



**TAŞKIN YÖNETİMİNDE DOĞA TABANLI ÇÖZÜMLER**

**Orkun ÖZDEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2025**

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Orkun ÖZDEN

25/06/2025

TAŞKIN YÖNETİMİNDE DOĞA TABANLI ÇÖZÜMLER  
(Yüksek Lisans Tezi)

Orkun ÖZDEN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2025

ÖZET

Günümüzde yaşanan taşkınlar önemli bir sorun haline gelmektedir. Her ne kadar taşkınlar genelde akarsu güzergahı üzerinde görülse de özellikle değişen iklim sebebiyle, yoğunluğu ve şiddeti artan yağmurların oluşturduğu taşkınlar, şehirlerde sıklıkla problemlere yol açmaktadır. Şehirlerdeki geçirimsiz alanların artması sebebiyle, ani bastıran sağanak yağmurlar köprü altlarında, bodrum katlarında veya çukur alanlarda su baskınları oluşturup büyük maddi zararlara neden olabilmektedir. Şehirlerde yaşanan bu duruma karşı alınabilecek önlemlerin başında geleneksel metotlardan olan yağmur suyu toplama hatları akla gelir. Ancak bu önlem türü, plansız ve çarpık büyüyen kentlerde yeterli olmamaktadır. Son yıllarda önerilen doğa tabanlı çözümlerin, şehirlerde yaşanan taşkınlara karşı etkili olabileceği düşünülmektedir. Bu çözümler geçirimli alanları artırmak suretiyle taşın suyun tahliyesini değil, toprağa sızdırılmasını içermektedir. Doğa tabanlı çözüm yöntemleri için İngilizce terminolojide “Low Impact Development” (LID) terimi tercih edilmektedir. Türkçe literatürde konu ile ilgili terminoloji henüz olgunlaşmadığından ve anlam olarak en yakın çeviriye karşılık geldiğinden bu çalışma kapsamında “çevre dostu” ya da “çevreye duyarlı” ifadeleri tercih edilmiştir. “Çevre Dostu Uygulamalar (ÇDU)” geleneksel yapılardan uzak, doğaya zarar vermeden, doğa ile iç içe olarak tasarlanmalıdır. Başlıcaları; “yeşil çatılar”, “sızdırma havuzları” ve “geçirgen döşeme”lerdir. Ancak doğa ile uyumlu olmaları gerektiğinden, tasarımları için geniş ve düz alanlara ihtiyaç vardır. Bu çalışmada sıklıkla su baskınlarına maruz kalan Ankara ili Mamak ilçesi Türközü mahallesi çalışma sahası olarak seçilmiştir. Çalışma sahasında oluşturulacak tasarım için önemli olan parametreler, Amerika Birleşik Devletleri, Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından geliştirilen açık kodlu bir yazılım olan SWMM (Storm Water Management Model), kullanılarak elde edilmiştir. Yazılımda yapılan modellemede boru çapları, en kötü senaryonun analiz edilmesi amacıyla ana kollektör olabilecek en küçük çap olarak 400 mm olarak düşünülmüştür. Yazılımın kullanıldığı literatürdeki çalışmalardan, havza içerisindeki su akış durumu ile ilgili simülasyon sonuçlarının başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, ÇDU’ların çarpık bir yerleşime sahip şehir içerisinde meydana gelen su baskınlarına karşı performanslarını değerlendirmektedir.

Bilim Kodu : 91133

Anahtar Kelimeler : ÇDU, Taşkın, Yönetim, SWMM, Türközü

Sayfa Adedi : 114

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT

# NATURE BASED SOLUTIONS IN FLOOD MANAGAMENT

(M. Sc. Thesis)

Orkun ÖZDEN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2025

## ABSTRACT

Floods are becoming a significant problem nowadays. Although floods are generally faced within the river route, especially due to the climate change, inundation produced by excessive and intensive rain cause problems in urban area. Due to the increase in impermeable areas in suburban, sudden heavy rains may cause floods under bridges, in basements or in potholes resulting with large financial losses. Traditional protection method at first coming into the mind that can be taken against the flood experienced in urban area is usually rainwater collection pipelines. However, traditional methods sometimes cannot produce sufficient solutions where in urban with unplanned settlements. It is thought that nature-based solutions proposed in recent years can be operative against floods experienced in those areas. These solutions provide water infiltration into the soil rather than collecting and carrying overflowing water away as traditional system suggestion. The term “Low Impact Development” (LID) is preferred in English terminology for nature-based solution methods. Since the terminology on the subject has not yet matured in Turkish literature, also due to it corresponds to the most accurate translation in terms of meaning, the terms “environmentally friendly” or “environmentally sensitive” were preferred in this study. LIDs must be designed to be far from traditional structures, not harming nature, and intertwined with nature. The main ones are; “green roofs”, “detention basins” and “permeable pavements”. However, since they need to be in harmony with nature, large and flat areas are needed for their designs. In this study, Türközü suburb in Mamak district of Ankara province, which is frequently exposed to floods, was selected as the case study area. Crucial parameters for the design were obtained using an open-source software, SWMM (Storm Water Management Model), developed by the Environmental Protection Agency (EPA) of the United States. In the modelling, in order to analyse the worst case scenario pipe diameters were considered as 400 mm which is the minimum diameter possible for the main collector. Literature review shows that water flow in the basin is successfully simulated by the software. The results obtained within the scope of this study evaluate the performance of LIDs against floods occurring in a city with an irregular layout.

Science Code : 91133

Key Words : LID, Flood, Management, SWMM, Türközü

Page Number : 114

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Önder KOÇYİĞİT

## TEŞEKKÜR

Bu alıőmada, lisans ve lisansüstü eğitim sürecim boyunca desteğini, tecrubesini esirgemeyen ve tez sürecimde yaőadığım zorluklarda manevi desteğini fazlasıyla gösteren danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT'e, teşekkürü bir borç bilirim.



**İÇİNDEKİLER**

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xv
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI .....	3
3. EPA-SWMM .....	7
3.1. Biyotutma Havuzu .....	10
3.2. Bekletme Havuzu .....	10
3.3. Tutma Havuzları.....	12
3.4. Sulak Alan.....	12
3.5. Yağmur Bahçesi .....	13
3.6. Yeşil Çatı.....	15
3.6.1. Geniş alanlı yeşil çatılar.....	16
3.6.2. Yoğun yeşil çatılar .....	17
3.7. Sızdırma Hendeği.....	17
3.8. Geçirgen Döşeme .....	18
3.9. Yağmur Suyu Deposu .....	20
3.10. Çatı Oluğu .....	21

	<b>Sayfa</b>
3.11. Bitkili Yağmur Hendeği .....	22
3.12. SWMM ÇDU Terimleri .....	23
3.12.1. Yüzey terimleri .....	23
3.12.2. Zemin terimleri .....	25
3.12.3. Depolama terimleri .....	26
3.12.4. Drenaj terimleri.....	27
3.12.5. Döşeme terimleri.....	28
4. YÖNTEM.....	31
5. ÇALIŞMA SAHASI ve MODELLEME.....	33
5.1. Çalışma Sahasının Hidrolik Modellemesi.....	35
5.1.1. Genel ayarlar .....	35
5.1.2. Yağmur ölçer ayarları .....	37
5.1.3. Verilerin doğruluğu.....	41
5.1.4. Alt havza ayarları.....	42
5.1.5. Kanal ayarları.....	64
5.1.6. ÇDU ayarları.....	67
6. BULGULAR .....	75
6.1. 11.06.2023 tarihli 1 saat 15 dakikalık yağış (Baz Senaryo-1) .....	75
6.1.1. Senaryo 1.1-biyotutma havuzu .....	76
6.1.2. Senaryo 1.2-yağmur bahçesi .....	79
6.1.3. Senaryo 1.3-yeşil çatı .....	82
6.1.4. Senaryo 1.4-geçirgen döşeme .....	83
6.1.5. Senaryo 1.5-yağmur varili.....	85
6.1.6. Senaryo 1.6-geçirgen döşeme + yeşil çatı.....	88

	<b>Sayfa</b>
6.2. 200 yıl tekerrürlü 1 saatlik yağış (Baz Senaryo-2).....	89
6.2.1. Senaryo 2.1-biyotutma havuzu .....	90
6.2.2. Senaryo 2.2-yağmur bahçesi .....	93
6.2.3. Senaryo 2.3-yeşil çatı .....	95
6.2.4. Senaryo 2.4-geçirgen döşeme .....	96
6.2.5. Senaryo 2.5-yağmur varili.....	97
6.2.6. Senaryo 2.6-geçirgen döşeme + yeşil çatı.....	100
7. TARTIŞMA, SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	103
KAYNAKLAR .....	111
ÖZGEÇMİŞ .....	114

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Yüzey Akışı için Manning Katsayısı.....	24
Çizelge 3.2. Zemin Karakteristikleri.....	26
Çizelge 5.1. Standart Zamanlarda Gözlenen En Büyük Yağış Değerleri .....	38
Çizelge 5.2. 11.06.2023 tarihli yağışın saatlik toplam yağış verileri.....	39
Çizelge 5.3. Tipik Birikinti Yükseklikleri .....	44
Çizelge 5.4. Hidrolojik Zemin Grubu .....	45
Çizelge 5.5. Akış için Eğri Numaraları.....	46
Çizelge 5.6. Kapalı Kanallar için Manning Katsayıları.....	65
Çizelge 6.1. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar .....	76
Çizelge 6.2. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (gerçek senaryo).....	78
Çizelge 6.3. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (havza %10'u).....	79
Çizelge 6.4. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (gerçek senaryo).....	80
Çizelge 6.5. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (havza %10'u).....	81
Çizelge 6.6. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar .....	83
Çizelge 6.7. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar .....	85
Çizelge 6.8. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (gerçek senaryo).....	86
Çizelge 6.9. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (havza %10'u).....	87
Çizelge 6.10. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar .....	89
Çizelge 6.11. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar .....	90
Çizelge 6.12. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (gerçek senaryo).....	91
Çizelge 6.13. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (havza %10'u).....	92
Çizelge 6.14. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (gerçek senaryo).....	94
Çizelge 6.15. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (havza %10'u).....	95

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 6.16. Dügüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar .....	96
Çizelge 6.17. Dügüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar .....	97
Çizelge 6.18. Dügüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (gerçek senaryo).....	98
Çizelge 6.19. Dügüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (havza %10'u).....	99
Çizelge 6.20. Dügüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar .....	101
Çizelge 7.1. 11.06.2023 tarihli yağış için ÇDU performansları .....	103
Çizelge 7.2. 200 yıl tekerrürlü 1 saatlik yağış için ÇDU performansları .....	103
Çizelge 7.3. 11.06.2023 tarihli yağış için alternatif senaryodaki ÇDU performansları.....	104
Çizelge 7.4. 200 yıl tekerrürlü 1 saatlik yağış için alternatif senaryodaki ÇDU performansları.....	105

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Yağmur Bahçesi Kesiti .....	14
Şekil 4.1. Çalışma yönteminin akış diyagramı .....	32
Şekil 5.1. Yağış Şiddet-Süre-Tekerrür Eğrileri.....	38
Şekil 5.2. 11.06.2023 tarihli yağışın hiyetografi.....	39
Şekil 5.3. 200 yıl tekerrürlü 1 saatlik olası bir yağışın hiyetografi.....	41
Şekil 5.4. Nash-Sutcliffe Analiz Sonucu .....	42
Şekil 5.5. R2 Analiz Sonucu .....	42
Şekil 6.1. 11.06.2023 tarihli yağış sonucu oluşan toplam taşkın.....	75
Şekil 6.2. Düğüm noktalarında oluşan taşkınlar .....	76
Şekil 6.3. Biyotutma havuzu sonrası oluşan toplam taşkın .....	77
Şekil 6.4. Biyotutma havuzu sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar.....	77
Şekil 6.5. Biyotutma havuzu sonrası oluşan toplam taşkın .....	78
Şekil 6.6. Biyotutma havuzu sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar.....	78
Şekil 6.7. Yağmur bahçeleri sonrası oluşan toplam taşkın .....	79
Şekil 6.8. Yağmur bahçesi sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar .....	80
Şekil 6.9. Yağmur bahçesi sonrası oluşan toplam taşkın.....	81
Şekil 6.10. Yağmur bahçesi sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar .....	81
Şekil 6.11. Yeşil çatılar sonrası oluşan toplam taşkın .....	82
Şekil 6.12. Yeşil çatılar sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar.....	83
Şekil 6.13. Geçirgen asfalt sonrası oluşan toplam taşkın.....	84
Şekil 6.14. Geçirgen asfalt sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar.....	84
Şekil 6.15. Yağmur varili sonrası oluşan toplam taşkın .....	85
Şekil 6.16. Yağmur varili sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar .....	86

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.17. Yağmur varilleri sonrası oluşan toplam taşkın .....	87
Şekil 6.18. Yağmur varilleri sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar .....	87
Şekil 6.19. Geçirgen asfalt+Yeşil çatı sonrası oluşan toplam taşkın .....	88
Şekil 6.20. Geçirgen asfalt+Yeşil çatı sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar .....	88
Şekil 6.21. 200 yıl tekerrürlü 1 saatlik yağış sonucu oluşan toplam taşkın .....	89
Şekil 6.22. Düğüm noktalarında oluşan taşkınlar .....	90
Şekil 6.23. Biyotutma havuzu sonrası oluşan toplam taşkın .....	91
Şekil 6.24. Biyotutma havuzu sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar.....	91
Şekil 6.25. Biyotutma havuzu sonrası oluşan toplam taşkın .....	92
Şekil 6.26. Biyotutma havuzu sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar.....	92
Şekil 6.27. Yağmur bahçeleri sonrası oluşan toplam taşkın .....	93
Şekil 6.28. Yağmur bahçesi sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar .....	93
Şekil 6.29. Yağmur bahçesi sonrası oluşan toplam taşkın.....	94
Şekil 6.30. Yağmur bahçesi sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar .....	94
Şekil 6.31. Yeşil çatılar sonrası oluşan toplam taşkın .....	95
Şekil 6.32. Yeşil çatılar sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar.....	96
Şekil 6.33. Geçirgen asfalt sonrası oluşan toplam taşkın.....	96
Şekil 6.34. Geçirgen asfalt sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar.....	97
Şekil 6.35. Yağmur varili sonrası oluşan toplam taşkın .....	98
Şekil 6.36. Yağmur varili sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar .....	98
Şekil 6.37. Yağmur varilleri sonrası oluşan toplam taşkın .....	99
Şekil 6.38. Yağmur varilleri sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar .....	99
Şekil 6.39. Geçirgen asfalt+Yeşil çatı sonrası oluşan toplam taşkın .....	100
Şekil 6.40. Geçirgen asfalt+Yeşil çatı sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar .....	100
Şekil 7.1. J1, J2, J3 Boru kesiti .....	105

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 7.2. J4, J5, J6 Boru kesiti .....	106
Şekil 7.3. J5-J2 Düğümleri karşılaştırması .....	106
Şekil 7.4. C4-C1 Boru hatları karşılaştırması .....	107
Şekil 7.5. C1 ve C4'ü besleyen havzaların yüzey akışları .....	107



## RESİMLERİN LİSTESİ

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 3.1. EPA SWMM Arayüzü .....	7
Resim 3.2. SWMM Biyotutma Havuzu .....	10
Resim 3.3. Bekletme Havuzu (kuru).....	11
Resim 3.4. Bekletme Havuzu (dolu).....	11
Resim 3.5. Tutma Havuzu .....	12
Resim 3.6. Sulak Alan .....	13
Resim 3.7. Yağmur Bahçesi.....	14
Resim 3.8. SWMM Yağmur Bahçesi .....	15
Resim 3.9. Yeşil Çatı .....	15
Resim 3.10. SWMM Yeşil Çatı .....	16
Resim 3.11. Ekstansif Yeşil Çatı .....	16
Resim 3.12. Yoğun Yeşil Çatı .....	17
Resim 3.13. Sızdırma Hendeği .....	18
Resim 3.14. SWMM Sızdırma Hendeği .....	18
Resim 3.15. Geçirgen Asfalt.....	19
Resim 3.16. SWMM Geçirgen Döşeme .....	19
Resim 3.17. Yağmur Varili.....	20
Resim 3.18. SWMM Yağmur Suyu Deposu.....	20
Resim 3.19. Çatı oluğu.....	21
Resim 3.20. SWMM Çatı Oluğu.....	21
Resim 3.21. Bitkili Yağmur Hendeği .....	22
Resim 3.22. SWMM Bitkili Yağmur Hendeği .....	22
Resim 5.1. Çalışma Sahası Türközü mah. ....	34

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 5.2. Türközü mah. Akış Yönü .....	34
Resim 5.3. Çalışma sahası-çarpık kentleşme .....	35
Resim 5.4. Simülasyon Ayarları .....	37
Resim 5.5. Yağmur Ölçer Ayarları .....	40
Resim 5.6. S1 Alt Havzası .....	43
Resim 5.7. S1 Geçirimsiz Alanlar.....	43
Resim 5.8. S1 Geçirimli Alan .....	44
Resim 5.9. S1 Alt Havza Parametreleri .....	47
Resim 5.10. S2 Alt Havzası .....	47
Resim 5.11. S2 Geçirimsiz Alanlar.....	48
Resim 5.12. S2 Geçirimli Alan .....	48
Resim 5.13. S3 Alt Havzası .....	49
Resim 5.14. S3 Geçirimsiz Alanlar.....	50
Resim 5.15. S3 Geçirimli Alan .....	50
Resim 5.16. S4 Alt Havzası .....	51
Resim 5.17. S4 Geçirimsiz Alanlar.....	52
Resim 5.18. S5 Alt Havzası .....	53
Resim 5.19. S5 Geçirimsiz Alanlar.....	53
Resim 5.20. S6 Alt Havzası .....	54
Resim 5.21. S6 Geçirimsiz Alanlar.....	55
Resim 5.22. S6 Geçirimli Alan .....	55
Resim 5.23. S7 Alt Havzası .....	56
Resim 5.24. S7 Geçirimsiz Alanlar.....	57
Resim 5.25. S7 Geçirimli Alan-1.....	57

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 5.26. S7 Geçirimli Alan-2.....	58
Resim 5.27. S7 Geçirimli Alan-3.....	58
Resim 5.28. S8 Alt Havzası .....	59
Resim 5.29. S8 Geçirimsiz Alanlar.....	60
Resim 5.30. S8 Geçirimli Alan-1 .....	60
Resim 5.31. S8 Geçirimli Alan-2.....	61
Resim 5.32. S9 Alt Havzası .....	62
Resim 5.33. S9 Geçirimsiz Alanlar.....	62
Resim 5.34. S9 Geçirimli Alan-1.....	63
Resim 5.35. S9 Geçirimli Alan-2.....	63
Resim 5.36. SWMM Kanal Yerleşimi .....	65
Resim 5.37. Örnek Kanal Ayarları .....	66
Resim 5.38. Düğüm Noktaları Yerleşimi.....	63
Resim 5.39. Biyotutma Havuzu Lokasyonları .....	64
Resim 5.40. Biyotutma Havuzu Parametreleri.....	65
Resim 5.41. Yağmur Bahçesi Lokasyonları.....	69
Resim 5.42. Biyotutma Havuzu Parametreleri.....	66
Resim 5.43. Yeşil Çatı Lokasyonları .....	67
Resim 5.44. Yeşil Çatı Parametreleri .....	71
Resim 5.45. Geçirgen Döşeme Lokasyonları.....	68
Resim 5.46. Geçirgen Asfalt Parametreleri .....	69
Resim 5.47. Yağmur Varili Lokasyonları .....	73
Resim 5.48. Yağmur Varili Parametreleri .....	73

**HARİTALARIN LİSTESİ**

<b>Harita</b>	<b>Sayfa</b>
Harita 5.1. 2018-2020 yılları arasında Ankara ilçelerinde yaşanan sel ve su baskını olayları .....	33



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>n</b>	Manning Katsayısı
<b>mm</b>	milimetre
<b>cm</b>	santimetre
<b>m</b>	metre
<b>m<sup>2</sup></b>	metrekare
<b>m<sup>3</sup></b>	metreküp
<b>sa</b>	saat
<b>s</b>	saniye
<b>Φ</b>	boru çapı
<b>S</b>	alt havza
<b>C</b>	kanal hattı
<b>J</b>	kanal birleşim noktası
<b>K</b>	hidrolik iletkenlik
<b>Ψ</b>	emme yüksekliği
<b>φ</b>	porozite
<b>FC</b>	tarla kapasitesi
<b>WP</b>	solma noktası
<b>c</b>	Drenaj katsayısı
<b>q</b>	akış hızı
<b>R<sup>2</sup></b>	belirleme katsayısı

**Kısaltmalar****Açıklamalar**

<b>ABB</b>	Ankara Büyükşehir Belediyesi
<b>AKOM</b>	Afet Koordinasyon Merkezi
<b>ASCE</b>	American Society of Civil Engineers
<b>CN</b>	Curve Number (Eğri Numarası)
<b>ÇDU</b>	Çevre Dostu Uygulamalar
<b>EPA</b>	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
<b>LID</b>	Low Impact Development
<b>NBS</b>	Nature Based Solutions (Doğa Tabanlı Çözümler)
<b>NSE</b>	Nash-Sutcliffe verimliliği
<b>SWMM</b>	Storm Water Management Model
<b>ULASAV</b>	Ulusal Akıllı Şehir Açık Veri Platformu
<b>YASS</b>	Yeraltı Suyu Seviyesi

## 1. GİRİŞ

Su kaynaklarının kullanımı ve korunması beşeriyetin varlığından beri süregelen bir konu olmuştur. Bu uğurda nice medeniyetler doğmuş, nice savaşlar olmuş ve niceleri yok olmuştur. Günümüzde dahi halen devam eden su kavgaları yaşanmaktadır.

İnsanoğlu, tarihi boyunca yapmış olduğu su kavgasının yanında su kaynaklarını korumak için de oldukça fazla akıl yürütmüştür. Bu kapsamda su kaynaklarını daha doğru ve verimli kullanabilmek adına birçok yapı icat etmiştir. Teknolojinin gelişmesi ve ihtiyaçların artmasıyla birlikte bu yapıların ölçeği de artmaya başlamıştır. Örneğin Mısır topraklarında ikamet eden halkların sulama amaçlı nehirlerle yaptığı bentler günümüzde devasa barajlara, hidroelektrik santrallerine dönüşmüştür.

Ancak su kaynaklarının kullanılmasında verim artırılmaya çalışırken, aynı zamanda değişen ihtiyaçlar su kaynaklarının kirlenmesine de yol açmaktadır. Bu kapsamda ise su arıtma tesisleri icat edilmiş ve su arıtma metotları geliştirilmeye başlanmıştır.

Özellikle küresel ısınma ve değişen iklim sebebiyle bugünlerde ihtiyaç tekrar değişmeye başlamıştır. Daha doğrusu ihtiyaç aynı olsa bile arzın, yani suyun yapısı, şekli, miktarı, kalitesi değişmektedir.

Su kaynaklarının doğru ve verimli kullanılmasına ilişkin bugüne kadar yapılan çözüm önerileri genel olarak beton içeren, doğa ile karşı karşıya gelinen öneriler olmuştur. Ancak son yıllarda çevre bilimciler bu çözüm önerilerini doğa tabanlı bir konsept olarak sunmaya başlamışlardır. Sonuç olarak su kaynaklarının korunması ve iyileştirilmesi işinin, doğayı kirlenmeden, doğaya karşı gelmeden, doğa ile uyum içinde yapılabileceği fikri oluşmuş ve bu öneriler hayata geçirilmeye başlanmıştır.

Doğa tabanlı çözümler sunan bu öneri konseptiyle ilgili mevzuat, araştırma ve uygulamalar daha çok son 10 yılda hız kazanmıştır. Taşkınları önlemeyi değil, taşkından yararlanmayı hedefleyen bu yaklaşımda; taşan suyun toprağa yavaş yavaş sızdırılarak, yer altı suyunun hacmine karıştırılması amaçlanmaktadır.

Bu kapsamda, günümüzde öncelikle belediyeler “*sünger şehir*” konseptiyle uygulamalar yapmaya başlamışlardır. Bu uygulamalar, ani bastıran sağanak yağmurlar sonrasında, özellikle mazgalların tıkanması sebebiyle oluşan su baskınlarına karşı doğa tabanlı çözümler içeren Çevre Dostu Uygulamalar (ÇDU) olarak geliştirilmektedir. En yaygın kullanılan ÇDU’lar arasında Bekletme Havuzu, Yağmur Bahçesi, Yeşil Çatı, Geçirgen Döşeme bulunmaktadır.



## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Ruangpan ve diğerleri (2020), doğa tabanlı çözümler (NBS) üzerine yapılan 146 çalışmayı incelemiş ve bu çözümleri küçük ölçekli (şehirlerde) ve büyük ölçekli (kırsal ve akarsu bölgelerinde) olarak iki gruba ayırmışlardır. Çalışma, NBS'lerin özellikle şehirlerde yüzey akışını ve pik debiyi azaltmada etkili olduğunu göstermektedir. Bekletme havuzları, yağmur bahçeleri, yeşil çatılar ve geçirgen döşemeler gibi çözümler, yüzey akışını %30 ile %100 arasında azaltırken, pik debiyi %10 ile %80 arasında düşürebilmektedir.

Sonuç olarak, çoklu NBS kombinasyonları ve hibrit modellerin (gri altyapı ve yeşil altyapı birleşimi) yapısal ve finansal açıdan daha fazla araştırılması gerektiği vurgulanmaktadır. Ayrıca tüm sorunları çözebilecek tek bir ÇDU olmadığını, her sorunun kendi bölgesinde, doğru parametrelerle tasarlanması gerektiğini ifade etmişlerdir. Bu nedenle, ÇDU'ların projenin hedefine ulaşması için saha koşullarının anlaşılması gereklidir.

Liew, Selamat, Ghani ve Zakaria (2012) Malezya'da nehir yatağındaki kuru bekletme havuzu için bir simülasyon çalışması yapmıştır. Eğri Numarası (CN) yöntemiyle yüzey akışı hesaplanmış; model, farklı yağış senaryolarıyla kalibre ve doğrulama süreçlerinden geçirilmiştir. Sonuçlara göre, bekletme havuzu; 50 yıl tekerrürlü yağışta pik debiyi 40 m<sup>3</sup>/s azaltmış, pik zamanı 40 dk geciktirmiş ve 100 yıl tekerrürlü yağışta pik debiyi 42 m<sup>3</sup>/s azaltmış, pik zamanı 45 dk geciktirmiştir.

Bu çalışma bölgesel koşullara göre doğru dizayn edilen bir bekletme havuzunun taşkınları önlemede %50'den fazla bir katkısı olabileceğini göstermiştir.

Ishitmatsu ve diğerleri (2016), Japonya'da bir bekletme havuzu ile yağmur bahçesi içeren deneysel bir yağmur suyu yönetim sistemi kurmuştur. Bu çalışmada havuz geçirimsiz kaplıdır ve taşıdığı suyu yağmur bahçesine aktarmakta; yağmur bahçesi ise geçirgen yapısıyla suyu sızdırıp gerekirse fazla suyu kanalizasyona iletmektedir.

Yaptıkları çalışmadan elde ettikleri sonuçlara göre, yağmur bahçeleri, düşük debili taşkın sularını etkili biçimde sızdırmak için idealdir. Ancak yüksek debiler için drenaj hattına bağlanması gerekmektedir. Bölgesel standartlara göre tasarlanmış bir yağmur bahçesinin

yaklaşık %100 oranda sızma kapasitesine sahip olduğundan şehirlerde görülen yağmur taşkınlarına karşı çok önemli bir rol oynayabileceğini belirtmişlerdir.

Burszta-Adamiak ve Mrowiec (2013), Polonya'nın Wrocław şehrinde yeşil çatıların yağmur suyunu tutma performansını incelemiştir. Deneyde üç yeşil çatı ve bir geleneksel çatı, aynı boyut ve eğimle karşılaştırılmıştır. Yeşil çatılar 10 cm kalınlığında toprak katmanına sahiptir. Yapılan çalışmada bulunan sonuçlara göre yeşil çatılar, pik akışı azaltmış ve akışı geciktirmiştir. Ancak sonuçlar, çatıların ne kadar kuru kaldığı gibi faktörlerden etkilenmektedir. Bu nedenle, nem miktarı, buharlaşma ve bitki su tüketimi gibi parametreler simülasyona dahil edilmelidir. Simülasyonun modellenmesi EPA-SWMM yazılımında yapılmış, ancak bazı fiziksel faktörler ihmal edilmiştir. Nash katsayısındaki sapmalar, bu eksikliklerin model doğruluğunu etkilediğini göstermiştir.

Ercolani, Chiaradia, Gandolfi, Castelli ve Masseroni (2018) yaptıkları çalışmada Milano'nun Sedriano bölgesinde yeşil çatıların kanalizasyon sistemine olan etkilerini incelemiştir. Çalışma, QGIS'e entegre MOBIDIC-U adlı bir simülasyon aracıyla gerçekleştirilmiştir. Bölge, taşkın altyapısı yetersiz bir alandır; düşük eğimli ve karmaşık kanal yapıları taşkın riskini artırmaktadır. %25, %50, %75 ve %100 oranlarında yeşil çatı senaryoları modellenmiştir. Ayrıca %54 oranında yeşil çatı dönüşümüyle homojen ve bölgesel dağılım etkileri incelenmiştir. 2 ve 10 yıl tekerrürlü altı farklı yağış senaryosu kullanılmıştır. Yapılan çalışmada yeşil çatı yoğunluğu arttıkça pik debi, yüzey akışı ve taşkın hacminde %80'e varan azalmalar sağlandığı gözlemlenmiştir. Boruların aşırı doluluk oranlarında belirgin düşüş tespit edilmiştir. Yeşil çatıların homojen dağılımının bölgenin atık su ve yağmur suyu sistemine olan olumlu etkisini kanıtlamışlar ve yeşil çatı yoğunluğunun özellikle belirli bir orandan sonra işe yaradığını ortaya koymuşlardır.

Costa, Souza ve Koide (2019) Brasília'daki Paranoá Gölü havzasında, bekletme havuzlarının farklı konumlarının drenaj sistemine etkisini değerlendirmiştir. Çalışmada, SWMM yazılımı ile on üç farklı bekletme havuzu senaryosu, yedi farklı yağış olayı için simüle edilmiştir. Drenaj sistemi dört ana galeriden oluşmakta ve borular 600–1500 mm çapındadır. Modelleme için Eğri Numarası (CN) metodu kullanılmıştır. Kalibrasyon Nash katsayısı ve  $R^2$  değerleriyle yapılmış; verilerin çoğu kabul edilebilir düzeydedir. Çalışmada bekletme havuzlarının etkisinin, ana drenaj hatlarına yakın konumlandığında artmakta olduğu

gözlemlenmiştir. Bir diğer sonuç ise bekletme havuzlarının bir hattın membağına değil mansabına konumlandırılması gerektiğidir.

Bugüne kadarki literatür, ÇDU'lar aracılığıyla birçok soruna çözüm üretilebileceğini göstermektedir. “Bunlar arasında sel riskinin azaltılması (Song ve diğerleri 2018), yağış akışının depolanması ve süzülmesi, yüzey akışının geciktirilmesi ve azaltılması, erozyonun ve partikül taşınmasının azaltılması (Loperfido ve diğerleri 2014), yeraltı suyunun yeniden doldurulması, yüzey akışından kirliliğin azaltılması (Donnell ve diğerleri 2018), toprak nemini korumak ve bitki örtüsünün büyümesini arttırmak yer almaktadır” (Ruangpan ve diğerleri, 2020).

Kaya (2021) İstanbul ili Avcılar bölgesi içinde yer alan İstanbul Üniversitesi Avcılar-Cerrahpaşa Kampüsü için Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'nın (US Environmental Protection Agency-EPA) yayınladığı Yağmur Suyu Yönetim Modeli (Storm Water Management Model-EPA SWMM) kullanarak yağmur suyu toplama hatlarını modellemiş, kampüste kullanılabilecek çeşitli ÇDU'ların pik debilere olan etkisini incelemiştir. Yapmış olduğu çalışmada sızdırma hendeği ve geçirgen kaldırımların yağmur suyu yönetimi için olumlu sonuçları olduğunu tespit etmiştir. Yeşil çatıların taşkın önlemede etkili olacağı sonucunun yanısıra bina çatılarında yapılması gereken su izolasyonuna dikkat çekmiştir.

Altun (2024) lisansüstü tez çalışmasında, Zonguldak merkezdeki 1 km<sup>2</sup> büyüklüğünde, yoğun yapılaşmaya sahip bir alan seçmiş ve ÇDU metotları (yeşil çatı, yağmur bahçesi, yağmur varili) kullanarak yağmur suyu drenaj sistemi modellemiştir. Çalışma alanı sekiz tahliye hattı ve 191 alt havzaya ayrılmış, bu alt havzalara ÇDU uygulamaları entegre edilmiştir. Modellemelerde, 25, 50 ve 100 yıl tekerrür süreli yağışlar için ÇDU öncesi ve sonrası debi değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre ÇDU uygulamaları sayesinde tüm çıkış noktalarında maksimum debi %21 ile %46 arasında azalmıştır. Sonuç olarak, ÇDU uygulamaları, geçirimsiz yüzeylerin hâkim olduğu kentsel alanlarda yüzeysel akışı azaltmak, pik debiyi düşürmek ve drenaj sisteminin hizmet ömrünü uzatmak açısından oldukça etkilidir. Çalışma, ÇDU yöntemlerinin şehir planlamasında yaygınlaştırılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Aydın ve diğerleri (2024) yapmış oldukları çalışmada, kentleşmeyle birlikte artan geçirimsiz yüzeylerin taşkın, su baskını ve su kirliliği gibi sorunlara yol açtığını vurgulamakta ve bu sorunlara karşı ÇDU yöntemlerinin etkinliğini ortaya koymaktadır. Araştırmada, İstanbul

Üniversitesi-Cerrahpaşa Büyükçekmece Kampüsü için EPA-SWMM yazılımı ile bir hidrolik-hidrolojik ve su kalitesi modeli geliştirilmiş; modelde önce ÇDU uygulamaları tanımlanmamış, ardından yeşil çatı, sızma hendeği, yağmur bahçesi, biyotutma, geçirimli kaldırım ve yağmur suyu deposu gibi uygulamalar entegre edilmiştir. Model sonuçlarına göre, ÇDU uygulamaları yüzeysel akış hacmini %90,97, pik debiyi %77,62, kirletici yüklerini %84,55-%86, pik kirletici konsantrasyonlarını %7,01-%19,40 oranlarında azaltmıştır. Sonuç olarak, yeşil altyapı sistemlerinin hem su taşkınlarını önlemede hem de su kalitesini artırmada etkili olduğu gösterilmiş ve şehir planlamalarında yaygın olarak kullanılmaları önerilmiştir.

Yapılan literatür taramasında yukarıda ÇDU olarak ifade edilen yapıların İngilizce karşılığı “*Low Impact Development (LID)*” olarak geçmektedir. İngilizce kaynaklarda “*Doğa Tabanlı Çözümler*” olarak adlandırılan “*Nature Based Solutions (NBS)*” küçük ölçekli ve büyük ölçekli olarak ikiye ayrılmaktadır. Küçük ölçekli doğa tabanlı çözümler şehirlerde yaşanan sağanak sebepli su baskınlarına karşı geliştirilirken, büyük ölçekli doğa tabanlı çözümler kırsal bölgelerde yaşanan akarsu kaynaklı taşkınlarla karşı geliştirilmektedir. Bu tez kapsamında sağanak yağmurlar sebebiyle oluşan su baskınları incelenmiştir. Tez içinde geçen “*taşkın*” terimi su baskınlarını ifade etmektedir.

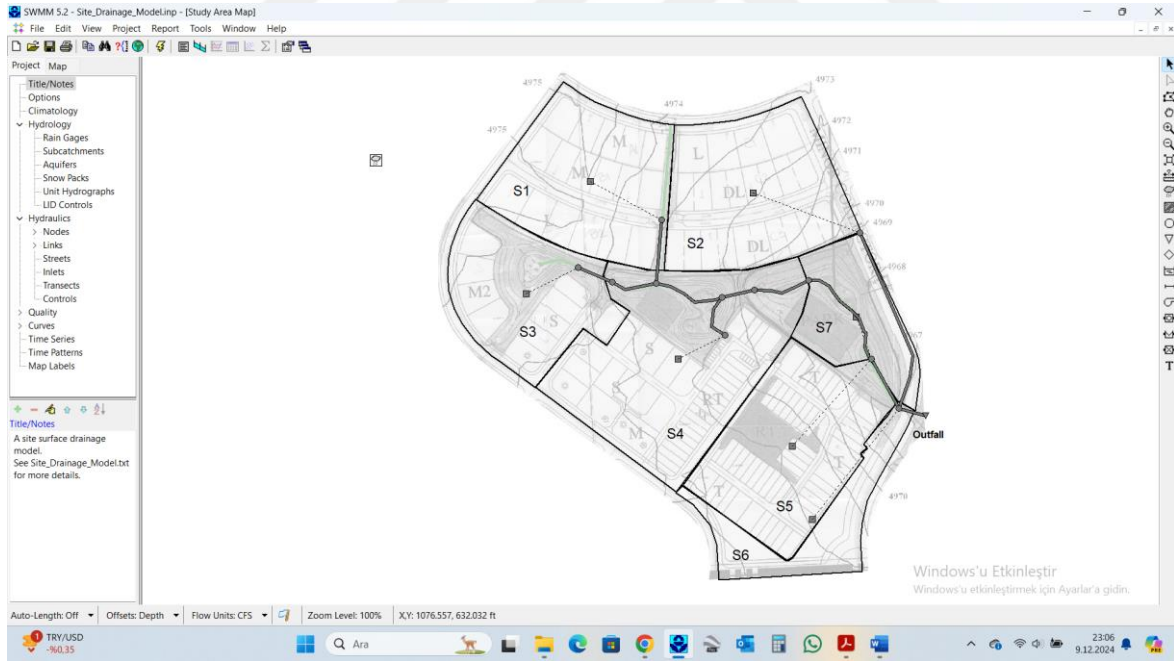
Türkçe kaynaklarda LID teriminin “*Düşük Etkili Kentleşme*” olarak çevrildiği tespit edilmiştir. Ancak yapılan bu çevirinin yanlış olduğu düşünülmektedir. İngilizce dilinde low “*düşük*”, impact “*etki*” anlamına gelse de, “*low impact*” bir terimdir ve “*zararı az*” anlamına gelmektedir. Türkçe karşılığı “*çevre dostu*” “*çevreye duyarlı*” olarak ifade edilmelidir. Bu sebepten LID kısaltması bu tez kapsamında ÇDU olarak ifade edilmiştir.

Bu tez kapsamında SWMM kullanılarak Ankara-Mamak-Türküzü mahallesinin bir bölümü için yağmur suyu hattı modellenerek, farklı ÇDU’ların performansı analiz edilmiştir.

### 3. EPA-SWMM

EPA Yağmur Suyu Yönetim Modeli (SWMM), öncelikli olarak kentsel alanlardan gelen akış miktarının ve kalitesinin tek bir olay veya uzun vadeli (sürekli) simülasyonu için kullanılan dinamik bir yağış-akış-dağıtım simülasyon modelidir. SWMM'nin akış bileşeni, yağış alan ve akış ve kirletici yükleri üreten bir alt havza alanları koleksiyonunda çalışır. SWMM'nin dağıtım kısmı, bu akışı boru, kanal, depolama/arıtma cihazları, pompalar ve düzenleyiciler sistemi aracılığıyla taşır. SWMM, her alt havzada üretilen akışın miktarını ve kalitesini ve birden fazla zaman adımından oluşan bir simülasyon süresi boyunca her boru ve kanaldaki suyun akış hızını, akış derinliğini ve kalitesini izler.

EPA SWMM, Amerikan Çevre Koruma Ajansı tarafından geliştirilmiş olup serbestçe kopyalanabilen ve dağıtılabilen kamuya açık bir yazılımdır. Resim 3.1'de EPA-SWMM yazılımının arayüzüne dair bir ekran görüntüsü verilmektedir.



Resim 3.1. EPA SWMM Arayüzü (EPA-SWMM)

SWMM kentsel alanlardaki yağmur suyu akışı, kombine kanalizasyonlar, sıhhi kanalizasyonlar ve diğer drenaj sistemleriyle ilgili planlama, analiz ve tasarım için dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır ve kırsal alanlarda kullanılmak üzere birçok aplikasyonu mevcuttur. Windows altında çalışan SWMM 5, çalışma alanı giriş verilerini

düzenlemek, hidrolojik, hidrolik ve su kalitesi simülasyonlarını çalıştırmak ve sonuçları çeşitli formatlarda görüntülemek için entegre bir ortam sağlar. Bunlara ek olarak renk kodlu drenaj alanı ve isale hatları haritaları, zaman serisi grafikleri ve tabloları, profil çizimleri ve istatistiksel frekans analizleri de mevcuttur.

SWMM, kuruluşundan bu yana dünya çapında binlerce kanalizasyon ve yağmur suyu çalışmasında kullanılmıştır. Genel uygulamalar şunlardır:

- Taşkın kontrolü için drenaj sistemi bileşenlerinin tasarımı ve boyutlandırılması,
- Taşkın kontrolü ve su kalitesi koruması için tutma tesislerinin ve bunların eklentilerinin boyutlandırılması,
- Doğal kanal sistemlerinin taşkın yatağı haritalanması,
- Kombine kanalizasyon taşmalarını en aza indirmek için kontrol stratejilerinin tasarlanması,
- Sıhhi kanalizasyon taşmalarına giriş ve sızmanın etkisinin değerlendirilmesi
- Atık yük tahsisi çalışmaları için yayılı kaynaklı kirletici yüklerinin oluşturulması,
- Islak hava kirletici yüklerinin azaltılması için En İyi Yönetim Uygulamalarının etkinliğinin değerlendirilmesi.

Bu tez kapsamında yazılımın “hidrolojik” ve “hidrolik” model özellikleri kullanılacaktır. SWMM’in çalışma prensibindeki hidrolojik süreçler şu şekildedir:

- Zamanla değişen yağış,
- Durgun yüzey suyunun buharlaşması,
- Kar birikmesi ve erimesi,
- Yağışın tutulan ve akışa geçmeden önce biriken kısmı,
- Yağışın doymamış toprak katmanlarına sızması,
- Sızan suyun yeraltı suyu katmanlarına sızması,
- Yeraltı suyu ile drenaj sistemi arasındaki akış,
- Yüzeysel akışın doğrusal olmayan rezervuar ötelemesi,
- Çeşitli ÇDU’larla yağış/akışın yakalanması ve tutulması.

Tüm bu süreçlerdeki mekansal değişkenlik, bir çalışma alanını her biri kendi geçirgen ve geçirimsiz alt alan kısmını içeren daha küçük, homojen alt havza alanlarına bölerek elde edilir. Yüzeysel akış, alt alanlar arasında, alt havzalar arasında veya bir drenaj sisteminin giriş noktaları arasında ötelendirilebilir.

SWMM ayrıca, boru, kanal, depolama üniteleri ve dağıtım yapıları aracılığıyla drenaj sistemi ağı üzerinden akış öteleme için kullanılan esnek bir hidrolik modelleme opsiyonları içermektedir. Bunlar şu şekildedir:

- Sınırsız büyüklükteki ağları yönetme,
- Çok çeşitli standart kapalı ve açık kanal şekillerinin yanı sıra doğal kanalları kullanma,
- Depolama üniteleri, bordür ve oluk girişleri, akış bölücüler, pompalar, barajlar ve açıklıklar gibi özel elemanları modelleme,
- Yüzeysel akış, yeraltı suyu akışı, yağışa bağlı sızma, serbest haldeki akış, kullanıcı tanımlı girişlerden gelen akışları ve su kalitesi girdilerini uygulama,
- Kinematik dalga veya tam dinamik dalga akış öteleme yöntemlerinden yararlanma,
- Kabarma, aşırı yükleme, ters akış ve yüzeysel göllenmesi gibi çeşitli akış rejimlerini modelleme,
- Pompaların, orifislerin ve baraj kret seviyelerinin çalışmasını simüle etmek için kullanıcı tanımlı dinamik kontrol kurallarını uygulama.

SWMM yazılımında simüle edilebilecek ÇDU'lar ise şu şekilde sıralanmaktadır:

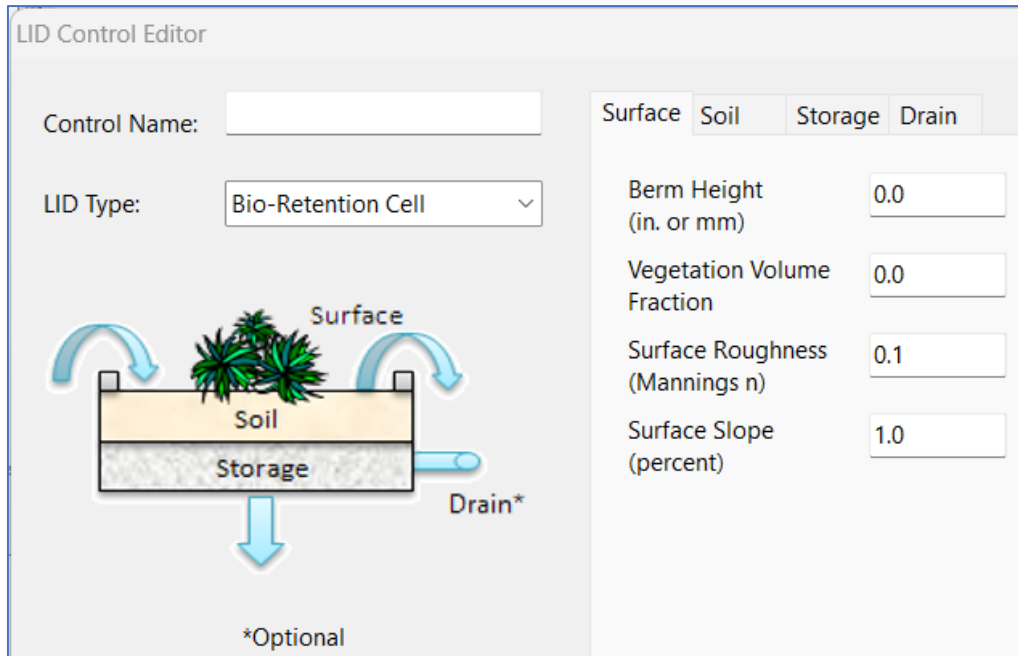
- Biyotutma Havuzu
- Yağmur Bahçesi
- Yeşil Çatı
- Sızdırma Hendeği
- Geçirgen Döşeme
- Yağmur Varili
- Çatı Oluğu
- Bitkili Yağmur Hendeği

### 3.1. Biyotutma Havuzu

Biyotutma havuzları taşkınları içinde tutmaya yarayan bitki örtüsü barındıran çöküntülerdir.

Bu tip havuzlarda amaç taşkını toplamak, depolamak, sızdırmak ve filtreleyip kullanmak olabilir.

SWMM programında Resim 3.2’de gösterildiği üzere biyotutma havuzları için yüzey, toprak, depolama ve isteğe göre drenaj özellikleri girilebilmektedir.



Resim 3.2. SWMM Biyotutma Havuzu (EPA-SWMM)

Yapısına göre farklı biyotutma havuzları olabilir. Bu tez kapsamında “bekletme havuzları”, “tutmaz havuzları” ve “sulak alanlar” incelenmiştir.

### 3.2. Bekletme Havuzu

Bekletme havuzları, taşkını içinde tutan doğal yapılardır. Bu yapıda amaç taşkın debisinden dolayı biriken suyu geçici olarak bünyesinde depolamaktır. İlgili alan, oluşan taşkını içinde tutacak eğimde tasarlanır ve taşkından sonra yavaş yavaş kurur. Taşkın oluşmadığı zaman ise kuru bir şekilde kalan geniş çukur alanlardır. Özetle bekletme havuzları taşkın kontrolü

sağlayan geniş kuru havuzlar olarak tanımlanabilir. Resim 3.3’de bir bekletme havuzu kuru halde gösterilmekte olup Resim 3.4’de dolu olarak gösterilmektedir.



Resim 3.3. Bekletme Havuzu (kuru) ([www.ecodesignsd.com](http://www.ecodesignsd.com))



Resim 3.4. Bekletme Havuzu (dolu) ([www.sudswales.com](http://www.sudswales.com))

### 3.3. Tutma Havuzları

Tutma havuzları yüzey akışlarını toplayıp çökeltmek, ayrıştırmak ve filtrelemek için kullanılarak su kalitesini iyileştirmeyi hedefler. Bekletme havuzlarından farkı suyun çıkışına izin vermemek, kalıcı olarak depolamaktır. Bunun için tasarımında yüzey akışı sonrasında ya başka bir kaynaktan giriş (inflow) sağlanmalı ya da tabanı yeraltı suyu seviyesi (YASS) üst kotuna kadar indirilmelidir. Resim 3.5’de örnek bir tutma havuzu gösterilmektedir.



Resim 3.5. Tutma Havuzu (www.ecodesignsd.com)

### 3.4. Sulak Alan

Sulak alanlar doğal olduğu gibi yapay (inşa edilmiş) da olabilir. Doğal sulak alanlara herhangi bir insan müdahalesi ya da su seviyesini artırmak maksatlı yaklaşımlarda bulunulmamalı, doğallığı bozulmamalıdır. Yapay sulak alanlar ise tasarım mantığı açısından tutma havzalarına benzemektedir. Yüzey sularının yönlendirilmesiyle beslenen yapay sulak alanlar öncelikle doğal yollarla atık su arıtımı için kullanılmaktadır. Buradaki arıtma işleminin geleneksel su arıtma tesislerinden farkı çok daha büyük alanlara ihtiyaç olmasıdır. Resim 3.6’da örnek bir sulak alan gösterilmektedir.



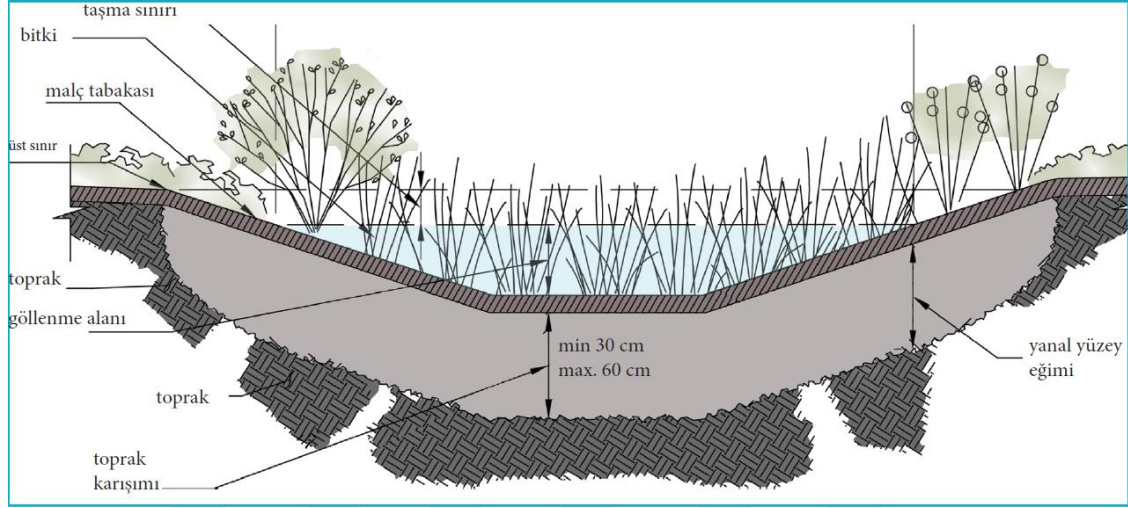
Resim 3.6. Sulak Alan ([www.gente-bien.mx](http://www.gente-bien.mx))

### 3.5. Yağmur Bahçesi

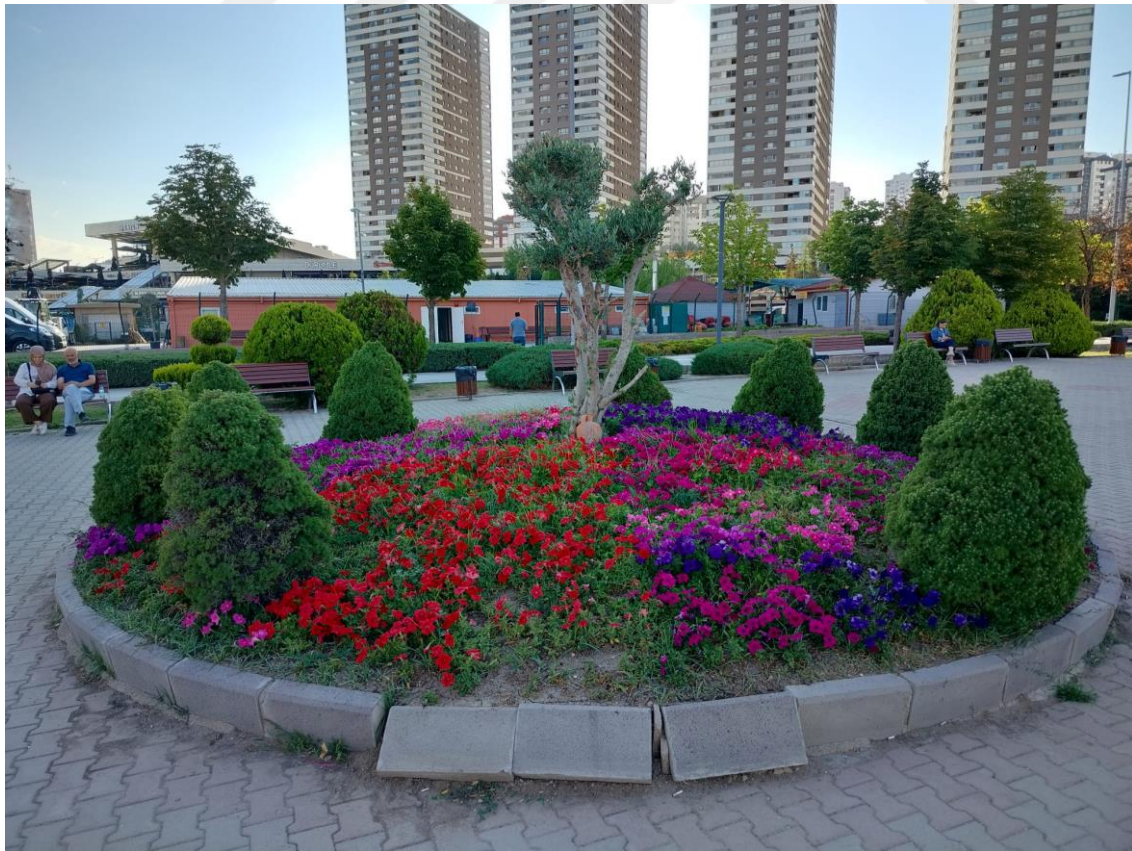
Yağmur bahçesi, yağmur suyunu tutarak toprağa yavaş yavaş bırakması için tasarlanmış bir havuzdur. Yapısal olarak bekletme ve tutma havuzlarına benzer. Bu havuzlardan farkı su tahliyesinin hem toprağa yavaş yavaş sızma hem de buharlaşma-terleme yoluyla yapılmasıdır. Bekletme ve tutma havuzları daha büyük ve daha az bitki örtüsüne sahiptir. Yağmur bahçeleri daha küçük ve estetik ön plandadır. Burada amaç taşkını önlemenin yanında su kalitesinin artırılması ve kent estetiğine uyum sağlanmasıdır.

Yağmur bahçeleri, yağmur hendeklerine yani sığ çöküntülere kurulur. Geçirimsiz tabakadan aktarılan yüzey akışı farklı katmanlardan oluşan yağmur bahçesine dolar ve bu alanda daha önceden dikilmiş olan dayanıklı, kökleri su tutan bitkiler aracılığıyla tutulmaya devam eder. Suyu içerde tutmak için etrafı setle çevrilir.

Şekil 3.1’de bir yağmur bahçesi en kesiti gösterilirken, Resim 3.7’de yağmur bahçesi uygulaması gösterilmektedir.

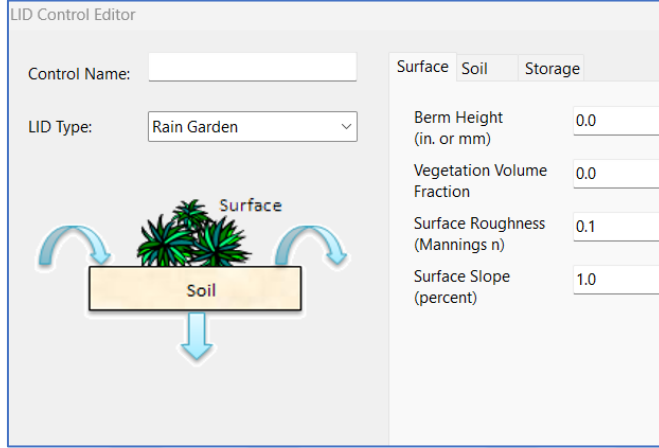


Şekil 3.1. Yağmur Bahçesi Kesiti (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mekânsal Planlama Genel Müdürlüğü Kentsel Tasarım Dairesi Başkanlığı, Yağmur Bahçesi Uygulama Kılavuzu)



Resim 3.7. Yağmur Bahçesi

SWMM programında yağmur bahçesi için yüzey ve toprak özellikleri girilebilmektedir. İlgili özellikler Resim 3.8’de gösterilmektedir.



Resim 3.8. SWMM Yağmur Bahçesi (EPA-SWMM)

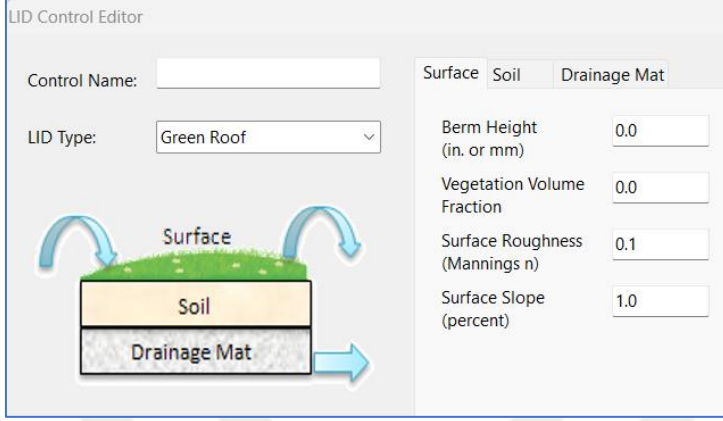
### 3.6. Yeşil Çatı

Yeşil çatı, geçirimsiz bir tabaka üstüne kısmen ya da tamamen bir bitki örtüsünün kaplanması ile oluşur. Ayrıca kökleri için, drenaj ve sulama maksatlı katmanlar da bulunabilir. Yeşil çatılar yağmur suyunu tutar fazlasını yavaş yavaş yer üstü suyuna bırakır. Ayrıca binaların ısı kapasitesini düşürerek şehirleşme sebepli ısınmanın da önüne geçer. Bulunduğu ortamda havayı temizleyerek karbon salınımının azaltılmasına da büyük katkıda bulunur. Resim 3.9’da örnek bir yeşil çatı gösterilmektedir.



Resim 3.9. Yeşil Çatı ([www.news.bbc.co.uk](http://www.news.bbc.co.uk))

SWMM programında yeşil çatılar için yüzey, toprak ve drenaj matı özellikleri girilebilmektedir. İlgili özelliklerin ekran görüntüsü Resim 3.10'da gösterilmektedir.



Resim 3.10. SWMM Yeşil Çatı (EPA-SWMM)

Yeşil çatılar geniş alanlı (extensive) ve yoğun (intensive) olarak ikiye ayrılır.

### 3.6.1. Geniş alanlı yeşil çatılar

Bu çatı türünde az bakım isteyen, düşük ağırlığa sahip ve kuraklığa karşı dirençli bitkiler tercih edilir. Mümkünse çatının tamamı kaplanır. Bu çatı türünde çok fazla sulama yapılmaz. Örnek geniş alanlı yeşil çatı Resim 3.11'de gösterilmektedir.



Resim 3.11. Ekstansif Yeşil Çatı ([www.epa.gov](http://www.epa.gov))

### 3.6.2. Yoğun yeşil çatılar

Bu çatı türünde yüksek bakım isteyen bitki türleri, çimler, çalılar ve ağaçlar kullanılır. Yüksek derecede bakım ve sulama gerektirir. Ayrıca kök salan bitkiler olduğundan toprak seviyesinin de yüksek olması gerekir. Yapılar üstünde ekstra yük oluşturacağından inşaatın önce tasarlanmalıdır. Ek olarak yürüyüş yolları, oyun alanları gibi sosyal detaylar da tasarıma eklenebilir. Resim 3.12’de yoğun yeşil çatı örneği gösterilmektedir.



Resim 3.12. Yoğun Yeşil Çatı ([www.tintmimarlik.com](http://www.tintmimarlik.com))

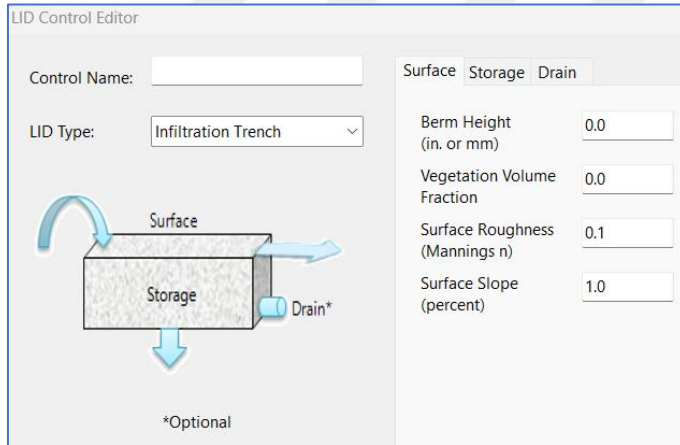
### 3.7. Sızdırma Hendeği

Sızdırma hendeği, gelen yüzey akışını tutup yavaş yavaş toprağa sızmasını sağlayan kenarları çakıl gibi geçirimsiz malzeme dolgulı doğal kanallardır. Genellikle yamaç diplerinde, yollara paralel olarak tercih edilmektedir. Resim 3.13’de sızdırma hendeği örneği gösterilmektedir.



Resim 3.13. Sızdırma Hendeği ([www.es2mdesignguide.deldot.gov](http://www.es2mdesignguide.deldot.gov))

SWMM programında sızdırma hendeği için yüzey, depolama ve isteğe göre drenaj özellikleri girilebilmektedir. İlgili özelliklerin ekran görüntüsü Resim 3.14’de gösterilmektedir.



Resim 3.14. SWMM Sızdırma Hendeği (EPA-SWMM)

### 3.8. Geçirgen Döşeme

Geçirgen kaldırım ya da gözenekli asfaltlar bir kentin yüzey geçirgenliğini artırmanın basit bir yoludur. Kentlerde genelde eski nesil asfaltlar ve kaldırımlar kullanıldığında yağmur suyu alt tabakaya ulaşamamaktadır. Drenaj sistemleri aracılığıyla toplanan yağmur suları bazen pik debiye ulaşıp kanallardan taşmakta ve yollarda, kaldırımlarda, otoparklarda taşkınlara sebep olmaktadır. Ayrıca toprak da alması gereken suyu yeterince alamamakta,

yer altı suları beslenememektedir. Gözenekli kaplamalar suyun aşağıdaki toprağa sızmasına izin vererek yeraltı sularını besler. Bu hareketle, daha çok suların yüzeyde toplandığı ve drenajın ön planda olmadığı otopark, yürüyüş yolları, sosyal alanlarda kullanılır. Ancak otoyollarda da kullanıldığı örnekler mevcuttur özellikle havaalanı pistlerinde bu kaplamalar tercih edilmektedir. Resim 3.15’de geçirgen asfalt uygulaması gösterilmektedir.



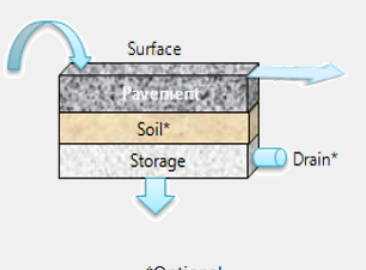
Resim 3.15. Geçirgen Asfalt ([www.sogukasfalt.com](http://www.sogukasfalt.com))

SWMM programında geçirgen döşeme için yüzey, döşeme, depolama, isteğe göre toprak ve drenaj özellikleri girilebilmektedir. İlgili özelliklerin ekran görüntüsü Resim 3.16’da gösterilmektedir.

LID Control Editor

Control Name:

LID Type:



Soil	Storage	Drain
Surface	Pavement	
Berm Height (in. or mm)	<input type="text" value="0.0"/>	
Vegetation Volume Fraction	<input type="text" value="0.0"/>	
Surface Roughness (Mannings n)	<input type="text" value="0.1"/>	
Surface Slope (percent)	<input type="text" value="1.0"/>	

\*Optional

Resim 3.16. SWMM Geçirgen Döşeme (EPA-SWMM)

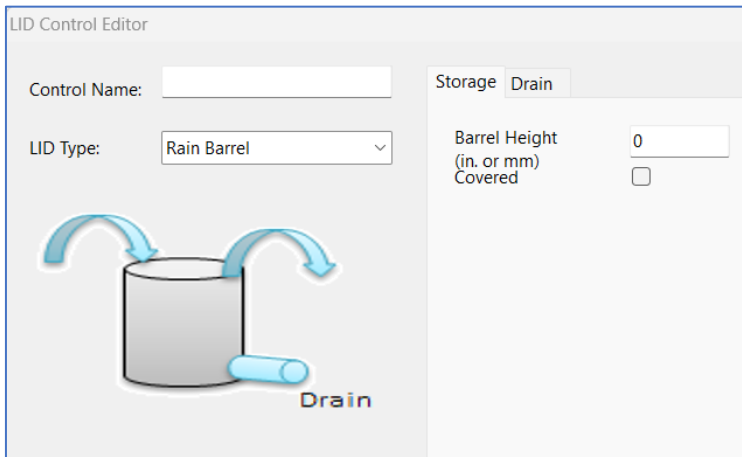
### 3.9. Yağmur Suyu Deposu

Yağmur suyu deposu, genellikle variller veya daha büyük ölçekli tanklar aracılığıyla, binaların çatılarından, yağmur sularını depolamaya yarayan depolardır. Bu yöntem sayesinde, çatılara gelen yağmur yükü yüzey akışına karışmaz ve pik debi hem azaltılır hem de ötelenmiş olur. Resim 3.17’de tipik bir yağmur varili gösterilmektedir.



Resim 3.17. Yağmur Varili ([www.hendrickscountyparks.org](http://www.hendrickscountyparks.org))

SWMM programında yağmur suyu deposu için depolama ve drenaj özellikleri girilebilmektedir. İlgili özelliklerin ekran görüntüsü Resim 3.18’de gösterilmektedir.



Resim 3.18. SWMM Yağmur Suyu Deposu (EPA-SWMM)

### 3.10. Çatı Oluğu

Çatı olukları, çatıya gelen yağmur yükünü bir noktada toplayarak yağmur depolarına ya da bitkilendirilmiş bir alana transfer edilmesine yarayan sistemlerdir. Tipik bir çatı oluğu Resim 3.19'da gösterilmektedir.



Resim 3.19. Çatı oluğu ([www.tbn2net.com](http://www.tbn2net.com))

SWMM programında çatı oluğu için yüzey ve drenaj özellikleri girilebilmektedir. İlgili özelliklerin ekran görüntüsü Resim 3.20'de gösterilmektedir.

LID Control Editor

Control Name:

LID Type:

Surface  Roof Drain

Storage Depth (in. or mm)

Surface Roughness (Mannings n)

Surface Slope (percent)

Resim 3.20. SWMM Çatı Oluğu (EPA-SWMM)

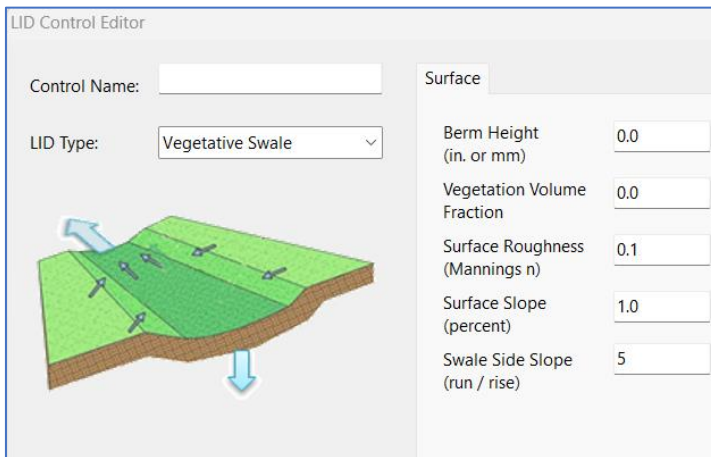
### 3.11. Bitkili Yağmur Hendeği

Bitkili yağmur hendeği, içi ağaç, çalı, çırpı, ot gibi bitkilerle donatılmış trapez, üçgen ya da parabolik kesitli kanallardır. Bu sistemlerde amaç geçirimsiz komşu tabakalardan gelen yüzey akışını içinde tutarak yavaş yavaş toprağa sızdırmaktır. Örnek bir bitkili yağmur hendeği Resim 3.21’de gösterilmektedir.



Resim 3.21. Bitkili Yağmur Hendeği ([www.wiki.sustainabletechnologies.ca](http://www.wiki.sustainabletechnologies.ca))

SWMM programında bitkili yağmur hendeği için sadece yüzey özellikleri girilebilmektedir. İlgili özelliklerin ekran görüntüsü Resim 3.22’de gösterilmektedir.



Resim 3.22. SWMM Bitkili Yağmur Hendeği (EPA-SWMM)

### 3.12. SWMM ÇDU Terimleri

SWMM yazılımı ile modellenmesi yapılabilen ÇDU'lar için izin verilen parametreler anlatılmaktadır. Bu parametreler “*yüzey terimleri*”, “*zemin terimleri*”, “*depolama terimleri*”, “*drenaj terimleri*” ve “*döşeme terimleri*” ana başlıkları ile 5 sınıfta anlatılmaktadır.

Bu bölümde detayları verilen parametreler EPA-SWMM kullanıcı rehberinden alıntı yapılmıştır.

#### 3.12.1. Yüzey terimleri

Depolama derinliği: Taşkından önce yüzeyin üzerinde biriken maksimum derinlik olarak tanımlanmaktadır.

Bitki örtüsü hacim oranı: Yüzey depolama derinliğindeki hacmin bitki örtüsüyle dolu olan kısmı olarak tanımlanmaktadır. Normalde bu hacim göz ardı edilebilir, ancak çok yoğun bitki örtüsü için 0,1 ila 0,2 kadar olabilir.

Yüzey pürüzlülüğü: Manning pürüzlülük katsayısı olarak tanımlanmaktadır. Çeşitli yüzeyler için Manning katsayıları Çizelge 3.1.'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Yüzey Akışı için Manning Katsayısı (Mc Cuen ve diğerleri, 1996)

Yüzey	Manning n
Pürüzsüz Asfalt	0,011
Pürüzsüz Beton	0,012
Düz Beton Kaplama	0,013
Taze Odun	0,014
Çimento Harçlı Tuğla	0,014
Sırlı Kil	0,015
Dökme Demir	0,015
Koruge Metal Boru	0,024
Çimento Döküntülü Yüzey	0,024
Kalıntısız Nadas Toprak	0,050
Ekili Topraklar	
Kalıntı Oranı <20%	0,06
Kalıntı Oranı >20%	0,17
Doğal Arazi	0,13
Otlak	
Çayır (küçük)	0,15
Çayır (yoğun)	0,24
Bermuda Çimi	0,41
Orman	
Hafif Çalılık	0,40
Yoğun Çalılık	0,80

Yüzey eğimi: Bir çatı yüzeyinin, kaldırım yüzeyinin ya da su yolunun akış yönündeki eğimi olarak tanımlanmaktadır.

Hendek yanal eğimi: Bitkili bir hendeğin enkesitindeki yan duvarların eğimi olarak tanımlanmaktadır.

### 3.12.2. Zemin terimleri

Kalınlık: Toprak tabakasının kalınlığını ifade etmektedir (inç veya mm). Yağmur bahçeleri, sokak saksıları ve diğer biyo-tutma üniteleri için tipik değerler 18 ila 36 inç (450 ila 900 mm) arasında değişmektedir, ancak yeşil çatılar için yalnızca 3 ila 6 inç (75 ila 150 mm) arasındadır.

Porozite: Gözenek hacminin, toprağın toplam hacmine oranı olarak tanımlanmaktadır.

Tarla kapasitesi: Toprağın tutabileceği azami su miktarı olarak tanımlanmaktadır.

Solma noktası: Bitkinin solmaması için toprakta bulunması gereken asgari su miktarı olarak ifade edilmektedir.

İletkenlik: Tamamen doymuş toprak için hidrolik iletkenlik olarak tanımlanmaktadır.

İletkenlik Eğrisi: Logaritmik iletkenlik eğrisinin toprak nem açıklığına (poroziteden nem içeriği çıkarılarak bulunur) göre ortalama eğimi olarak tanımlanmaktadır. Tipik değerleri 30-60 arasında değişmektedir.

Emme yüksekliği: Islak yüzey boyunca toprağın kılcal emme ortalama değeri olarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 3.2.'de zemin karakteristikleri verilmektedir.

Çizelge 3.2. Zemin Karakteristikleri (Rawls ve diğerleri, 1983)

Zemin Sınıfları	K	$\psi$	$\phi$	FC	WP
Kum	120,39	49,36	0,437	0,062	0,024
Balçıklı Kum	30,00	77,85	0,437	0,105	0,047
Kumlu Balçık	10,90	108,50	0,453	0,190	0,085
Balçık	3,29	160,73	0,463	0,232	0,116
Siltli Balçık	6,58	128,05	0,501	0,284	0,135
Kumlu Killi Balçık	1,55	205,82	0,398	0,244	0,136
Killi Balçık	1,03	235,09	0,464	0,310	0,187
Siltli Killi Balçık	1,03	235,09	0,471	0,342	0,210
Kumlu Kil	0,52	295,11	0,430	0,321	0,221
Siltli Kil	0,52	295,11	0,479	0,371	0,251
Kil	0,26	370,44	0,475	0,378	0,265

Bu çizelgede;

**K** = hidrolik iletkenlik, mm/sa

**$\psi$**  = emme yüksekliği, mm.

**$\phi$**  = porozite,

**FC** = tarla kapasitesi,

**WP** = solma noktasıdır.

### 3.12.3. Depolama terimleri

**Kalınlık (varil yüksekliği):** Bu, bir çakıl dolgusunun kalınlığı veya bir yağmur fiçisinin yüksekliği olarak tanımlanmaktadır (inç veya mm). Kırılmış taş ve çakıl tabakaları genellikle 6 ila 18 inç (150 ila 450 mm) kalınlığındayken, ev tipi yağmur varillerinin yüksekliği 24 ila 36 inç (600 ila 900 mm) arasındadır.

**Boşluk oranı:** Tabakadaki katı maddelerin içindeki toplam boşluk oranı olarak tanımlanmaktadır. Çakıl dolgular için tipik değerler 0,5 ila 0,75 arasındadır. Porozite ise boşluk oranı / (1 + boşluk oranı) olarak formüle edilmektedir.

Sızma hızı: Suyun tabakanın altındaki doğal toprağa sızma hızı (inç/saat veya mm/saat) olarak ifade edilmektedir. Tabakanın altında geçirimsiz bir taban veya astar varsa sıfır değeri kullanılmaktadır.

Tıkanma oranı: Dolgunun tabanını tamamen tıkmak için gereken toplam akış hacminin, dolgunun boşluk hacmine bölünmesi ile bulunmaktadır. Tıkanıklık, sızma oranını, akışın hacmiyle doğru orantılı olarak kademeli olarak azaltmakta ve yalnızca geçirgen tabanlara sahip ve alt drenajı olmayan sızma hendekleri için belirleyici olabilmektedir.

### 3.12.4. Drenaj terimleri

Drenaj katsayısı ve drenaj üssü: Drenaj katsayısı  $c$  ve üssü  $n$ , bir drenaj kanalından geçen akış hızını, kanalın ofseti üzerinde depolanan suyun yüksekliğine bağlı olarak belirlemektedir. Bu akış hızının (ÇDU ünitesinin birim alanı başına) hesaplanmasında eşitlik 3.1 kullanılmaktadır.

$$q = c h^n \quad (3.1)$$

Burada  $q$  çıkış hızı olup (in/saat veya mm/saat) ve  $h$  drenajın üzerindeki doymuş ortamın yüksekliği olarak tanımlanmaktadır (inç veya mm). Eğer tabakanın drenajı yoksa  $C$  sıfır olarak düşünülebilir.  $n$  için tipik değer 0,5 olursa drenajın bir orifis gibi davranmasını sağlamaktadır. Bir diğer deyişle çıkış hızı, doymuş ortam yüksekliği arttıkça doğrusal olmadan, yüksekliğin kareköküyle orantılı olarak şekilde artar. İlgili formülle drenaj sistemi kullanılması gereken yapılarda akışın serbest bir rejimle oluşması sağlanmaktadır.

Drenaj ofset yüksekliği: Depolama tabakasının veya yağmur varilinin altından itibaren kanalın yüksekliği olarak tanımlanmaktadır (inç veya mm).

Drenaj gecikmesi: Bir yağmur varilindeki drenaj hattı açılmadan önce geçmesi gereken yağışsız süre olarak tanımlanmaktadır (yağmur başladığında hattın kapalı olduğu varsayılır). Sıfır değeri, varilin drenaj hattının her zaman açık olduğunu ve sürekli olarak boşaldığını göstermektedir. Bu parametre diğer ÇDU uygulamaları için göz ardı edilmektedir.

Akış kapasitesi: Çatı oluklarının ve iniş borularının taşmadan önce kaldırabileceği maksimum akış hızı olarak tanımlanmaktadır (inç/saat veya mm/saat).

Açık seviye: Drenajın depolama tabakasındaki su seviyesi yükseldiğinde drenajın otomatik olarak açılması için gerekli olan yükseklik olarak tanımlanmaktadır (inç veya mm). Varsayılan değer sıfırdır. Bu değer, özelliğin devre dışı olduğu anlamına gelmektedir.

Kapalı seviye: Drenajın depolama tabakasındaki su seviyesi belirli bir değerin altına düştüğünde drenajın otomatik olarak kapanması için gerekli olan yükseklik olarak tanımlanmaktadır (inç veya mm). Varsayılan değer sıfırdır.

Kontrol eğrisi: Hesaplanan drenaj akışını drenaj üzerindeki su yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak ayarlayan isteğe bağlı bir Kontrol Eğrisi olarak tanımlanmaktadır.

Drenaj matı: Yeşil Çatılar genellikle toprak katmanının altında ve çatı yapısının üstünde bulunan bir drenaj matı veya plakası içermektedir. Amacı toprak katmanından akan suyu çatıdan uzaklaştırmaktır.

Drenaj matı kalınlığı: Matın kalınlığını tanımlamaktadır. Genellikle 2-5 cm arasında değişmektedir.

Drenaj matı boşluk oranı: Matın içindeki boşluk hacminin toplam hacme oranını ifade etmektedir. Genellikle 0,5-0,6 aralığı kullanılmaktadır.

Drenaj matı pürüzlülüğü: Bu, mattan drene edilen suyun yatay akış hızını hesaplamak için kullanılan Manning pürüzlülük katsayısı (n) olarak tanımlanmaktadır. Üreticiler tarafından sağlanan standart bir ürün spesifikasyonu değildir ve bu nedenle tahmin edilmelidir. Önceki modelleme çalışmaları, 0,1 ila 0,4 gibi nispeten yüksek bir değer kullanılmasını önermektedir.

### **3.12.5. Döşeme terimleri**

Kalınlık: Döşeme tabakasının kalınlığı olarak tanımlanmaktadır. Genellikle 100-150mm arasında değişmektedir.

Boşluk oranı: Kullanılan dolgu malzemesi için döşeme katmanındaki katı hacmin boşluk hacmi olarak tanımlanmaktadır. Genel değerler 0,12 ila 0,21'dir.

Geçirimsiz yüzey oranı: Geçirimsiz döşeme malzemesinin toplam alana oranına verilen addır. Gözenekliliğin sürekli olduğu döşemelerde sıfır kullanılmaktadır.

Geçirgenlik: Döşeme olarak kullanılan beton veya asfaltın geçirgenliği veya kullanılan dolgu malzemesinin (çakıl veya kum) hidrolik iletkenliği (in/saat veya mm/saat) olarak tanımlanmaktadır.





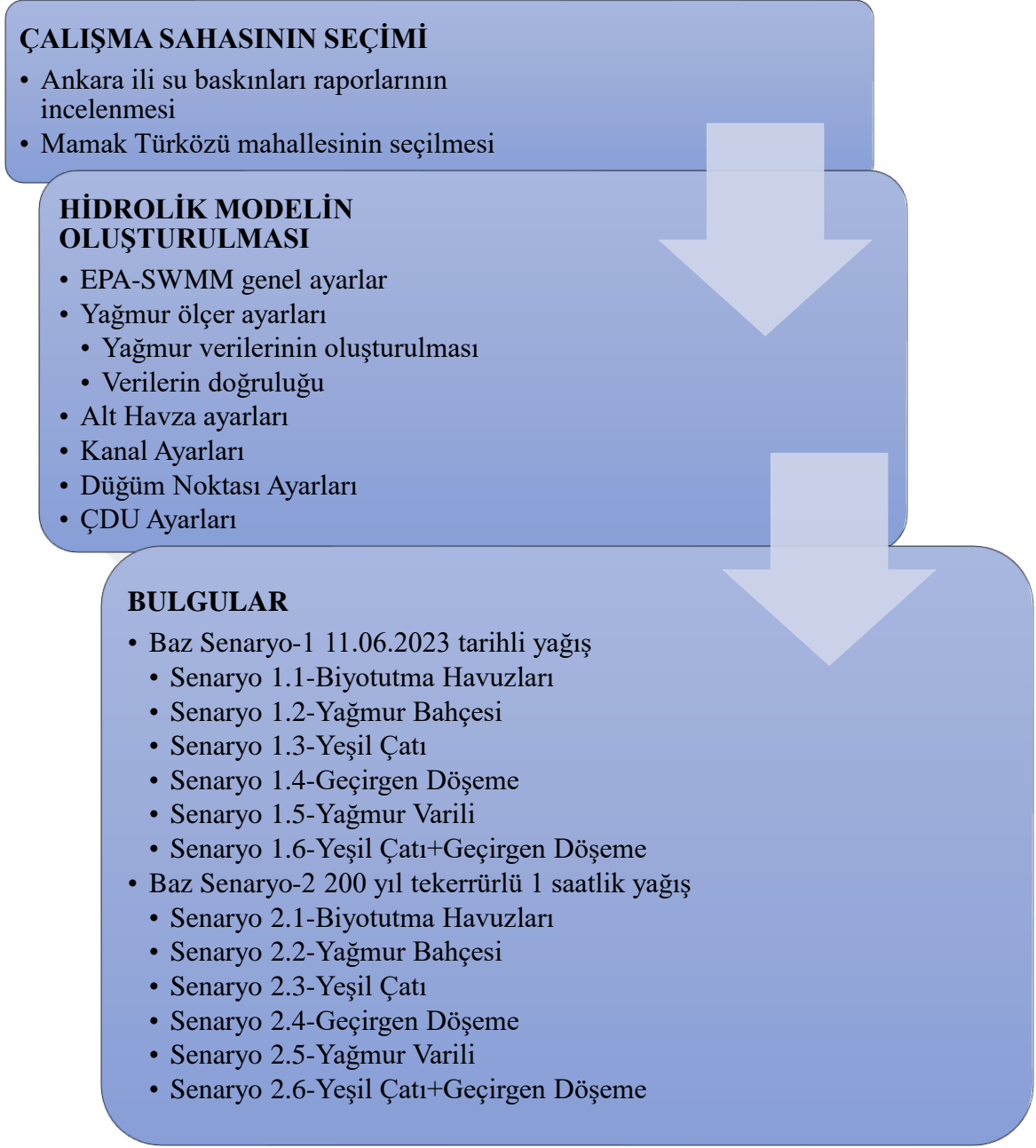
## 4. YÖNTEM

Bu tez kapsamında öncelikle çalışma sahası belirli kriterlere göre belirlenmiştir. Bu kriterlerde öncelikle çarpık bir kentleşme ve sağanak yağmurlar sonrasında su baskınları yaşanması göz önünde bulundurulmuştur.

Çalışma sahası seçildikten sonra SWMM programında modelleme yapılmıştır. Öncelikle genel ayarlar tanımlanmış ardından çalışma sahasının, yağmur verilerinin ve kanalların parametreleri belirlenmiştir. Son olarak ÇDU'ların parametreleri tanımlanmış ve bulgular elde edilmiştir.

En kötü şartlardaki sonuçlara ulaşabilmek için 400 mm çapında kanallar tasarlanmış olup birinci baz senaryo olarak ABB'nin yayınladığı rapordan alınan bilgilere dayanarak 11.06.2023 tarihli yağışın verileri tahmin edilerek oluşturulmuştur. Bu kapsamda çalışma sahasında uygun olan yerlere sırasıyla “biyotutma havuzu”, “yağmur bahçesi”, “yeşil çatı”, “geçirgen döşeme” ve “yağmur varili” yerleştirilmiş ve bu ÇDU'ların 11.06.2023 tarihli yağışın oluşturduğu taşkınları önlemedeki performansları beş alt senaryoda incelenmiştir. Altıncı senaryo olarak ise “yeşil çatı+geçirgen döşeme” kombinasyonu incelenmiştir. Daha sonra ideal sonuçlara ulaşmak için çalışma sahasında uygun alan olmamasına karşın ÇDU'ların daha geniş alanlara entegrasyonu sonucundaki durum incelenmiş ve her bir alt senaryonun içinde değinilmiştir.

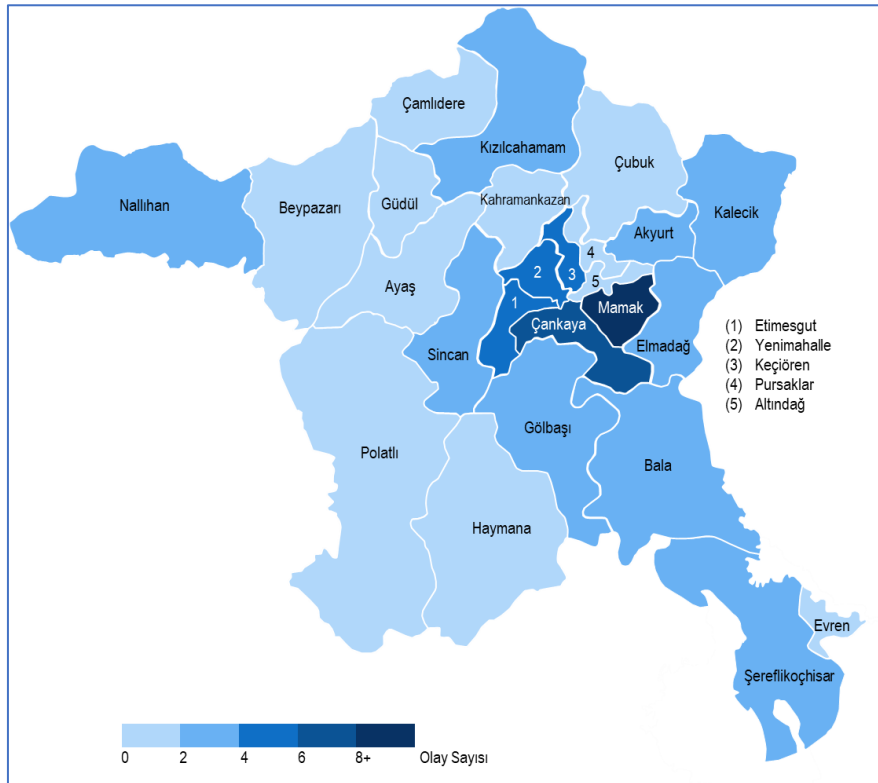
Verilerin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla, 11.06.2023 tarihindeki yağışla benzer karaktere sahip, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan verilere göre 5 dakikalık yağış şiddet değerleri tahmin edilen 200 yıl tekerrürlü 1 saatlik bir yağış ikinci baz senaryo olarak modellenmiştir. Yine aynı şekilde ÇDU'lar öncelikle uygun yerlere sonrasında da optimum alanlarda entegre edilerek gerekli senaryolar oluşturulmuştur.



Şekil 4.1. Çalışma yönteminin akış diyagramı

## 5. ÇALIŞMA SAHASI ve MODELLEME

Çalışma sahası olarak belirlenen Ankara-Mamak-Türküzü mahallesinin 435. ve 438. sokaklarının ana arter olduğu havza Ankara Büyükşehir Belediyesi'nin (ABB) yayınladığı raporlara göre sıklıkla su baskınlarının yaşandığı bir bölgedir. ABB'nin yayınladığı "Ankara İli Yerel İklim Değişikliği Eylem Planı"na göre Harita 5.1'de verildiği üzere 2018-2020 yılları arasında Ankara ilinde en fazla Mamak Belediyesi sınırlarında su baskınları görülmüştür.



Harita 5.1. 2018-2020 yılları arasında Ankara ilçelerinde yaşanan sel ve su baskını olayları (Ankara İli Yerel İklim Değişikliği Eylem Planı)

Daha sonra Ulusal Akıllı Şehir Açık Veri Platformu (ULASAV) ve ABB-AKOM'un her yağış sonrası resmi internet sitelerinde yayınlanan sel ve su baskınları incelenmiştir. 19.10.2020, 30.10.2020, 9.06.2021, 12.06.2021, 3.06.2023, 4.06.2023 ve 11.06.2023 tarihindeki sağanak yağışlar Mamak bölgesinde sel ve su baskınına sebep olmuştur. Bu yağışlar arasında Mamak sınırlarından bildirilen sel ve su baskını ihbarları derlenmiştir. İlgili yağışların altısında Türküzü mahallesinden, dördünde ise Çağlayan mahallesinden

bildirimler yapılmıştır. ULASAV’da yayınlanan bilgilere göre Mamak Türközü mahallesi 435. ve 438. sokakları için hatların kapasitesinin yetmediğinden taşkınlar oluşması sebebiyle ana kollektör hatlarının büyütülmesi çalışması planlanmaktadır. Bu plana göre boru hatları  $\Phi 1600$  çapına büyütülerek yenilenecektir. Bu sebeplerden çalışma sahası olarak Resim 5.1’de de gösterildiği üzere Ankara-Mamak-Türközü mahallesi 435.ve 438. sokak seçilmiştir.



Resim 5.1. Çalışma Sahası Türközü mah. (Google Earth Pro)

Resim 5.2’de verilen çalışma sahasının üç boyutlu görseline göre ilgili saha bir tepe eteğine düz bir şekilde konumlanmıştır. Bu sebepten sıklıkla su baskınları yaşanması olağandır. Ayrıca ilgili saha Resim 5.3’de de görüldüğü üzere tez çalışması için gerekli kriter olan çarpık kentleşme için birebir örnek teşkil etmektedir.



Resim 5.2. Türközü mah. Akış Yönü (Google Earth Pro)



Resim 5.3. Çalışma sahası-çarpık kentleşme

## 5.1. Çalışma Sahasının Hidrolik Modellemesi

Çalışma sahasının hidrolik modellemesi için öncelikle modelin genel ayarları girilmeli daha sonrasında sırasıyla yağmur ölçer, alt havza, boru ve ÇDU tanımlamaları yapılmalıdır.

### 5.1.1. Genel ayarlar

Bu ayarlarda seçilmesi gereken en önemli iki özellik akış öteleme modeli ve sızma modelidir.

İlk olarak akış öteleme modeli olarak seçilebilecek üç farklı seçenek bulunmaktadır:

- Kararlı Akış
- Kinematik Dalga
- Dinamik Dalga

Kararlı akış, sistemi en basit parametrelerle simüle etmektedir. Kinematik dalga modeli, kararlı akış modeline göre daha karmaşık bir metot içermekle birlikte, boru içi akıştaki bazı parametreleri hesaba katmamaktadır. Dinamik dalga modeli teorik olarak en doğru sonuçları üretmektedir. Dinamik dalga modelinde akıştaki geri beslemeler, basınçlı akışlar, düğüm noktalarındaki taşmalar da sisteme dahil edilebilmektedir. Bu yüzden simülasyonun öteleme modeli olarak “Dinamik Dalga” seçilmiştir.

Sızma modeli için ise SWMM içinde beş farklı seçenek mevcuttur:

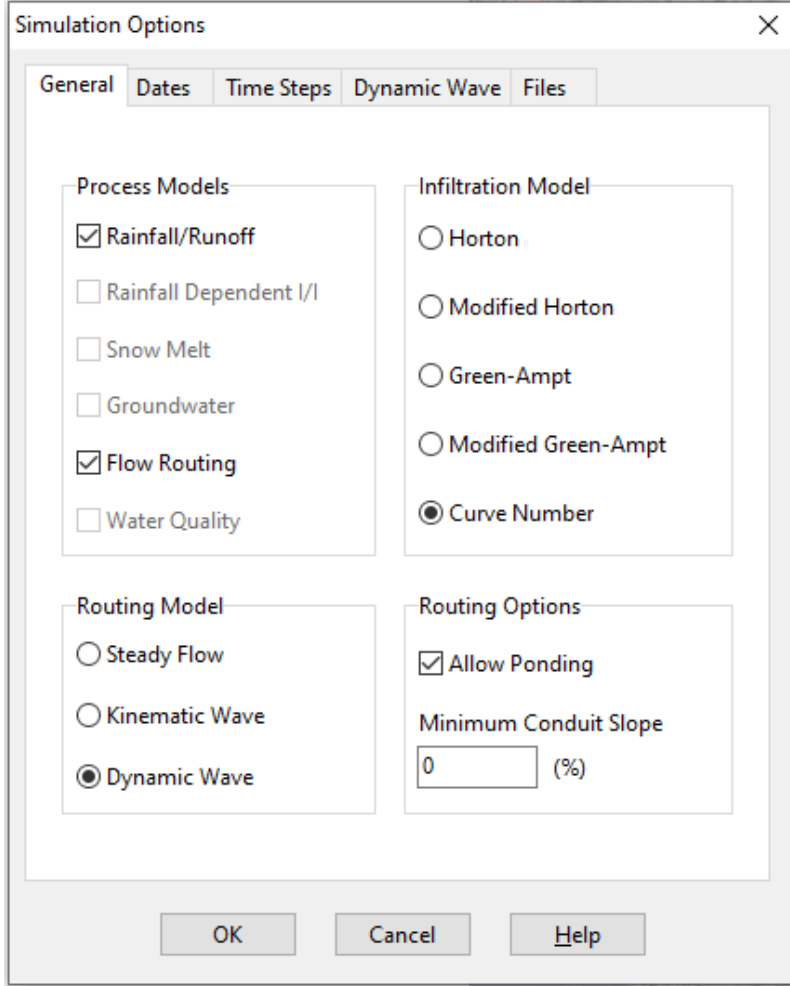
- Horton
- Modifiye Horton
- Green-Ampt
- Modifiye Green-Ampt
- Eğri Numarası

Horton yöntemi, uzun bir yağış olayı boyunca sızmanın başlangıçtaki maksimum orandan minimum orana doğru üssel olarak azaldığını gösteren deneysel gözlemlere dayanmaktadır. Modifiye Horton yöntemi, düşük yağış şiddetleri meydana geldiğinde daha doğru bir sızma tahmini sağlayan klasik Horton yönteminin değiştirilmiş bir versiyonudur. Green-Ampt yöntemi, zeminde suyun sızabileceği net bir tabaka bulunduğunu ve altta başlangıçta bir miktar nem içeriği olan toprağı üstte doymuş topraktan ayırdığını varsaymaktadır. Modifiye Green-Ampt yönteminde yağış yoğunluğunun toprağın doymuş hidrolik iletkenliğinin altında olduğu uzun başlangıç dönemlerine sahip yağışlar için daha gerçekçi sızma davranışı üretebilir. Eğri Numarası yaklaşımı bir toprağın toplam sızma kapasitesinin, toprağın tablo halindeki Eğri Numarasından bulunabileceğini varsayar. Bu yöntem için giriş parametreleri, eğri numarası ve tamamen doymuş bir toprağın tamamen kuruması için geçen zamandır.

Çalışma sahasının geçirimsizlik oranı çok yüksek olduğundan, sızma modeli olarak Eğri Numarası seçilmiştir.

Resim 5.4’de gösterilen ayarlarda, taşan suyun düğümlerin üzerinde toplanmasına ve koşullar izin verdiğinde sisteme yeniden sokulmasına izin veren “göllenme” seçeneğine izin

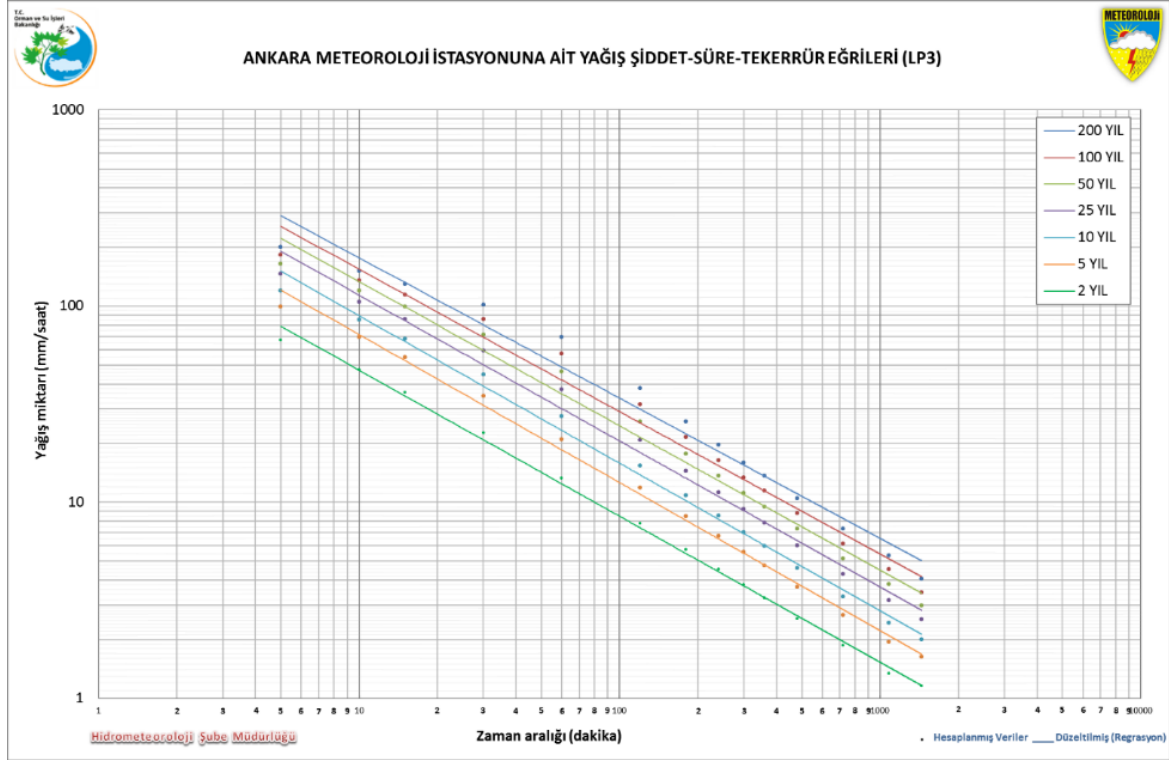
verilmiştir. Son olarak modelde kot yükseklikleri girilmesi suretiyle bir eğime sahip olacağından, minimum boru eğimi “sıfır” olarak bırakılmıştır.



Resim 5.4. Simülasyon Ayarları (EPA-SWMM)

### 5.1.2. Yağmur ölçer ayarları

Simülasyon kapsamında yapılan modelleme için kullanılacak yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden “yağış şiddet-süre-tekerrür eğrisi” ve “standart zamanlarda gözlenen en büyük yağış değerleri” olarak temin edilmiştir. Yağış şiddet-süre-tekerrür eğrisi Şekil 5.1’de, standart zamanlarda gözlenen en büyük yağış değerleri ise Çizelge 5.1.’de gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Yağış Şiddet-Süre-Tekerrür Eğrileri (Meteorolojik Veri Bilgi Satış ve Sunum Sistemi - Mevbis)

Çizelge 5.1. Standart Zamanlarda Gözlenen En Büyük Yağış Değerleri (mm)

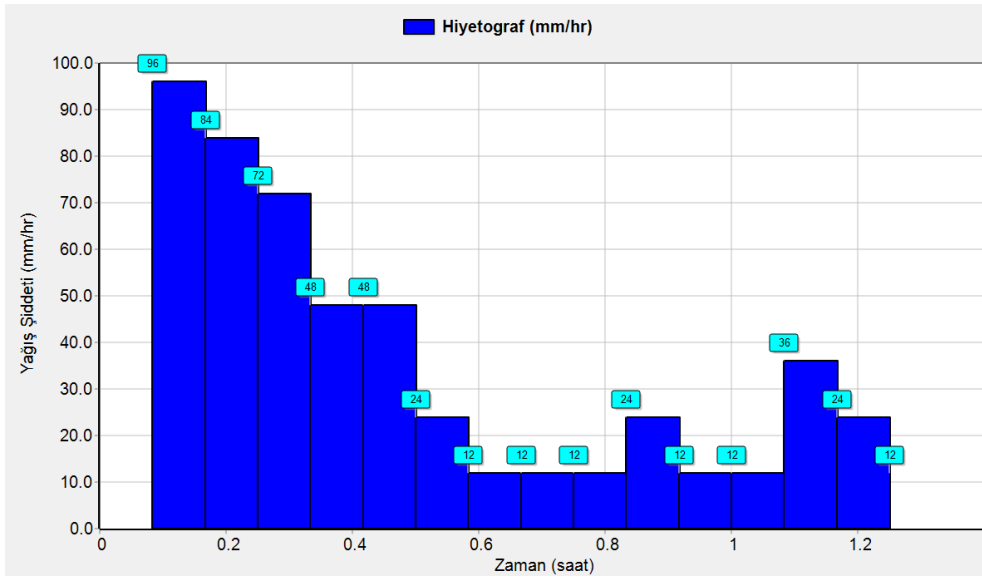
GÖZLEM YILI	DAKİKA				SAAT										
	5	10	15	30	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24	24 +
2 YIL	5,6	7,9	9,1	11,3	13,3	15,6	17,2	18,2	18,9	19,6	20,4	22,3	24,1	27,7	28,1
5 YIL	8,3	11,6	13,7	17,4	20,9	23,7	25,5	26,9	27,8	28,5	29,5	31,8	34,9	39,2	39,9
10 YIL	10,0	14,2	17,0	22,4	27,4	30,7	32,5	34,1	35,1	35,8	36,9	39,6	43,7	48,1	49,0
25 YIL	12,1	17,5	21,4	29,6	37,5	41,5	43,4	45,0	46,1	47,1	48,3	51,5	57,1	60,8	62,2
50 YIL	13,7	20,0	24,9	35,8	46,5	51,4	53,1	54,6	55,8	57,0	58,4	62,0	68,8	71,4	73,1
100 YIL	15,2	22,5	28,5	42,8	57,0	62,9	64,3	65,6	66,9	68,5	70,0	74,0	82,1	83,1	85,3
200 YIL	16,7	25,1	32,3	50,6	69,3	76,4	77,5	78,3	79,6	81,7	83,4	87,7	96,0	97,4	98,6

Ayrıca ABB'nin yayınlamış olduğu 11.06.2023 tarihli "Sel ve Su Baskınları Raporu"ndaki bilgilerden, Şekil 5.1 ve Çizelge 5.1'den yararlanılarak, aynı tarihteki 1 saat 15 dakikalık sağanak yağmur için oluşturulan yağış verileri Çizelge 5.2.'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.2. 11.06.2023 tarihli yağışın saatlik toplam yağış verileri

Yağış Zamanı	Saatler	Toplam Yağış Miktarı (mm)
11/06/2023	14:15	0
	14:20	8
	14:25	15
	14:30	21
	14:35	25
	14:40	29
	14:45	31
	14:50	32
	14:55	33
	15:00	34
	15:05	36
	15:10	37
	15:15	38
	15:20	41
	15:25	43
	15:30	44

11.06.2023 tarihli yağış hiyetografı Çizelge 5.2.'den alınan verilerle Şekil 5.2'de gösterilmektedir.



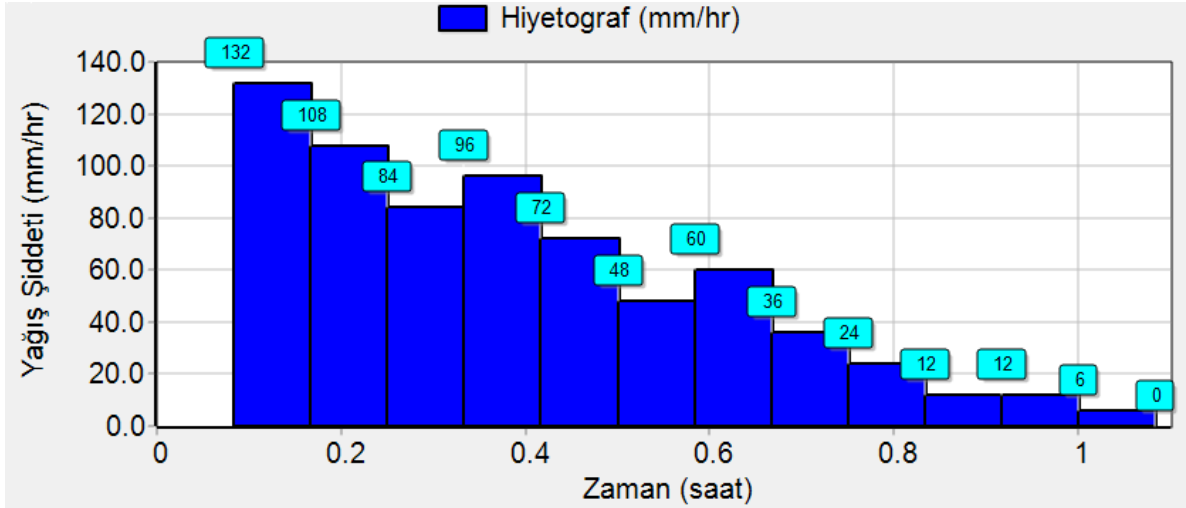
Şekil 5.2. 11.06.2023 tarihli yağışın hiyetografı

Yağış formatı “şiddet”, “kümülatif”, “hacim” seçenekleri arasından, hiyetograf verilerine göre “kümülatif” olarak seçilmiş ve yağış miktarı ölçüm aralıkları 5 dakika olarak tasarlanmıştır. Yağmur ölçer ayarlarının ekran görüntüsü Resim 5.5’de sunulmaktadır.

Rain Gage Gage1	
Property	Value
Name	Gage1
X-Coordinate	710.590
Y-Coordinate	421.335
Description	
Tag	
Rain Format	CUMULATIVE
Time Interval	0:05
Snow Catch Factor	0
Data Source	TIMESERIES
TIME SERIES:	
- Series Name	1saat15dakika
DATA FILE:	
- File Name	
- Station ID	*
- Rain Units	MM

Resim 5.5. Yağmur Ölçer Ayarları (EPA-SWMM)

11.06.2023 tarihli yağış 1 saat 15 dakikanın sonunda toplam 44 mm’lik bir yağış miktarı oluşturmuştur. Çizelge 5.1.’e göre bu yağış yaklaşık 50 yıl tekerrürlü bir yağış olarak düşünülebilir. Alternatif bir yağış senaryosu ile çalışmak amacıyla, ilgili yağışın 200 yıl tekerrürlü bir yağış olması durumunda oluşturacağı maksimum yağış miktarı Çizelge 5.1.’den 1 saatlik bir yağış için 69,2 mm olarak okunmaktadır. Bu yağışın 11.06.2023 tarihindeki yağışın karakteristiğine benzer bir şekilde modellenmesi durumunda, bir diğer deyişle yağış şiddetinin yağışın ilk dakikalarında daha fazla olduğu durumdaki yağış senaryosunun hiyetografı ise Şekil 5.3’de verilmektedir.



Şekil 5.3. 200 yıl tekerrürlü 1 saatlik olası bir yağışın hiyetografı

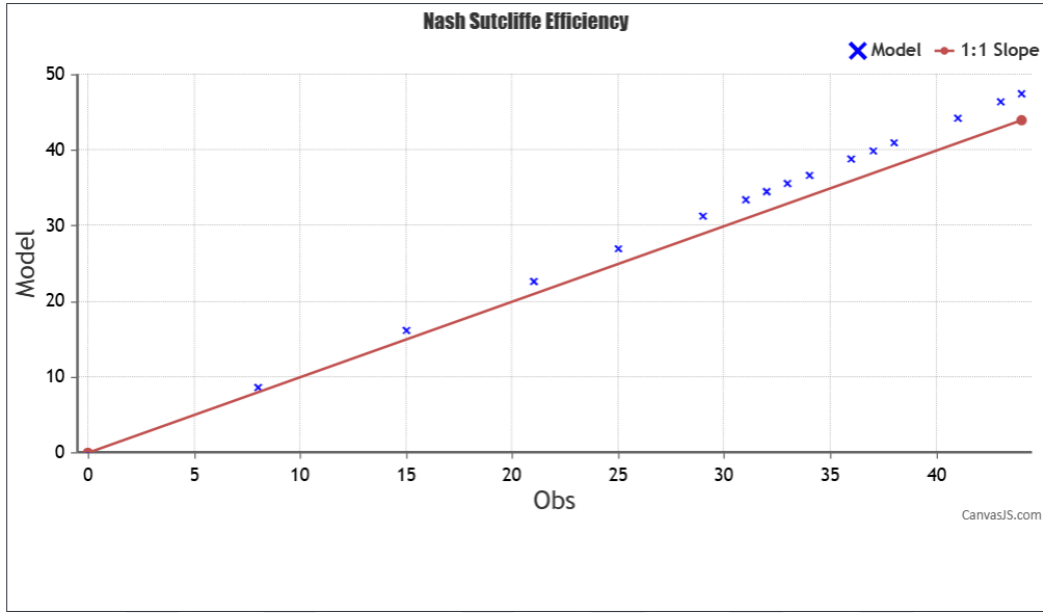
### 5.1.3. Verilerin doğruluğu

Hidrolojik modellerin tahmin doğruluğunu belirlemek için sıklıkla Nash-Sutcliffe model verimlilik katsayısı kullanılmaktadır (NSE). Nash-Sutcliffe verimliliği “belirleme katsayısı” ile paralel değerlendirilir bu sebepten sonuçlar 0 ile 1 arasında değişmektedir. Sonuç 1’e ne kadar yakınsa o kadar doğru olarak değerlendirilebilir. Nash ve Sutcliffe (1970) 0,9 ile 1 arasındaki NSE değerlerinin modelin son derece iyi çalıştığını gösterdiğini ve 0,6 ile 0,8 arasındaki değerlerin ise modelin oldukça iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Simule edilmiş ile ölçülmüş değerlerin uyumunun değerlendirildiği bir diğer yöntem ise  $R^2$  olarak da bilinen “belirleme katsayısı”dır.

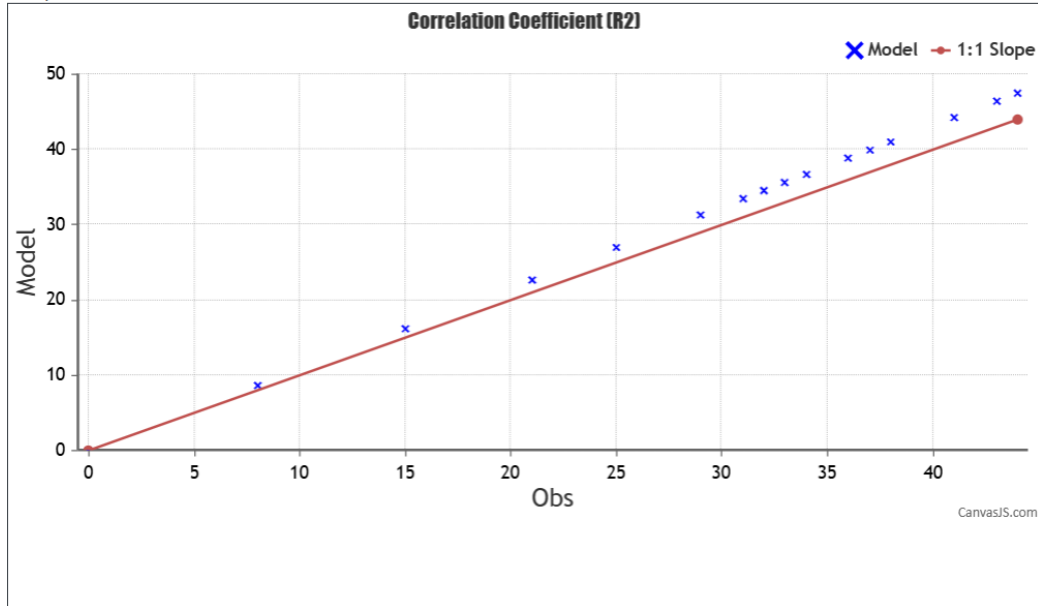
ABB’nin yayınlamış olduğu rapordaki gerçek bilgiler aracılığıyla oluşturulan 11.06.2023 tarihli 1 saat 15 dakikalık yağış Çizelge 5.1’e göre 50 yıl tekerrürlü olarak düşünülebilir. Şekil 5.1’e göre 50 yıl tekerrürlü 1 saat 15 dakikalık yağış yaklaşık 47,50 mm yağış oluşturmaktadır. Bu yağış, 11.06.2023 tarihindeki yağış serisine göre oranlanmış ve çıkan sonuçlar Nash-Sutcliffe ve  $R^2$  verimliliğine göre analiz edilmiştir. Şekil 5.4’e göre NSE değeri 0,957 ve  $R^2$  1 değerleri yağmur verilerinin son derece iyi olduğunu göstermektedir.

Nash Sutcliffe model: 0.957



Şekil 5.4. Nash-Sutcliffe Analiz Sonucu

R-squared correlation (R<sup>2</sup>) is: 1



Şekil 5.5. R<sup>2</sup> Analiz Sonucu

#### 5.1.4. Alt havza ayarları

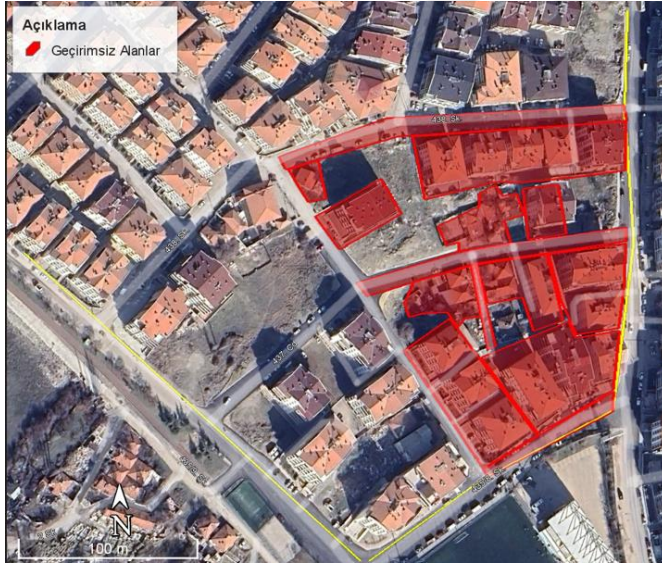
İlgili çalışma sahası dokuz farklı alt havzaya ayrılmıştır. Bu ayırma işleminde yağışın yönü ve yapılaşma dikkate alınmıştır.

S1 alt havzası Resim 5.6’da beyaz renkle gösterilmiş olup, çevresi 676 metre alanı ise 2,81 hektardır.



Resim 5.6. S1 Alt Havzası (Google Earth Pro)

Havzanın ortalama eğimi %2,73, geçirimsiz bölgelerin yüzdesi %77’dir. Geçirimsiz bölgeler Resim 5.7’de kırmızı renkle gösterilmiştir.



Resim 5.7. S1 Geçirimsiz Alanlar (Google Earth Pro)

Geçirimsiz alanların Manning katsayısı olarak Çizelge 3.1’de verilen değerlerden “Pürüzsüz Asfalt” a denk gelen 0,011 değeri seçilmiştir. Geçirimsiz alanların Manning değeri ise Resim 5.8’de görüleceği üzere en yakın değer olan “Çimento Döküntülü Yüzey” olarak 0,40 seçilmiştir.



Resim 5.8. S1 Geçirimli Alan

Alt havzanın geçirimsiz kısmındaki birikinti yüksekliği SWMM rehberinden Çizelge 5.3’de de verildiği üzere minimum değer olarak 0,127 cm olarak seçilmiştir. Geçirimli yüzeydeki birikinti yüksekliği ise arazi doğal döküntülü olduğu için 0,762 cm seçilmiştir.

Çizelge 5.3. Tipik Birikinti Yükseklikleri (ASCE,1992)

Geçirimsiz Yüzey	0,127-0,254 cm
Çayır	0,254-0,508 cm
Otlak	0,508 cm
Doğal Döküntü	0,762 cm

Geçirimsiz alanlar bina ve yollardan oluştuğu için hiçbir birikinti olmayan geçirimsiz alanın yüzdesi %100 olarak seçilmiştir.

Alt havza içinde geçirimli ve geçirimsiz alan arasındaki akış, alt havzadaki eğim tek bir doğrultuda olduğu için doğrudan çıkışa akacak şekilde tasarlanmıştır. Bu yüzden alt alanlar arasında ötelenen akışın yüzdesi de sıfırdır.

Sızma metodu için “*Genel Ayarlar*” bölümünde “*Eğri Numarası*” yöntemi seçilmiştir. Bu kapsamda alt havzanın hidrolojik zemin sınıfı seçiminde SWMM rehberinden yararlanılmıştır.

Çizelge 5.4. Hidrolojik Zemin Grubu (Hydrology National Engineering Handbook, 2009)

Grup	Tanım	Doymuş İletkenlik (mm/sa)
A	Düşük akış potansiyeli. Su topraktan serbestçe iletilir. Grup A toprakları genellikle %10'dan az kil ve %90'dan fazla kum veya çakıl içerir ve çakıl veya kum dokularına sahiptir.	>36,10
B	Orta derecede düşük akış potansiyeli. Toprakta su iletimi engellenmez. Grup B toprakları tipik olarak %10 ila %20 kil ve %50 ila %90 kum içerir ve tınlı kum veya kumlu tın dokularına sahiptir.	14,48-36,10
C	Orta derecede yüksek akış potansiyeli. Toprakta su iletimi bir miktar sınırlıdır. Grup C toprakları genellikle %20 ila %40 arasında kil ve %50'den az kum içerir ve tın, siltli tın, kumlu kil tın, kil tın ve siltli kil tın dokularına sahiptir.	1,52-14,48
D	Yüksek akış potansiyeli. Toprakta su hareketi kısıtlı veya çok kısıtlıdır. Grup D toprakları genellikle %40'tan fazla kil, %50'den az kum içerir ve killi dokulara sahiptir.	<1,52

Çizelge 5.5. Akış için Eğri Numaraları (SCS Urban Hydrology for Small Watersheds, 1986)

Arazi Tanımı	Hidrolojik Zemin Grubu			
	A	B	C	D
Ekili Arazi				
İşlenmemiş	72	81	88	91
İşlenmiş	62	71	78	81
Mera, Otlak				
Kötü	68	79	86	89
İyi	39	61	74	80
Çayır				
İyi	30	58	71	78
Orman				
İnce yüzey, samansız	45	66	77	83
İyi katman (ot, çöp, çalı yok)	25	55	70	77
Açık alanlar, çimenler, parklar, golf sahaları, mezarlıklar vb.				
İyi durum: Alanın %75'i veya daha fazlası çimle kaplı	39	61	74	80
Orta durum: Alanın %50-%75'i çim kaplı	49	69	79	84
Ticari ve iş alanları (%85 geçirimsiz)	89	92	94	95
Sanayi bölgeleri (%72 geçirimsiz)	81	88	91	93
Konut				
Ortalama arsa büyüklüğü (%Geçirimsiz)				
0,05 hektar ya da daha az (65)	77	85	90	92
0,1 hektar (38)	61	75	83	87
0,13 hektar (30)	57	72	81	86
0,5 hektar (25)	54	70	80	85
1 hektar (20)	51	68	79	84
Asfaltlanmış otoparklar, çatılar, araba yolları vb.	98	98	98	98
Sokaklar ve yollar				
Kaldırım, taş döşeme	98	98	98	98
Çakıl	76	85	89	91
Çamur	72	82	87	89

Çalışma sahasında geçirimsiz alan yoğunluğunun fazla olması sebebiyle akış potansiyeli yüksektir. Bu sebepten zemin grubu olarak “D” sınıfı seçilmesi düşünülmüş ancak seçilecek arazi “Asfaltlanmış otoparklar, çatılar, araba yolları” olacağından tüm zemin gruplarında eğri numarası 98’dir.

Alt havza parametreleri örnek ekran görüntüsü S1 alt havzası için Resim 5.9'da verilmektedir.

Subcatchment S1	
Property	Value
Name	S1
X-Coordinate	592.926
Y-Coordinate	221.034
Description	
Tag	S1
Rain Gage	Gage1
Outlet	J1
Area	2.94
Width	156.11
% Slope	2.73
% Imperv	77
N-Imperv	0.011
N-Perv	0.40
Dstore-Imperv	1.27
Dstore-Perv	7.62
%Zero-Imperv	100
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	0
Infiltration Data	CURVE_NUMBER

Resim 5.9. S1 Alt Havza Parametreleri (EPA-SWMM)

S2 alt havzası Resim 5.10'da beyaz renkle gösterilmiş olup, çevresi 662 metre alanı ise 2,45 hektardır.



Resim 5.10. S2 Alt Havzası (Google Earth Pro)

Havzanın ortalama eğimi %0,00, geçirimsiz bölgelerin yüzdesi %55,6'dır. Geçirimsiz bölgeler Resim 5.11'de kırmızı renkle gösterilmiştir.



Resim 5.11. S2 Geçirimsiz Alanlar (Google Earth Pro)

Geçirimsiz alanların Manning katsayısı olarak Çizelge 3.1’de verilen değerlerden “Pürüzsüz Asfalt”’a denk gelen 0,011 değeri seçilmiştir. Geçirimli alanların Manning değeri ise Resim 5.12’de görüleceği üzere en yakın değer olan “Küçük Çayır” olarak 0,15 seçilmiştir.



Resim 5.12. S2 Geçirimli Alan

Alt havzanın geçirimsiz kısmındaki birikinti yüksekliği SWMM rehberinden Çizelge 5.3’de de verildiği üzere minimum değer olarak 0,127 cm olarak seçilmiştir. Geçirimli yüzeydeki birikinti yüksekliği ise arazi çayır görünümünde olduğu için 0,254 cm seçilmiştir.

Geçirimsiz alanlar bina ve yollardan oluştuğu için hiçbir birikinti olmayan geçirimsiz alanın yüzdesi %100 olarak seçilmiştir.

Alt havza içinde geçirimli ve geçirimsiz alan arasındaki akış, alt havzadaki eğim tek bir doğrultuda olduğu için doğrudan çıkışa akacak şekilde tasarlanmıştır. Bu yüzden alt alanlar arasında ötelenen akışın yüzdesi de sıfırdır.

Çalışma sahasında geçirimsiz alan yoğunluğunun fazla olması sebebiyle akış potansiyeli yüksektir. Bu sebepten zemin grubu olarak “D” sınıfı seçilmiştir. Seçilecek arazi %55,6 oranda geçirimsiz yüzey olan “Asfaltlanmış otoparklar, çatılar, araba yolları” ve %44,4 geçirimli yüzey olan “Kötü otlak” olduğundan eğri numaraları için alanları oranında ortalama hesaplanmış ve 94 olarak seçilmiştir.

S3 alt havzası Resim 5.13’de beyaz renkle gösterilmiş olup, çevresi 452 metre alanı ise 1,22 hektardır.



Resim 5.13. S3 Alt Havzası (Google Earth Pro)

Havzanın ortalama eğimi %1,00, geçirimsiz bölgelerin yüzdesi %79,5’tir. Geçirimsiz bölgeler Resim 5.14’de kırmızı renkle gösterilmiştir.



Resim 5.14. S3 Geçirimsiz Alanlar (Google Earth Pro)

Geçirimsiz alanların Manning katsayısı olarak Çizelge 3.1’de verilen değerlerden “Pürüzsüz Asfalt”a denk gelen 0,011 değeri seçilmiştir. Geçirimli alanların Manning değeri ise Resim 5.15’de görüleceği üzere en yakın değer olan “Küçük Çayır” olarak 0,15 seçilmiştir.



Resim 5.15. S3 Geçirimli Alan

Alt havzanın geçirimsiz kısmındaki birikinti yüksekliği SWMM rehberinden Çizelge 5.3’de de verildiği üzere minimum değer olarak 0,127 cm olarak seçilmiştir. Geçirimli yüzeydeki birikinti yüksekliği ise arazi çayır görünümünde olduğu için 0,254 cm seçilmiştir.

Geçirimsiz alanlar bina ve yollardan oluştuğu için hiçbir birikinti olmayan geçirimsiz alanın yüzdesi %100 olarak seçilmiştir.

Alt havza içinde geçirimli ve geçirimsiz alan arasındaki akış, alt havzadaki eğim tek bir doğrultuda olduğu için doğrudan çıkışa akacak şekilde tasarlanmıştır. Bu yüzden alt alanlar arasında ötelenen akışın yüzdesi de sıfırdır.

Çalışma sahasında geçirimsiz alan yoğunluğunun fazla olması sebebiyle akış potansiyeli yüksektir. Bu sebepten zemin grubu olarak “D” sınıfı seçilmiştir. Seçilecek arazi %79,5 oranda geçirimsiz yüzey olan “Asfaltlanmış otoparklar, çatılar, araba yolları” olduğundan eğri numarası olarak 98 seçilmiştir.

S4 alt havzası Resim 5.16’da beyaz renkle gösterilmiş olup, çevresi 502 metre alanı ise 1,48 hektardır.



Resim 5.16. S4 Alt Havzası (Google Earth Pro)

Havzanın ortalama eğimi %1,00, geçirimsiz bölgelerin yüzdesi %100’dür. Geçirimsiz bölgeler Resim 5.17’de kırmızı renkle gösterilmiştir.



Resim 5.17. S4 Geçirimsiz Alanlar (Google Earth Pro)

Geçirimsiz alanların Manning katsayısı olarak Çizelge 3.1’de verilen değerlerden “Pürüzsüz Asfalt”’a denk gelen 0,011 değeri seçilmiştir. Geçirimli alanların Manning değeri ise 0 olarak seçilmiştir.

Alt havzanın geçirimsiz kısmındaki birikinti yüksekliği SWMM rehberinden Çizelge 5.3’de de verildiği üzere minimum değer olarak 0,127 cm olarak seçilmiştir. Geçirimli yüzeydeki birikinti yüksekliği ise 0 olarak seçilmiştir.

Geçirimsiz alanlar bina ve yollardan oluştuğu için hiçbir birikinti olmayan geçirimsiz alanın yüzdesi %100 olarak seçilmiştir.

Alt havza içinde geçirimli ve geçirimsiz alan arasındaki akış, alt havzadaki eğim tek bir doğrultuda olduğu için doğrudan çıkışa akacak şekilde tasarlanmıştır. Bu yüzden alt alanlar arasında ötelenen akışın yüzdesi de sıfırdır.

Çalışma sahasında geçirimsiz alan yoğunluğunun fazla olması sebebiyle akış potansiyeli yüksektir. Bu sebepten zemin grubu olarak “D” sınıfı seçilmiştir. Seçilecek arazi %100 oranda geçirimsiz yüzey olan “Asfaltlanmış otoparklar, çatılar, araba yolları” olduğundan eğri numarası olarak 98 seçilmiştir.

S5 alt havzası Resim 5.18’de beyaz renkle gösterilmiş olup, çevresi 542 metre alanı ise 1,83 hektardır.



Resim 5.18. S5 Alt Havzası (Google Earth Pro)

Havzanın ortalama eğimi %0,7, geçirimsiz bölgelerin yüzdesi %100’dür. Geçirimsiz bölgeler Resim 5.19’da kırmızı renkle gösterilmiştir.



Resim 5.19. S5 Geçirimsiz Alanlar (Google Earth Pro)

Geçirimsiz alanların Manning katsayısı olarak Çizelge 3.1’de verilen değerlerden “Pürüzsüz Asfalt”’a denk gelen 0,011 değeri seçilmiştir. Geçirimsiz alanların Manning değeri ise 0 olarak seçilmiştir.

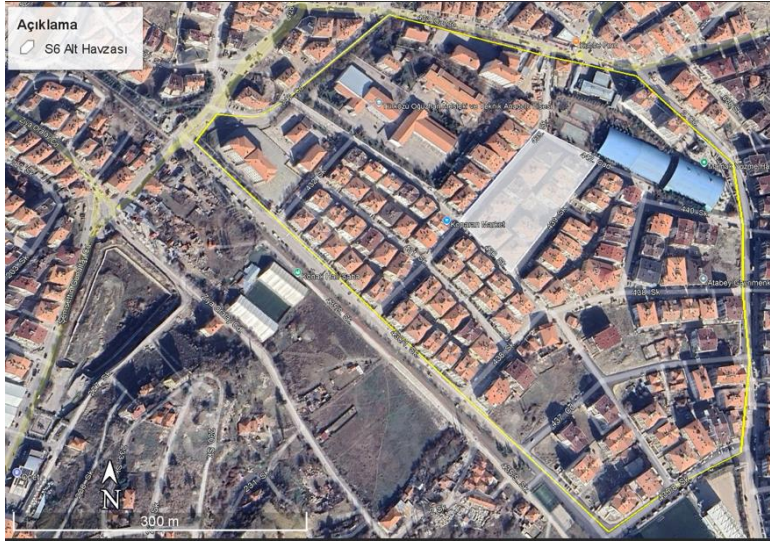
Alt havzanın geçirimsiz kısmındaki birikinti yüksekliği SWMM rehberinden Çizelge 5.3’de de verildiği üzere minimum değer olarak 0,127 cm olarak seçilmiştir. Geçirimsiz yüzeydeki birikinti yüksekliği ise 0 olarak seçilmiştir.

Geçirimsiz alanlar bina ve yollardan oluştuğu için hiçbir birikinti olmayan geçirimsiz alanın yüzdesi %100 olarak seçilmiştir.

Alt havza içinde geçirimsiz ve geçirimsiz alan arasındaki akış, alt havzadaki eğim tek bir doğrultuda olduğu için doğrudan çıkışa akacak şekilde tasarlanmıştır. Bu yüzden alt alanlar arasında ötelenen akışın yüzdesi de sıfırdır.

Çalışma sahasında geçirimsiz alan yoğunluğunun fazla olması sebebiyle akış potansiyeli yüksektir. Bu sebepten zemin grubu olarak “D” sınıfı seçilmiştir. Seçilecek arazi %100 oranda geçirimsiz yüzey olan “Asfaltlanmış otoparklar, çatılar, araba yolları” olduğundan eğri numarası olarak 98 seçilmiştir.

S6 alt havzası Resim 5.20’de beyaz renkle gösterilmiş olup, çevresi 478 metre alanı ise 1,26 hektardır.



Resim 5.20. S6 Alt Havzası (Google Earth Pro)

Havzanın ortalama eğimi %1,80, geçirimsiz bölgelerin yüzdesi %92’dir. Geçirimsiz bölgeler Resim 5.21’de kırmızı renkle gösterilmiştir.



Resim 5.21. S6 Geçirimsiz Alanlar (Google Earth Pro)

Geçirimsiz alanların Manning katsayısı olarak Çizelge 3.1’de verilen değerlerden “Pürüzsüz Asfalt”a denk gelen 0,011 değeri seçilmiştir. Geçirimli alanların Manning değeri ise Resim 5.22’de görüleceği üzere oldukça pürüzlü bir alan olduğundan en yakın değer olan “Hafif Çalılık” olarak 0,40 seçilmiştir.



Resim 5.22. S6 Geçirimli Alan

Alt havzanın geçirimsiz kısmındaki birikinti yüksekliği SWMM rehberinden Çizelge 5.3’de de verildiği üzere minimum değer olarak 0,127 cm olarak seçilmiştir. Geçirimli yüzeydeki birikinti yüksekliği ise arazi “doğal döküntü” görünümünde olduğu için 0,762 cm seçilmiştir.

Geçirimsiz alanlar bina ve yollardan oluştuğu için hiçbir birikinti olmayan geçirimsiz alanın yüzdesi %100 olarak seçilmiştir.

Alt havza içinde geçirimli ve geçirimsiz alan arasındaki akış, alt havzadaki eğim tek bir doğrultuda olduğu için doğrudan çıkışa akacak şekilde tasarlanmıştır. Bu yüzden alt alanlar arasında ötelenen akışın yüzdesi de sıfırdır.

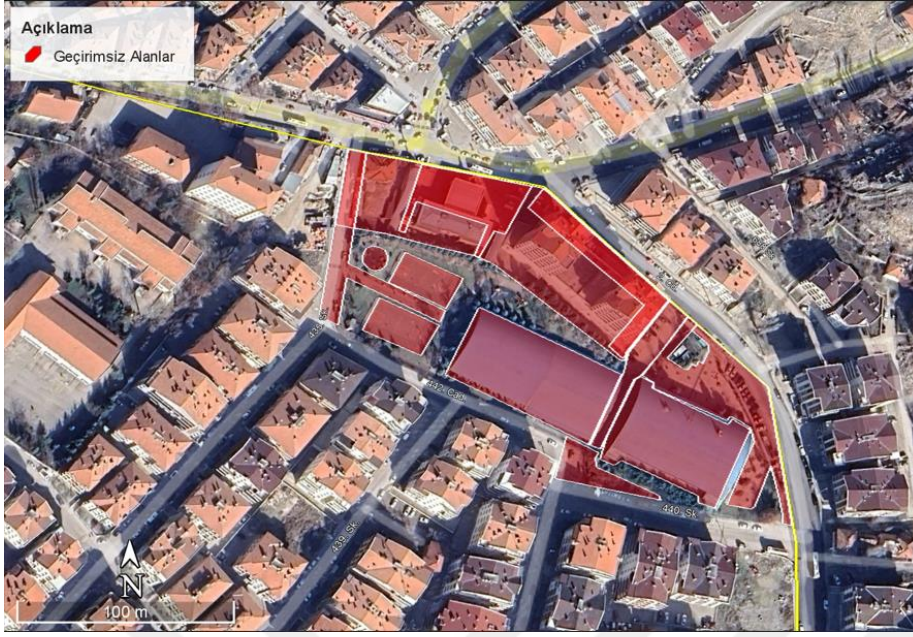
Çalışma sahasında geçirimsiz alan yoğunluğunun fazla olması sebebiyle akış potansiyeli yüksektir. Bu sebepten zemin grubu olarak “D” sınıfı seçilmiştir. Seçilecek arazi %92 oranda geçirimsiz yüzey olan “Asfaltlanmış otoparklar, çatılar, araba yolları” olduğundan eğri numarası olarak 98 seçilmiştir.

S7 alt havzası Resim 5.23’de beyaz renkle gösterilmiş olup, çevresi 691 metre alanı ise 2,35 hektardır.



Resim 5.23. S7 Alt Havzası (Google Earth Pro)

Havzanın ortalama eğimi %0,4, geçirimsiz bölgelerin yüzdesi %88,1’dir. Geçirimsiz bölgeler Resim 5.24’de kırmızı renkle gösterilmiştir.



Resim 5.24. S7 Geçirimsiz Alanlar (Google Earth Pro)

Geçirimsiz alanların Manning katsayısı olarak Çizelge 3.1’de verilen değerlerden “Pürüzsüz Asfalt”a denk gelen 0,011 değeri seçilmiştir. Geçirimli alanların Manning değeri ise Resim 5.25, 5.26, ve 5.27’de görüleceği üzere en yakın değer olan “Bermuda Çimi” olarak 0,41 seçilmiştir.



Resim 5.25. S7 Geçirimli Alan-1



Resim 5.26. S7 Geçirimli Alan-2



Resim 5.27. S7 Geçirimli Alan-3

Alt havzanın geçirimsiz kısmındaki birikinti yüksekliği SWMM rehberinden Çizelge 5.3’de de verildiği üzere, bu alandaki arazi düz zemin olduğu için maksimum değer olarak 0,254 cm seçilmiştir. Geçirimli yüzeydeki birikinti yüksekliği ise çim için bir değer olmadığından en yakın değer olan çayır için minimum 0,254 cm olarak seçilmiştir.

Geçirimsiz alanlar daha çok düz zemin olan park, basket sahası, futbol sahası, benzin istasyonu, spor tesisi ve otoparktan oluştuğu için hiçbir birikinti olmayan geçirimsiz alanın yüzdesi %44 olarak ölçülmüştür.

Alt havza içinde geçirimli ve geçirimsiz alan arasındaki akış, alt havzadaki eğim tek bir doğrultuda olduğu için doğrudan çıkışa akacak şekilde tasarlanmıştır. Ancak, akış doğrultusundaki geçirimli ve geçirimsiz alanlar karmaşık hizalandığından, alt alanlar arasında ötelenen akış %30 olarak ölçülmüştür.

Çalışma sahasında geçirimsiz alan yoğunluğunun fazla olması sebebiyle akış potansiyeli yüksektir. Bu sebepten zemin grubu olarak “D” sınıfı seçilmiştir. Seçilecek arazi %88,1 oranda geçirimsiz yüzey olan “Asfaltlanmış otoparklar, çatılar, araba yolları” olduğundan eğri numarası olarak 98 seçilmiştir.

S8 alt havzası Resim 5.28’de beyaz renkle gösterilmiş olup, çevresi 847 metre alanı ise 4,36 hektardır.



Resim 5.28. S8 Alt Havzası (Google Earth Pro)

Havzanın ortalama eğimi %2, geçirimsiz bölgelerin yüzdesi %73,40'tır. Geçirimsiz bölgeler Resim 5.29'da kırmızı renkle gösterilmiştir.



Resim 5.29. S8 Geçirimsiz Alanlar (Google Earth Pro)

Geçirimsiz alanların Manning katsayısı olarak Çizelge 3.1'de verilen değerlerden "Pürüzsüz Asfalt"a denk gelen 0,011 değeri seçilmiştir. Geçirimli alanların Manning değeri ise Resim 5.30 ve 5.31'de görüleceği üzere en yakın değer olan "Doğal Arazi" olarak 0,13 seçilmiştir.



Resim 5.30. S8 Geçirimli Alan-1



Resim 5.31. S8 Geçirimli Alan-2

Alt havzanın geçirimsiz kısmındaki birikinti yüksekliği SWMM rehberinden Çizelge 5.3’de de verildiği üzere, bu alandaki arazi düz zemin olduğu için maksimum değer olarak 0,254 cm seçilmiştir. Geçirimli yüzeydeki birikinti yüksekliği ise doğal arazi için bir değer olmadığından en yakın değer olan çayır için minimum 0,254 cm olarak seçilmiştir.

Geçirimsiz alanlar bina ve okullardan oluştuğu için hiçbir birikinti olmayan geçirimsiz alanın yüzdesi %47 olarak ölçülmüştür.

Alt havza içinde geçirimli ve geçirimsiz alan arasındaki akış, alt havzadaki eğim tek bir doğrultuda olduğu için doğrudan çıkışa akacak şekilde tasarlanmıştır. Ancak, akış doğrultusundaki geçirimli ve geçirimsiz alanlar karmaşık hizalandığından, alt alanlar arasında ötelenen akış %26,47 olarak ölçülmüştür.

Çalışma sahasında geçirimsiz alan yoğunluğunun fazla olması sebebiyle akış potansiyeli yüksektir. Bu sebepten zemin grubu olarak “D” sınıfı seçilmiştir. Seçilecek arazi %73,40 oranda geçirimsiz yüzey olan “Asfaltlanmış otoparklar, çatılar, araba yolları” olduğundan eğri numarası olarak 98 seçilmiştir.

S9 alt havzası Resim 5.32’de beyaz renkle gösterilmiş olup, çevresi 827 metre alanı 3,68 hektardır.



Resim 5.32. S9 Alt Havzası (Google Earth Pro)

Havzanın ortalama eğimi %1, geçirimsiz bölgelerin yüzdesi %93’dür. Geçirimsiz bölgeler Resim 5.33’de kırmızı renkle gösterilmiştir.

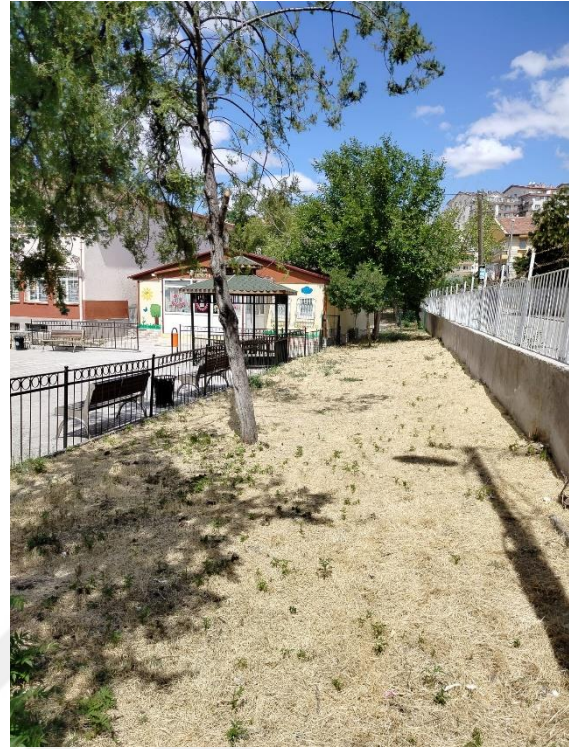


Resim 5.33. S9 Geçirimsiz Alanlar (Google Earth Pro)

Geçirimsiz alanların Manning katsayısı olarak Çizelge 3.1’de verilen değerlerden “Pürüzsüz Asfalt”’a denk gelen 0,011 değeri seçilmiştir. Geçirimli alanların Manning değeri ise Resim 5.34 ve 5.35’de görüleceği üzere en yakın değer olan “Doğal Arazi” olarak 0,13 seçilmiştir.



Resim 5.34. S9 Geçirimli Alan-1



Resim 5.35. S9 Geçirimli Alan-2

Alt havzanın geçirimsiz kısmındaki birikinti yüksekliği SWMM rehberinden Çizelge 5.3’de de verildiği üzere, bu alandaki arazi düz zemin olduğu için maksimum değer olarak 0,254 cm seçilmiştir. Geçirimli yüzeydeki birikinti yüksekliği ise doğal arazi için bir değer olmadığından en yakın değer olan çayır için minimum 0,254 cm olarak seçilmiştir.

Geçirimsiz alanlar bina ve okullardan oluştuğu için hiçbir birikinti olmayan geçirimsiz alanın yüzdesi %70 olarak ölçülmüştür.

Alt havza içinde geçirimli ve geçirimsiz alan arasındaki akış, alt havzadaki eğim tek bir doğrultuda olduğu için doğrudan çıkışa akacak şekilde tasarlanmıştır. Bu yüzden alt alanlar arasında ötelenen akışın yüzdesi de sıfırdır.

Çalışma sahasında geçirimsiz alan yoğunluğunun fazla olması sebebiyle akış potansiyeli yüksektir. Bu sebepten zemin grubu olarak “D” sınıfı seçilmiştir. Seçilecek arazi %93 oranda geçirimsiz yüzey olan “Asfaltlanmış otoparklar, çatılar, araba yolları” olduğundan eğri numarası olarak 98 seçilmiştir.

### 5.1.5. Kanal ayarları

Çalışma sahasında da değinildiği üzere, ULASAV'da yayınlanan bilgilere göre Mamak Türközü mahallesi 435. ve 438. sokaklarda hatlar kaldırmadığından ötürü taşkınlık yaşanması sebebiyle ana kollektör hatlarının 1600 mm çapına büyütülmesi çalışması planlanmaktadır. Bu sebepten bahsi geçen iki sokak için ana kolektör hattı tanımlanmıştır. Bu iki kanal hattı, akış yönü doğrultusunda ve cazibe ile akacak şekilde toplamda altı farklı üçer hat olarak tanımlanmıştır.

Bu tez çalışmasının ana amacı, ÇDU'ların çarpık kentleşmedeki performansını gözlemlemek ve boru çaplarına olan etkisini incelemek olduğundan, ana ve ara kollektör hatlarının yerleşiminde ve boyutlandırılmasındaki gerçekçi yaklaşımlar göz ardı edilmiştir. Yağmur verileri göz ardı edilmeden, sızma miktarları dikkate alınarak, çarpık kentleşmede uygulanma ihtimali olabilecek ÇDU'ların, bir yağmur suyu toplama hattının boyutuna olan etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda tüm borular en kötü senaryodaki sonuçları vermesi için, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayınladığı "Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik"e göre minimum sınırdan 0,4 m çapında ve 0,011 Manning katsayısı ile dizayn edilmiştir. Hatların uzunluğu ve başlangıç bitiş kotları Google Earth'den ölçülerek sisteme girilmiştir. Kanal hatlarının lokasyonu ve ölçeği ABB'nin yayınladığı raporlara istinaden tahmin edilmiştir. Alt havzalara çeşitli ÇDU'lar tanımlanarak, ilgili kanal hatlarının çaplarının büyütülerek yenilenmesi işine alternatif bir senaryo araştırılmıştır.

Çizelge 5.6'da kanal hatlarında kullanılacak malzeme tipine göre Manning katsayıları verilmektedir.

Çizelge 5.6. Kapalı Kanallar için Manning Katsayıları (ASCE, 1982)

Kanal Malzemesi	Manning n
Asbestli çimento boru	0,011 – 0,015
Tuğla	0,013 – 0,017
Dökme demir boru	
- Çimento astarlı ve conta kaplamalı	0,011 – 0,015
Beton (monolitik)	
- Pürüzsüz formlar	0,012 – 0,014
- Pürüzlü formlar	0,015 – 0,017
Beton boru	0,011 – 0,015
Koruge metal boru	
(1/2 inç x 2-2/3 inç oluklar)	0,022 – 0,026
- Düz	0,018 – 0,022
- Kaplamalı	0,011 – 0,015
- Eğrilmiş asfalt astarlı	0,011 – 0,015
Plastik boru (pürüzsüz)	0,011 – 0,015
Vitrifiye kil	
- Borular	0,013 – 0,017
- Kaplama plakaları	0,013 – 0,017

Resim 5.36'da C1, C2, C3 bir ana hat; C4, C5 ve C6 bir ana hat olacak şekilde kanal yerleşimi gösterilmektedir.



Resim 5.36. Kanal Yerleşimi (EPA-SWMM)

Resim 5.37.'de kanal ayarlarının ekran görüntüsü verilmektedir.

Conduit C1	
Property	Value
Name	C1
Inlet Node	J1
Outlet Node	J2
Description	
Tag	
Shape	CIRCULAR
Max. Depth	0.4
Length	135.19
Roughness	0.011

Resim 5.37. Örnek Kanal Ayarları (EPA-SWMM)

### 5.1.6. Düğüm Noktası ayarları

Düğüm noktaları kanal ayarları bölümünde verilen C1, C2, C3 ve C4, C5, C6 hatlarını birleştiren bağlantılarda konuşlandırılmıştır. Bağlantılı olduğu boru hatlarıyla paralel olarak 0,4 m çapında seçilmiştir. J1, J2, J3, J4, J5 ve J6 düğüm noktalarının yerleşimi Resim 5.38'de verilmiştir.



Resim 5.38. Düğüm Noktaları Yerleşimi (EPA-SWMM)

### 5.1.7. ÇDU ayarları

Çalışma sahası çarpık bir kentleşmeye sahip olduğundan boş alan çok fazla değildir. Bu yüzden simülasyonda gözlemlenebilecek ÇDU'lar şu şekilde sıralanmıştır.

- Biyotutma Havuzu
- Yağmur Bahçesi
- Yeşil Çatı
- Geçirgen Döşeme
- Yağmur Varili

Biyotutma havuzları, çalışma sahası oldukça çarpık bir yerleşime sahip olduğundan kalan boş arazilere konuşlandırılabilir. Ortalama bir biyotutma havuzunun alanının 1-2 hektar civarında olması gerektiğinden çalışma sahasında entegre edilebilecek biyotutma havuzları oldukça sınırlıdır. Biyotutma havuzlarının lokasyonları yüzey akışının yönü de dikkate alınarak Resim 5.39'da gösterilmiştir.



Resim 5.39. Biyotutma Havuzu Lokasyonları (Google Earth Pro)

SWMM'e tanımlanan biyotutma havuzu parametrelerine göre; yüzey parametrelerinden depolama derinliği 750 mm, bitki örtüsü hacim oranı gözardı edilebileceği için sıfır, yüzey pürüzlülüğü S2 alt havzasında olduğu için 0,15 ve yüzey eğimi yine aynı havzada olduğu için sıfır seçilmiştir. Zemin parametrelerinde ise kalınlık 500 mm, porozite Çizelge 3.2'den kum değeri için 0,437, yine aynı çizelgeden tarla kapasitesi 0,062, solma noktası 0,024, iletkenlik 120,39 mm/sa, iletkenlik eğrisi ortalama değer olarak 45, emme yüksekliği 49,36 mm olarak seçilmiştir. Depolama parametreleri için kalınlık 250 mm, boşluk oranı 3.12.3'te verilen formülden 0,777 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada biyotutma havuzlarının en kötü senaryodaki performansları incelendiğinden herhangi bir yer altı suyu sızması veya drenaj tasarlanmamıştır. Tez kapsamında bir ÇDU'nun taşkınlara karşı tasarım olarak değil, yapısal olarak nasıl davrandığı incelenmektedir. Bu yüzden sızma hızı sıfır, tıkanma oranı bir seçilmiştir. Resim 5.40'da biyotutma havuzları için parametrelerin ekran görüntüsü verilmektedir.

Control Name:	Biyotutmahavuzu	Surface	Soil	Storage	Drain
LID Type:	Bio-Retention Cell	Berm Height (in. or mm)	750		
		Vegetation Volume Fraction	0		
		Surface Roughness (Mannings n)	0,15		
		Surface Slope (percent)	0		

\*Optional

Resim 5.40. Biyotutma Havuzu Parametreleri (EPA-SWMM)

Yağmur bahçeleri biyotutma havuzları kadar geniş alanlara ihtiyaç duymamaktadır. Daha küçük alanlara entegre edilebildiklerinden çalışma sahasındaki her boş arazi yağmur bahçesi ile donatılabilir. Yağmur bahçeleri, çalışma sahasında uygun olarak Resim 5.41'de mor renkle gösterilen boşluklara konuşturılabilir. Yüzey akışı yönüne göre, S1, S2 ve S3 havzalarındaki yağmur bahçeleri doğrudan, S8 ve S9 havzalarındaki yağmur bahçeleri ise dolaylı olarak etki edebileceklerdir.



Resim 5.41. Yağmur Bahçesi Lokasyonları (Google Earth Pro)

SWMM'e tanımlanan yağmur bahçesi parametrelerine göre; yüzey parametrelerinden depolama derinliği 200 mm, bitki örtüsü hacim oranı amaç bitki örtüsü oluşturmak olduğundan maksimum değer olan 0,2, yüzey pürüzlülüğü bulunduğu alt havzalardaki geçirimli alanlar genel olarak "küçük çayır" kategorisinde olduğu için 0,15 ve yüzey eğimi uygulamanın düz olması gerektiği için sıfır seçilmiştir. Zemin parametrelerinde ise kalınlık 300 mm, porozite Çizelge 3.2'den kum değeri için 0,437, yine aynı çizelgeden tarla kapasitesi 0,062, solma noktası 0,024, iletkenlik 120,39 mm/sa, iletkenlik eğrisi ortalama değer olarak 45, emme yüksekliği 49,36 mm olarak seçilmiştir. Depolama parametreleri için sızma oranı, iletkenlikle aynı değer seçilmiştir. Resim 5.42'de yağmur bahçesi için parametrelerin ekran görüntüsü verilmektedir.

Control Name: yağmurbahçesi		Surface	Soil	Storage
LID Type:	Rain Garden	Berm Height (in. or mm)	200	
		Vegetation Volume Fraction	0.2	
		Surface Roughness (Mannings n)	0.15	
		Surface Slope (percent)	0	

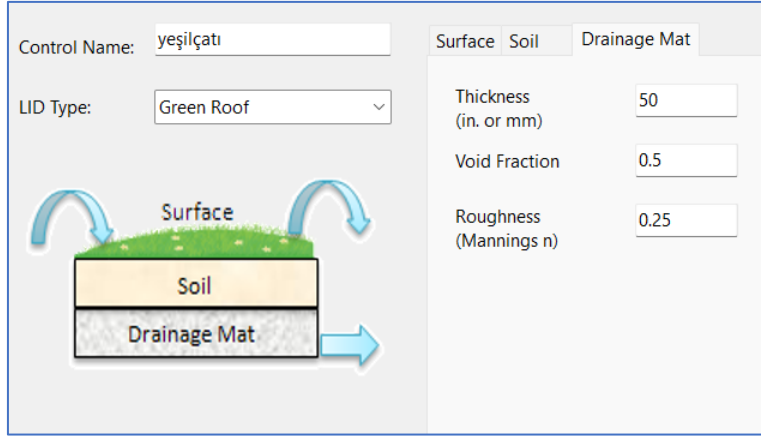
Resim 5.42. Biyotutma Havuzu Parametreleri (EPA-SWMM)

Yeşil çatılar, çalışma sahasında Resim 5.43’de yeşil renkle gösterilen boşluklara konuşlandırılabilir. Bu tez çalışmasında çalışma sahasındaki her bir çatı, yeşil çatı olarak ele alınmıştır. Yeşil çatılar yüzey akışına değil, doğrudan yağmur yüküne etki ettiğinden yüzey akışı yönü dikkate alınmamıştır.



Resim 5.43. Yeşil Çatı Lokasyonları (Google Earth Pro)

SWMM’e tanımlanan yeşil çatı parametrelerine göre; yüzey parametrelerinden depolama derinliği 50 mm, bitki örtüsü hacim oranı amaç bitki örtüsü oluşturmak olduğundan maksimum değer olan 0,2, yüzey pürüzlülüğü çime en yakın değer “küçük çayır” kategorisinde olduğu için 0,15 ve yüzey eğimi uygulamanın düz olması gerektiği için sıfır seçilmiştir. Zemin parametrelerinde ise kalınlık 150 mm, porozite Çizelge 3.2’den kum değeri için 0,437, yine aynı çizelgeden tarla kapasitesi 0,062, solma noktası 0,024, iletkenlik 120,39 mm/sa, iletkenlik eğrisi ortalama değer olarak 45, emme yüksekliği 49,36 mm olarak seçilmiştir. Drenaj matı parametrelerinde standart genel değerler olarak kalınlık için 5 cm, boşluk oranı için 0,5 ve pürüzlülük için 0,25 değerleri kullanılmıştır. Resim 5.44’de yeşil çatılar için parametrelerin ekran görüntüsü verilmektedir.



Resim 5.44. Yeşil Çatı Parametreleri (EPA-SWMM)

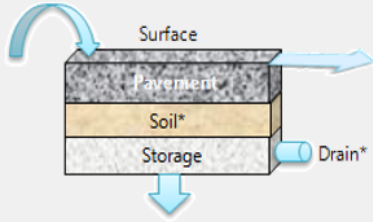
Geçirgen döşeme, asfalt olarak çalışma sahasında Resim 5.45’de turuncu renkle gösterilen boşluklara konuşturılabilir. Bu tezde çalışma sahasındaki her bir cadde sokak, otopark, okul bahçesi geçirgen asfalt olarak tanımlanmıştır. Sokak ve caddelerin konumu sabit olduğundan ve her döşeme geçirgen olarak tanımlandığından yüzey akışı yönü dikkate alınmamıştır.



Resim 5.45. Geçirgen Döşeme Lokasyonları (Google Earth Pro)

SWMM’e tanımlanan geçirgen asfalt parametrelerine göre; yüzey parametrelerinden depolama derinliği yani asfaltın üstündeki maksimum akış 10 mm, bitki örtüsü hacim oranı gözardı edilmesi gerektiği için sıfır, yüzey pürüzlülüğü asfalt olduğu için 0,011 ve yüzey eğimi havza ortalama olarak düz olduğu için sıfır seçilmiştir. Zemin parametrelerinde ise

kalınlık 500 mm, porozite Çizelge 3.2'den kum değeri için 0,437, yine aynı çizelgeden tarla kapasitesi 0,062, solma noktası 0,024, iletkenlik 120,39 mm/sa, iletkenlik eğrisi ortalama değeri olarak 45, emme yüksekliği 49,36 mm olarak seçilmiştir. Depolama parametreleri için kalınlık 250 mm, boşluk oranı 3.12.3'te verilen formülden 0,777 olarak hesaplanmıştır. Sızma hızı ise iletkenlikle aynı değeri olan 1,866 mm/sa seçilmiştir. Döşeme kalınlığı ortalama değeri olarak 120mm, geçirimli asfaltlar %10-20 arası olan ince agreganın çıkarılmasıyla oluşturulduğundan boşluk oranı ortalama olarak 0,15 ve geçirimsiz yüzey oranı da 0,85 olarak son olarak da geçirgenlik değeri asfaltlar için hidrolik iletkenlik baz alınması gerektiğinden minimum değeri olarak 0,1 mm/saat seçilmiştir. Herhangi bir tıkanma olması düşünülmediğinden tıkanma oranı sıfır olarak seçilmiştir. Geçirgen asfaltın tasarımında, amaç suyun yeraltına sızması olduğu için herhangi bir drenaj da tasarlanmamıştır. Resim 5.46'da geçirgen asfalt için parametrelerin ekran görüntüsü verilmektedir.

Control Name: <input type="text" value="geçirgenasfalt"/>	Soil	Storage	Drain
LID Type: <input type="text" value="Permeable Pavement"/>	Surface	Pavement	
	Berm Height (in. or mm)	<input type="text" value="10"/>	
	Vegetation Volume Fraction	<input type="text" value="0.0"/>	
	Surface Roughness (Mannings n)	<input type="text" value="0.011"/>	
	Surface Slope (percent)	<input type="text" value="0"/>	
	*Optional		

Resim 5.46. Geçirgen Asfalt Parametreleri (EPA-SWMM)

Yağmur varilleri çalışma sahasında Resim 5.47'de lacivert renkle gösterilen boşluklara konuşlandırılabilir. Yağmur varillerinde biriken yağmur sularının bahçe sulama ve temizlikte değerlendirilebileceği düşünülebilir. Bu kapsamda bina önünde sulanacak ufak da olsa bir bahçesi bulunan her binaya en az 1 adet sayıda, cami avlusunda kullanılmak üzere temiz su olduğundan en az 4 adet ve okul bahçelerine ise temizlik ve sulamada da kullanılabilirliği varsayılarak en az 20 adet varil yerleştirilmiştir. Varillerin konuşlandırıldığı lokasyonlar gösterge niteliği taşımaktadır. Kapladığı alanlar sebebiyle uygulamada rahatlıkla yüzey akışını doğrudan etkileyecek noktalara entegre edilebilir.



Resim 5.47. Yağmur Varili Lokasyonları (Google Earth Pro)

SWMM'e tanımlanan yağmur varili parametreleri için 1,5 m yükseklikte 70 cm çapında variller kullanılması düşünülmüştür. SWMM rehberine göre hedef, belirli bir süre içinde bir ünitenin drenajını sağlamak olduğu için drenaj üssü 0,5 alınmıştır. Varil tam dolu iken 1 saatte boşaltmak istendiğinde, 3.12.4'te verilen formüle göre çıkış hızı  $q$  1500 mm/saat olarak hesaplanmış ve drenaj üssü 0,5 alındığı için drenaj katsayısı 38 olarak hesaplanmıştır. Resim 5.48'de yağmur varili için parametrelerin ekran görüntüsü verilmektedir.

Control Name: yağmurvarili	Storage	Drain
LID Type: Rain Barrel	Flow Coefficient*	38
	Flow Exponent	0.5
	Offset (in or mm)	0
	Drain Delay (hrs)	6
	Open Level (in or mm)	0
	Closed Level (in or mm)	0
	Control Curve	

Resim 5.48. Yağmur Varili Parametreleri (EPA-SWMM)



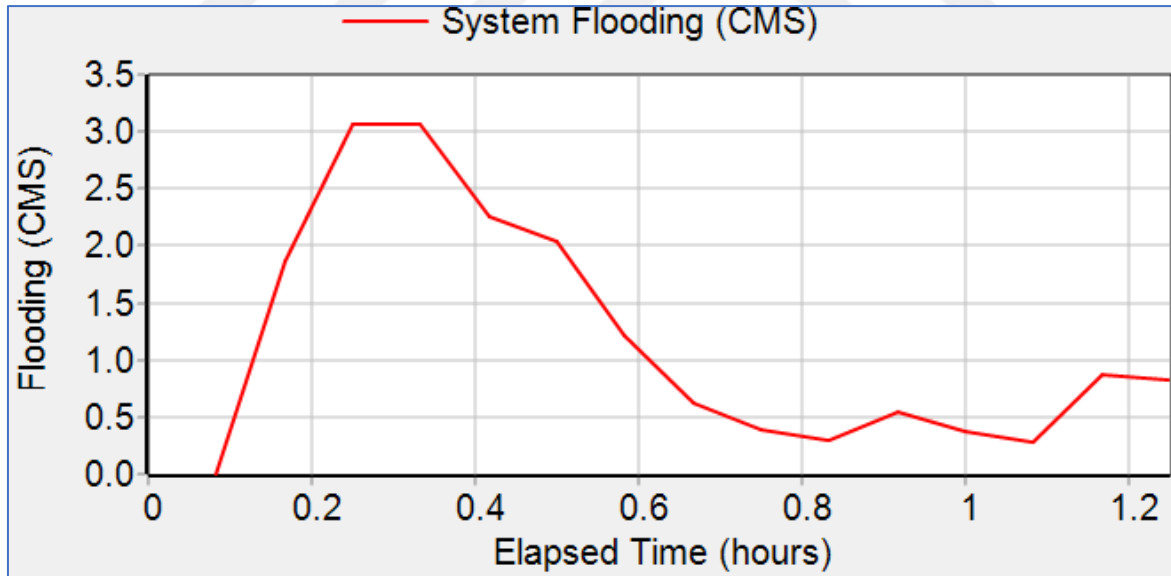
## 6. BULGULAR

Bu bölümde ilk olarak 11.06.2023 tarihli yağış simüle edilmiş ve bulgular paylaşılmıştır. Baz senaryoda herhangi bir ÇDU olmadan yapılan simülasyon sonuçları verilmiş ve gerekli yerlere önerilen ÇDU'lar diğer senaryo sonuçları olarak verilmiştir.

İkinci olarak 200 yıl tekerrürlü 1 saatlik bir yağış simüle edilmiş ve gerekli yerlere önerilen ÇDU'lar diğer senaryo sonuçları olarak verilmiştir.

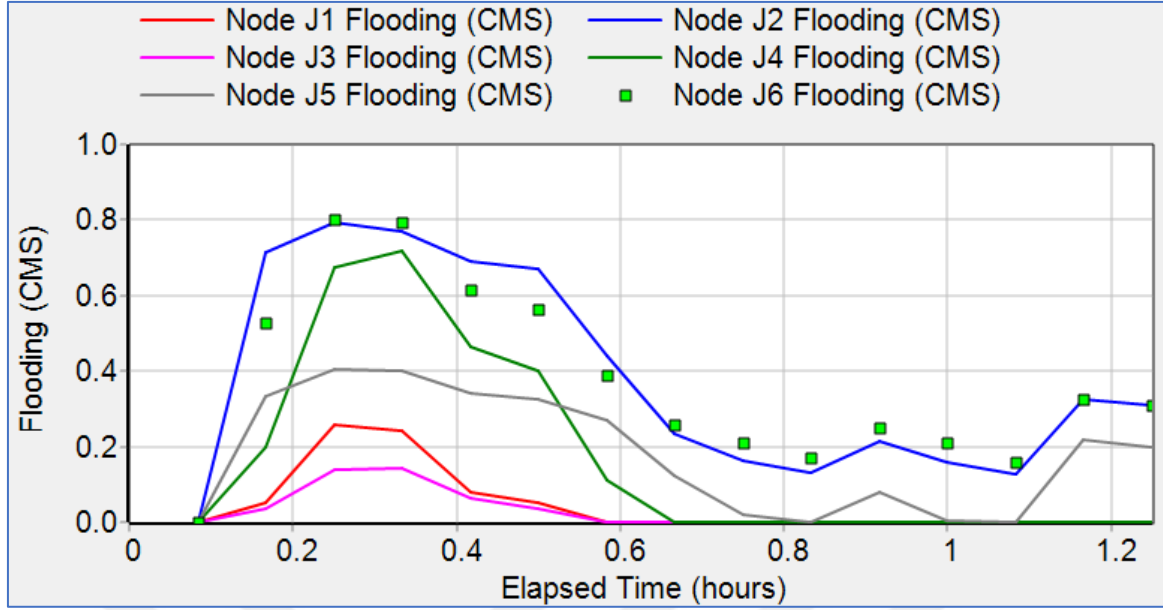
### 6.1. 11.06.2023 tarihli 1 saat 15 dakikalık yağış (Baz Senaryo-1)

ÇDU olmadan yapılan bu baz modellemeye 11.06.2023 tarihinde yağın 1 saat 15 dakikalık yağışta oluşan toplam taşkınlar Şekil 6.1'de gösterilmektedir. Toplam taşkın debisi 3,07 m<sup>3</sup>/s'dir. X ekseninde zaman (saat cinsinden) Y ekseninde taşkın debisi (m<sup>3</sup>/s) gösterilmektedir.



Şekil 6.1. 11.06.2023 tarihli yağış sonucu oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)

Şekil 6.2'de gösterilen grafikte taşkın oluşan düğüm noktaları gösterilmektedir. En fazla taşkın 0,80 m<sup>3</sup>/s ile J6 düğümünde oluşmaktadır. Çizelge 6.1'de tüm düğüm noktalarındaki maksimum taşkın debileri verilmiştir.



Şekil 6.2. Düğüm noktalarında oluşan taşkınlar (EPA-SWMM)

Çizelge 6.1. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar

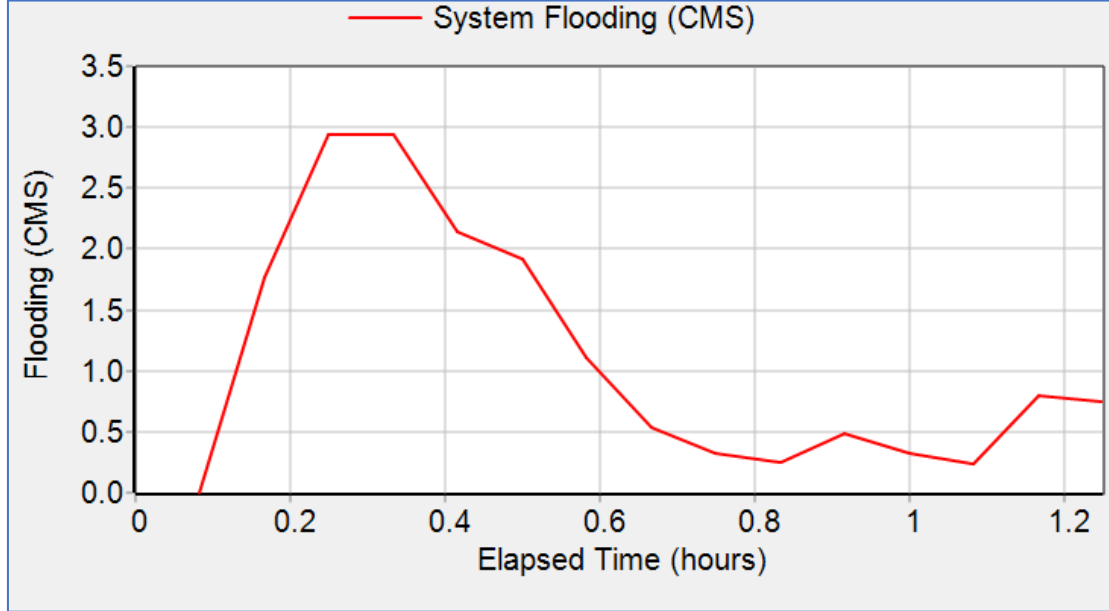
Düğüm Noktası	Maksimum Taşkın (m <sup>3</sup> /s)
J1	0,26
J2	0,79
J3	0,14
J4	0,72
J5	0,40
J6	0,80

Sisteme ÇDU tanımlanarak elde edilen bulgular aşağıda belirtilmektedir.

### 6.1.1. Senaryo 1.1-biyotutma havuzu

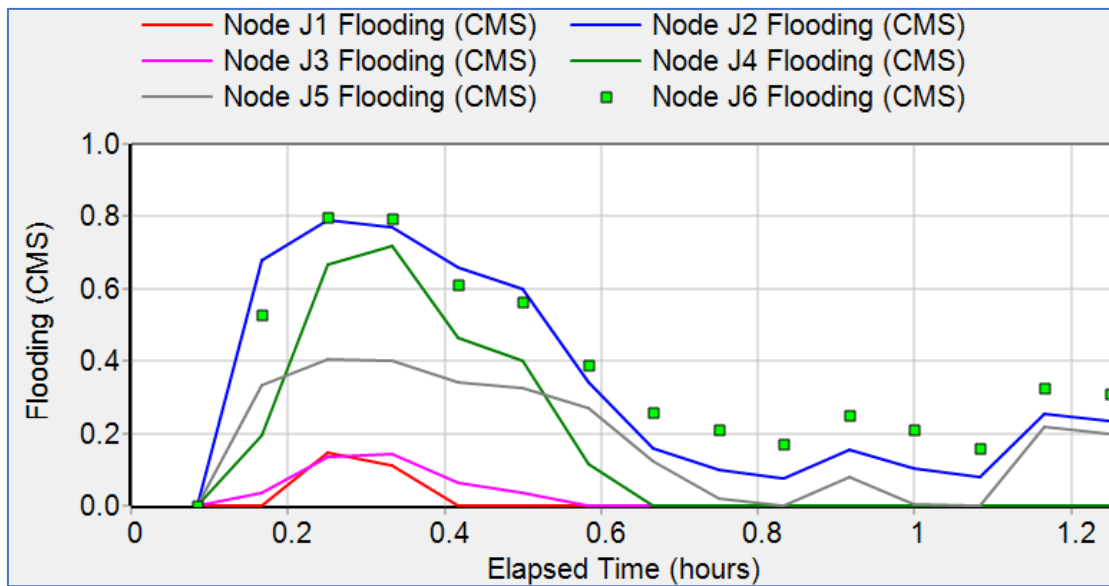
Resim 5.38'e göre S1, S2 ve S3 havzalarına biyotutma havuzu yerleştirilebilir. S1 için biyotutma havuzunun alanı 522,21 m<sup>2</sup>, S2 için 2253,21 m<sup>2</sup>, S3 için 1118,11 m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. S1 havuzu bulunduğu havza alanınının %1,77'sini, S2 havuzu %9,20'sini, S3 havuzu ise %9,17'sini kaplamaktadır.

Biyotutma havuzlarının entegrasyonu sonrasında sistemde oluşan toplam taşkın durumu Şekil 6.3'de gösterilmektedir. Sistemde görülen maksimum taşkın  $2,94 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir.



Şekil 6.3. Biyotutma havuzu sonrası oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)

Şekil 6.4'de gösterilen grafikte taşkın oluşan düğüm noktaları gösterilmektedir. En fazla taşkın  $0,80 \text{ m}^3/\text{s}$  ile J6 düğümünde oluşmaktadır. Çizelge 6.2'de tüm düğüm noktalarındaki maksimum taşkın debileri verilmiştir.

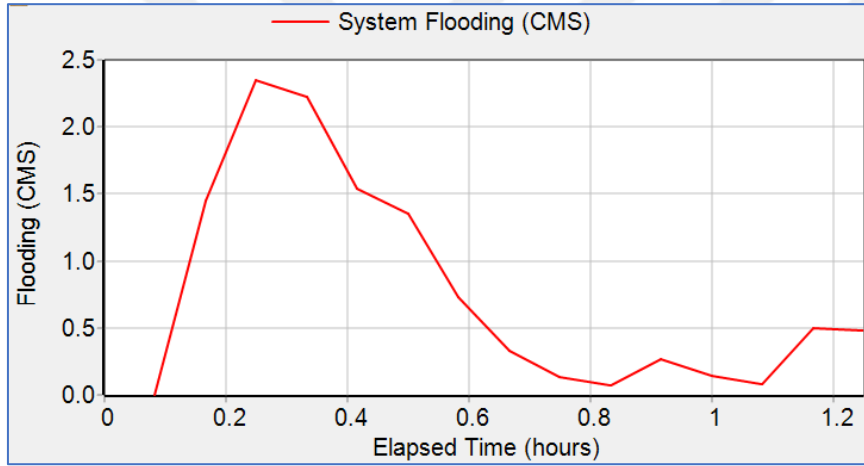


Şekil 6.4. Biyotutma havuzu sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar (EPA-SWMM)

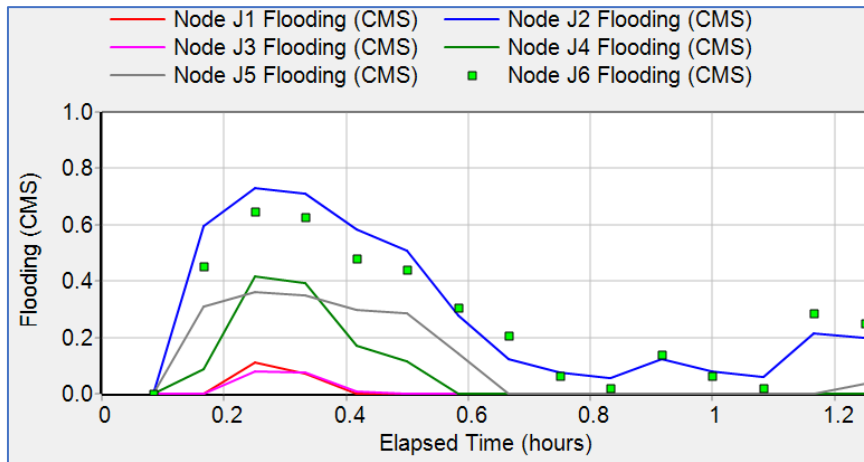
Çizelge 6.2. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (gerçek senaryo)

Düğüm Noktası	Maksimum Taşkın (m <sup>3</sup> /s)
J1	0,15
J2	0,79
J3	0,14
J4	0,72
J5	0,40
J6	0,80

Her havzaya, havza alanının %10'u kadar biyotutma havuzu entegre edilirse sistemdeki toplam taşkın miktarı 2,34 m<sup>3</sup>/s olup Şekil 6.5'de, düğüm noktalarında oluşan taşkınlar Şekil 6.6 ve Çizelge 6.3'de gösterilmektedir.



Şekil 6.5. Biyotutma havuzu sonrası oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)



Şekil 6.6. Biyotutma havuzu sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar (EPA-SWMM)

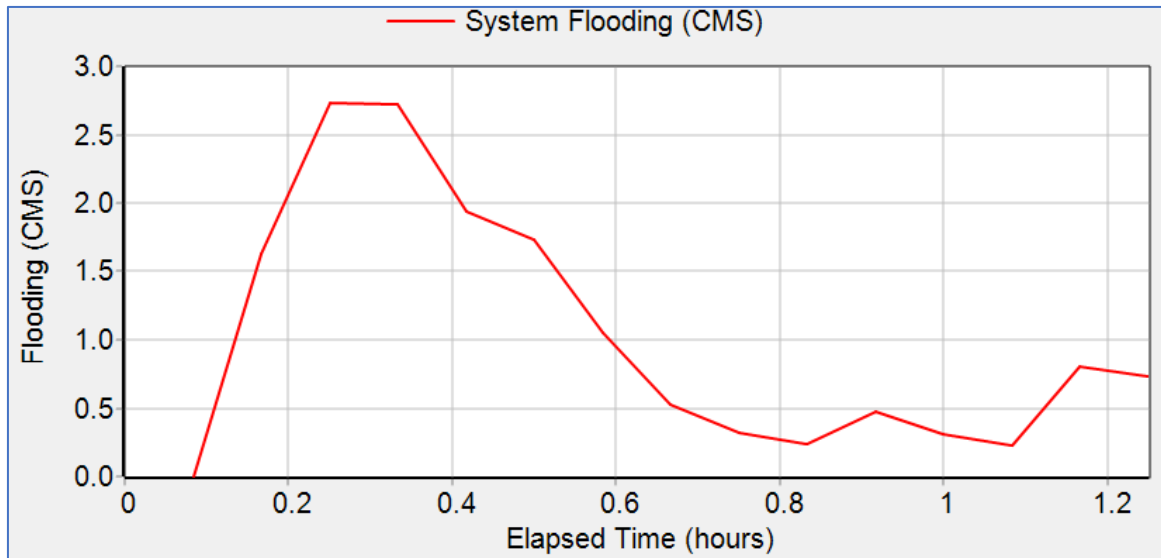
Çizelge 6.3. Dügüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (havza %10'u)

Dügüm Noktası	Maksimum Taşkın (m <sup>3</sup> /s)
J1	0,08
J2	0,73
J3	0,08
J4	0,42
J5	0,36
J6	0,65

### 6.1.2. Senaryo 1.2-yağmur bahçesi

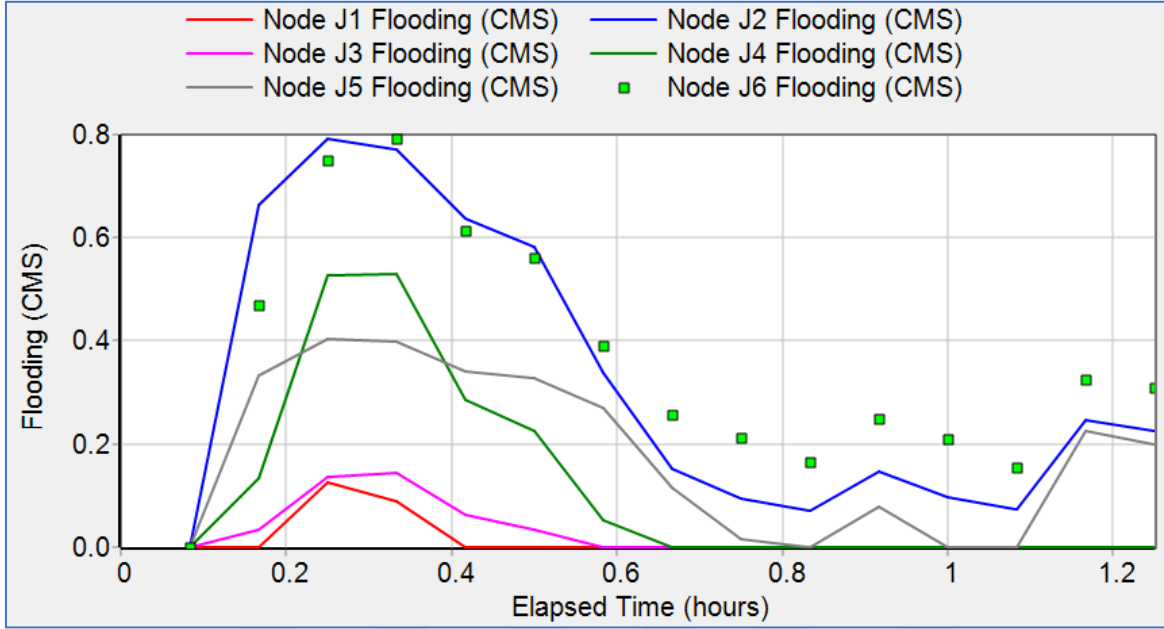
Resim 5.40'a göre S1, S2, S3, S8 ve S9 havzalarına yağmur bahçeleri yerleştirilebilir. S1 için yağmur bahçelerinin alanı 2181,33 m<sup>2</sup>, S2 için 2872,69 m<sup>2</sup>, S3 için 982,07 m<sup>2</sup>, S8 için 1609,14 m<sup>2</sup>, S9 için 207,82 m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. S1 yağmur bahçeleri bulunduğu havza alanının %7,42'sini, S2 bahçeleri %11,72'sini, S3 bahçeleri %8,05'ini, S8 bahçeleri %3,69'unu ve S9 bahçeleri ise %0,56'sını kaplamaktadır.

Yağmur bahçelerinin entegrasyonu sonrasında sistemde oluşan toplam taşkın durumu Şekil 6.7'de gösterilmektedir. Sistemde görülen maksimum taşkın 2,74 m<sup>3</sup>/s'dir.



Şekil 6.7. Yağmur bahçeleri sonrası oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)

Şekil 6.8’de gösterilen grafikte taşkın oluşan düğüm noktaları gösterilmektedir. En fazla taşkın  $0,79 \text{ m}^3/\text{s}$  ile J2 ve J6 düğümlerinde oluşmaktadır. Çizelge 6.4’de tüm düğüm noktalarındaki maksimum taşkın debileri verilmiştir.

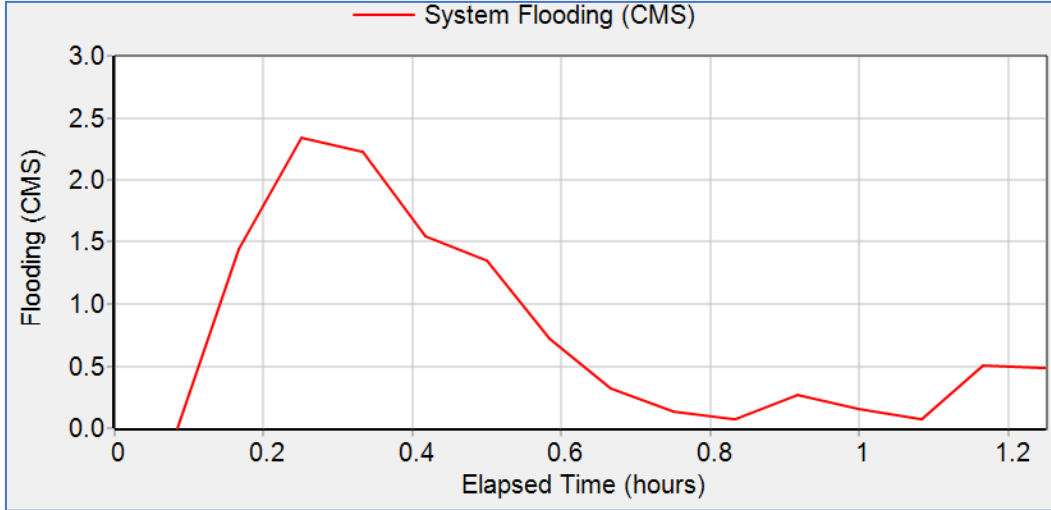


Şekil 6.8. Yağmur bahçesi sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar (EPA-SWMM)

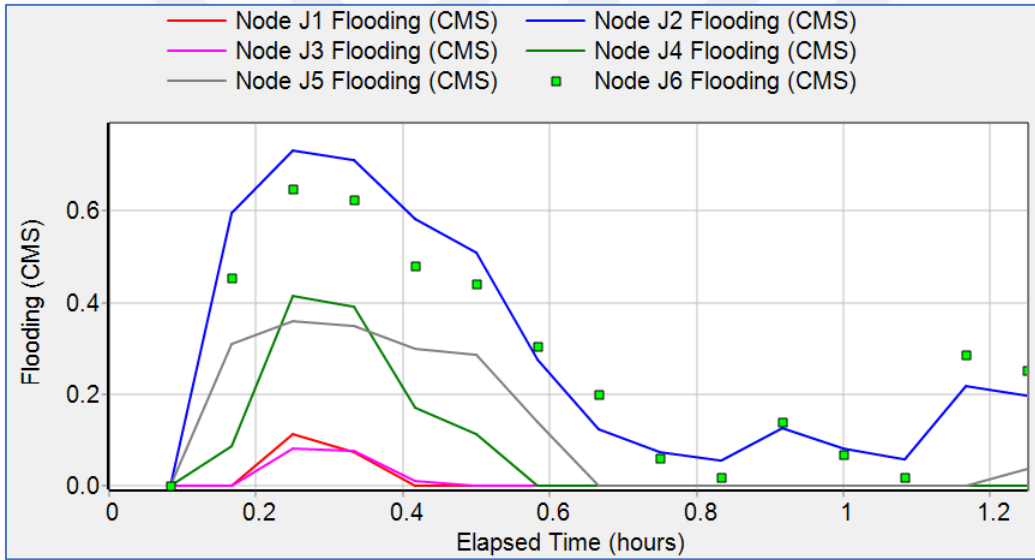
Çizelge 6.4. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (gerçek senaryo)

Düğüm Noktası	Maksimum Taşkın ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
J1	0,13
J2	0,79
J3	0,14
J4	0,53
J5	0,40
J6	0,79

Her havzaya, havza alanının %10’u kadar yağmur bahçesi entegre edilirse sistemdeki toplam taşkın miktarı  $2,34 \text{ m}^3/\text{s}$  olup Şekil 6.9’da, düğüm noktalarında oluşan taşkınlar Şekil 6.10 ve Çizelge 6.5’de gösterilmektedir.



Şekil 6.9. Yağmur bahçesi sonrası oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)



Şekil 6.10. Yağmur bahçesi sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar (EPA-SWMM)

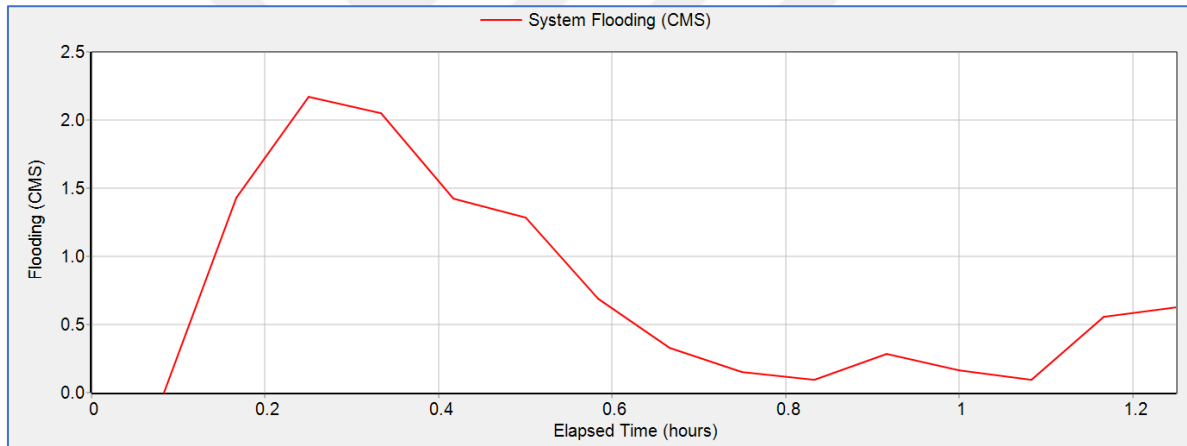
Çizelge 6.5. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (havza %10'u)

Düğüm Noktası	Maksimum Taşkın (m <sup>3</sup> /s)
J1	0,11
J2	0,73
J3	0,08
J4	0,41
J5	0,36
J6	0,65

### 6.1.3. Senaryo 1.3-yeşil çatı

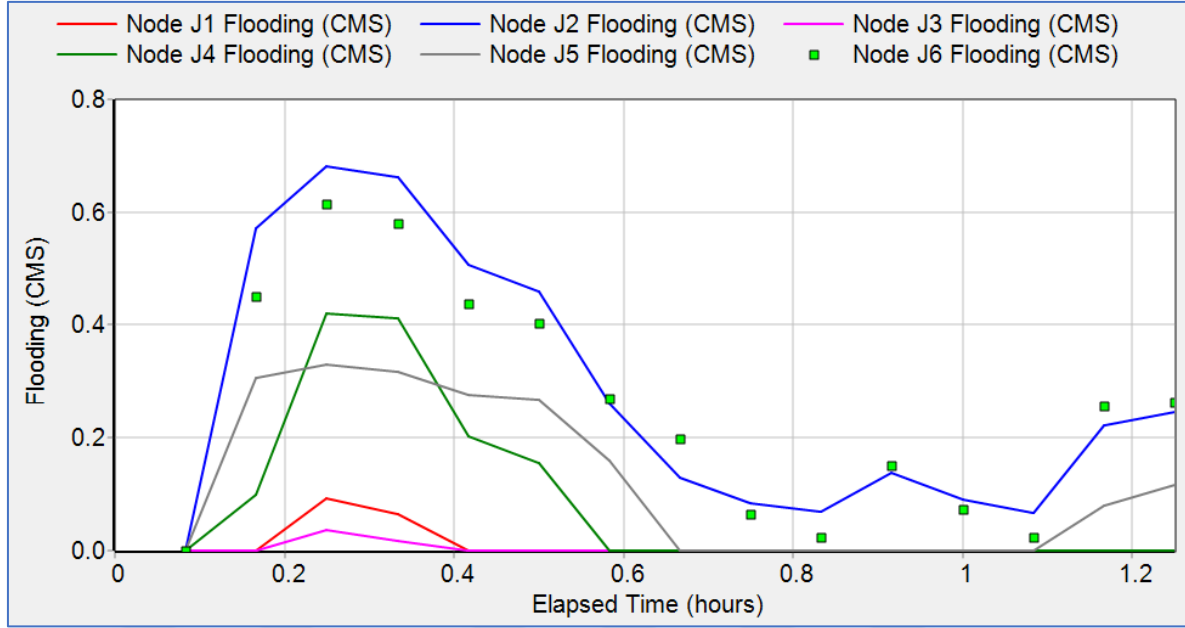
Resim 5.42'ye göre tüm havzalara yeşil çatı uygulaması yapılabilir. S1 için yeşil çatıların alanı 7708,86 m<sup>2</sup>, S2 için 4328,45 m<sup>2</sup>, S3 için 3445,55 m<sup>2</sup>, S4 için 5381,25 m<sup>2</sup>, S5 için 6977,43 m<sup>2</sup>, S6 için 4451,34 m<sup>2</sup>, S7 için 6088,82 m<sup>2</sup>, S8 için 12801,04 m<sup>2</sup>, S9 için 10799,82 m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. S1 yeşil çatıları bulunduğu havza alanının %26,22'sini, S2 çatıları %17,7'sini, S3 çatıları %28,2'sini, S4 çatıları %36,4'ünü, S5 çatıları %38,1'ini, S6 çatıları %35,3'ünü, S7 çatıları %25,9'unu, S8 çatıları %29,4'ünü ve S9 çatıları ise %29,3'ünü kaplamaktadır.

Yeşil çatıların entegrasyonu sonrasında sistemde oluşan toplam taşkın durumu Şekil 6.11'de gösterilmektedir. Sistemde görülen maksimum taşkın 2,17 m<sup>3</sup>/s'dir.



Şekil 6.11. Yeşil çatılar sonrası oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)

Şekil 6.12'de gösterilen grafikte taşkın oluşan düğüm noktaları gösterilmektedir. En fazla taşkın 0,68 m<sup>3</sup>/s ile J2 düğümünde oluşmaktadır. Çizelge 6.6'da tüm düğüm noktalarındaki maksimum taşkın debileri verilmiştir.



Şekil 6.12. Yeşil çatılar sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar (EPA-SWMM)

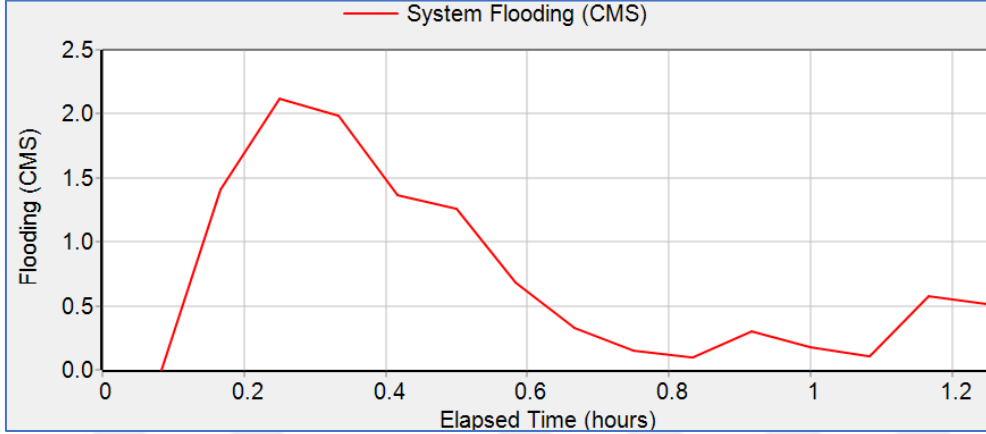
Çizelge 6.6. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar

Düğüm Noktası	Maksimum Taşkın (m <sup>3</sup> /s)
J1	0,09
J2	0,68
J3	0,04
J4	0,42
J5	0,33
J6	0,62

#### 6.1.4. Senaryo 1.4-geçirgen dökeme

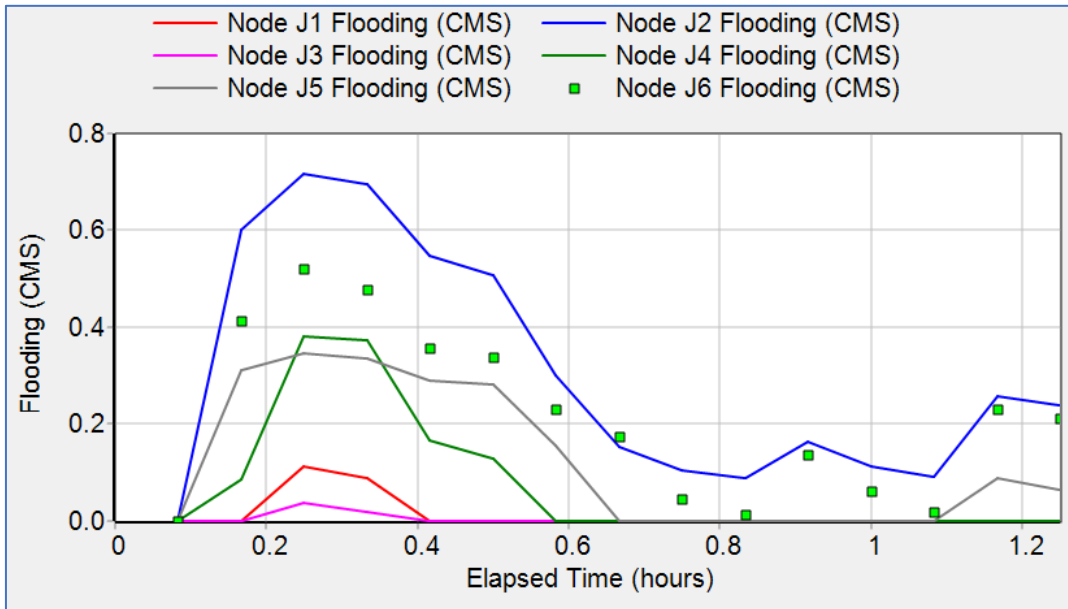
Resim 5.44'e göre tüm havzalara geçirgen dökeme uygulaması yapılabilir. S1 için geçirgen dökemelerin alanı 7154,46 m<sup>2</sup>, S2 için 4638,01 m<sup>2</sup>, S3 için 2325,23 m<sup>2</sup>, S4 için 3638,24 m<sup>2</sup>, S5 için 6639,61 m<sup>2</sup>, S6 için 3474,42 m<sup>2</sup>, S7 için 7903,12 m<sup>2</sup>, S8 için 12694,39 m<sup>2</sup>, S9 için 15904,22 m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. S1 geçirgen dökemeleri bulunduğu havza alanının %24,3'ünü, S2 dökemeleri %18,9'unu, S3 dökemeleri %19,1'ini, S4 dökemeleri %24,6'sını, S5 dökemeleri %36,3'ünü, S6 dökemeleri %27,6'sını, S7 dökemeleri %33,6'sını, S8 dökemeleri %29,1'ini ve S9 dökemeleri ise %43,2'sini kaplamaktadır.

Geçirgen asfaltların entegrasyonu sonrasında sistemde oluşan toplam taşkın durumu Şekil 6.13’de gösterilmektedir. Sistemde görülen maksimum taşkın  $2,11 \text{ m}^3/\text{s}$ ’dir.



Şekil 6.13. Geçirgen asfalt sonrası oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)

Şekil 6.14’de gösterilen grafikte taşkın oluşan düğüm noktaları gösterilmektedir. En fazla taşkın  $0,72 \text{ m}^3/\text{s}$  ile J2 düğümünde oluşmaktadır. Çizelge 6.7’de tüm düğüm noktalarındaki maksimum taşkın debileri verilmiştir.



Şekil 6.14. Geçirgen asfalt sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar (EPA-SWMM)

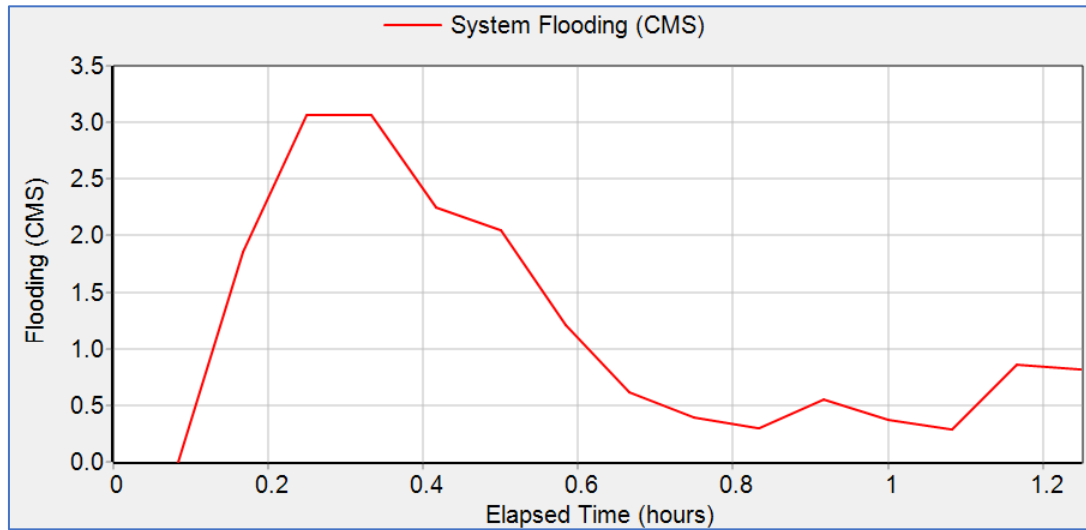
Çizelge 6.7. Dügüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar

Dügüm Noktası	Maksimum Taşkın (m <sup>3</sup> /s)
J1	0,11
J2	0,72
J3	0,04
J4	0,38
J5	0,35
J6	0,52

### 6.1.5. Senaryo 1.5-yağmur varili

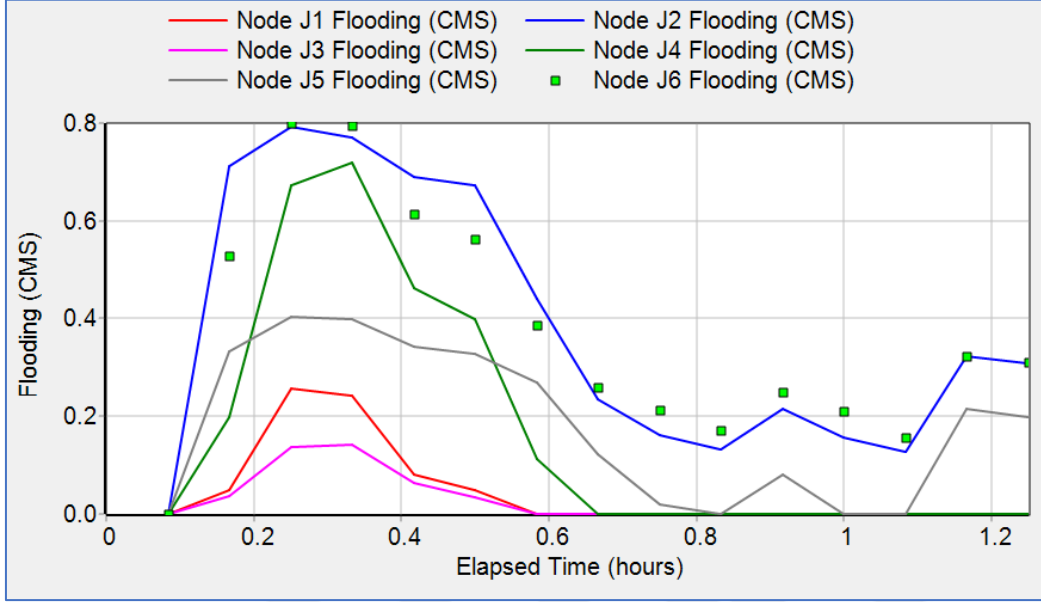
Yağmur varili uygulaması yapılabilecek havzalar Resim 5.46'da gösterilmektedir. S1 havzası için yağmur varili sayısı 19 adet, S2 için 12 adet, S6 için 1 adet, S7 için 46 adet, S8 için 90 adet, S9 için 42 adet olarak hesaplanmıştır. S1 varilleri bulunduğu havza alanının %0,01'ini, S2 varilleri %0,075'ini, S6 varilleri %0,012'sini, S7 varilleri %0,3'ünü, S8 varilleri %0,32'sini ve S9 varilleri ise %0,18'ini kaplamaktadır.

Yağmur varillerinin entegrasyonu sonrasında sistemde oluşan toplam taşkın durumu Şekil 6.15'de gösterilmektedir. Sistemde görülen maksimum taşkın 3,07 m<sup>3</sup>/s'dir.



Şekil 6.15. Yağmur varili sonrası oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)

Şekil 6.16’da gösterilen grafikte taşkın oluşan düğüm noktaları gösterilmektedir. En fazla taşkın 0,80 m<sup>3</sup>/s ile J6 ve 0,79 m<sup>3</sup>/s ile J2 düğümlerinde oluşmaktadır. Çizelge 6.8’de tüm düğüm noktalarındaki maksimum taşkın debileri verilmiştir.

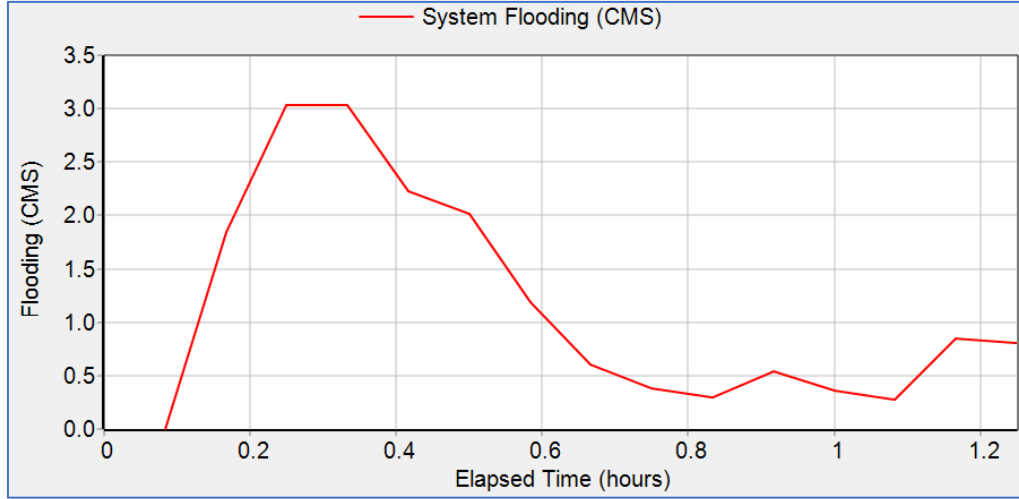


Şekil 6.16. Yağmur varili sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar (EPA-SWMM)

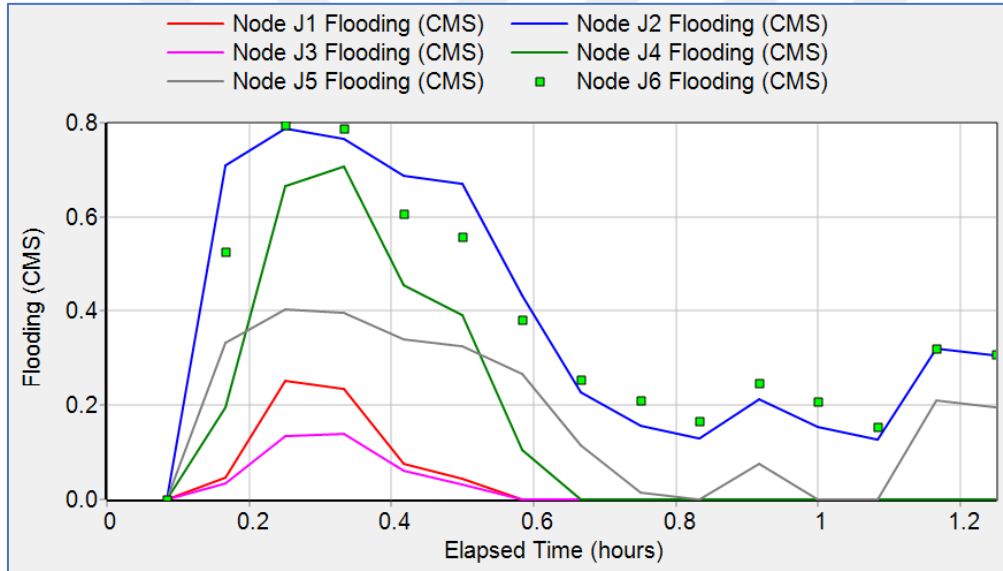
Çizelge 6.8. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (gerçek senaryo)

Düğüm Noktası	Maksimum Taşkın (m <sup>3</sup> /s)
J1	0,26
J2	0,79
J3	0,14
J4	0,72
J5	0,40
J6	0,80

Her havzaya, havza alanının %1’i kadar yağmur varili entegre edilirse, ki bu durumda bile havzalara yüzlerce varil konulması gerekir, sistemdeki toplam taşkın miktarı 3,05 m<sup>3</sup>/s olup Şekil 6.17’de, düğüm noktalarında oluşan taşkınlar Şekil 6.18 ve Çizelge 6.9’da gösterilmektedir.



Şekil 6.17. Yağmur varilleri sonrası oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)



Şekil 6.18. Yağmur varilleri sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar (EPA-SWMM)

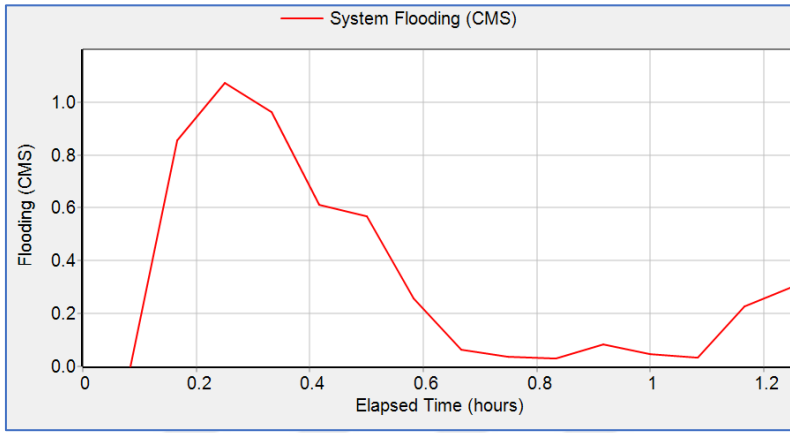
Çizelge 6.9. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (havza %10'u)

Düğüm Noktası	Maksimum Taşkın (m <sup>3</sup> /s)
J1	0,25
J2	0,79
J3	0,14
J4	0,71
J5	0,40
J6	0,80

### 6.1.6. Senaryo 1.6-geçirgen döşeme + yeşil çatı

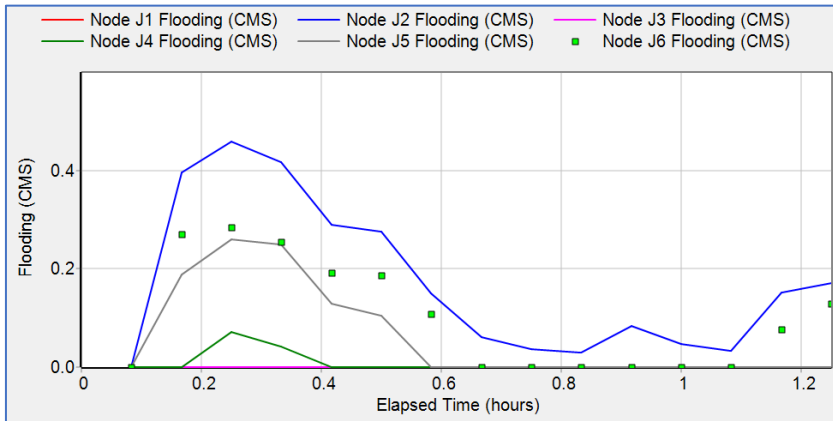
S1 havzası için ilgili kombin, bulunduğu havza alanının %50,5'ini, S2 için %36,6'sını, S3 için %47,3'ünü, S4 için %61'ini, S5 için %74,4'ünü, S6 için %62,6'sını, S7 için %59,5'ini, S8 için %58,5'ini ve S9 için ise %72,5'ini kaplamaktadır.

Geçirgen döşeme ve yeşil çatı entegrasyonu sonrasında sistemde oluşan toplam taşkın durumu Şekil 6.19'da gösterilmektedir. Sistemde görülen maksimum taşkın 1,07 m<sup>3</sup>/s'dir.



Şekil 6.19. Geçirgen asfalt+Yeşil çatı sonrası oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)

Şekil 6.20'de gösterilen grafikte taşkın oluşan düğüm noktaları gösterilmektedir. En fazla taşkın 0,46 m<sup>3</sup>/s ile J2 düğümünde oluşmaktadır. Çizelge 6.10'da tüm düğüm noktalarındaki maksimum taşkın debileri verilmiştir.



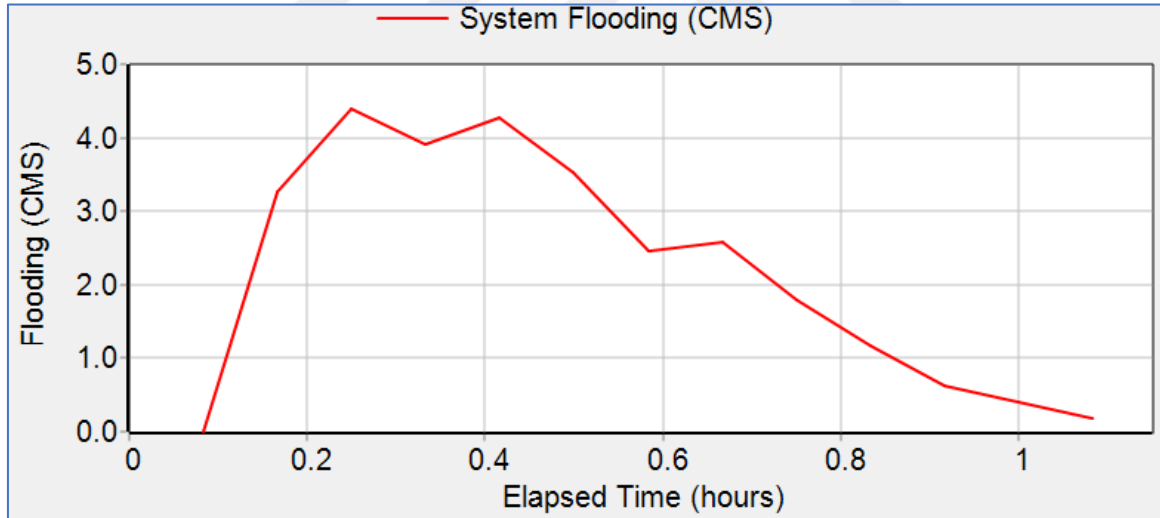
Şekil 6.20. Geçirgen asfalt+Yeşil çatı sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar (EPA-SWMM)

Çizelge 6.10. Dügüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar

Dügüm Noktası	Maksimum Taşkın (m <sup>3</sup> /s)
J1	0,00
J2	0,46
J3	0,00
J4	0,07
J5	0,26
J6	0,28

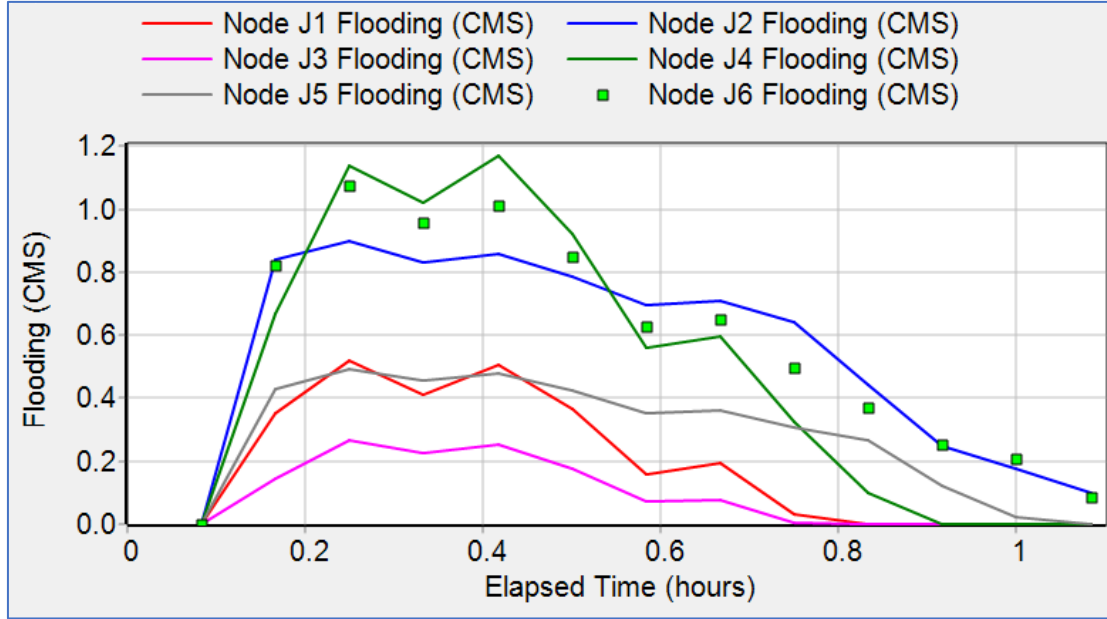
### 6.2. 200 yıl tekerrürlü 1 saatlik yağış (Baz Senaryo-2)

ÇDU olmadan yapılan bu baz modellemde 200 yıl tekerrürlü 1 saatlik yağışta oluşan toplam taşkınlar Şekil 6.21’de gösterilmektedir. Toplam taşkın debisi 4,40 m<sup>3</sup>/s’dir.



Şekil 6.21. 200 yıl tekerrürlü 1 saatlik yağış sonucu oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)

Şekil 6.22’de gösterilen grafikte taşkın oluşan düğüm noktaları gösterilmektedir. En fazla taşkın 1,17 m<sup>3</sup>/s ile J4 düğümünde oluşmaktadır. Çizelge 6.11’de tüm düğüm noktalarındaki maksimum taşkın debileri verilmiştir.



Şekil 6.22. Düğüm noktalarında oluşan taşkınlar (EPA-SWMM)

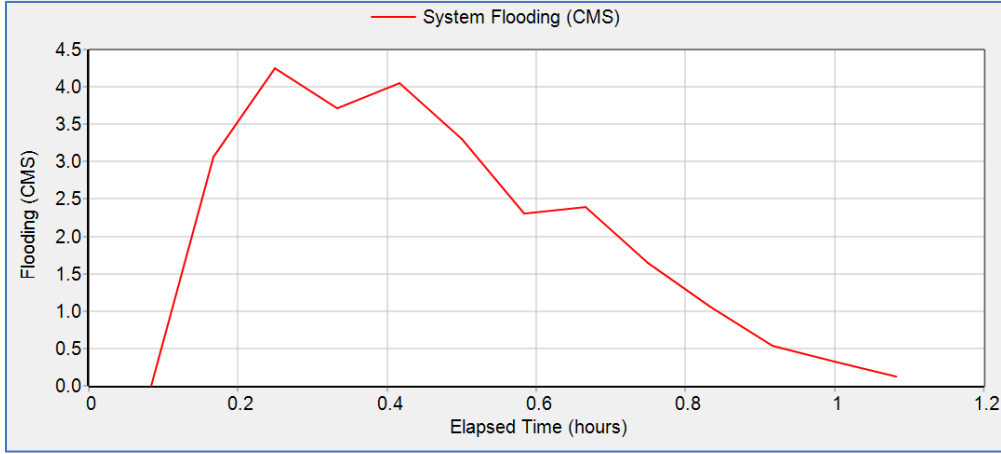
Çizelge 6.11. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar

Düğüm Noktası	Maksimum Taşkın (m <sup>3</sup> /s)
J1	0,52
J2	0,90
J3	0,27
J4	1,17
J5	0,49
J6	1,08

Sisteme ÇDU tanımlanarak elde edilen bulgular aşağıda belirtilmektedir.

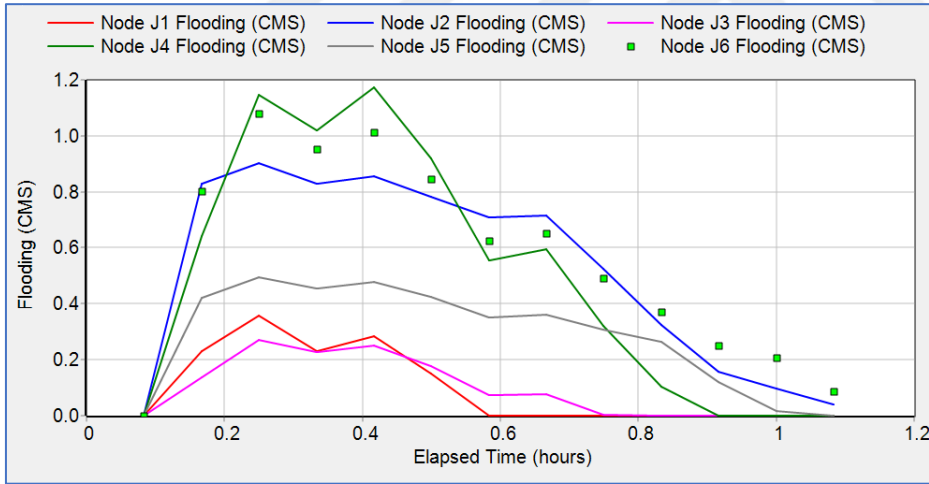
### 6.2.1. Senaryo 2.1-biyotutma havuzu

Biyotutma havuzlarının Resim 5.38'e göre entegrasyonu sonrasında sistemde oluşan toplam taşkın durumu Şekil 6.23'de gösterilmektedir. Sistemde görülen maksimum taşkın 4,25 m<sup>3</sup>/s'dir.



Şekil 6.23. Biyotutma havuzu sonrası oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)

Şekil 6.24’de gösterilen grafikte taşkın oluşan düğüm noktaları gösterilmektedir. En fazla taşkın 1,17 m<sup>3</sup>/s ile J4 düğümünde oluşmaktadır. Çizelge 6.12’de tüm düğüm noktalarındaki maksimum taşkın debileri verilmiştir.

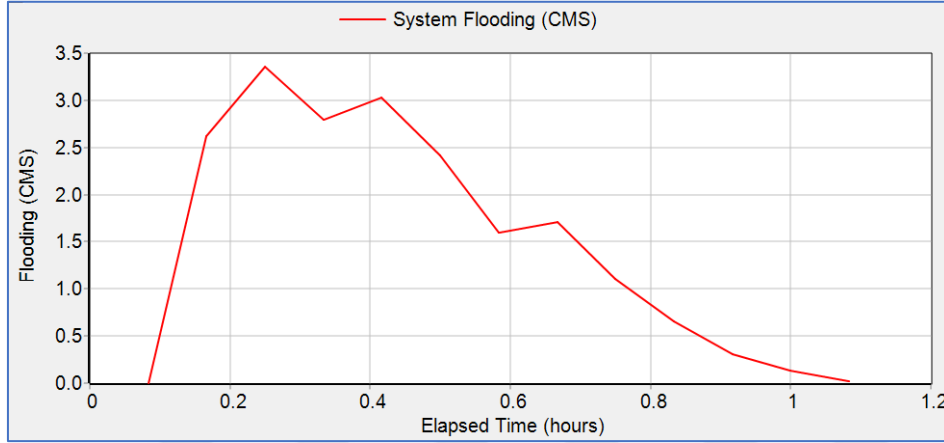


Şekil 6.24. Biyotutma havuzu sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar (EPA-SWMM)

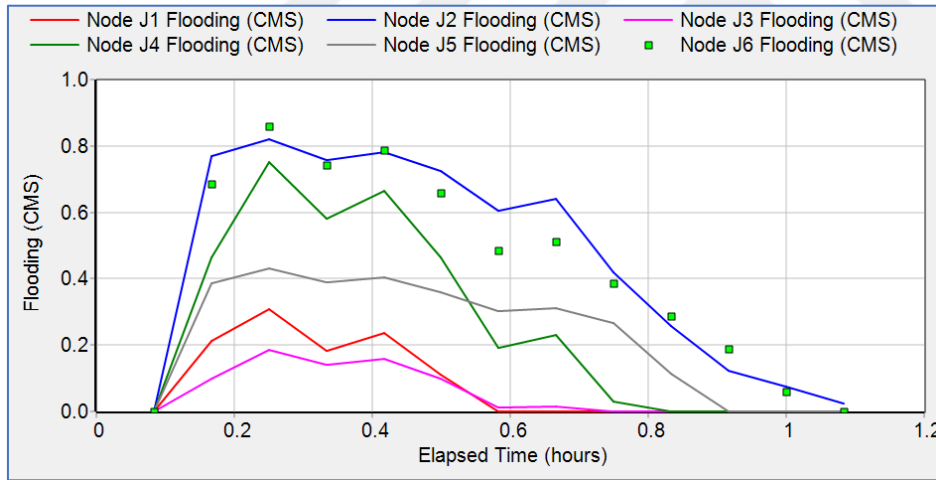
Çizelge 6.12. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (gerçek senaryo)

Düğüm Noktası	Maksimum Taşkın (m <sup>3</sup> /s)
J1	0,36
J2	0,90
J3	0,27
J4	1,17
J5	0,50
J6	1,08

Her havzaya, havza alanının %10'u kadar biyotutma havuzu entegre edilirse sistemdeki toplam taşkın miktarı 3,36 m<sup>3</sup>/s olup Şekil 6.25'de, düğüm noktalarında oluşan taşkınlar Şekil 6.26 ve Çizelge 6.13'de gösterilmektedir.



Şekil 6.25. Biyotutma havuzu sonrası oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)



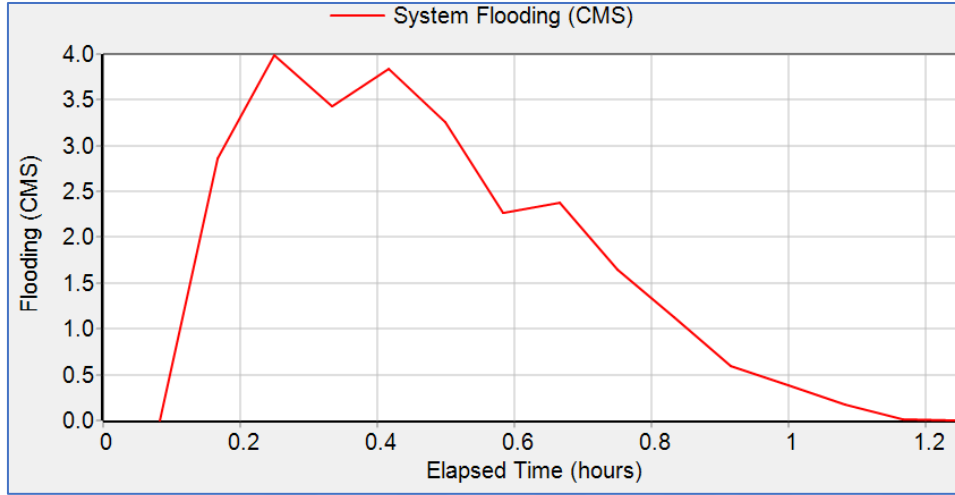
Şekil 6.26. Biyotutma havuzu sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar (EPA-SWMM)

Çizelge 6.13. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (havza %10'u)

Düğüm Noktası	Maksimum Taşkın (m <sup>3</sup> /s)
J1	0,31
J2	0,82
J3	0,19
J4	0,75
J5	0,43
J6	0,86

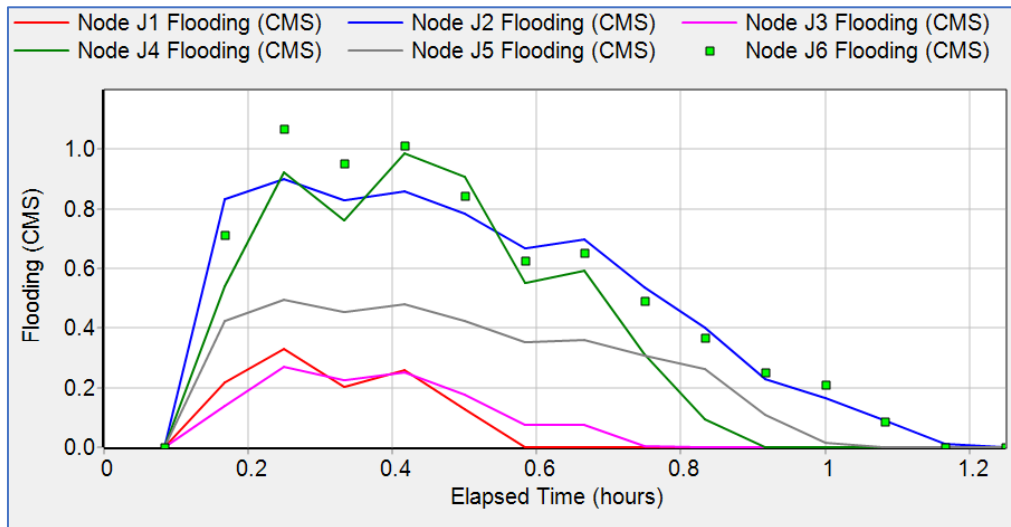
### 6.2.2. Senaryo 2.2-yağmur bahçesi

Yağmur bahçelerinin Resim 5.40'a göre entegrasyonu sonrasında sistemde oluşan toplam taşkın durumu Şekil 6.27'de gösterilmektedir. Sistemde görülen maksimum taşkın 3,99 m<sup>3</sup>/s'dir.



Şekil 6.27. Yağmur bahçeleri sonrası oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)

Şekil 6.28'de gösterilen grafikte taşkın oluşan düğüm noktaları gösterilmektedir. En fazla taşkın 1,07 m<sup>3</sup>/s ile J6 düğümünde oluşmaktadır. Çizelge 6.14'de tüm düğüm noktalarındaki maksimum taşkın debileri verilmiştir.

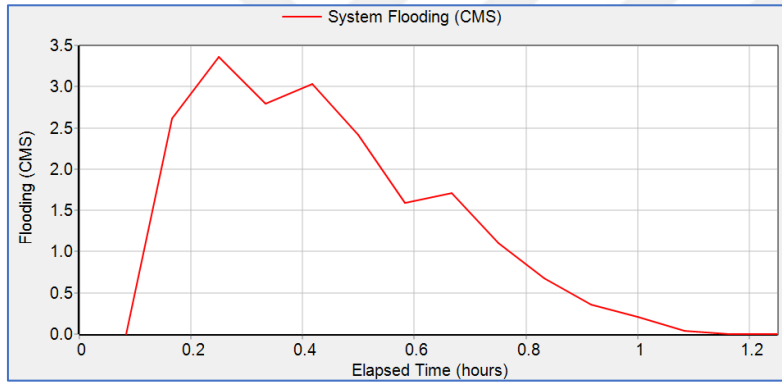


Şekil 6.28. Yağmur bahçesi sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar (EPA-SWMM)

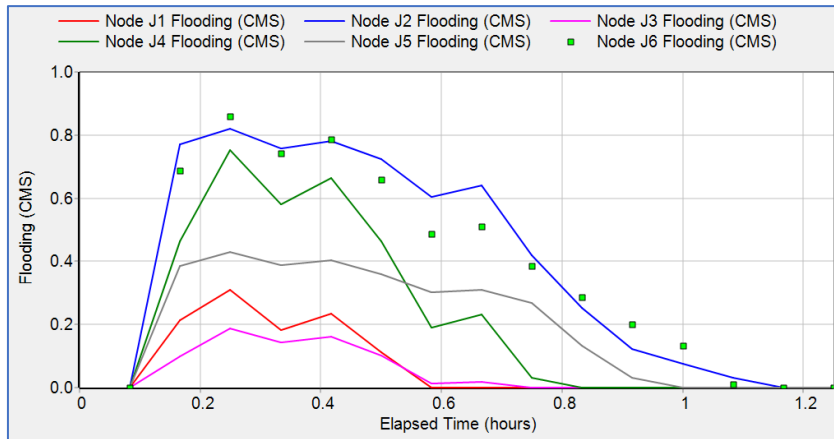
Çizelge 6.14. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (gerçek senaryo)

Düğüm Noktası	Maksimum Taşkın (m <sup>3</sup> /s)
J1	0,33
J2	0,90
J3	0,27
J4	0,98
J5	0,50
J6	1,07

Her havzaya, havza alanının %10'u kadar yağmur bahçesi entegre edilirse sistemdeki toplam taşkın miktarı 3,36 m<sup>3</sup>/s olup Şekil 6.29'da, düğüm noktalarında oluşan taşkınlar Şekil 6.30 ve Çizelge 6.15'de gösterilmektedir.



Şekil 6.29. Yağmur bahçesi sonrası oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)



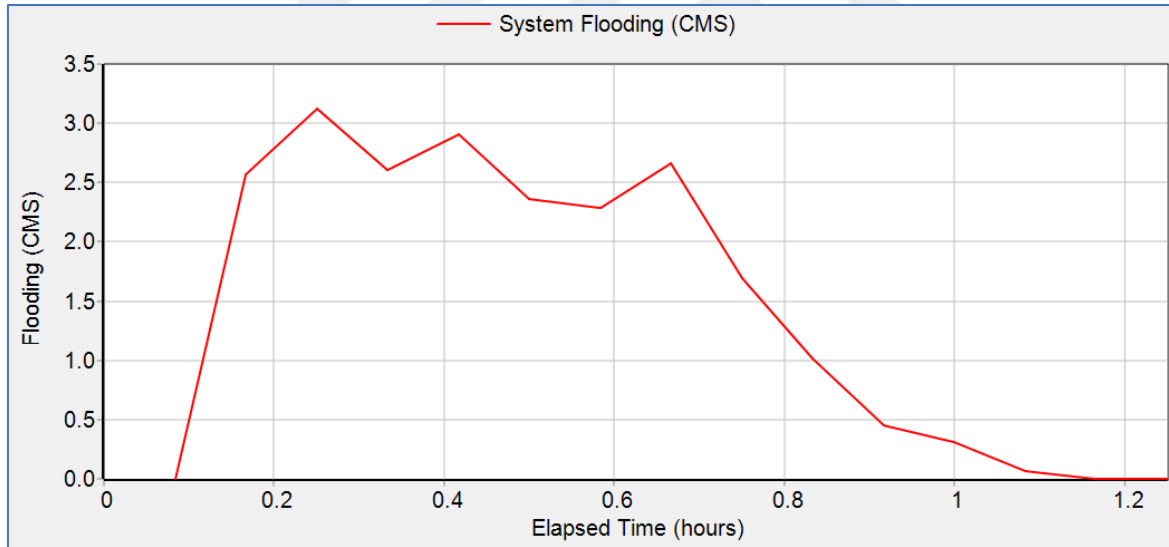
Şekil 6.30. Yağmur bahçesi sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar (EPA-SWMM)

Çizelge 6.15. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (havza %10'u)

Düğüm Noktası	Maksimum Taşkın (m <sup>3</sup> /s)
J1	0,31
J2	0,82
J3	0,19
J4	0,75
J5	0,43
J6	0,86

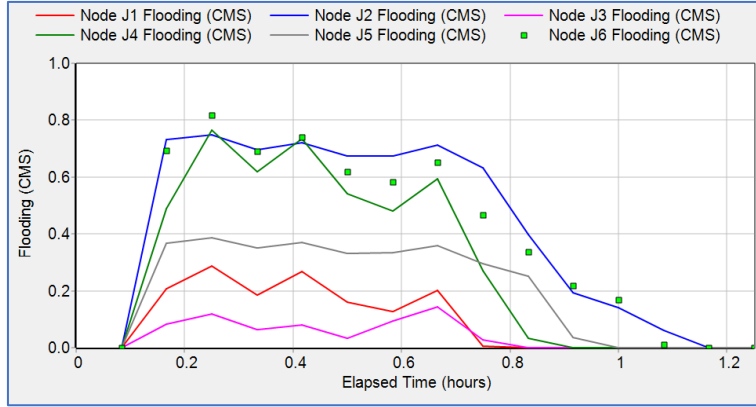
### 6.2.3. Senaryo 2.3-yeşil çatı

Yeşil çatıların Resim 5.42'ye göre entegrasyonu sonrasında sistemde oluşan toplam taşkın durumu Şekil 6.31'de gösterilmektedir. Sistemde görülen maksimum taşkın 3,12 m<sup>3</sup>/s'dir.



Şekil 6.31. Yeşil çatılar sonrası oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)

Şekil 6.32'de gösterilen grafikte taşkın oluşan düğüm noktaları gösterilmektedir. En fazla taşkın 0,82 m<sup>3</sup>/s ile J6 düğümünde oluşmaktadır. Çizelge 6.16'da tüm düğüm noktalarındaki maksimum taşkın debileri verilmiştir.



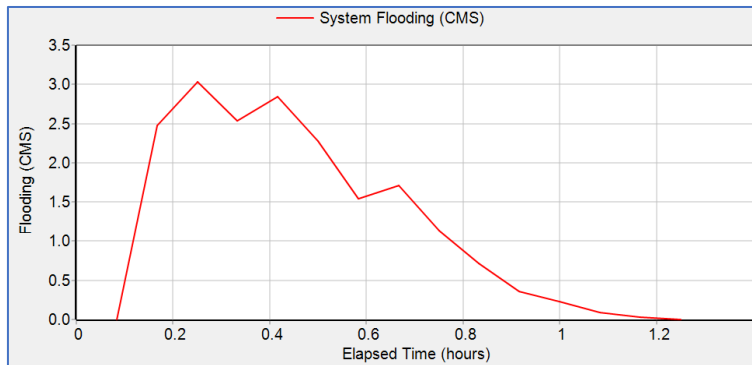
Şekil 6.32. Yeşil çatılar sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar (EPA-SWMM)

Çizelge 6.16. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar

Düğüm Noktası	Maksimum Taşkın (m <sup>3</sup> /s)
J1	0,29
J2	0,75
J3	0,14
J4	0,76
J5	0,39
J6	0,82

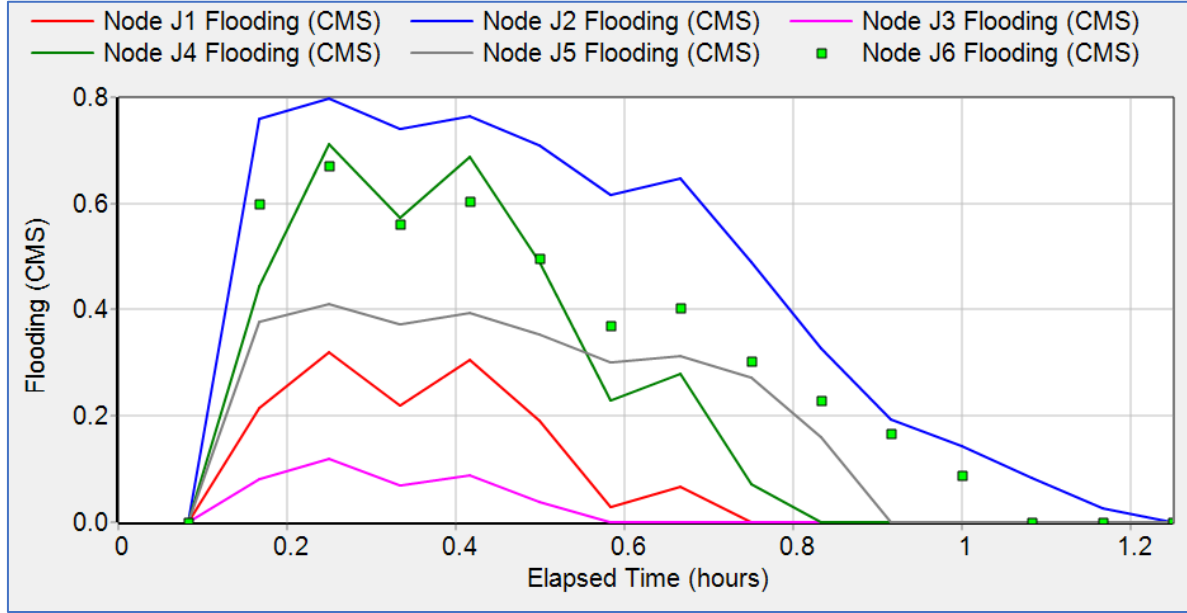
#### 6.2.4. Senaryo 2.4-geçirgen döşeme

Geçirgen asfaltların Resim 5.44'e göre entegrasyonu sonrasında sistemde oluşan toplam taşkın durumu Şekil 6.33'de gösterilmektedir. Sistemde görülen maksimum taşkın 3,03 m<sup>3</sup>/s'dir.



Şekil 6.33. Geçirgen asfalt sonrası oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)

Şekil 6.34'de gösterilen grafikte taşkın oluşan düğüm noktaları gösterilmektedir. En fazla taşkın 0,80 m<sup>3</sup>/s ile J2 düğümünde oluşmaktadır. Çizelge 6.17'de tüm düğüm noktalarındaki maksimum taşkın debileri verilmiştir.



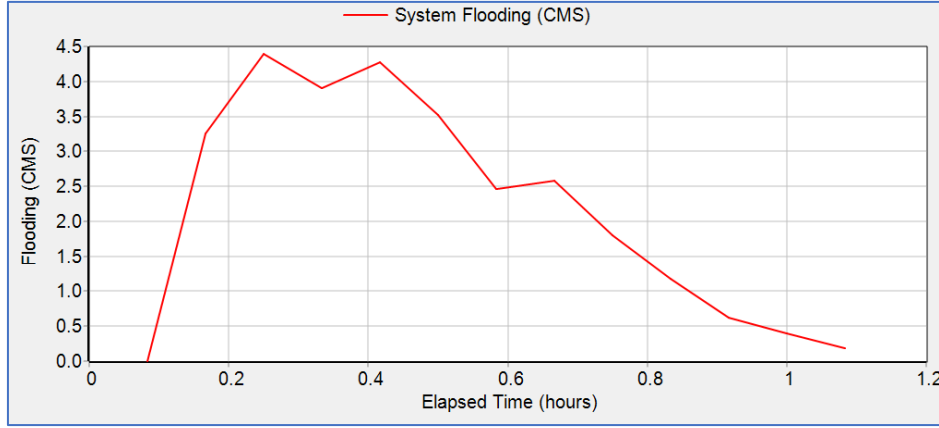
Şekil 6.34. Geçirgen asfalt sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar (EPA-SWMM)

Çizelge 6.17. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar

Düğüm Noktası	Maksimum Taşkın (m <sup>3</sup> /s)
J1	0,32
J2	0,80
J3	0,12
J4	0,71
J5	0,41
J6	0,67

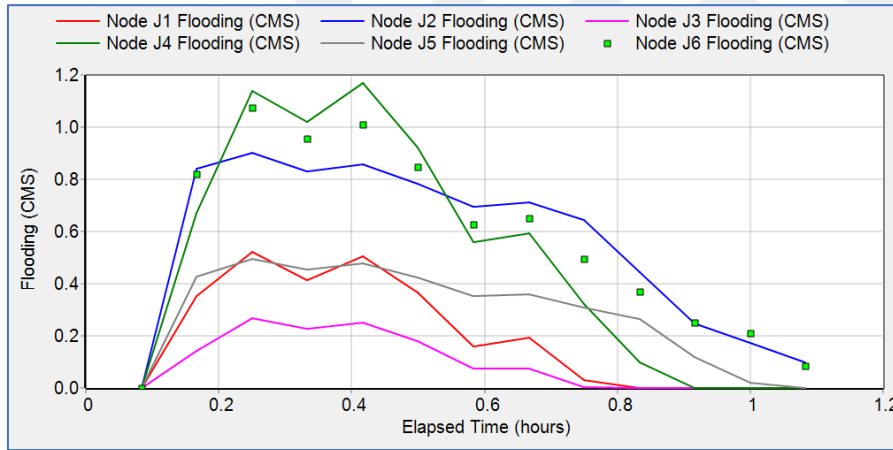
### 6.2.5. Senaryo 2.5-yağmur varili

Yağmur varillerinin Resim 5.46'ya göre entegrasyonu sonrasında sistemde oluşan toplam taşkın durumu Şekil 6.35'de gösterilmektedir. Sistemde görülen maksimum taşkın 4,40 m<sup>3</sup>/s'dir.



Şekil 6.35. Yağmur varili sonrası oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)

Şekil 6.36'da gösterilen grafikte taşkın oluşan düğüm noktaları gösterilmektedir. En fazla taşkın 1,17 m<sup>3</sup>/s ile J4 düğümünde oluşmaktadır. Çizelge 6.18'de tüm düğüm noktalarındaki maksimum taşkın debileri verilmiştir.

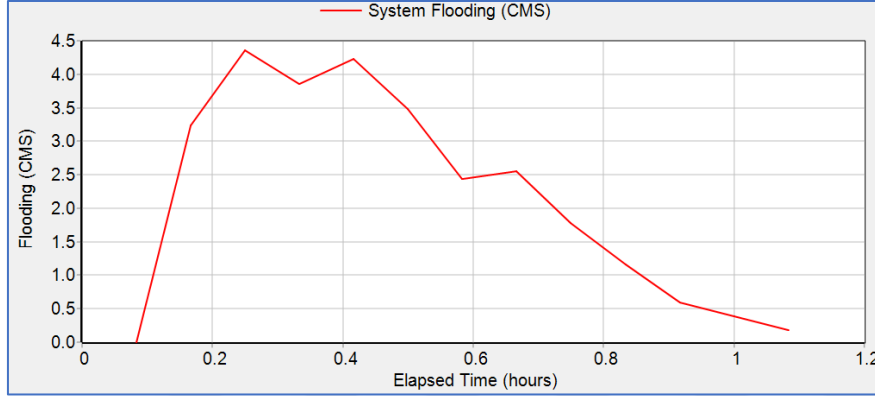


Şekil 6.36. Yağmur varili sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar (EPA-SWMM)

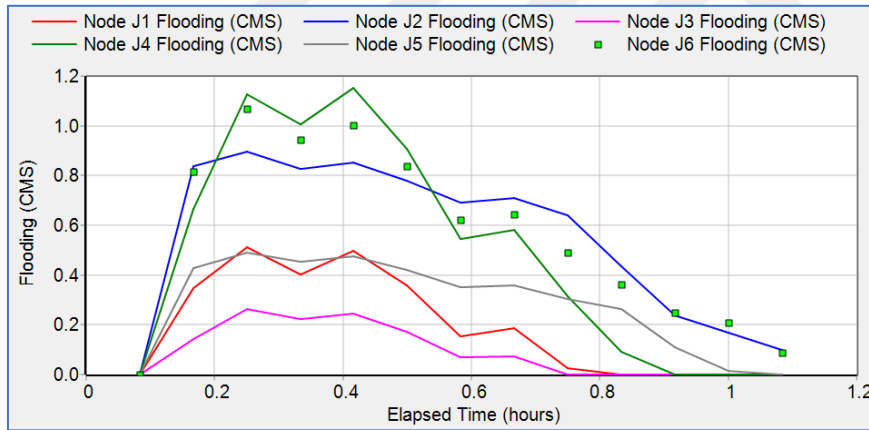
Çizelge 6.18. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (gerçek senaryo)

Düğüm Noktası	Maksimum Taşkın (m <sup>3</sup> /s)
J1	0,52
J2	0,90
J3	0,27
J4	1,17
J5	0,49
J6	1,08

Her havzaya, havza alanının %1'i kadar yağmur varili entegre edilirse, ki bu durumda bile havzalara yüzlerce varil konulması gerekir, sistemdeki toplam taşkın miktarı 4,36 m<sup>3</sup>/s olup Şekil 6.37'de, düğüm noktalarında oluşan taşkınlar Şekil 6.38 ve Çizelge 6.19'da gösterilmektedir.



Şekil 6.37. Yağmur varilleri sonrası oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)



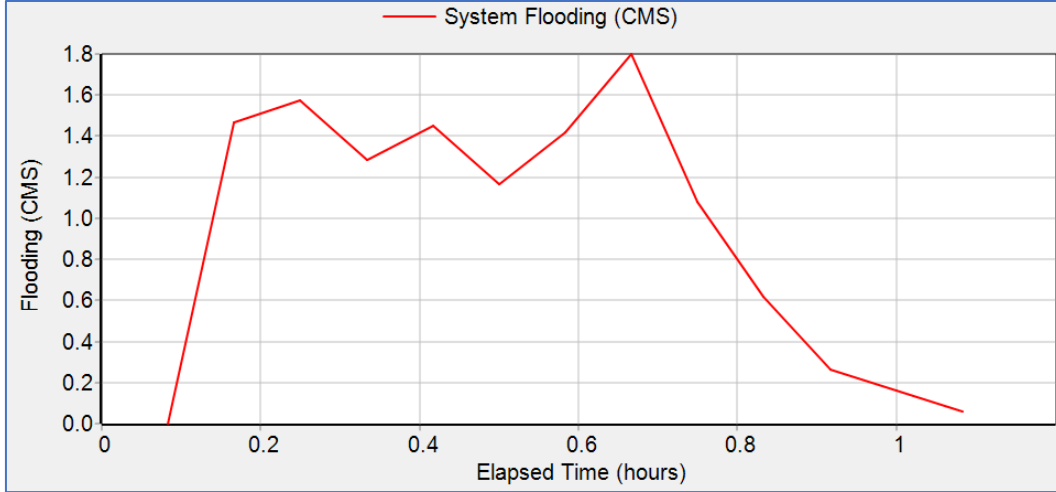
Şekil 6.38. Yağmur varilleri sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar (EPA-SWMM)

Çizelge 6.19. Düğüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar (havza %10'u)

Düğüm Noktası	Maksimum Taşkın (m <sup>3</sup> /s)
J1	0,51
J2	0,90
J3	0,26
J4	1,15
J5	0,49
J6	1,07

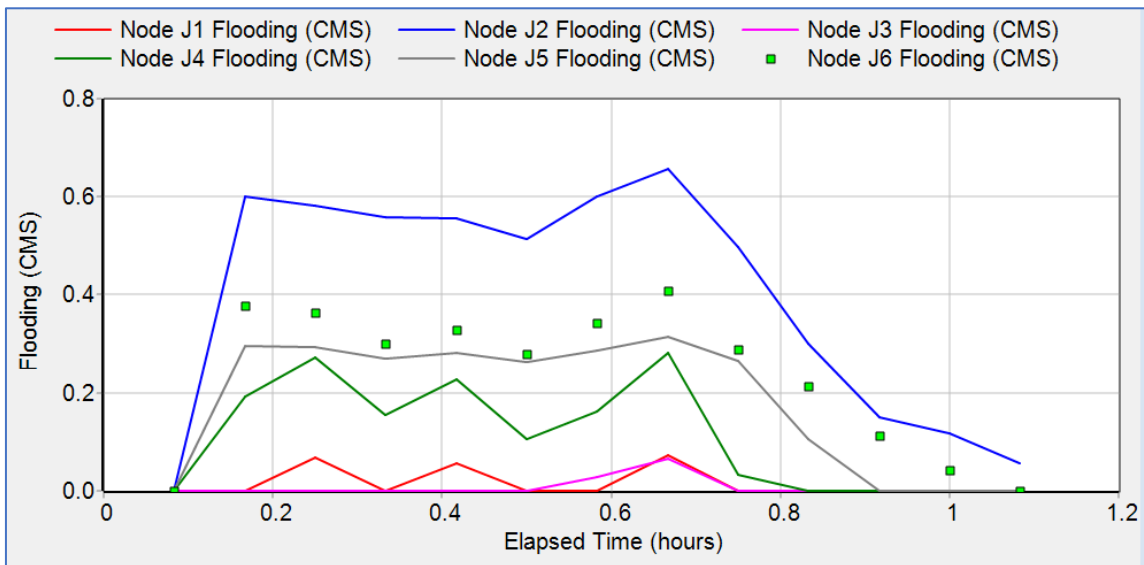
### 6.2.6. Senaryo 2.6-geçirgen döşeme + yeşil çatı

Geçirgen döşeme ve yeşil çatı entegrasyonu sonrasında sistemde oluşan toplam taşkın durumu Şekil 6.39'da gösterilmektedir. Sistemde görülen maksimum taşkın  $1,80 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir.



Şekil 6.39. Geçirgen asfalt+Yeşil çatı sonrası oluşan toplam taşkın (EPA-SWMM)

Şekil 6.40'da gösterilen grafikte taşkın oluşan düğüm noktaları gösterilmektedir. En fazla taşkın  $0,66 \text{ m}^3/\text{s}$  ile J2 düğümünde oluşmaktadır. Çizelge 6.20'da tüm düğüm noktalarındaki maksimum taşkın debileri verilmiştir.



Şekil 6.40. Geçirgen asfalt+Yeşil çatı sonrası düğüm noktalarındaki taşkınlar (EPA-SWMM)

Çizelge 6.20. Dügüm noktalarında oluşan maksimum taşkınlar

Dügüm Noktası	Maksimum Taşkın (m <sup>3</sup> /s)
J1	0,07
J2	0,66
J3	0,07
J4	0,28
J5	0,31
J6	0,41





## 7. TARTIŞMA, SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında Ankara ili Mamak ilçesi Türközü mahallesi 435. ve 438. sokaklarından geçen bir yağmur suyu toplama hattı modellenmiştir. İlgili tasarım EPA-SWMM yazılımı ile modellenmiştir.  $\Phi 400$  çapında borularla kurulan sisteme göre taşkınlar 11.06.2023 tarihli ve 200 yıl tekerrürlü yağışlar dikkate alınarak sistemin “biyotutma havuzu”, “yağmur bahçeleri”, “yeşil çatı”, “geçirgen döşeme” ve “yağmur varili” ÇDU’larıyla performansı analiz edilmiştir. Tüm sonuçlar Çizelge 7.1 ve 7.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 7.1. 11.06.2023 tarihli yağış için ÇDU performansları

		Max. Taşma (m <sup>3</sup> /s)	Taşmaya olan etki (%)	Düğümlerdeki Taşmalar (m <sup>3</sup> /s) (gerçek senaryo)					
				J1	J2	J3	J4	J5	J6
11.06.2023	Baz Senaryo	3,07		0,26	0,79	0,14	0,72	0,40	0,80
	Senaryo 1 Biyotutma havuzları	2,94	4,23	0,15	0,79	0,14	0,72	0,40	0,80
	Senaryo 2 Yağmur bahçeleri	2,74	10,75	0,13	0,79	0,14	0,53	0,40	0,79
	Senaryo 3 Yeşil Çatılar	2,17	29,32	0,09	0,68	0,04	0,42	0,33	0,62
	Senaryo 4 Geçirgen döşemeler	2,11	31,27	0,11	0,72	0,04	0,38	0,35	0,52
	Senaryo 5 Yağmur varilleri	3,07	0,00	0,26	0,79	0,14	0,72	0,40	0,80
	Yeşil Çatı + Geçirgen Döşeme	1,07	63,61	0,00	0,46	0,00	0,07	0,26	0,28

Çizelge 7.2. 200 yıl tekerrürlü 1 saatlik yağış için ÇDU performansları

		Max. Taşma (m <sup>3</sup> /s)	Taşmaya olan etki (%)	Düğümlerdeki Taşmalar (m <sup>3</sup> /s) (gerçek senaryo)					
				J1	J2	J3	J4	J5	J6
200 yıl tekerrürlü 1 saatlik yağış	Baz Senaryo	4,40		0,52	0,90	0,27	1,17	0,49	1,08
	Senaryo 1 Biyotutma havuzları	4,25	3,41	0,36	0,90	0,27	1,17	0,49	1,08
	Senaryo 2 Yağmur bahçeleri	3,99	9,32	0,33	0,90	0,27	0,98	0,50	1,07
	Senaryo 3 Yeşil Çatılar	3,12	29,09	0,29	0,75	0,14	0,76	0,39	0,82
	Senaryo 4 Geçirgen döşemeler	3,03	31,14	0,32	0,80	0,12	0,71	0,41	0,67
	Senaryo 5 Yağmur varilleri	4,40	0,00	0,52	0,90	0,27	1,17	0,49	1,08
	Senaryo 6 Yeşil Çatı + Geçirgen Döşeme	1,80	57,65	0,07	0,66	0,07	0,28	0,31	0,41

Çizelge 7.1 ve 7.2'ye göre yeşil çatı ve geçirgen döşemenin performansları diğer ÇDU'lara göre oldukça avantaj taşımaktadır. Bu kapsamda yeşil çatı ve geçirgen döşeme kombinasyonu analiz edilmiş ve en iyi sonucu verdiği izlenmiştir.

Biyotutma havuzlarının sadece J1 düğümünde fark yaratmasının sebebi, havuzların her alt havzaya konuşlandırılmamasındandır. Yağmur bahçelerinin etkisinin de biyotutma havuzlarıyla benzer olmasının sebebi aynıdır. Yağmur bahçelerinin etki ettiği düğüm noktalarında, J1 düğümündeki etki oranı %50 iken, J4 düğümünde etki oranının %26 olmasının sebebi hem havzada kapladığı alanla hem de J4 düğümünü besleyen havzaya yerleştirilen yağmur bahçelerinin yüzey akışını doğrudan depolamayıp dolaylı etkisinin olmasıyla açıklanabilir. Çizelge 7.3'te havzada kapladığı alanlar eşitlendiğinde ise J1'e etki oranı %57 iken J4'e olan etki oranı %43 olarak ölçülmüştür ki bu durum da yüzey akışına göre olan konumlandırmayı doğrulamaktadır. Yağmur varillerinin ise hiçbir etkisinin olmaması tamamen hacimlerinin düşük kalmasıyla açıklanabilir. Bu sebepten biyotutma havuzları, yağmur bahçeler ve yağmur varillerinin havza alanına göre kapladığı alan artırılmış ve farklı senaryodaki performansları analiz edilmiştir. Her bir alt havzanın %10'luk bir alanını kaplayan biyotutma havuzu veya yağmur bahçesi veya %1'lik bir alanını kaplayan yağmur varilleri sisteme entegre edildiğinde çıkan sonuç 11.06.2023 tarihli yağış ve 200 yıl tekerrürlü 1 saatlik yağış için Çizelge 7.3 ve 7.4'de verilmiştir.

Çizelge 7.3. 11.06.2023 tarihli yağış için alternatif senaryodaki ÇDU performansları

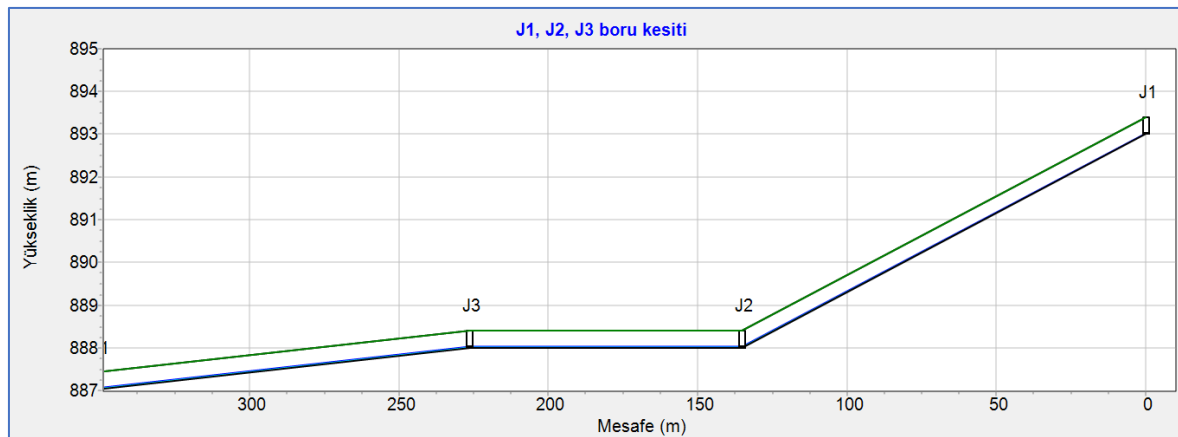
		Max. Taşma (m <sup>3</sup> /s )	Taşmaya olan etki (%)	Düğümlerdeki Taşmalar (m <sup>3</sup> /s ) (alternatif senaryo)					
				J1	J2	J3	J4	J5	J6
11.06.2023	Baz Senaryo	3,07		0,26	0,79	0,14	0,72	0,40	0,80
	Senaryo 1 Biyotutma havuzları	2,34	23,78	0,08	0,73	0,08	0,42	0,36	0,65
	Senaryo 2 Yağmur bahçeleri	2,34	23,78	0,11	0,73	0,08	0,41	0,36	0,65
	Senaryo 5 Yağmur varilleri	3,05	0,65	0,25	0,79	0,14	0,71	0,40	0,80

Çizelge 7.4. 200 yıl tekerrürlü 1 saatlik yağış için alternatif senaryodaki ÇDU performansları

		Max. Taşma (m <sup>3</sup> /s)	Taşmaya olan etki (%)	Düğümlerdeki Taşmalar (m <sup>3</sup> /s) (alternatif senaryo)					
				J1	J2	J3	J4	J5	J6
200 yıl tekerrürlü 1 saatlik yağış	Baz Senaryo	4,40		0,52	0,90	0,27	1,17	0,49	1,08
	Senaryo 1 Biyotutma havuzları	3,36	23,64	0,31	0,82	0,19	0,75	0,43	0,86
	Senaryo 2 Yağmur bahçeleri	3,36	23,64	0,31	0,82	0,19	0,75	0,43	0,86
	Senaryo 5 Yağmur varilleri	4,36	0,91	0,51	0,90	0,26	1,15	0,49	1,07

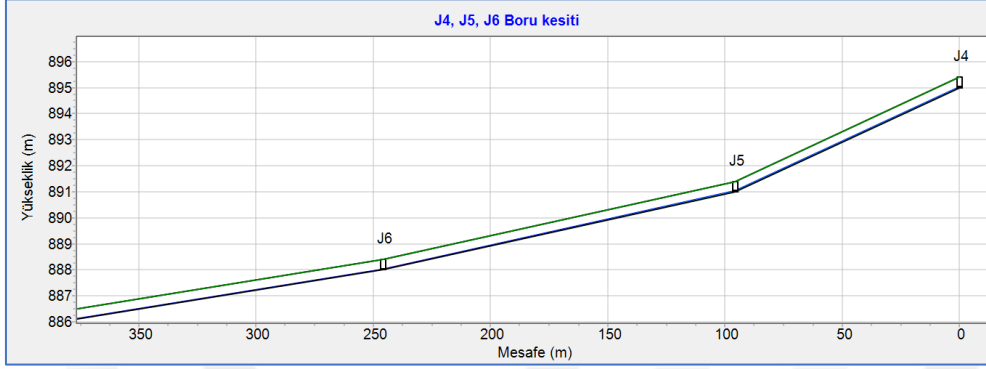
Çizelge 7.3 ve 7.4'deki sonuçlara göre, depolama parametresine sahip simülasyonda kullanılan ÇDU'ların etkili bir performans gösterebilmesi için olabildiğince geniş alanlara uygulanması gerekmektedir.

Çizelge 7.1 ve 7.2'de verilen sonuçlara göre yeşil çatılar ve geçirgen döşemelerin düğümlerdeki farklı orandaki performanslarıysa düğüm ve havza parametreleri ile açıklanabilir. Şekil 7.1'e göre J2 düğümü, boru eğimi sebebiyle hidrolik sıçramaya maruz kalmaktadır. Ayrıca J2-J3 hattındaki eğimin 0 olması sebebiyle, J2 düğümünde fazla taşkınların görülmesinin olağan olduğu düşünülmektedir.



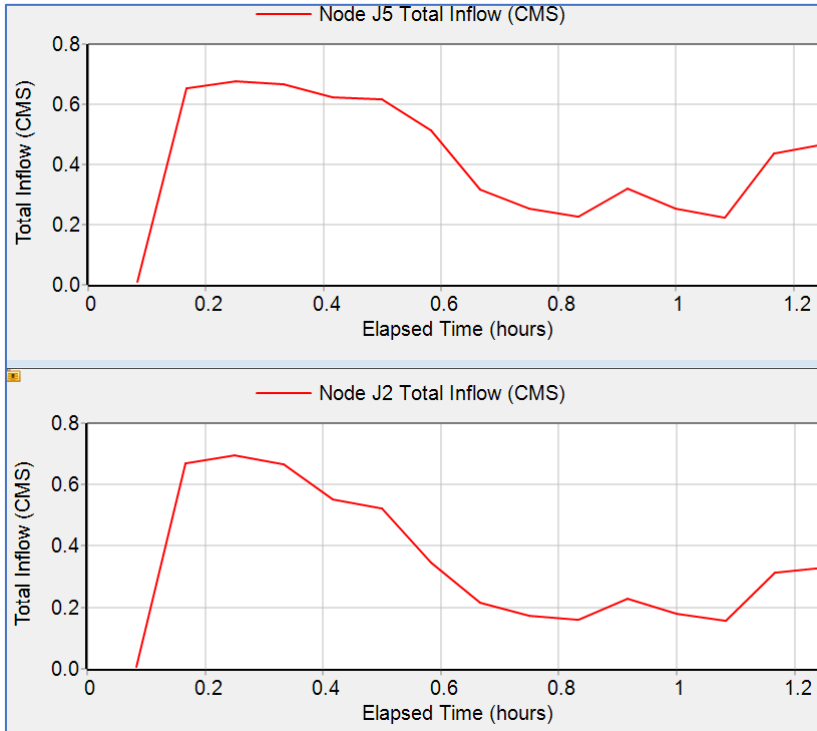
Şekil 7.1. J1, J2, J3 Boru kesiti

J5-J6 boru hattında akış için yeterli eğim olmasına karşın, J5'teki etki düzeyinin az olmasının sebebinin, içinde bulunduğu boru hattına gelen akış yükünün daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

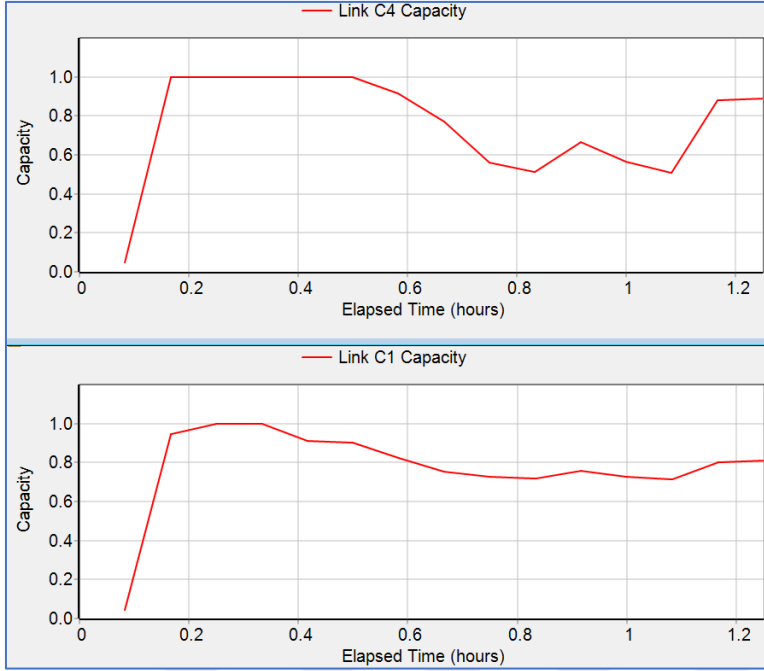


Şekil 7.2. J4, J5, J6 Boru kesiti

Şekil 7.3 incelediğinde J5 düğümündeki toplam akışın J2'ye göre daha uzun süre maksimumda devam ettiği gözlemlenmektedir. Aynı şekilde J5 ve J2 düğümlerini besleyen C4 ve C1 boru hatlarının karşılaştırmasını gösteren Şekil 7.4'e göre J5 düğümünü besleyen C4 boru hattında daha uzun süre tam doluluk ile akış gerçekleştiği görülmektedir.

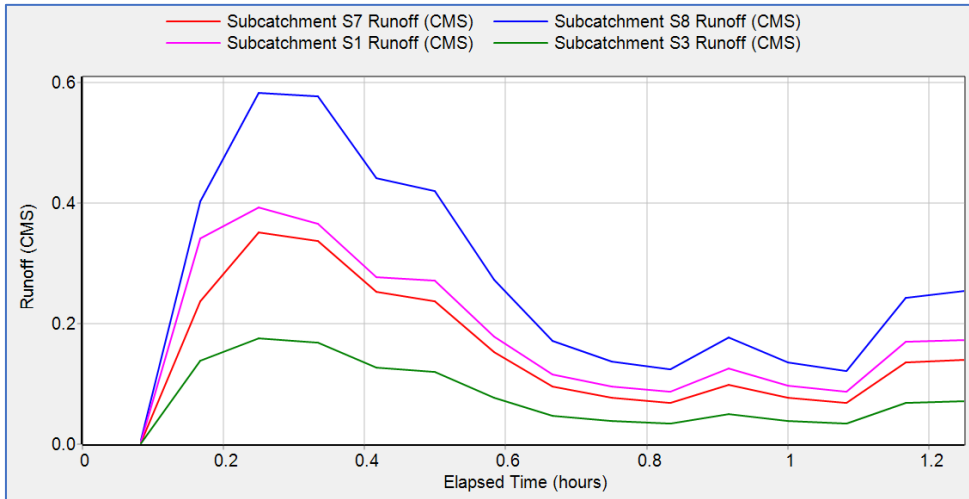


Şekil 7.3. J5-J2 Düğümleri karşılaştırması



Şekil 7.4. C4-C1 Boru hatları karşılaştırması

C4 boru hattının C1'e göre daha uzun süre tam dolu kapasitede akış taşıması C4'ü besleyen havzalardaki yüzey akışının daha fazla olduğunu düşündürmektedir. Bu durum Şekil 7.5'de gösterilmektedir.



Şekil 7.5. C1 ve C4'ü besleyen havzaların yüzey akışları

Sonuç olarak biyotutma havuzu ve yağmur bahçeleri zaten geçirimli alanlara konuşlandırıldığı için taşkınlara karşı performanslarının etkisini artırmak için alanlarının artırılması gerektiği gözükmektedir. Yağmur varillerinin ise etkili olmaları için hacim olarak yeterli düzeye ulaşamadığı gözlemlenmiştir. Çarpık yerleşimli kentlerde etkili bir yağmur

varili performansına ulaşabilmek için binlerce varil gerekmektedir. Geçirgen döşemelerin ve yeşil çatıların ise ayrı ayrı ve bilhassa birlikte uygulandığı zaman taşkınları önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Geçirgen döşeme + Yeşil çatı kombinasyonu kullanıldığında ise 11.06.2023 yağışında taşkını tamamen engellediği düğüm noktaları bulunmaktadır. 200 yıl tekerrürlü bir yağışta bile taşkın neredeyse sıfır olarak ölçüldüğü performanslar mevcuttur. Geçirgen döşeme + Yeşil çatı kombinasyonu her düğümde baz senaryo verilerini ciddi oranda azaltmaktadır.

Bu tez kapsamında yapılan araştırmaya göre ortaya çıkan yeşil çatı bulgularına istinaden, ülkemizde halihazırda inşaatı tamamlanmış binalara yeşil çatıların nasıl uygulanabileceği ve maliyet analizi başka bir çalışmanın konusu olabilecektir. Maliyetlerine kısaca değinmek gerekirse küçük ölçekli yeşil çatılar 20-30 m<sup>2</sup> için metrekaresi 2000-4000 TL bütçeye mal olmaktadır. Çalışma sahasında yaklaşık 62 000,00 m<sup>2</sup> çatı alanı bulunduğundan çalışma sahasındaki tüm yeşil çatı dönüşümlerinin 124 milyon ila 248 milyon TL arasında bir meblağa tekabül etmesi tahmin edilmektedir. Burada en önemli olan parametre yeşil çatılarda eğimin performansı nasıl etkileyeceği ve uygulama çözümüdür. Öte yandan devlet tarafından yeni yapılacak binalara ilişkin mevzuatlar için yeşil çatı zorunluluğu ya da yeşil çatı teşviği eklenebileceği düşünülmektedir. Yine yeşil çatılar gibi geçirgen asfaltların da yol yapım mevzuatlarına eklenebileceği düşünülmektedir. Geçirgen asfaltların maliyetleri ise küçük ölçekli uygulamalar için 250-500 TL m<sup>2</sup> arasında değişmekte olup trafik alanı da içeren büyük ölçekli uygulamalarda maliyet 750-1500 TL m<sup>2</sup> olarak değişmektedir. Çalışma sahasındaki tüm asfaltları geçirgen asfalta dönüştürmenin maliyetinin ise toplam alan yaklaşık 64 000,00 m<sup>2</sup> olduğundan 50 milyon ila 100 milyon TL meblağında olması muhtemeldir.

Daha ileri çalışmalarda ise bölüm 3.12.'de verilen parametreler özelinde detaylı çalışmalar yapılabilir. Örneğin depolama terimlerinden tıkanma oranı çeşitli deneylerle ya da gözlemlerle belirlenerek geçirgen asfaltların performansı daha gerçekçi sonuçlarla incelenebilir.

Disiplinler arası bir araştırma olup daha çok botanik bilimini ilgilendirecek bir çalışma olarak, bitki örtülü ÇDU'ların barındırabileceği bitki türlerinin solma noktası analiz edilerek, ÇDU'larda seçilmesi önerilecek bitkiler için bir çalışma yapılabilir.

Temel amaçlarından bazıları arazi kullanımını düzenlemek ve doğal kaynakları korumak olan mekânsal planlama, doğa tabanlı çözümler ile oldukça yakın bir ilişkiye sahiptir. Mekansal planlama kapsamında ele alınacak planlara doğa tabanlı çözümler entegre edilebilir. Örneğin kentsel gelişme alanlarına yeşil koridorlar eklenebilir ya da imar planlarında ekolojik döngü öncelikli tutulabilir. Mekansal planlama çerçevesinde ulaşılmaması gereken hedeflerden olan iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında ise doğa tabanlı çözümler afet risklerinin azaltılması kapsamında değerlendirilebilir. Örneğin, bu tez çalışmasında da değinildiği üzere, şehirlerde yaşanan taşkınlara önlem olması açısından akarsu yatakları mekânsal planlama çerçevesinde ele alınarak yapılaşmanın sınırlandırılması ve bu bölgelerin yeşil alan olarak düzenlenmesi sağlanabilir. Bu alanda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na bağlı Mekansal Planlama Genel Müdürlüğü bünyesinde mevzuat ve yönetmelik çalışmaları yapılması önerilmektedir. İlgili mevzuat ve yönetmeliklere veri sağlanması adına şehir bölge planlama ana bilim dalı önderliğinde çalışmalar yapılabilir.



## KAYNAKLAR

- Ab Ghani, A. ve Zakaria, N. (2012). Performance Of A Dry Detention Pond: Case Study Of Kota Damansara, Selangor, Malaysia. *Urban Water Journal*, 9(2), 129-136.
- Altun, S. E. (2024). *Düşük Etkili Kentleşme Yöntemleri ile Yağmur Suyu Drenaj Sistemlerinin Modellenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. İstanbul. 1-76.
- Ankara Büyükşehir Belediyesi, Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı, İklim Değişikliği ve Uyum Şube Müdürlüğü. (2022). Ankara İli Yerel İklim Değişikliği Eylem Planı. *ABB*. Ankara. 86-86.
- Aydın, O., Emir, S., Emir, S., Güney, E., Coşkun, E. N., Aydın, Z., Yıldız, E., Kaya, Y., Gülbaz, S. (2024). Yeşil Altyapı Sistemlerinin Hidrolojik/Hidrolik ve Su Kalitesi Modeli ile Performansının İncelenmesi: İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Büyükçekmece Kampüsü Örneği. *Alkü Fen Bilimleri Dergisi*, 6(3), 240-252.
- Burszta-Adamiak, E. ve Mrowiec, M. (2013). Modelling of Green Roofs' Hydrologic Performance Using EPA SWMM. *Water Science ve Technology*, 68(1), 36-42.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2017). Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik. *ÇŞB*. Ankara. 9-9.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mekansal Planlama Genel Müdürlüğü Kentsel Tasarım Dairesi Başkanlığı. (2018). Yağmur Bahçesi Uygulama Kılavuzu. *ÇŞB*. Ankara. 28-29.
- Tezel, A. (2020). 19.10.2020 Sel ve Su Baskını Raporu. *ABB-AKOM*. Ankara. 1-7.
- Tezel, A. (2020). 30.10.2020 Sel ve Su Baskını Raporu. *ABB-AKOM*. Ankara. 1-5.
- Tezel, A. (2021). 9.06.2021 Mamak Sel ve Su Baskını Raporu. *ABB-AKOM*. Ankara. 1-6.
- Tezel, A. (2021). 12.06.2021 Sel ve Su Baskını Raporu. *ABB-AKOM*. Ankara. 1-10.
- Tezel, A. (2023). 03.06.2023 Sel ve Su Baskınları Raporu. *ABB-AKOM*. Ankara. 1-145.
- Tezel, A. (2023). 04.06.2023 Sel ve Su Baskınları Raporu. *ABB-AKOM*. Ankara. 1-51.
- Tezel, A. (2023). 11.06.2023 Sel ve Su Baskınları Raporu. *ABB-AKOM*. Ankara. 1-114.
- Ercolani, G., Chiaradia, E. A., Gandolfi, C., Castelli, F. ve Masseroni, D. (2018). Evaluating Performances of Green Roofs for Stormwater Runoff Mitigation in a High Flood Risk Urban Catchment. *Journal Of Hydrology*, 566(2018), 830-845.
- Ishimatsu, K. ve Ito, K. (2016). Use of Rain Gardens for Stormwater Management in Urban Design and Planning. *Landscape And Ecological Engineering*, 13(2017), 205-212.

İnternet: Ulusal Akıllı Şehir Açık Veri Platformu. (06.06.2022). Ulusal Akıllı Şehir Açık Veri Platformu. Ulasav. URL:<https://Ulasav.Csb.Gov.Tr/Dataset/06-Sel-Ve-Su-Baskini-Verileri/> Son Erişim Tarihi: 10.12.2024.

İnternet: Do You Really Know All The Benefits of Green Roofs? URL: <https://www.Urbanscape-Architecture.Com/Do-You-Really-Know-All-The-Benefits-Of-Green-Roofs/> Son Erişim Tarihi: 21.12.2024.

İnternet: What Is A Detention Basin? URL: <https://www.Ecodesignsd.Com/Blog-1/What-Is-A-Detention-Basin/> Son Erişim Tarihi: 21.12.2024.

İnternet: Using Green Roofs To Reduce Heat Islands. (U.S. Environmental Protection Agency | Us Epa) URL: <https://www.Epa.Gov/Heatislands/Using-Green-Roofs-Reduce-Heat-İslands/> Son Erişim Tarihi: 21.12.2024.

İnternet: Constructed Wetlands. (Leachate) URL: <https://www.Leachate.Us/Wetlands/> Son Erişim Tarihi: 21.12.2024.

İnternet: Suds Techniques - Source Control. URL: <https://www.Sudswales.Com/Types/Source-Control/Green-Roofs/> Son Erişim Tarihi: 21.12.2024.

İnternet: Infiltration Trench Design Guidance. (Delaware Department Of Transportation) URL: [https://Es2mdesignguide.Deldot.Gov/İndex.Php/Swm\\_Facility\\_Design\\_Guidance/](https://Es2mdesignguide.Deldot.Gov/İndex.Php/Swm_Facility_Design_Guidance/) Son Erişim Tarihi: 25.12.2024.

İnternet: Low Impact Development Stormwater Management Planning And Design Guide. URL: <https://Wiki.Sustainabletechnologies.Ca/İndex.Php?Title=Swales/> Son Erişim Tarihi: 30.12.2024.

İnternet: Fitzgerald, S. (2023). Familyhandyman. URL: <https://www.Familyhandyman.Com/Article/Rain-Barrels-How-To-Collect-Rain-Water/> Son Erişim Tarihi: 30.12.2024.

İnternet: Lombardo, J. (2020). Forconstructionpros. URL: <https://www.Forconstructionpros.Com/Asphalt/Article/21134321/How-İt-Works-Porous-Asphalt-Pavements/> Son Erişim Tarihi: 30.12.2024.

İnternet: Tureng. (Tureng Dictionary And Translation Ltd.) URL: <https://Tureng.Com/Tr/Turkce-İngilizce/Low%20impact/> Son Erişim Tarihi: 07.05.2025.

Kaya, Y. E. (2021). *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Avcılar Kampüsü için EPA SWMM ile Yeşil Altyapı İçeren Yağmur Suyu Yönetim Modeli*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. İstanbul. 1-91.

McCuen, R. H., Johnson, P. A., Ragan, R. M. (Editörler). (2002). *Highway Hydrology: Hydraulic Design Series No. 2*, Washington: ABD Ulaştırma Bakanlığı, 2-23.

- Rawls, W., ASCE, M., Brakensiek, D., Miller, N. (1983). Green-ampt Infiltration Parameters from Soils Data. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(1), 315-316.
- Ruangpan, L., Vojinovic, Z., Di Sabatino, S., Leo, L. S., Capobianco, V., Oen, A. M., McClain, M. E., Lopez-Gunn, E. (2020). Nature-Based Solutions for Hydro-Meteorological Risk Reduction: A State-Of-The-Art Review of The Research Area. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(1), 243–270.
- Souza, F. P., Costa, M. E. ve Koide, S. (2019). Hydrological Modelling and Evaluation of Detention Ponds to Improve Urban Drainage System and Water Quality. *Water*, 2019(11), 1530-1547.





*Gazili olmak ayrıcalıktır*