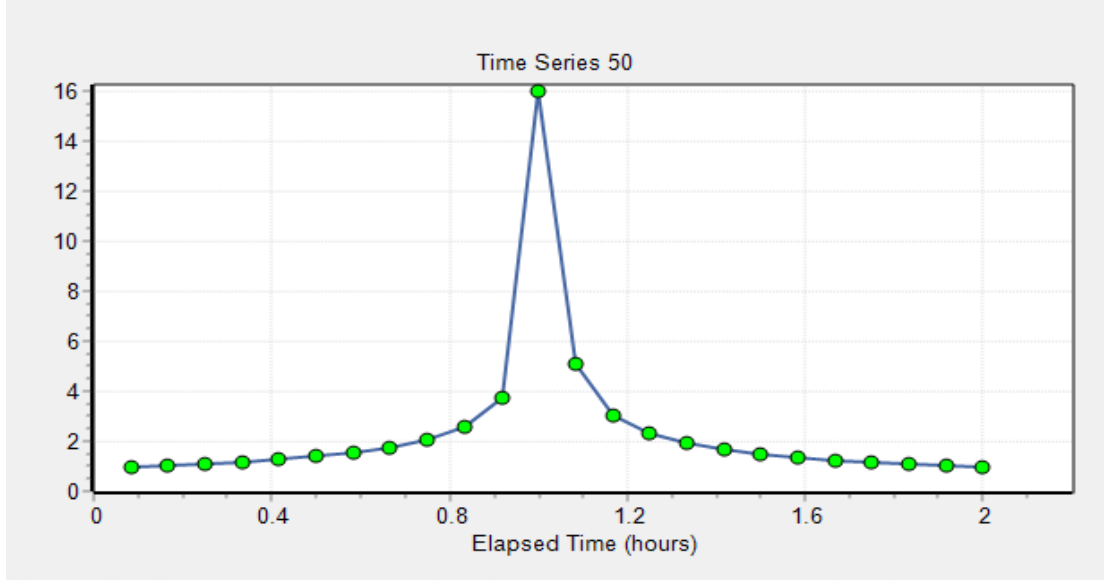
Şekil 46. EK-Şekil/ SWMM yağış ölçer için büyük yağışlar değerini 5 yıl boyunca SWMM, Standard Sürelerde En Büyük Yağışlar değerini(mm) , zaman serisini kullanan yağış ölçer için 5 yıl boyunca süren sabit bir değer olarak yorumlar.



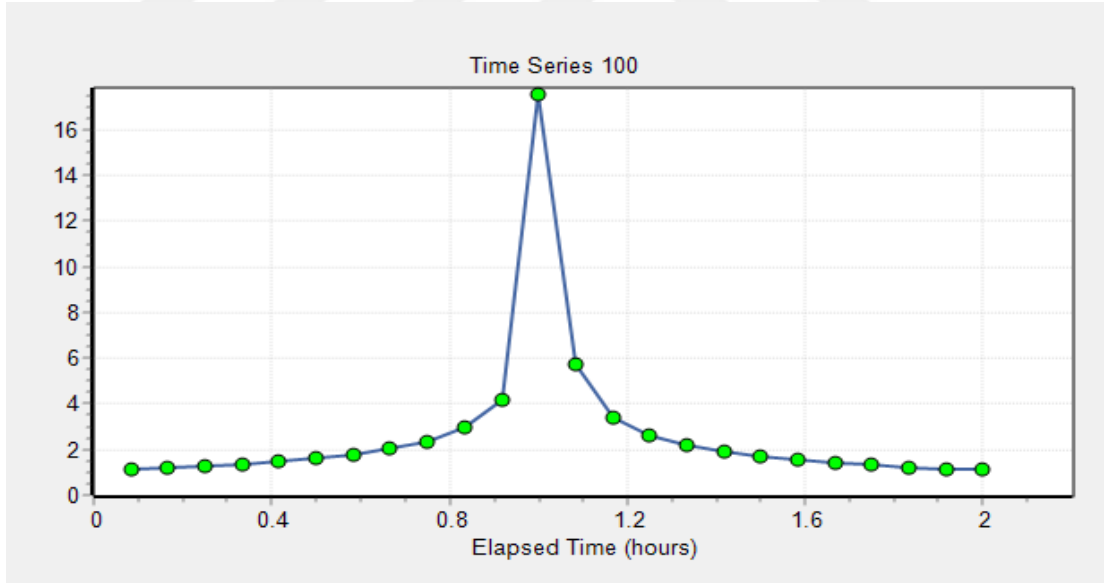
Şekil 47. EK-Şekil/ SWMM yağış ölçer için büyük yağışlar değerini 10 yıl boyunca SWMM, Standard Sürelerde En Büyük Yağışlar değerini(mm) , zaman serisini kullanan yağış ölçer için 10 yıl boyunca süren sabit bir değer olarak yorumlar.



Şekil 48. EK-Şekil/ SWMM yağış ölçer için büyük yağışlar değerini 25 yıl boyunca SWMM, Standard Sürelerde En Büyük Yağışlar değerini(mm) , zaman serisini kullanan yağış ölçer için 25 yıl boyunca süren sabit bir değer olarak yorumlar.



Şekil 49. EK-Şekil/ SWMM yağış ölçer için büyük yağışlar değerini 50 yıl boyunca SWMM, Standard Sürelerde En Büyük Yağışlar değerini(mm) , zaman serisini kullanan yağış ölçer için 50 yıl boyunca süren sabit bir değer olarak yorumlar.



Şekil 50. EK-Şekil/ SWMM yağış ölçer için büyük yağışlar değerini 100 yıl boyunca SWMM, Standard Sürelerde En Büyük Yağışlar değerini(mm) , zaman serisini kullanan yağış ölçer için 100 yıl boyunca süren sabit bir değer olarak yorumlar.

