T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

ŞEHİRLERDE YAĞMURSUYU DRENAJ SİSTEMİNİN İNCELENMESİ VE OPTİMİZE EDİLMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Emre EDİN

Danışman
Dr. Oğr. Üyesi Yasin PAŞA

İstanbul – 2023

TEZ TANITIM FORMU

Yazar Adı Soyadı	**:**	Emre Edin
Tezin Dili	**:**	Türkçe
Tezin Adı	**:**	Şehirlerde Yağmursuyu Drenaj Sisteminin İncelenmesi ve Optimize Edilmesi
Enstitü	**:**	İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	**:**	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Tezin Türü	**:**	Yüksek lisans
Tezin Tarihi	**:**	20.06.2023
Sayfa Sayısı	**:**	69
Tez Danışmanları	**:**	Dr. Öğr. Üyesi. Yasin PAŞA
Dizin Terimleri	**:**	SWMM, Düşük Etkili Kentleşme, DEK, LID, Yağmur Varili, Yeşil Çatı ve Geçirimli Kaldırım
Türkçe Özet	**:**	Bu çalışma, kentsel bölgelerde EPA SWMM programı kullanılarak DEK uygulamaları olan yağmur varili, yeşil çatı ve geçirimli kaldırımın kombinasyonu programa entegre edilip 8 farklı senaryo şeklinde oluşturulmuştur. 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık yağış serisinde çalışma alanında bulunan 3 adet çıkış noktasındaki pik debilerin sonuçları incelenmiştir.
Dağıtım Listesi	**:**	1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne 2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

İmzası

Emre EDİN

T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

ŞEHİRLERDE YAĞMURSUYU DRENAJ SİSTEMİNİN İNCELENMESİ VE OPTİMİZE EDİLMESİ

Yüksek lisans Tezi

Emre EDİN

Danışman
Dr. Oğr. Üyesi Yasin PAŞA

İstanbul – 2023

BEYAN

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

Emre EDİN

…/…/2023

İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Emre EDİN'in Şehirlerde Yağmursuyu Drenaj Sisteminin İncelenmesi ve Optimize Edilmesi adlı tez çalışması, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği anabilim dalı, İnşaat Mühendisliği bilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Ferruh MAHNAMFAR

İmza

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA

(Danışman)

İmza

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NURİ

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

/ / 2023

İmzası

Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Günümüzde kırsal alandan kentsel alanlara olan nüfus göçleri şehirlerdeki nüfus oranını arttırıp şehir yapılaşmasını olumsuz yönden etkilemiştir. Nüfusun yoğunlaşmasıyla ihtiyaç duyulan bina sayıları artıp ve yapılan asfalt yollar nedeniyle geçirimsiz tabakalar oluşmuştur. Oluşan bu geçirimsiz zeminler yağmur sularının yer altına sızmasını engelleyip yağmur sularının akışa geçmesine sebebiyet vermiştir. Geçirimsiz alanlarda yağmur suları akışa geçip sel felaketlerine sebebiyet vermiştir. Sel felaketlerin sonuçları can ve mal kayıplarına neden olmuştur.

Yapılmış olan bu çalışmada, İstanbul ili Esenyurt ilçesinin hidrolik ve hidrolojik olmak üzere yağmur suyu modeli, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Florya istasyonundan alınan veriler ve alt yapı verileri İSKİ genel müdürlüğünden temin edilip EPA SWMM programı kullanılarak oluşturulmuş bulunmaktadır. Daha sonra modele program üzerinde tanımlanabilen Düşük Etkili Kentleşme (DEK) verileri eklenerek bu uygulamaların nüfusu yoğun olan kentsel alanlarda yüzeysel akışa etkisi incelenmiş ve bu çevreci yaklaşımlarla yağmur suyunun nasıl verimli bir hale getirilebileceği değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada DEK uygulamalarından yağmur varili, yeşil çatı ve geçirimli kaldırımın kombinasyonu 8 farklı senaryo %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35 ve %40 şeklinde olup 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık yağış serisi senaryoları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modelde yağış verilerinden ötürü çalışma alanında bulunan 3 adet çıkış noktasındaki pik debilerin sonuçları yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: SWMM, Düşük Etkili Kentleşme, DEK, LID, Yağmur Varili, Yeşil Çatı ve Geçirimli Kaldırım

SUMMARY

Nowadays, population migration from rural to urban areas has increased the population rate in cities and harmed urban structuring. Due to the population density, more buildings were required, and the asphalt roads that were constructed resulted in the formation of impermeable layers. These impermeable pavements made rainwater flow instead of flowing below the surface. Rainwaters flowed and created flood disasters in impermeable locations. Nature's catastrophes that included flooding caused loss of life and property.

The EPA SWMM program was used to create the hydraulic and hydrological rainwater model for the Esenyurt neighborhood of Istanbul, as well as the data obtained from the Florya station of the General Directorate of Meteorology and the infrastructure data from the General Directorate of SK. After that, the Low Impact Development (LID) data, which was previously established on the program were added to the model. The impact of these applications on the runoff in densely populated urban areaswas examined and it was evaluated how rainwater could be made efficient with these environmental approaches.

In this study, the combination of rain barrel, green roof and permeable pavement from LID applications are 8 different scenarios 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% and 40% with 2, 5, 10, 25, 50 and 100-year precipitation series scenarios were created. Based on the precipitation data, this model was used to interpret the peak flow rates at three outlet points in the research area.

Keywords: SWMM, Low Impact Urbanization, DEK, LID, Rain Barrel, Green Roof and Permeable Pavement.

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
SUMMARY ..... **ii**
KISALTMALAR ..... **v**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **vi**
GRAFİKLER LİSTESİ ..... **vii**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **viii**
ÖNSÖZ ..... **ix**
GİRİŞ **1**

BİRİNCİ BÖLÜM
GENEL BİLGİLER

1.1. Tezin Amacı 4
1.2. Literatür Taraması 4

İKİNCİ BÖLÜM
MATERYAL VE METOTLAR

2.1. Yağmur Suyu Yönetim Modeli (EPA SWMM) Programı 7
2.2. SWMM'de Kullanılan Matematiksel Hesaplamalar 9
2.2.1. Yüzeysel Akış 9
2.2.2. Sızma 10
2.3. Düşük Etkili Kentleşme (DEK) Uygulamaları 11
2.3.1. Yeşil Çatılar 12
2.3.2. Biyotutma 13
2.3.3. Geçirgen Yol 15
2.3.4. Sızdırma Hendeği 16
2.3.5. Bitkili Yağmur Hendeği 17
2.3.6. Yağmur Bahçesi 18

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
MODEL KURULUMU VE SENARYOLAR

3.1. Uygulama Alanı 20
3.2. Model Kurulumu 21
3.2.1. Alt Havzaların (Subcatchment) Oluşturulması 22
3.2.2. Birleşim Noktaları (Junction) Oluşturulması 24
3.2.3. Boruların (Conduits) Yerleştirilmesi 25
3.2.4. Yağış Ölçer (Rain Gage) Oluşturulması 26
3.3. DEK Uygulamalarının Modele Entegre Edilmesi 28
3.4. Yeşil Çatıların Tanımlanması 29
3.5. Geçirimli Kaldırım Tanımlanması 30
3.6. Yağmur Varili Tanımlanması 31

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
MODEL SONUÇLARI

4.1. İki (2) Yıllık Yağış Serisi Senaryosu 32
4.2. Beş (5) Yıllık Yağış Serisi Senaryosu 35
4.3. On (10) Yıllık Yağış Serisi Senaryosu 38
4.4. Yirmi Beş (25) Yıllık Yağış Serisi Senaryosu 40
4.5. Elli (50) Yıllık Yağış Serisi Senaryosu 43
4.6. Yüz (100) Yıllık Yağış Serisi Senaryosu 45
SONUÇLAR VE ÖNERİLER 49

KISALTMALAR

LID	**:**	Low Impact Development
SWMM	**:**	Storm Water Management Model
DEK	**:**	Düşük Etkili Kentleşme
EPA	**:**	Environmental Protection Agency
İSKİ	**:**	İstanbul Su ve Kanalizasyon İşleri
CN	**:**	Curve Number (Eğri Numarası)

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Farklı yıllara göre nüfus artışı (url-1).....21
Tablo 2. Florya Meteoroloji İstasyonu Standard Sürelerde Gözlenen En Büyük Yağışlar...27
Tablo 3. Florya Meteoroloji İstasyonuna ait veriler. 27
Tablo 4. Bütün senaryolar için kullanılan parametreleri. 28
Tablo 5. İki yıllık yağış serisinde çıkış noktaları sonuçları. 32
Tablo 6. İki yıllık yağış serisinde çıkış noktalarındaki yüzdelik sonuçlar.....35
Tablo 7. Beş yıllık yağış serisinde çıkış noktaları sonuçları**.** 35
Tablo 8. Beş yıllık yağış serisinde çıkış noktalarındaki yüzdelik sonuçlar.....37
Tablo 9. On yıllık yağış serisinde çıkış noktaları sonuçları**.** 38
Tablo 10. On yıllık yağış serisinde çıkış noktalarındaki yüzdelik sonuçlar.....40
Tablo 11. Yirmi beş yıllık yağış serisinde çıkış noktaları sonuçları. 41
Tablo 12. Yirmi beş yıllık yağış serisinde çıkış noktalarındaki yüzdelik sonuçlar. 43
Tablo 13. Elli yıllık yağış serisinde çıkış noktaları sonuçları.....43
Tablo 14. Elli yıllık yağış serisinde çıkış noktalarındaki yüzdelik sonuçlar. 45
Tablo 15. Yüz yıllık yağış serisinde çıkış noktaları sonuçları.....46
Tablo 16. Yüz yıllık yağış serisinde çıkış noktalarındaki yüzdelik sonuçlar. 48

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 1. Farklı yıllara göre nüfus artış grafiği (url-1). 21
Grafik 2. Florya Metroloji İstasyonu Ait Yağış Şiddet-Süre-Tekerrür Eğriler. 27

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. EPA SWMM programı ara yüz ekranı 8
Şekil 2. Şematik olarak yeşil çatı katmanları (Daryaei, 2019) 12
Şekil 3. Biyotutma uygulaması 13
Şekil 4. Yol kenarına yapılan genel görünümü 14
Şekil 5. Kentsel su havzası ile biyotutma arasındaki kavramsal bağlantı (Gülbaz, 2015) 14
Şekil 6. Geçirgen yol uygulaması (Kaya, 2021). 15
Şekil 7. Geçirgen yol uygulaması şematik sistem kesiti (Kaya,2021) 16
Şekil 8. Sızdırma hendeğinin şematik görünümü (Demirezen, 2019) 16
Şekil 9. Bitkili yağmur hendeği sistem kesit ve profili. 17
Şekil 10. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı yerleşkesi yağmur bahçesi uygulaması. 18
Şekil 11. Yağmur bahçelerinde su çevrimi (Demir, 2012) 19
Şekil 12. Çalışma alanının yeri (Google Earth Pro). 20
Şekil 13. Esenyurt havzasında oluşturulan alt havzalar. 22
Şekil 14. S001 alt havzasının özellikleri 23
Şekil 15. Birleşim noktaları verileri. 24
Şekil 16. J001 birleşim noktası (conduits) özellikleri. 25
Şekil 17. C001 boru (conduits) özellikleri. 26
Şekil 18. Toplam yağış-zaman serisi hiyetografı mm/dk 28
Şekil 19. SWMM programında yeşil çatı uygulanan alt havzalar. 29
Şekil 20. SWMM programında yeşil çatı özellikleri. 30
Şekil 21. SWMM programında geçirimli kaldırımın özellikleri. 30
Şekil 22. SWMM programında yağmur varili özellikleri. 31
Şekil 23. 2 yıllık senaryo durumda O1 çıkış noktası debisi grafiği 33
Şekil 24. 2 yıllık senaryo durumda O2 çıkış noktası debisi grafiği 34
Şekil 25. 2 yıllık senaryo durumda O3 çıkış noktası debisi grafiği 34
Şekil 26. 5 yıllık senaryo durumda O1 çıkış noktası debisi grafiği 36
Şekil 27. 5 yıllık senaryo durumda O2 çıkış noktası debisi grafiği 36
Şekil 28. 5 yıllık senaryo durumda O3 çıkış noktası debisi grafiği 37
Şekil 29. 10 yıllık senaryo durumda O1 çıkış noktası debisi grafiği. 38
Şekil 30. 10 yıllık senaryo durumda O2 çıkış noktası debisi grafiği. 39
Şekil 31. 10 yıllık senaryo durumda O3 çıkış noktası debisi grafiği. 40
Şekil 32. 25 yıllık senaryo durumda O1 çıkış noktası debisi grafiği. 41
Şekil 33. 25 yıllık senaryo durumda O2 çıkış noktası debisi grafiği. 42
Şekil 34. 25 yıllık senaryo durumda O3 çıkış noktası debisi grafiği. 42
Şekil 35. 50 yıllık senaryo durumda O1 çıkış noktası debisi grafiği. 44
Şekil 36. 50 yıllık senaryo durumda O2 çıkış noktası debisi grafiği. 44
Şekil 37. 50 yıllık senaryo durumda O3 çıkış noktası debisi grafiği. 45
Şekil 38. 100 yıllık senaryo durumda O1 çıkış noktası debisi grafiği. 46
Şekil 39. 100 yıllık senaryo durumda O2 çıkış noktası debisi grafiği. 47
Şekil 40. 100 yıllık senaryo durumda O3 çıkış noktası debisi grafiği. 48

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında bilgi birikimini ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Dr. Yasin PAŞA'ya teşekkür ederim.

Destekleri ve yardımlarından dolayı Psikolog Gözde KILIÇ, İnş. Yük. Müh. Rojgül DEMİREL, Doktora öğrencisi. Ahmed ALHASAN, İnş. Müh. Ömer Faruk TAŞ ve tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Son olarak hayatımın her aşamasında yanımda duran, bu günlere gelebilmem için her türlü fedakarlığı yapan, destek ve sevgilerini esirgemeyen çok sevgili anneme, babama ve kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

GİRİŞ

İnsanlık tarihi, insanların yaşam şartlarını doğaya ve doğanın sunduğu koşullara göre uyarlaması, kısaca doğayla barışık şekilde yaşaması ile günümüze ulaşabilmiştir. Ancak teknolojinin gelişimi ile beraber bu barış hali, insanın doğaya uyum sağlaması yerine doğanın insana uyumlu hale getirilmesi biçiminde evrimleşmiştir. Doğaya hükmeden insanlık, nüfus yoğunluğuyla beraber daha fazla ve daha geniş alana gereksinim duyar hale gelmiştir. Bu durum, insanın doğa üzerindeki hâkimiyetini daha da artırmasını gerektirmiş ve doğanın döngüleri göz ardı edilmiştir. Sözü edilen döngülerin başında su döngüsü gelmektedir. İnsanın doğaya hâkimiyeti neticesinde su döngüsü, altyapı ağlarını oluşturan statik sistemlere bağımlı bir döngü halini almıştır. Yağmur suyu başta olmak üzere, meteorolojik şartların yönetilmesi daha da önemli hale gelmiştir.

Meteorolojik şartlar, insan yaşamını doğrudan ve dolaylı olarak pek çok bağlamda etkilemektedir. Meteorolojik şartları şekillendiren doğa olaylarının başında yağışlar gelmektedir. Yüzey sularının yönetimi insanlığın binlerce yıl önce dahi ihtiyaç duyduğu ve önemli bir sorun olarak ele aldığı bir durumdur. Yerleşik yaşama geçilmesiyle beraber insan yaşamını zorlaştıran yağmur suları, Mezopotamya ve Mısır'da kontrol altına alınmaya çalışılarak, başarılı bir çaba sonucunda uzaklaştırılmıştır. Böylelikle hidrolik biliminin ilk adımları atılmıştır. Milattan önce 3. yüzyıldan itibaren drenaj sistemleri kullanılmaktadır. Knossos şehri kazılarında rastlanan drenaj sistemleri, insanlık tarihinin konu hakkındaki ilk buluntularını teşkil etmektedir. Atık su ve yağmur suyu toplama sistemi olmak üzere iki farklı sistemle geliştirilen drenaj uygulamaları Girit Uygarlığının bu konuda sistem geliştirmiş olan ilk medeniyet olduğunu göstermektedir. Antik çağlarda en gelişmiş drenaj sistemlerinin ise kil borularla teşkil edildiği ve bu sistemlere milattan önce 10. yüzyılda Efes Antik Kenti'nde rastlandığı bilinmektedir (Toy, 2011).

Nüfustaki hızlı artış ve gelişen teknoloji ile birlikte, meskûn alanların sayısında da büyük bir artış görülmüştür. Sayıları gibi, aynı biçimde yerleşim alanlarının büyüklükleri de artmıştır. Nüfus yoğunluğu, geçirimsiz yüzey oranıyla doğrudan ilişkili olduğu için geçirimsiz yüzey yoğunluğu artışı doğal su döngüsünü olumsuz yönde etkilemekte ve suyun iletim-depolanmasını direkt olarak etkilemektedir (Kaya,

2018). Geçirimsiz yüzeyler dışında insan eliyle doğal su tutucu bitki örtüsüne verilen zararlar ve küresel ısınma da yağış düzeni ve şeklini etkileyerek değişime yol açmaktadır. Sözü edilen küresel ısınma neticesinde kar yağışı yerine yağmur yağışı görülmesi eğimli yüzeylerde tutunamayan yağmur suyunun bitki örtüsünü tahrip etmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla yaşamın devamlılığını sağlayan su, doğal döngüler ve insan hayatı için bir tehdit unsuru haline gelmiştir. Yağışlardan sonra akışa geçen fazla suyun uzaklaştırılması, yağmur suyu drenajı olarak adlandırılmaktadır (Uyumaz, 1991).

Yağış sonucunda oluşan yüzeysel akışın modellenmesinde kullanılan modellerden biri de "Environmental Protection Agency Storm Water Management Model (EPA SWMM)" (Çevre Koruma Ajansı Yağmur Suyu Yönetim Modeli)'dir. EPA SWMM, su miktarı ve su kalitesinin modellemesinde kullanılan literatürde kabul görmüş bir programdır (Tsihrintzis ve Hamid, 1998; Gülbaz, 2010).

Yağmur suları zemine sızmadığından yoğun biçimde yüzeysel akış meydana getirmekte ve yağmur suyu şebekelerine yoğun miktarda ulaştırmaktadır. Bu durumun yaşanmasıyla birlikte kentlerde tahliye boruları ve drenaj sistemleri yoğun yağışlar ile baş edemeyip taşkınların oluşmasına neden olmaktadır. Bu oluşan olumsuz etkilerin derecesini azaltmak amacıyla DEK (düşük etkili kentleşme) uygulamaları yaşamın içine geçirilmek istenmektedir. Düşük etkili kentleşme uygulamaları çok çeşitliliğe sahip olmakla birlikte uygulama yapılacak alandaki arazinin kullanımı ve yapılaşmanın çeşidine göre farklılık göstermektedir.

Çevreci altyapıyı oluşturmak için kullanılan DEK uygulamaları EPA SWMM bilgisayar programına belirgin bir şekilde ilave edilmiş olup, bunlar Düşük Etkili Kentleşme (DEK) olarak tanımlanmıştır. Yeşil çatı, biyotutma, geçirgen yol, yağmur bahçesi, sızdırma hendeği, bitkili yağmur hendeği gibi küçük ölçekli yerinde uygulamalar DEK önlemlerinin bileşenlerini oluşturmakta ve akışı membada iken yani yağmur damlaları zemine düştüğünde kontrol altına almayı amaçlamaktadır (Sadeghinazhad, 2019).

Dünyadaki ve ülkemizdeki tüm bu durumları değerlendirerek gelecekteki su potansiyeline bakıldığında Türkiye, sularını akılcı, etkin ve sürdürülebilir su yönetimi anlayışı ile yürütmek zorundadır (Dutal, 2016).

Bu çalışmada İstanbul ilinin en eski yerleşim yerlerinden biri olan Esenyurt ilçesi sınırları içerisinde bulunan alanın EPA SWMM ile hidrolojik açıdan modellenmesi üzerinde çalışılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM
GENEL BİLGİLER

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışması kentsel bölgelerde nüfusun yoğun olduğu yerleşim alanlarında geçirimsiz yüzeylerin oluşturduğu sızma kaybı ve yağmur sularının akışa geçmesi gibi olumsuz etkileri Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamalarıyla yüzeysel akış miktarını ve pik debiyi azaltılması amaçlanmıştır.

1.2.Literatür Taraması

Gülbaz (2010), çalışmasında Sazlı dere Havzası'nı SWMM programı kullanarak havzanın hidrolojik modelini oluşturmuştur. Sazlı dere Havza'sı üzerinde ölçümler yaparak, oluşturmuş olduğu bilgisayar modeli ve yapmış olduğu hidrometeorolojik ölçümleri değerlendirerek su miktarları hakkında tahminler yapmıştır. Bununla birlikte mevcut durumda SWMM ile kirlilik taşınım modeli oluşturmuş ve su kalitesi ile ilgili bilgi kaynağı oluşturmuştur. Yapmış olduğu çalışmalar neticesinde nüfusun artmasıyla birlikte havzada biriken su miktarının %5,5'e kadar arttığını tespit etmiştir. Hali hazırda ki dere kesitlerinin yetersizliğinden dolayı biriken su miktarındaki artış ve havzada oluşan taşkınlarda da yağışa bağlı olarak %8,3'e kadar artış olduğunu tespit etmiştir.

Toy (2011), araştırmasında Antalya'da yağmur suyu drenaj sistemi kapasitesinin geliştirilmesi için alternatif öneriler ortaya koymayı amaçlamıştır. Kentin sık sık taşkın problemiyle karşı karşıya kaldığı belirtilmiş ve mevcut drenaj sistemi irdelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda bölgede yağmur suyu drenaj sisteminin oldukça yetersiz olduğu ortaya konulmuştur. Bu yetersizliğin nedenleri ortaya konularak, sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi uygulamalarıyla öneriler geliştirilmiştir. Çalışmada depolama havuzu, ekolojik çatılar, ana kolektörler ve tünel gibi öneriler sunulurken, yağmur suyu bekletme havuzlarının gerek konu kapsamında gerekse sosyoekonomik anlamda oldukça faydalı olduğu belirtilmiştir.

Dutal (2016), Kahramanmaraş ilinden 90 km uzakta bulunan Terbüzek Deresi Yağış Havzası'nın SWMM adlı programını kullanarak hidrolojik modelini oluşturmuş bulunmaktadır. İklimin değişmesi sonucu senaryolardan elde edilen verilere göre; en

iyi şekilde senaryo göz önünde bulunduğunda çalışmanın olduğu alanda mart ayının 10 mm'lik yağışlarda meydana gelecek olan değişimler; 2016-2040 periyodunda derenin akımında ortalama %2,97, 2040-2070 periyodunda %6,71 ve 2070-2090 periyodunda %2,97 azalmaya sebep olmuştur. Kaba bir şekilde oluşturmuş olan arazi yetenek sınıflarına uyulduğu zaman mart ayının 100 mm'lik ortalama şekilde günlük yağıştan sonra oluşan 12 ortalama akım miktarında %14,15 azalma oluşmuşken; 20 mm'lik yağış için ise azalma oranı %5,11 olmuştur.

Ünal ve Akyüz (2017), Çalışmalarında sürdürülebilir kentsel drenaj sistemlerinde yağmur hendeklerinin değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Su kaynaklarının hızla azaldığı günümüzde sürdürülebilir kentsel drenaj sistemleri kullanımının önemi vurgulanmıştır. Yağmur hendekleri, bu sistemlerden biri olarak verimi artırmakta ve yeraltı sularının beslenmesini sağlamaktadır. Çalışmada yağmur hendeklerinin geleneksel drenaj sistemleriyle karşılaştırılması yapılmış ve ciddi avantajlarının ve üstünlüklerinin olduğu ortaya konulmuştur. Bunun yanında yerleşim alanlarında kuru tip yağmur hendeklerinin, kırsal alanlarda ise ıslak tip yağmur hendeklerinin kullanılması gerektiği belirlenmiştir.

Gülbaz vd. (2017) Araştırmalarında DEK çeşidi olan biyotutma ile ilgili çalışmalar yapıp ulusal literatüre kazandırmayı hedeflemişler. Biyotutmanın kullanma amaçları ve kullanılacak alanları ayrıntılı olarak açıklamışlar. İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü'ne kurdukları "Yağış-Havza-Biyotutma" deney düzeneği ile farklı yağış şiddetleri altında testler yapılmış ve ayrıntılı olarak incelemişler. Çalışmada yağmur sularının taşkın ve sel gibi zararlı etkilerini hafifletebilmek için biyotutma sistemlerinin kullanılabilir bir yöntem olduğu belirlenmiştir.

Gülbaz vd. (2018) Çalışmalarında EPA SWMM programını kullanarak İstanbul Üniversitesi Avcılar kampüsünün hidrolik ve hidrolojik modelini oluşturup modele düşük etkili kentleşme uygulamalarını entegre ederek uygulamanın yüzeysel akışa olan etkisi incelenip DEK uygulamalarının yüzeysel akış miktarını ve pik debiyi azalttığı görülmüştür.

Şengün (2020) Çalışmasında yağmur suyu drenaj sisteminin projelendirilmesi ve kapasitesinin artırılması için alternatif öneriler geliştirmiştir. Çalışma alanı olarak Ege Üniversitesi kampüsü belirlenmiştir. Çalışmada alanın hidrolik ve hidrolojik

olarak yağmur suyu modeli SWMM programı ile oluşturulmuştur. Taşkın riski teşkil eden bölgeler tespit edilmiş ve modele düşük etkili kentleşme verileri entegre edilerek uygulamaların yüzeysel akışa etkisi saptanmıştır. Çevreci yaklaşımlarla yağmur suyunun sürdürülebilir yönetimi için önerilerde bulunulmuştur. Yeşil çatı, biyotutma, geçirimli kaldırım, sızdırma hendeği ve bitkili hendek uygulamaları önerilerin başında gelmektedir.

Sevimli (2021), araştırmasında sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi uygulamalarını Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsü çalışma alanı çerçevesinde ele almıştır. Çalışmada yağmur suyu hasadına odaklanılmış, bina çatılarında sürdürülebilir drenaj yöntemlerinin kullanılmasıyla yağmur suyunun verimli biçimde değerlendirilmesi örneklenmiştir. Çalışmada hasat tekniğiyle elde edilen yağmur suyunun bina rezervuarlarında kullanımı amaçlanmış ve binalarda su tüketimine yönelik hesaplamalar yapılmıştır. Yağmur suyunun hasadı ile binalarda su tüketiminin ciddi ölçüde azalacağı saptanmıştır.

Kaya, (2021), Çalışmasında, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Avcılar Kampüsü'ne ait yağmur suyu drenaj sistemi tasarımı ve yeşil altyapı uygulaması önerileri hazırlanarak kampüs için yağmur suyu yönetim modelini EPA SWMM programı kullanarak yapmış, uzun vadede komşu parsellerden kampüs alanına ulaşabilecek yağmur suları da dikkate alınmış. 2, 10 ve 50 yıllık tekerrür aralığına sahip olası yağışlar altında yapılmış olan analizler sonucu geçirgen kaldırım uygulaması haricindeki DEK tiplerinin pik debiyi azaltma performanslarının azaldığı görülmüştür. 2 yıllık, 10 yıllık ve 50 yıllık yağışlar altında başka tipte DEK'lerin gösterdiği performans değerlendirilmesi için debi azalma oranlarına bakıldığında, en az performansı biyotutma, en çok performansı ise yeşil çatı göstermiştir.

İKİNCİ BÖLÜM
MATERYAL VE METOTLAR

Tezin bu bölümünde Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamaları açıklanmaktadır ve modellemede kullanılan yeşil çatı, geçirgen yol, yağmur bahçesi, biyotutma, sızdırma hendeği ve bitkili yağmur hendeği uygulamaları detaylandırılmıştır.

2.1.Yağmur Suyu Yönetim Modeli (EPA SWMM) Programı

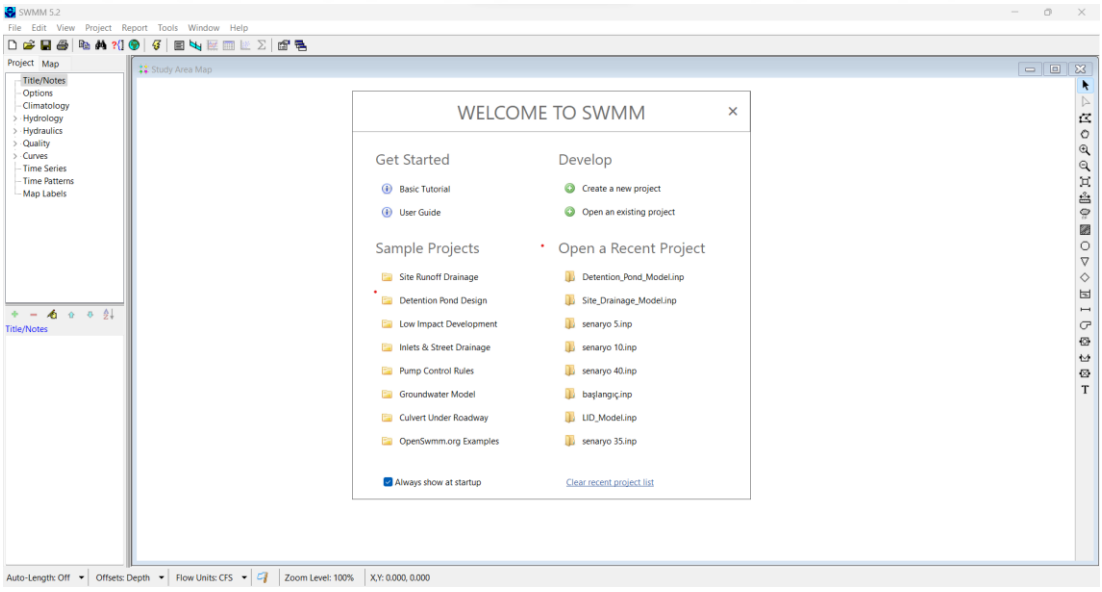
EPA SWMM (Environmental Protection Agency Stormwater Management Model), dilimize Çevre Koruma Kuruluşu Yağmur Suyu Yönetim Modeli olarak çevrilmiş olup hidrolik, hidroloji ve su kalitesi modüllerini bulunduran kentsel altyapı sistemleri, drenaj sistemleri, kanalizasyon sistemleri gibi yapıların tasarlanmasında ve bunun yanında taşkın analizlerinin yapılmasında kullanılan bir bilgisayar programıdır (Demirezen,2019).

EPA SWMM ilk olarak 1971 yılında ABD Çevre Koruma Ajansı tarafından geliştirildi ve o zamandan beri birkaç kez yükseltilip önemi günden güne arttı. EPA SWMM, esasında kentsel veya kırsal alanlarda akış miktarı ve kalitesini tek bir olay ya da uzun vadeli olayların simülasyonu için kullanılan dinamik bir tür yağış-akış simülasyon modelini sağlar (Rosman 2015).

Program havza üzerinde oluşan yüzeysel akışın kalitesini, miktarını boru ya da kanalın içinden geçen akımın debisini, hızını ve derinliğini hesaplar. EPA SWMM programında alt havzalar, açık kanallar ya da borular, birleşim noktaları, çıkış noktaları, yağış ölçerler, pompalar, düzenleyiciler, depolama hazneleri vb. gibi sistem elemanlarını tanımlanabilir. EPA SWMM bilgisayar programı alt havzaların alanı, eğimi, genişliği; kanalların uzunlukları, en kesit alanları, giriş ve çıkış yerlerinin kotları; uzun ya da kısa süreli olan yağış değerleri girdi olarak girilerek akışın debisi, hızı, kanallardaki suyun yüksekliği vb. gibi havzanın hidrodinamik değişkenleri çıktı olacak şekilde elde edilir. EPA SWMM içinde yapılan yüzeysel akış ve debinin hesapları akışkan dinamiğinin esas prensipleri olan kütle, momentum ve enerji korunumu prensiplerine dayanır. Yüzeysel akışın sayımı yapılırken, yağış ve havzanın girişindeki su kaynakları havzanın su kazancını, sızma, buharlaşma ve yüzeysel akış

ise havzadan çıkan toplam su miktarını oluşturmaktadır (Gülbaz, Kaya ve Kazezyılmaz-Alhan, 2018)

Programda hidrolik modelleme yapabilmek için bağlantı noktaları (junctions), çıkış noktaları (outfalls), hazne birimleri (storage units), dağıtım elemanları (dividers), boru ve kanallar (conduits), pompalar (pumps), orifisler (orifices) ve savaklar (weirs) tanımlanabilmektedir. Hidrolojik modelleme için de sisteme yağışın belirlendiği yağış ölçerler (rain gages), alt havzalar (subcatchments), akiferler (aquifers), karın yağışıyla ilgili enstrümanlar (snow packs), birim hidrograflar (unit hydrographs) ve de DEK kontrol sistemleri (DEK controls) (yeşil çatı, biyotutma, sızdırma hendeği, yağmur bahçesi ve yağmur tankı, geçirimli asfalt ve çatı bağlantısı) tanımlanabilir. Program sorun içeriğine göre bu elemanlardan lazım olan elemanlara ait fiziksel bilgiler tanımlandıktan sonra oluşturulan havzada kullanıcının tercihine bağlı olarak kinematik dalga, dinamik dalga ya da kararlı akım öteleme yöntemlerinden biri ile hidrolik öteleme yapmaktadır. Bununla birlikte havzada geçirimli bir tür yüzey varsa bu bölgeler için yine kullanıcının tercihine bağlı olacak şekilde sızma yöntemlerinden Horton, Modifiye Horton, GreenAmpt, Modifiye Green-Ampt ve Eğri Sayısı yöntemlerinden herhangi biri ile sızma hesaplanmaktadır (Demirezen, 2019).



Şekil 1. EPA SWMM programı ara yüz ekranı

2.2.SWMM'de Kullanılan Matematiksel Hesaplamalar

2.2.1. Yüzeysel Akış

Bu bölümde SWMM'in yağışı akışa dönüştürmek için kullandığı yöntemleri gösterir. SWMM, kullanıcının çalışma alanını farklı geometrilere ve ekipmanlara sahip birkaç alt havzaya bölmesine olanak sağlayan bir modeldir. Program daha sonra, her bir alt rezervuara karşılık gelen yağış nedeniyle akışı hesaplamak için doğrusal olmayan bir rezervuar modeli kullanır (Samouei, 2019).

SWMM, her bir alt havzanın kütle korunumundan, aşağıdaki formülü kullanarak birim zamanda derinlikteki değişimi hesaplar:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - q \tag{2.1}$$

i: Yağış oranı (mm/s)

e: Buharlaşma oranı (mm/s)

f: sızma oranı (mm/s)

q: Akış Oranı (mm/s)

Her bir alt havzanın "W" genişliğine ve "S" eğimine ve "d" yüksekliğine sahip olduğu varsayılarak SWMM, her bir alt havza için hacimsel akış oranını elde etmek için Manning denklemini kullanır:

$$Q = \frac{1}{n} S^{1/2} R_x^{2/3} \tag{2.2}$$

Q: Hacimsel akış hızı ($\frac{m^3}{s}$)

n: Pürüzlülük katsayısı

S: Alt havzanın ortalama eğimi

R_x: Alanın hidrolik yarıçapı (m)

A_x: Alt havza (m^2)

2.2.2. Sızma

SWMM modelinin üç farklı sızma yöntemi vardır: Horton denklemi, Green-Ampt modeli ve SCS eğri numarası yöntemi (Nuri Balov, 2014).

Horton Denklemi: Horton (1933), deneysel çalışmaların sonucu sızmanın herhangi bir (f_o) hızı ile başladığını fakat hızın eksponansiyel bir biçimde sabit bir hıza "f_c" ulaşana kadar azaldığı gözlenmiştir. Bu nedenle sızma hızının zamanla değişimi aşağıda ifade edilmiştir. Buradaki (k) değeri azalma sabitidir (Nuri Balov Balov, 2014).

$$f(t) = f_c + (f_o - f_c)e^{-kx} \tag{2.3}$$

Green-Ampt Yöntemi: Yeşil ve ıslak alanlarda sızma hesabı amacıyla bu yöntem seçilir ve hesaplamalar aşağıdaki şekilde yapılır:

$$F \geq F_s\ için: i > K\ ise\ F_s = \frac{S_u M}{i/K_s - 1}, \tag{2.4}$$

$$i \leq K_s\ ise\ f = i'dir\ ve\ F_s\ hesaplanamaz. \tag{2.5}$$

$$F \geq F_s\ için: f = f_p\ ve\ f_p = K_s(1 + \frac{S_u M}{i/K_s - 1}), \tag{2.6}$$

Burada (f) sızma hızı, (f_p) sızma kapasitesi, (i) yağış şiddeti, (F) toplam sızma, yüzeyin doygunluk derecesine ulaşabilmesi için gereken toplam sızma, (s_u) kapiler basınç, doygun zeminde hidrolik iletkenlik ve nem eksikliği olarak adlandırılır (Huber ve Dickinson, 1988; Alfars, 2011).

SCS Eğri Numarası Yöntemi: Bu yöntem ilk olarak 1954'te geliştirildi ve ikinci akışı tahmin etmek için NRCS (SCS) Eğri Numarası Yöntemine dayalı olarak geliştirildi. Bu yöntem, bir toprağın toplam sızma kapasitesine, toprakların çizelge halindeki eğri sayısından ulaşılabileceğini öne sürer. Yağışlı bir olayda, bu kapasite kümülatif yağışın bir fonksiyonu olarak azalır ve kapasite aynı kalır. Akış hesaplamalarında kullanılan CN yöntemi aşağıda verilmiştir (Samouei, 2019).

$$\mathrm{Q} = \frac{P^2}{P + S_{max}} \tag{2.7}$$

Q: Toplam akış (mm)

P: Toplam yağış (mm)

S_{max}: Topraktaki maksimum nem (mm)

S_{max} toprak türüne ve önceki koşullara bağlı olan tablolaştırılmış bir CN'den türetilmiştir:

$$S_{max} = \frac{1000}{CN} - 10 \tag{2.8}$$

Bu denklemler varsayılarak, akışa dönüşmeyen yağış miktarının toprağa sızdığı sonucuna varılabilir, böylece toplam sızma kaybı şu şekilde elde edilebilir:

$$P - Q = F \tag{2.9}$$

$$\mathrm{F} = \mathrm{P} - \frac{P^2}{P + S_{max}} \tag{2.10}$$

Q: Toplam akış (mm)

P: Toplam yağış (mm)

F: Sızma kaybı (mm)

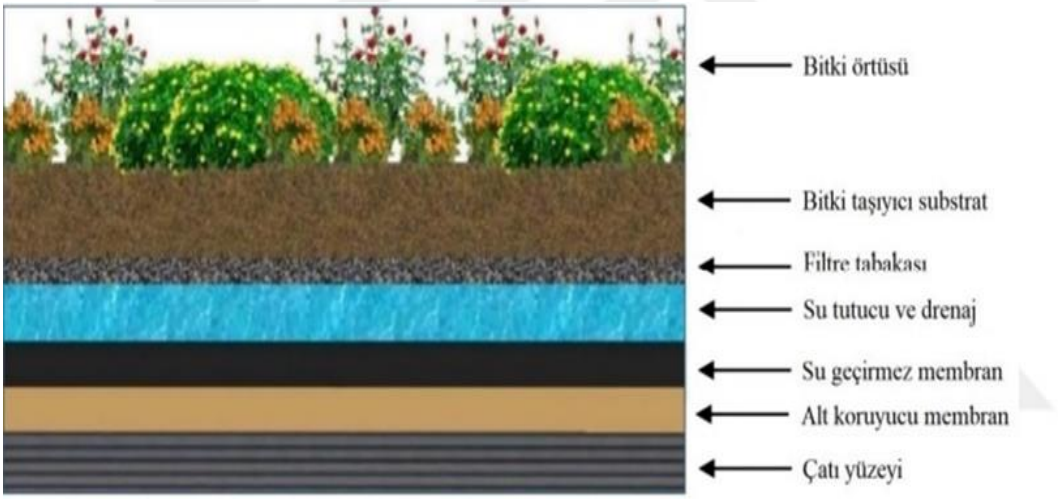
2.3.Düşük Etkili Kentleşme (DEK) Uygulamaları

Kentlerdeki yağmur suyu drenaj sistemleri yağış esnasında yollar, bina çatıları ve peyzaj alanları gibi geçirimsiz veya az geçirimli yüzeylerde akışa geçen suyu tahliye etmeye yönelik tasarlanmıştır. Geçirimsiz yüzeylerde su daha fazla akışa geçmekte ve şiddetli yağışlarda altyapı hatlarının kapasitesini aşmasıyla taşkınlara, ekonomik kayıplara ve can kayıplarına yol açmaktadır. Kentlerdeki doğal alanlara müdahale arttıkça yüzeysel akış artmakta ve bu sebeple yüzeysel akışı azaltmaya yönelik çeşitli yöntemler uygulanmaya başlanmıştır (Kaya, 2021)

Düşük Etkili Kentleşme (DEK) yöntemleri asıl olarak günümüzü ve geleceğimizi korumak için tasarlanmış yağmur suyu yönetimi uygulamalarıdır. Yüzeysel akışın pik debisini azaltarak taşkınları engellemek, yeraltı suyuna daha fazla ve kaliteli su kazandırmak, hızla artan betonlaşmayla geçirimsiz yüzeyleri azaltıp geçirimli yüzeyleri artırarak DEK yöntemlerinin amaçları arasında sayılabilir. DEK yöntemleri hem ekonomik hem de uygulanabilirlik açısından kolay olduğu için gün geçtikçe uygulanan DEK sayısı artmaktadır (Demirezen, 2019).

2.3.1. Yeşil Çatılar

Yeşil çatılar; yüzeyi su geçirmez membran ile kaplı, üzerinde toprak ve bitki örtüsü tabakası bulunan, bitkilerin büyümesine ve gelişmesine olanak veren, kentsel alanlardaki yapılaşmadan dolayı yeşil alanların azalması, küresel ısınma nedeniyle meydana gelen iklim değişiklikleri, hava kirliliği gibi çevreyi olumsuz etkileyen faktörlerin azaltılması için çözüm sunan, toprak derinlikleri farklı olan, çatıya ek ağırlığı kaldırabilen, su, su buharı ve kökler ile oluşabilecek olumsuz etkilere karşı çatıyı koruyan, yağış miktarının az olduğu zamanlarda bitkilerin gerekli miktarda nemi tutmasına olanak sağlayan ancak gerekli zamanlarda artan nemi dışarı atabilen, bitkilerin büyümesini sağlamak için toprağa benzeyen çözünen madde sağlayan, bölgenin iklim şartlarına uygun, sürdürülebilir bitki örtüsünün uzun süre yaşamasını sağlayan, bina, çevre ve insanlar için ısıl, enerjik, hidrolik ve atmosferik fayda sağlayan; katmanlardaki bileşenleri uv ışınları ve ısıl bozunmadan koruyan sistemlerdir (Demirhan, 2021). **Şekil 2**'de yeşil çatı gösterilmektedir.



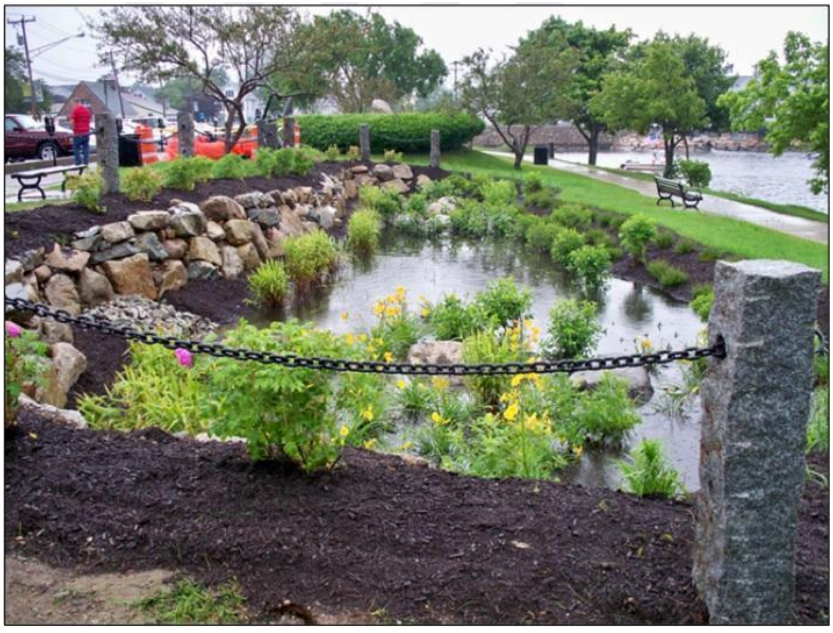
Şekil 2. Şematik olarak yeşil çatı katmanları (Daryaei, 2019)

Yeşil çatılar, binaların kullanılabilir alanlarını arttırarak hem çevreci dünyaya katkı sağlar hem de atıl olarak duran çatıların ekonomiye kazandırılmasına katkı sağlar. Bu uygulama sadece bina çatılarında değil, otopark üstü kaplamalarda, binalar arası kullanabilir boş alanlarda, eğimli/eğimsiz ya da katmanlı bina bahçelerinde de uygulanabilir (Şengün, 2020).

2.3.2. Biyotutma

Biyotutma sistemleri yüzey ve yüzey altı su filtrasyon sistemleridir. Kum filtreleri gibi işlev görürler. Bununla birlikte kum filtreleri; yağmur suyunun bir kum ortamından geçişi yoluyla su kalitesi arıtımı sağlarken, biyotutma sistemleri kirleticileri gidermek ve yağmur suyu akış hacimlerini azaltmak için hem bitkileri hem de alttaki filtre topraklarını kullanır. Sistem içinde işleyen çeşitli arıtma mekanizmaları nedeniyle, biyotutma alanları sürekli olarak çoğu kirletici için nispeten yüksek yük azalmaları sağlar (Sadeghinazhad, 2019).

Bu yöntem son zamanlarda, önemi anlaşılan sulak bölgeler gibi su kalitesini arttıran ve suyu tutabilen bölgesel tasarımlı yapılar olması ve görsel anlamda da güzel görünmesi sebebiyle tercih edilir hale gelmiştir. Biyotutma içinde biyolojik, kimyasal ve fiziksel arıtımlar bulunmakta ve bu prosesler biyolojik çürüme, buharlaşma, terleme, sedimentasyon, sızma, iyon değişimi gibi oluşumlar içermektedir. Tüm bu mekanizmalar sayesinde biyotutma uygulaması yağmur suyunun tutulması ve arıtılmasında büyük yarar sağlamaktadır (Gülbaz, 2015). **Şekil 3**'te biyotutmaya örnek verilmiştir.

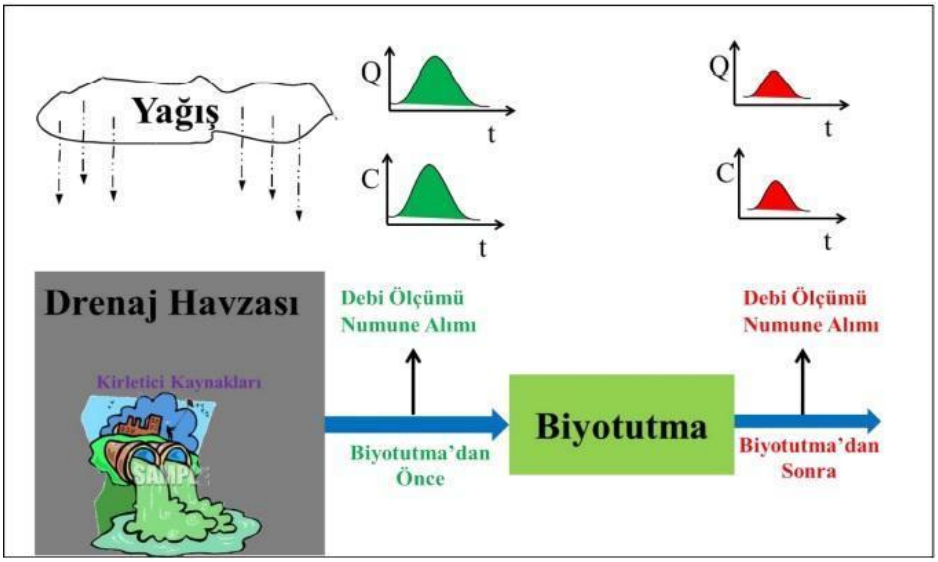


Şekil 3. Biyotutma uygulaması

Şekil 4'te biyotutmanın kentsel su havzası ve yağış ile arasındaki bağıntı gösterilmiştir. Kuru havada yüzeyde biriken kirlilik yağış sonrası havza üzerinde oluşan yüzeysel akış ile taşınıp su kaynaklarına ulaşmaktadır. Ancak bunun önlenebilmesi için drenaj alanının çıkışına yerleştirilen bir biyotutma sistemi ile su arıtılmakta ve aynı zamanda pik debisi düşürülmektedir (Gülbaz,2015).



Şekil 4. Yol kenarına yapılan genel görünümü



Şekil 5. Kentsel su havzası ile biyotutma arasındaki kavramsal bağlantı (Gülbaz, 2015)

2.3.3. Geçirgen Yol

Yüzey akışı ve yağmur sularının yer altına aktarılmasına imkân sağlayan geçirimli döşemeler, sürdürülebilir drenaj sistemlerinden biridir. Bu tür kaplamalar, yüzeysel akış miktarını ve debisini azaltır, kentsel kirleticilerin uzaklaştırılmasına yardımcı olur, yağmur sularının bir süre depolanmasına olanak sağlar ve yer altı suyuna destek sağlar. Kentsel bölgelerde geçirimsiz yüzeylerin miktarını azaltmak için kullanılırlar (Levi, 2007).

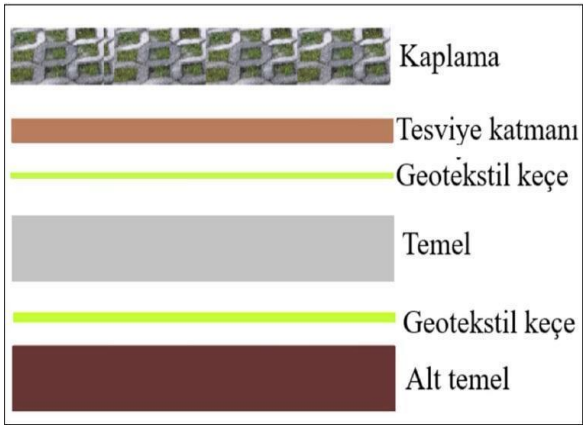
Su geçirgen kaplamalar, gözenekli ve geçirgen kaplamalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Gözenekli kaplamalar çim veya çakıl yüzeyli gözenekli beton veya asfalttan oluşurken, geçirgen kaplamalar beton blok bileşenlerden oluşur. Gözenekli ve geçirgen kaplamaların kullanılmasıyla azami akış debisinde %42'ye varan oranlarda bir düşüş gözlenmektedir (Scholz ve Grabowiecki, 2007). **Şekil 6**'da geçirgen yol uygulamasına örnek verilmiştir.



Şekil 6. Geçirgen yol uygulaması (Kaya, 2021).

Geçirgen kaplamaların tasarlanması esnasında, yağış sularının iyileştirilmesi ve tutulmasını sağlamak için yüzeylerin geçirgenlik ve depolama kapasitelerinin göz önünde bulundurulmaları gerekmektedir. Yüzey akışının tıkanmaya sebep olabilecek

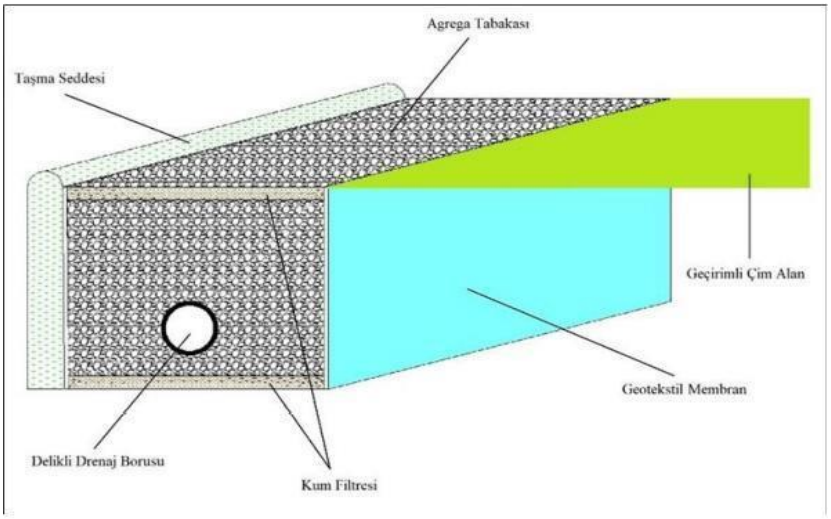
yüksek oranda sediment taşımasından dolayı, bu kaplamaların kullanım alanları sınırlıdır. (Levi, 2007). **Şekil 7**'de geçirgen yol uygulamasının katmanları verilmiştir.



Şekil 7. Geçirgen yol uygulaması şematik sistem kesiti (Kaya,2021).

2.3.4. Sızdırma Hendeği

Sızdırma hendeği etrafı geotekstil membran ile çevrilmiş, yüzeyden dikdörtgenler prizması şeklinde kazılmış ve doğal kum zemin üzerine oturan, içi yüksek poroziteye sahip çakılla dolu ince uzun çukur biçimde olan bir Düşük Etkili Kentleşme (DEK) yöntemidir. Sızdırma hendeği, geçirimsiz tabaka üzerinde oluşan yüzeysel akışı tutmak, çakıl katman içinde depolamak ve depoladığı suyun altındaki doğal zemine sızmasını sağlayan düzenektir. Temel mantık, yüksek oranda geçirimsiz yüzey bulunduran bir alt havzada sızmayı artıracak alan oluşturmaktır. Sızdırma hendeğinin şematik görünümü **Şekil 8**'de verilmiştir. (Demirezen, 2019).

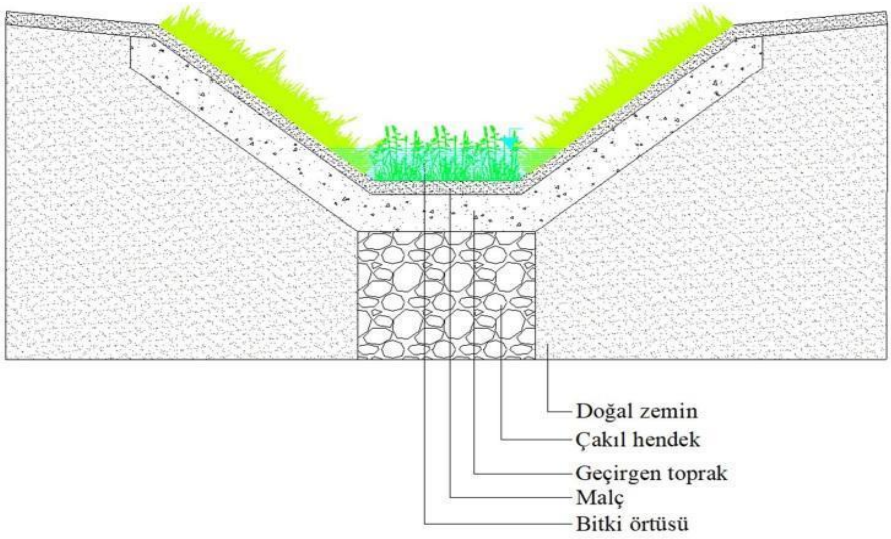


Şekil 8. Sızdırma hendeğinin şematik görünümü (Demirezen, 2019).

2.3.5. Bitkili Yağmur Hendeği

Bitkili hendekler genellikle trapez şeklinde kazılmış, altında doğal geçirimli zemin olan ve en üst katmanında bitki bulunduran içi organik malzemeler ve taşlarla dolu bir düşük etkili kentleşme yöntemidir. Bitkili yağmur hendeğinin etrafındaki geçirimsiz yüzey üzerinde oluşan yağmur suları hendekte toplanır ve doğal zemine yavaşça sızdırılır. Bu sayede yağmur suyu yeraltı suyuna kalitesi artırılmış bir biçimde kazandırılmaktadır. Öte yandan üzerinde yağmur suyunu biriktirip öteleyerek akışın pik debisini azaltmaya olanak sağlar. Şekil 8'de bitkili hendeğe örnek verilmiştir (Demirezen, 2019).

Bitkili yağmur hendeği, tipik olarak, altında en az 60 cm geçirgen toprak bulunan yoğun ve su içerisinde yetişmeye uygun bitki örtüsünden oluşur. Bu katmanın altında ortalama 45 cm çakıl katmanı ile inşa edilen hendekler yağmur suyu iletme hızını azaltır. Geçirgen toprak ortamının saatte en az 1,2 cm'lik bir sızma hızına sahip olması ve kirleticileri uzaklaştırmayı arttırmak için yüksek düzeyde organik malzeme içermesi gerekir. Geotekstil keçe, agrega çukurunu tamamen sarmalıdır (Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual, 2006). Tipik kesiti **Şekil 9**'da verilmiştir.



Şekil 9. Bitkili yağmur hendeği sistem kesit ve profili.

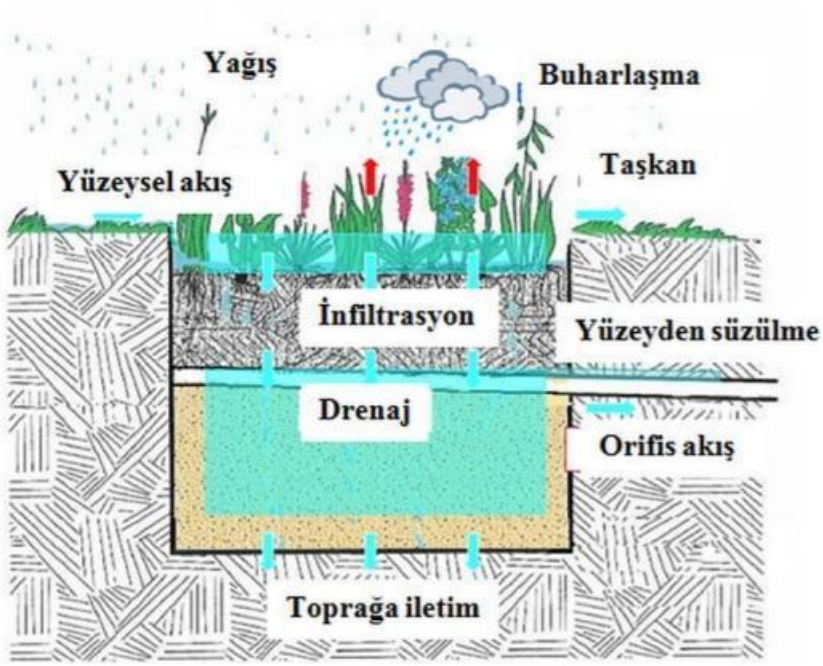
2.3.6. Yağmur Bahçesi

Yağmur bahçeleri yağmur suyunu çatılar, araç yolları, yürüyüş yolları, araç parkları gibi alanlardan toplayarak suyu bünyesinde sönümler. Bu işlem, diğer işlemlerin aksine yağmur suyunun yer altında toplanmasını sağlayarak akışı azaltır. Yağmur bahçeleri farklı topraklar ve iklimler için tasarlanabilirler. Yağmur bahçeleri yakın çevredeki su kalitesini arttırmak için yapılır. Bu yöntemler nehirlere ulaşan kirliliğin %30 civarında azalması öngörülmüştür. Yağmur bahçeleri için bölgeye uygun bitkilerin kullanılması önerilir. Zira bu bitkiler gübreye gereksinim duymaz, çok daha kolay bir şekilde gelişir ve iklime, toprağa, su şartlarına daha dayanıklıdır. Ayrıca doğal faunanın da bu bitkilerden yararlanması mümkündür. Yağmur bahçelerindeki su, toprak içerisindeki doğal katmanlar sayesinde filtrelenerek yeraltı suyuna karışmaktadır. Kökler sızmayı sağladıkça toprağın dayanıklılığını artırır. Ayrıca solunum sistemiyle tutulan su, su buharı olarak atmosfere geri gönderilir. Bu bahçeler, suyun toplandığı ve sızdığı bir bölgeye ve su tutulma kapasitesini karşılayan bitkilere gereksinim duyarlar. Büyüyen bitkilerdeki solunum toprağın fırtınalarda kurumasını sağlar. Fakat yağmur bahçeleri için en uygun bitkiler seçilmeli ve bitkilendirme bölgeye göre yapılması gerekir. (Demir, 2012). **Şekil 10**'da yağmur bahçesine örnek gösterilmiştir.



Şekil 10. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı yerleşkesi yağmur bahçesi uygulaması.

Şekil 11'de yağmur bahçelerinde su çevrimi görülmektedir. Yağmur ve akış yoluyla bahçeye gelen sular sızma ve drenaj ile yeraltı suyuna aktarılmaktadır. Bu esnada fazla su hem yüzeyde hem de yüzey altında akışa devam etmektedir. Bahçede tutulan su bitkilerin solunumu yoluyla tekrar atmosfere karışır.



Şekil 11. Yağmur bahçelerinde su çevrimi (Demir, 2012).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
MODEL KURULUMU VE SENARYOLAR

3.1.Uygulama Alanı

Bu çalışma İstanbul ili Avrupa yakasında bulunan Esenyurt ilçesi üzerinde yapılmıştır, (41°02′19.37″K 28°41′01.58″D) doğuda Avcılar ve Küçükçekmece Gölü, batıda Büyükçekmece, kuzeyde Başakşehir, Arnavutköy ve TEM yolu, güneyde Beylikdüzü ve E-5 karayolu ile komşudur. Çalışma için belirlenmiş bölge 1,02 km²'lik bir alanı kaplamaktadır. Esenyurt ilçesi önemli bir göç bölgesi olması sebebiyle bölge nüfusu son yıllarda istatistiklere göre yoğunlaşmıştır (url-1). **Şekil 12**'de çalışma alanının uydu görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 12. Çalışma alanının yeri (Google Earth Pro).

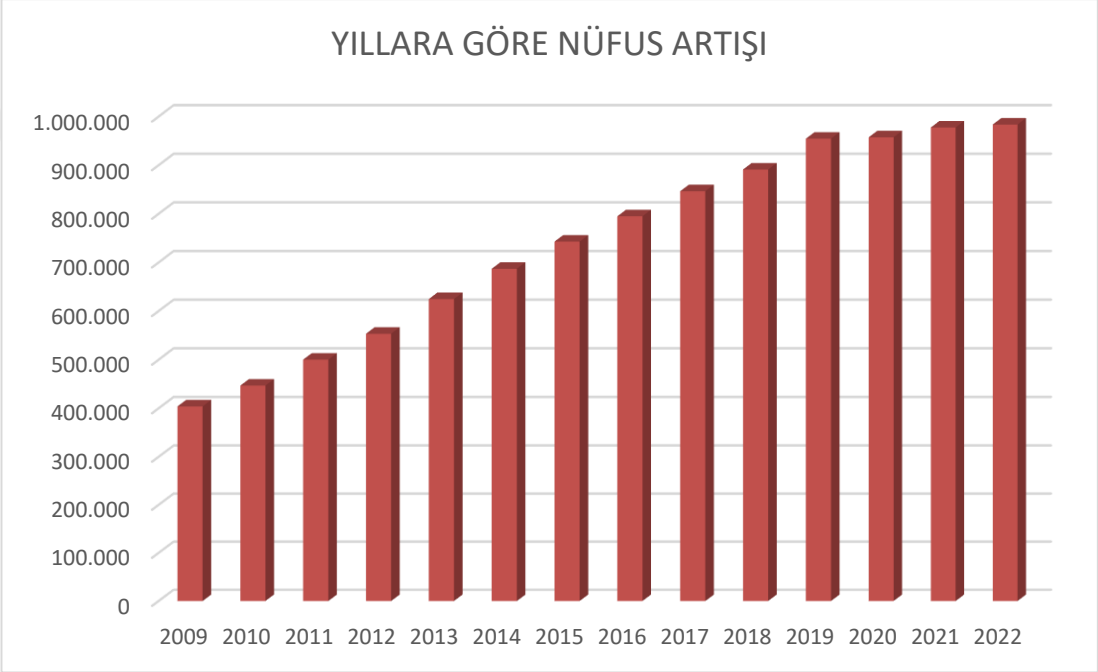
Esenyurt İstanbul'un en büyük ilçesi olup son yıllarda kontrolsüz bir şekilde göç almaktadır. **Tablo 1**'de Esenyurt ilçesinin 2008 ile 2022 yılları arasındaki nüfus

değişimi gösterilmektedir. Ayrıca **Grafik 1**'de Esenyurt ilçesinin yıllara göre nüfus artış grafiği verilmiştir.

Tablo 1. Farklı yıllara göre nüfus artışı (url-1).

Yıl	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
Nüfus	403.895	446.777	500.027	553.369	624.733	686.968	742.810

Yıl	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**
Nüfus	795.010	846.492	891.120	954.579	957.398	977.489	983.571



Grafik 1. Farklı yıllara göre nüfus artış grafiği (url-1).

Tablo 1 ve **Grafik 1**'de yıllara göre nüfus miktarları gösterilmiştir. 2009 yılında nüfus 403.895 kişi iken 2022'de 983.571 kişiye çıkmıştır. Nüfus oranı doğru orantıda artış olduğu söylenebilir.

3.2.Model Kurulumu

Bu bölümde yaptığımız model için 8 adet farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar %5'ten başlayıp %40'a kadar olup DEK sonuçları incelenmiştir.

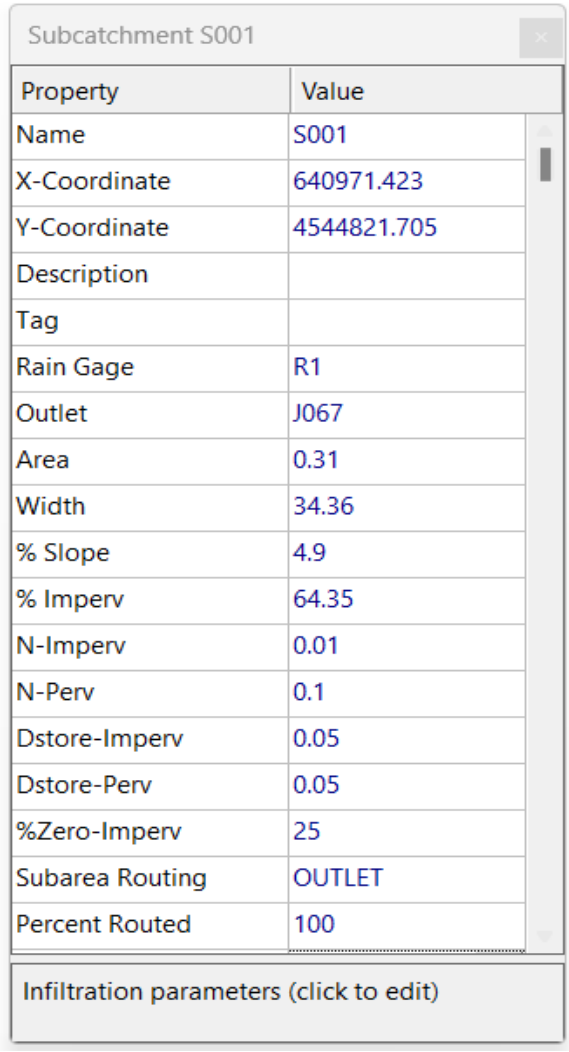
3.2.1. Alt Havzaların (Subcatchment) Oluşturulması

DEK uygulamalarının ilk aşaması alt havzaların oluşturulmasıdır. Google Earth Pro programı yardımıyla arazideki eğimler, binaların konumları ve caddelerdeki yağmur suyu ızgaralarına göre alt havzaları oluşturulmuştur. Bu havza 1,02 km² olup alt havzaları ise 172 adetten oluşmaktadır. DEK uygulamaları için alt havzalar Google Earth Pro programından alınıp SWMM programına girilmiştir. **Şekil 13**'te çalışma alanına ait alt havzalar gösterilmiştir.



Şekil 13. Esenyurt havzasında oluşturulan alt havzalar.

Şekil 14'te gösterilen S001 numaralı alt havza özellikleri SWMM programında gösterilmiştir.

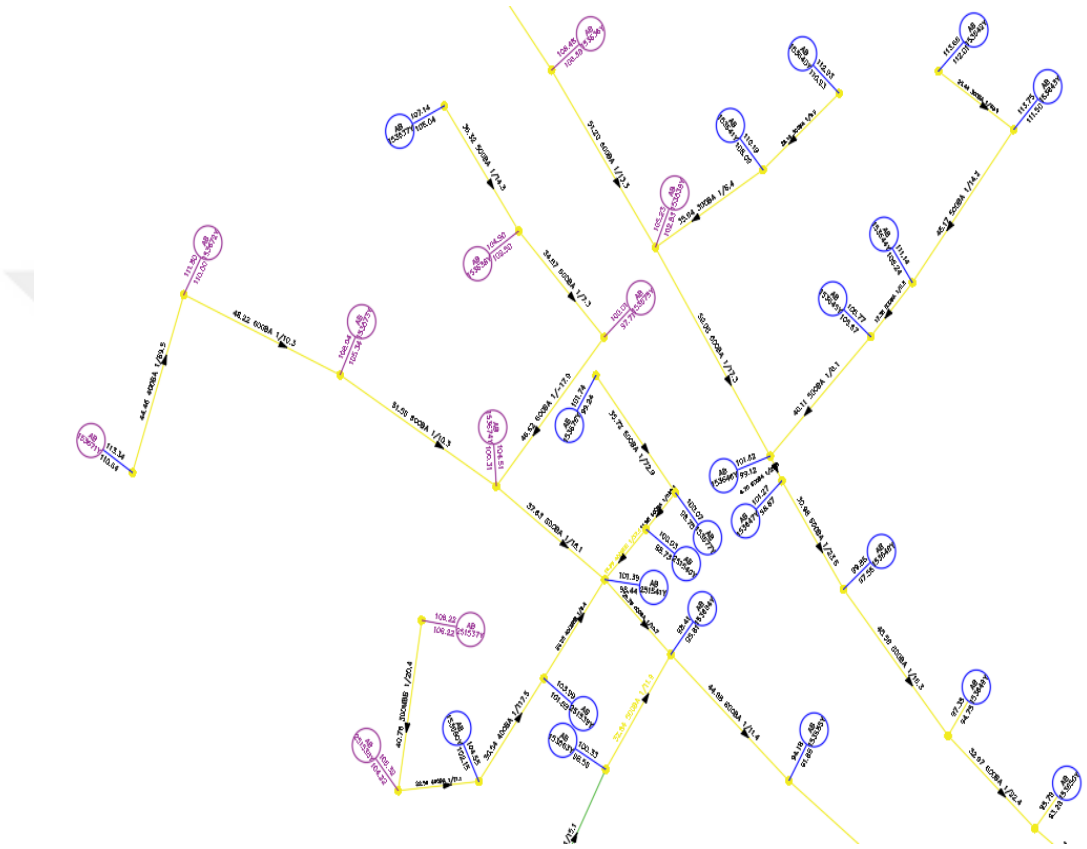


Şekil 14. S001 alt havzasının özellikleri

Alt havzaların koordinatlarını program otomatik olarak oluşturmuştur. Yağış ölçer (rain gage) Florya yağmur istasyonundan alınan veriler doğrultusunda oluşturulmuştur. Alan bilgisi (area) belirlenen alt havzayı program otomatik olarak hesaplamıştır. Genişlik (width) yüzey üzerinde oluşan akışın akım yönüne olan dik kesitin genişliğini ifade eder. Eğim (slope) Google Earth Pro üzerinden hesaplanarak girilmiştir. Geçirimsiz alan yüzdesi (Imperv) literatür üzerinden alınmıştır, FARHAR (2022).

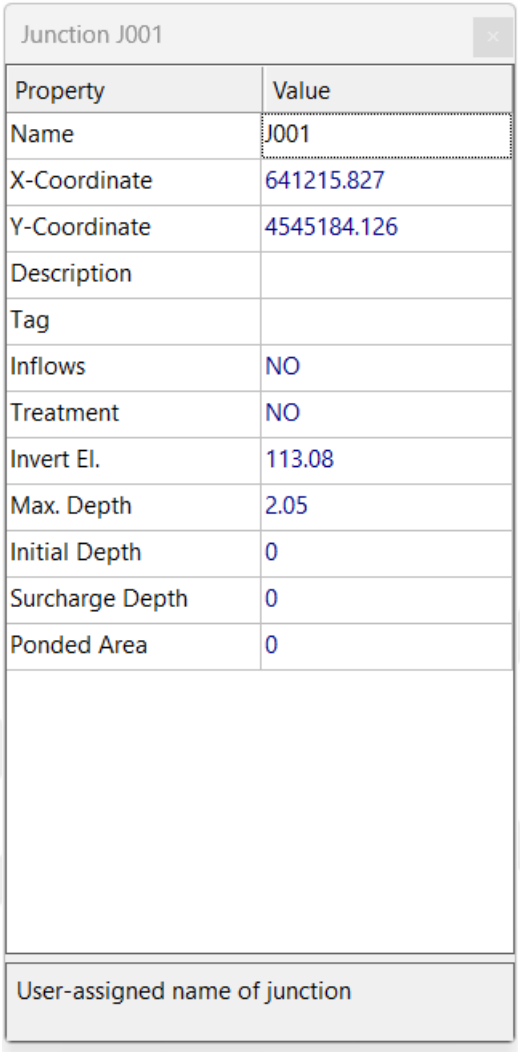
3.2.2. Birleşim Noktaları (Junction) Oluşturulması

SWMM programında oluşturulan birleşim noktaları (junction) verileri Esenyurt belediyesinden alınmıştır. Birleşim noktası özellikleri; yüksekliği, üst kotları alınan verilere göre SWMM programına aktarılmıştır. **Şekil 15**'te İSKİ Genel Müdürlüğünden alınan alt yapı verileri gösterilmektedir



Şekil 15. Birleşim noktaları verileri.

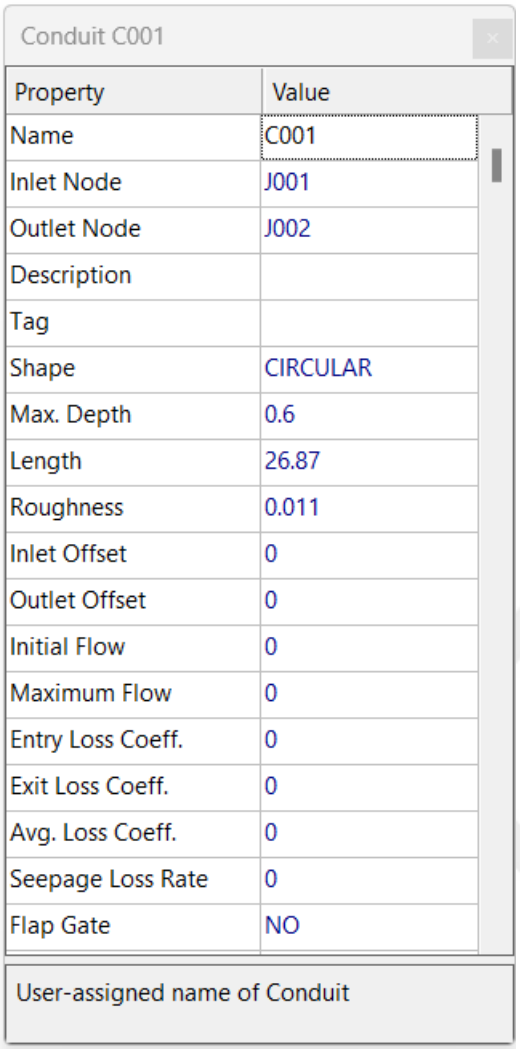
Şekil 16'da gösterildiği gibi, J001 birleşim noktası koordinatları program tarafından otomatik olarak girilmiştir. Birleşim noktası alt kotu (invert el.) verisi Esenyurt belediyesinden alınmıştır, bu kot deniz seviyesi kotu olarak bilinir. Üst kot (max depth) birleşim noktası alt kotundan üst kotuna olan mesafedir.



Şekil 16. J001 birleşim noktası (conduits) özellikleri.

3.2.3. Boruların (Conduits) Yerleştirilmesi

Borular (conduits) yağmur sularının iletimini sağlar. Çalışma alanında toplamda 257 adet boru mevcuttur. Sokaklarda bulunan boru çapları 0,4-0,6 m olup ana caddelerde ise 0,8-1,2 m arasındadır. SWMM programında oluşturulan bu borular Esenyurt belediyesinden alınmıştır. Şekil 16'da gösterilen boru (conduits) özellikleri boru çapı (max. Depth), boru uzunluğu ise (length) iki birleşim noktası arasındaki mesafedir. **Şekil 17**'de boruların özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 17. C001 boru (conduits) özellikleri.

3.2.4. Yağış Ölçer (Rain Gage) Oluşturulması

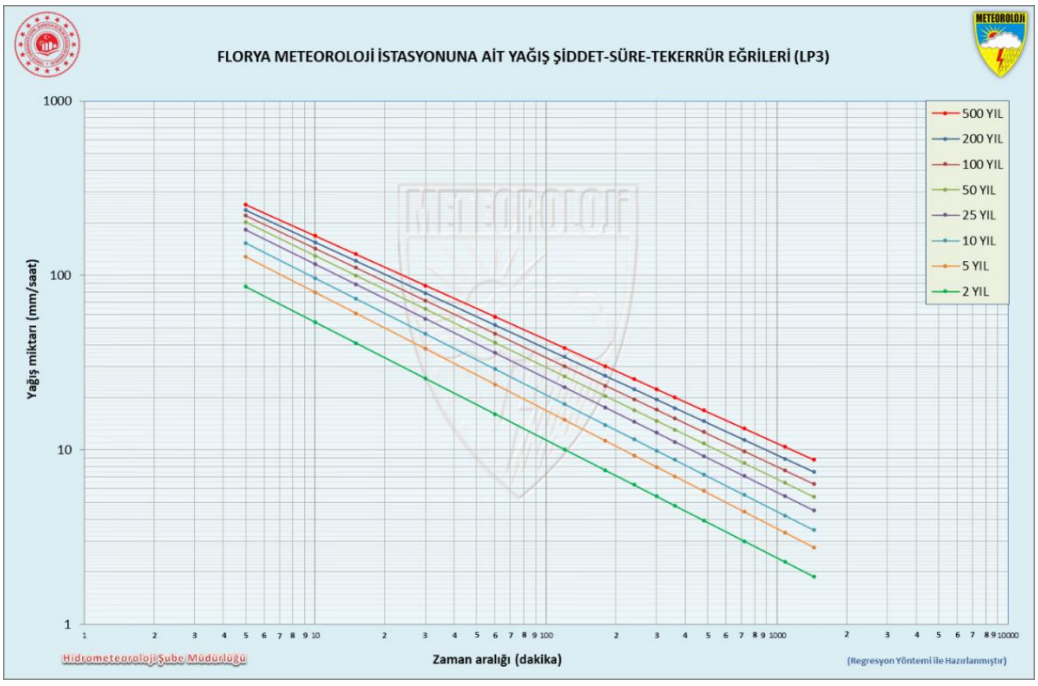
Yağış verileri için Meteoroloji Genel Müdürlüğünü Florya istasyonuna ait veriler talep edilip kullanılmıştır. Yağış istasyonundan 5, 10, 15, 30 dakika, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 18 ve 24 saatlik maksimum yağış verileri okunarak Yağış-Şiddet-Süre tekerrür analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda Log-Pearson 3 olasılık fonksiyonu kullanılarak 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık tekerrür aralığına sahip muhtemel yağışlar hesaplanmıştır. Model için 2,5,10,25,50 ve 100 yıllık yağış serileri **Şekil 18**'de gösterildiği gibi kullanılmıştır. Veriler **Tablo 2, Tablo 3** ve **Grafik 2**'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Florya Meteoroloji İstasyonu Standard Sürelerde Gözlenen En Büyük Yağışlar.

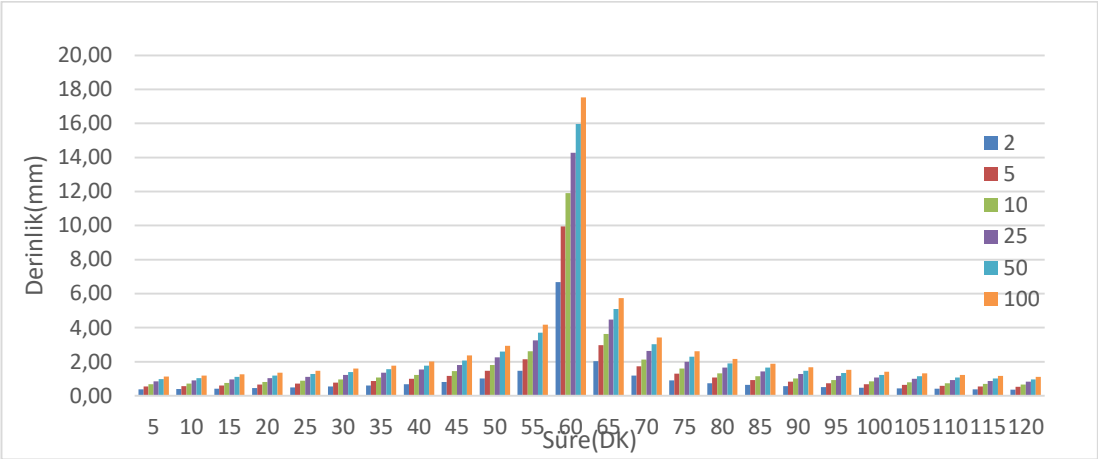
GÖZLEM	DAKİKA				SAAT										
YILI	5	10	15	30	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24	*
2020	10,2	14,2	16,0	19,4	21,4	21,4	21,6	21,6	21,6	22,0	26,6	36,4	44,4	51,2	
2019	7,2	10,2	12,8	21,6	30,4	32,8	32,8	33,0	34,0	34,2	34,2	36,0	36,0	36,0	
2018	6,6	10,2	14,4	16,2	25,0	27,8	30,4	30,8	32,8	38,6	44,8	48,6	49,6	49,6	
2017	14,0	19,3	21,8	23,4	23,6	23,6	25,6	26,4	26,4	28,0	29,6	31,0	35,2	36,4	
2016	5,1	6,5	8,0	11,2	16,2	20,4	24,3	26,0	30,0	32,8	38,4	51,4	57,6	72,2	
2015	9,9	17,4	21,7	28,3	32,1	34,0	39,0	43,0	43,0	43,1	46,1	46,2	46,3	48,5	
2014	16,9	20,5	29,2	38,0	42,9	47,3	52,9	55,9	55,9	55,9	56,0	56,1	56,2	58,7	
2013	4,4	5,2	6,1	8,9	17,0	22,9	29,3	31,6	31,7	31,8	32,5	34,0	34,1	35,5	
2012	8,2	13,3	16,3	23,3	23,3	23,3	29,7	34,5	37,6	39,7	40,8	40,9	42,9	43,0	
2011	3,8	5,7	7,3	8,4	9,3	11,3	12,9	15,1	16,1	17,1	22,0	25,7	26,8	30,0	
2010	6,5	10,1	13,1	21,7	22,6	26,3	33,5	35,7	38,9	40,8	43,3	44,8	47,3	51,5	
2009	8,5	12,4	15,9	23,0	24,1	27,8	30,8	40,8	45,9	46,0	46,0	46,2	68,0	85,3	

Tablo 3. Florya Meteoroloji İstasyonuna ait veriler.

N	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	
Y-ORT	6,69	9,62	11,67	15,62	19,29	23,15	25,94	28,06	30,45	32,58	35,27	39,41	45,54	51,50	
Y-EB	16,90	21,00	29,20	38,00	42,90	58,20	62,40	67,80	81,70	87,00	104,40	125,20	164,10	173,30	
Std.S	3,06	4,57	5,49	7,27	8,43	10,73	12,73	14,02	15,74	16,47	18,16	20,02	22,94	24,36	
Car.K	0,99	0,65	0,71	0,62	0,63	1,02	1,20	1,16	1,32	1,44	1,73	2,05	2,56	2,37	
UDF	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3	
2 YIL	6,2	8,8	10,7	14,2	17,7	21,0	23,1	25,0	26,8	28,6	30,9	34,4	39,5	45,2	
5 YIL	9,1	13,2	16,0	21,2	25,6	30,8	34,4	37,5	40,7	42,8	46,2	50,7	57,2	64,3	
10 YIL	10,8	16,0	19,3	25,8	31,0	37,5	42,5	46,5	50,8	53,5	57,8	63,4	71,6	79,7	
25 YIL	12,8	19,5	23,4	31,7	37,8	46,2	53,6	58,4	64,7	68,5	74,1	81,8	93,2	102,6	
50 YIL	14,3	22,0	26,2	36,0	42,8	52,7	62,2	67,7	75,8	80,8	87,5	97,3	112,2	122,3	
100 YIL	15,6	24,5	29,0	40,3	47,9	59,3	71,4	77,3	87,5	94,1	102,0	114,5	133,7	144,6	
200 YIL	16,8	26,9	31,7	44,6	53,0	66,1	80,9	87,4	99,9	108,4	117,8	133,7	158,3	169,8	
500 YIL	18,1	29,6	34,6	49,3	58,6	73,7	91,8	98,8	114,0	125,0	135,9	155,9	187,5	199,4	
PLF	0,12	0,18	0,22	0,29	0,35	0,43	0,51	0,55	0,61	0,65	0,71	0,79	0,91	1,00	
PLV	0,15	0,22	0,26	0,34	0,42	0,49	0,54	0,57	0,62	0,66	0,70	0,78	0,88	1,00	



Grafik 2. Florya Metroloji İstasyonu Ait Yağış Şiddet-Süre-Tekerrür Eğriler.



Şekil 18. Toplam yağış-zaman serisi hiyetografı mm/dk

3.3.DEK Uygulamalarının Modele Entegre Edilmesi

Çalışma alanında bulunan binaların ve sokakların bölgede elverişli durumuna göre 3 farklı DEK kombinasyonu uygulanmıştır. Bundan sonraki bölümler sırasıyla yeşil çatı, geçirgen yol ve yağmur varilleri uygulamalarının modele entegresi detaylandırılacaktır. DEK uygulamaları için gerekli parametreler açıklanmış ve değerleri program özelliklerinde bulunan kılavuzdan alınmıştır.

Bu tez çalışmasında senaryolar **Tablo 4**'te gösterildiği gibi 3 değişkenin kombinasyonundan oluşturulup (yağmur varili, yeşil çatı ve geçirimli kaldırım) bu değişkenler dikkate alınarak yapılan senaryolar tezin amacına uygun bir şekilde hazırlanıp SWMM programına entegre edilmiştir.

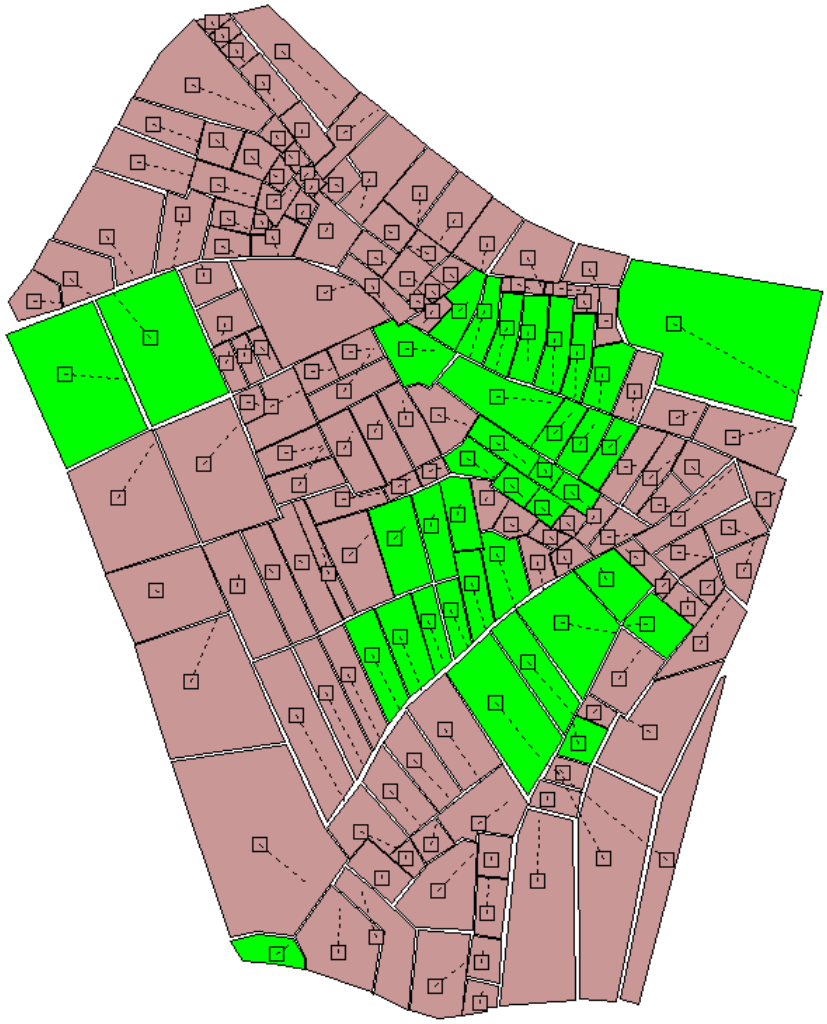
Bu tezde 8 adet senaryo mevcuttur. **Tablo 4**'te gösterildiği gibi senaryolar %5'ten başlayıp %40'a kadar olmaktadır. Her senaryo için belirlenen DEK uygulamaları için verilen değerler kombinasyonu yüzdelik artışa göre sabitlenmiştir.

Tablo 4. Bütün senaryolar için kullanılan parametreleri.

Senaryo No	%	Yağmur Varili	Yeşil Çatı	Geçirimli Kaldırım
1	5	2	2	1
2	10	4	4	2
3	15	6	6	3
4	20	8	8	4
5	25	10	10	5
6	30	12	12	6
7	35	14	14	7
8	40	16	16	8

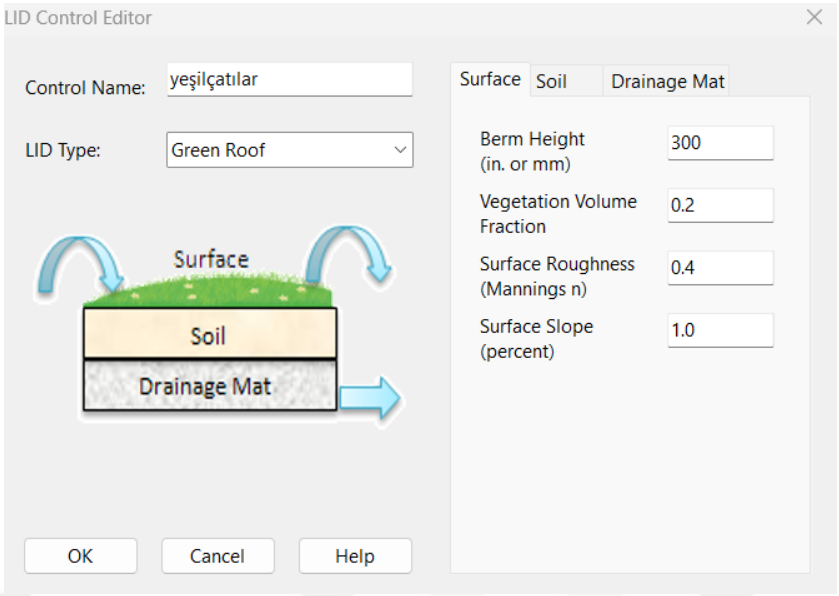
3.4.Yeşil Çatıların Tanımlanması

SWMM'de modellenen ve çalışma alanında uygulanması amaçlanan birinci tip DEK uygulaması Yeşil Çatılardır. Yeşil Çatılar 37 adet alt havzaya **Şekil 19**'da yeşil bölgelerde yer almaktadır. Bu uygulanma yeri, yağış durumunda borulardaki debiyi azaltmak için seçilmiştir.



Şekil 19. SWMM programında yeşil çatı uygulanan alt havzalar.

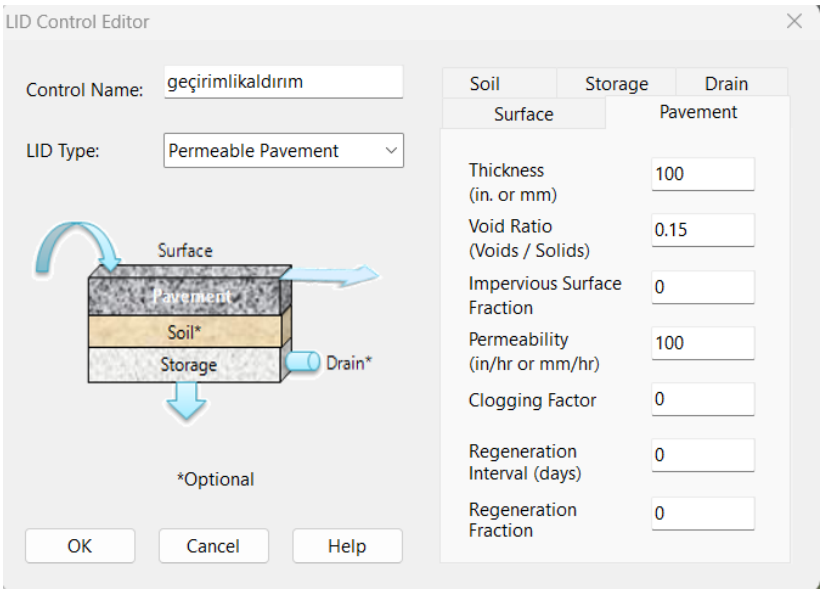
DEK Controls seçeneği üzerinden girilen yeşil çatıların (green roof) özellikleri uygulama şekillerine ve literatüre bakılarak toplam yüksekliği 300 mm, yüzey eğimi %1, yüzey pürüzlülük katsayısı (manning) n=0.4 , toprak kalınlığı 150 mm, drenaj pürüzlülük katsayısı (manning) n=0.1 , drenaj kalınlığı 25 mm, olarak seçilmiştir. **Şekil 20**'de gösterildiği gibi yeşil çatıların özellikleri görülmektedir.



Şekil 20. SWMM programında yeşil çatı özellikleri.

3.5.Geçirimli Kaldırım Tanımlanması

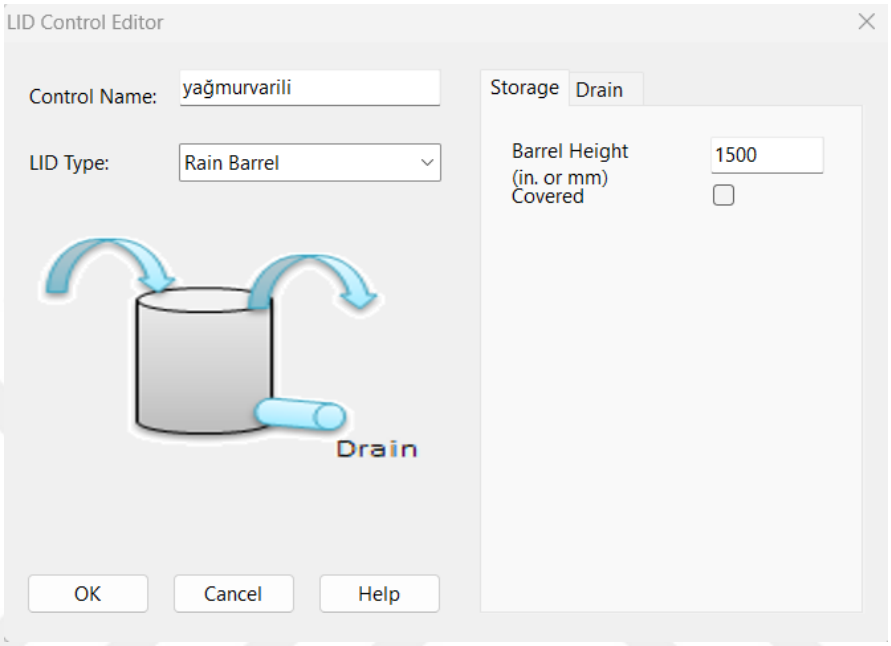
Geçirimli kaldırım özellikleri uygulama şekillerine bakılarak LID Controls komutu seçeneğin de tanımlanmıştır. Toplam sistemin yüksekliği 450 mm, yüzey pürüzlülük katsayısı (Manning) n=0.4, kaldırım kalınlığı 100 mm, yüzey eğimi %2, toprak kalınlığı 100 mm, depolama alanı kalınlığı 50 mm olarak seçilmiştir. **Şekil 21**'de geçirimli kaldırımın bazı özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 21. SWMM programında geçirimli kaldırımın özellikleri.

3.6.Yağmur Varili Tanımlanması

Yağmur varili özellikleri uygulama şekillerine bakılarak LID Controls komutu seçeneğin de tanımlanmıştır. Toplam sistemin yüksekliği 1500 mm, akış katsayısı (flow coefficient) c=2.64, **Şekil 22**'de geçirimli kaldırımın bazı özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 22. SWMM programında yağmur varili özellikleri.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
MODEL SONUÇLARI

Model sonuçlarının ilk bölümü, 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık geri dönüş aralıklarına sahip altı farklı yağış olayında çalışma alanının yağış akışı ve akış yönlendirme modelinin performansını açıklamaya ayrılmış ve etkileri nicelleştirmiştir. Sekiz farklı DEK uygulaması; %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35 ve %40 en yüksek akışta ve akış hacminde azalma görülmüştür.

4.1. İki (2) Yıllık Yağış Serisi Senaryosu

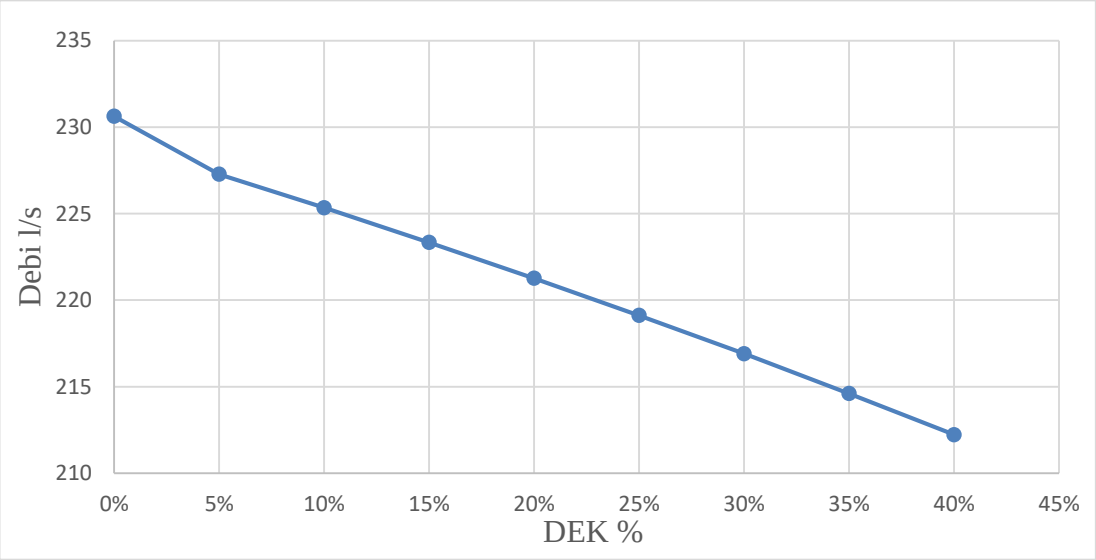
Çalışma alanı SWMM'de analiz edilen 2 yıllık yağış periyodu sonucu model hazırlanması bir önceki bölümde sunulan yağış olayı için yağmur verileri hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Bu yağış değerleri zamana göre normal dağılım fonksiyonuna uyan yağış zaman serisi olarak modele girilmiştir.

İlk adımda DEK uygulaması olmayan çalışma alanı SWMM'de modellenmiş ve daha sonra belirlenen alanlarda geçirimsiz yüzeylerin %5'i DEK uygulamaları ile değiştirilmiştir. Bu senaryo, %40 DEK değişimine ulaşana kadar önceki her senaryo için %5 DEK bileşenleri kombinasyonu eklenerek devam ettirilmiştir. DEK uygulamaları sonuçları **Tablo 5**'te gösterilmiştir.

Tablo 5. İki yıllık yağış serisinde çıkış noktaları sonuçları.

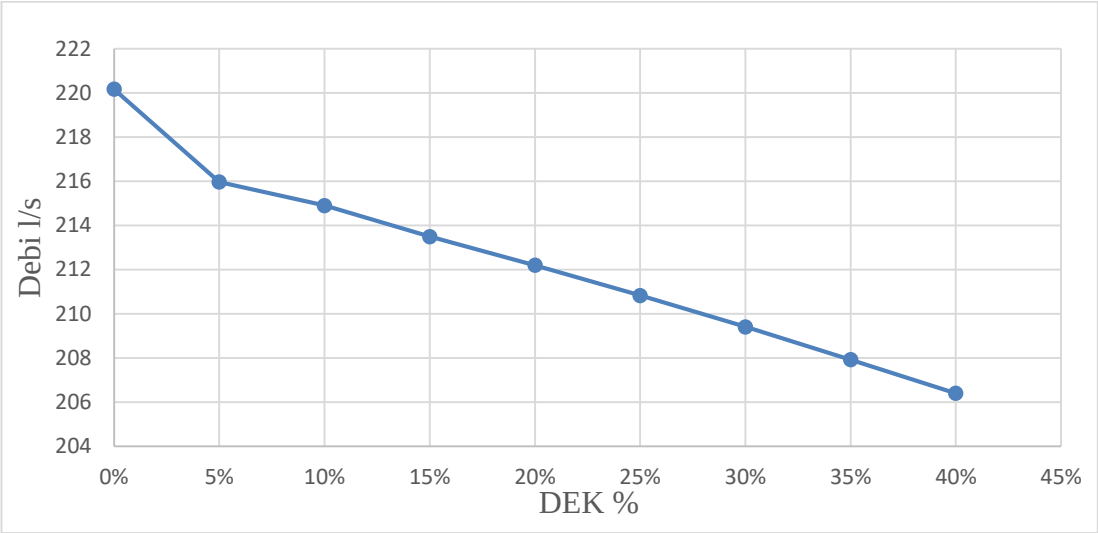
(2yıl)	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
O1	230,62	227,27	225,34	223,33	221,26	219,11	216,9	214,6	212,22
O2	220,17	215,97	214,9	213,5	212,2	210,83	209,41	207,93	206,41
O3	10	9,84	9,67	9,48	9,28	9,06	8,82	8,55	8,26

Şekil 23 incelendiğinde O1 çıkış noktası için %0, %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35 ve %40 DEK uygulaması sonuçları verilmiştir. Başlangıçta DEK uygulaması entegre edilmemiş olan %0 senaryosunda maksimum debi 230,62 l/s olarak ölçülmüştür. DEK uygulaması entegre edildikten sonra maksimum çıkış debileri kıyaslandığında her senaryoda azalmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. **Tablo 6**'ya bakıldığında O1 çıkış noktasında uygulanan %10 DEK uygulamasında %2,29 oranında azalma görülmektedir.



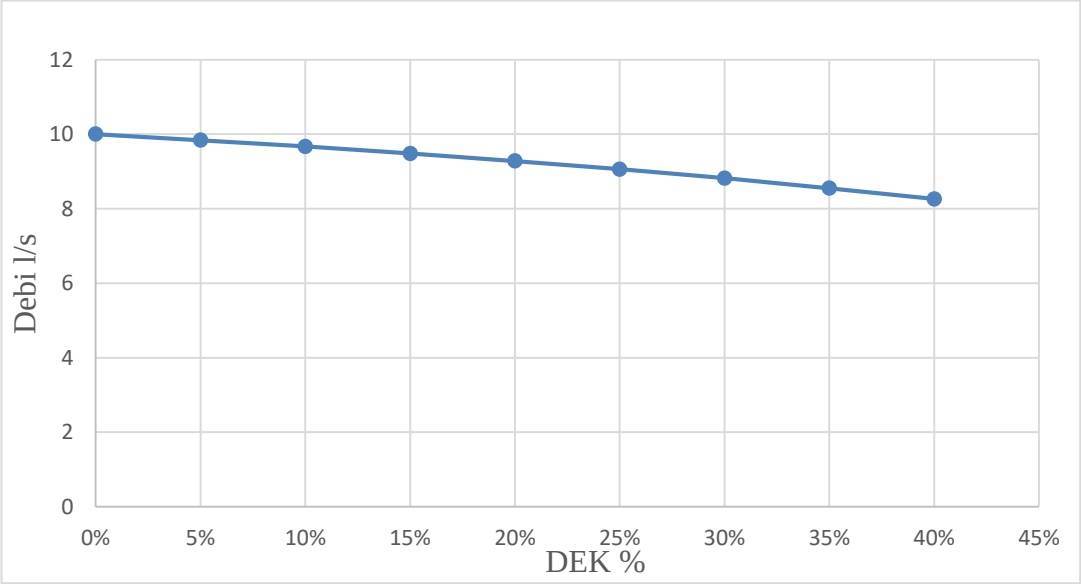
Şekil 23. 2 yıllık senaryo durumda O1 çıkış noktası debisi grafiği.

Şekil 24 incelendiğinde %0, %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35 ve %40 DEK uygulaması sonuçları O2 çıkış noktası için verilmiştir. O2 çıkış noktasında Başlangıçta DEK uygulaması entegre edilmemiş olan %0 senaryosunda maksimum debi 220,17 l/s olarak ölçülmüştür. DEK uygulaması entegre edildikten sonra maksimum çıkış debileri kıyaslandığında her senaryoda azalmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. %40 senaryoda maksimum çıkış debisi 206,41 l/s olarak ölçülmüştür. **Tablo 6**'da gösterildiği gibi %10 DEK uygulamasında %2,39 oranında azalma meydana gelmiştir.



Şekil 24. 2 yıllık senaryo durumda O2 çıkış noktası debisi grafiği.

Şekil 25'e bakıldığında, O3 çıkış noktasının sonuçları %0, %5, %10…%35 ve %40 senaryo sonuçları verilmiştir. Başlangıçta DEK uygulamasının entegre edilmediği %0 senaryosunda O3 çıkış noktasının maksimum 10 l/sn akış hızı ölçülmüştür. DEK uygulamasının entegrasyonundan sonraki maksimum çıkış debileri karşılaştırıldığında, her senaryoda azalma olduğu görülmektedir. %40 DEK uygulaması senaryosu için maksimum debi 8,26 l/s olarak ölçülmüştür. **Tablo 6**'ya bakıldığında O3 çıkış noktasında uygulanan %10 DEK uygulaması sonucu %3,30 oranında azalma meydana gelmiştir.



Şekil 25. 2 yıllık senaryo durumda O3 çıkış noktası debisi grafiği.

Tablo 6. İki yıllık yağış serisinde çıkış noktalarındaki yüzdelik sonuçlar.

(2yıl)	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
O1	1,45%	2,29%	3,16%	4,06%	4,99%	5,95%	6,95%	7,98%
O2	1,91%	2,39%	3,03%	3,62%	4,24%	4,89%	5,56%	6,25%
O3	1,60%	3,30%	5,20%	7,20%	9,40%	11,80%	14,50%	17,40%

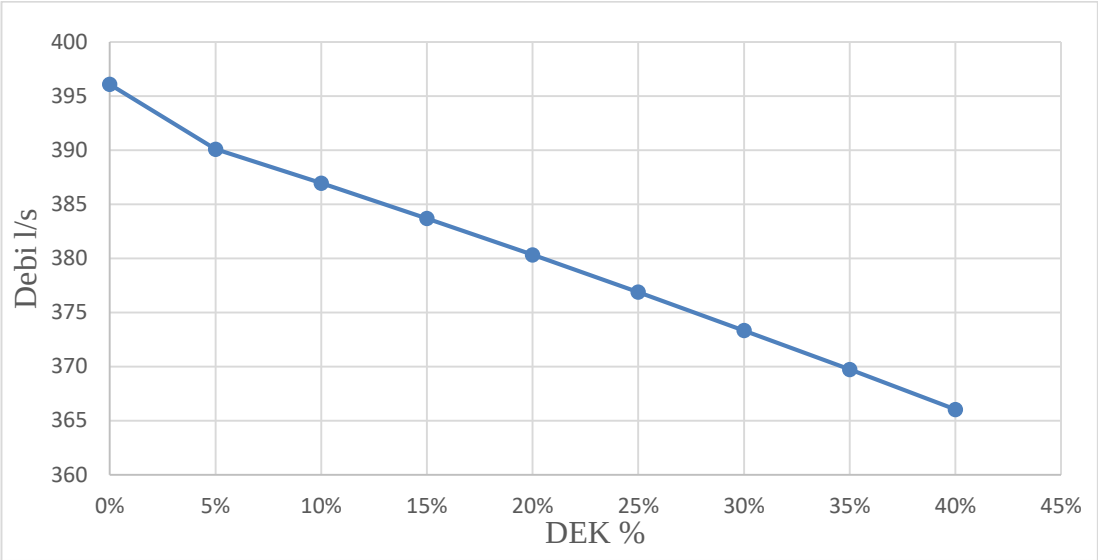
4.2.Beş (5) Yıllık Yağış Serisi Senaryosu

Bu bölümde Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan Florya İstasyonuna ait yağış verileri ile oluşturulmuş 5 yıllık yağış serisi EPA SWMM programı kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Model simülasyonları ile çalışma alanı olan Esenyurt bölgesinde bulunan çıkış noktalarına ulaşan akımların yanı sıra DEK uygulamasının etkinliğini ortaya konmuştur. **Tablo 7**'de DEK sonuçları verilmiştir.

Tablo 7. Beş yıllık yağış serisinde çıkış noktaları sonuçları**.**

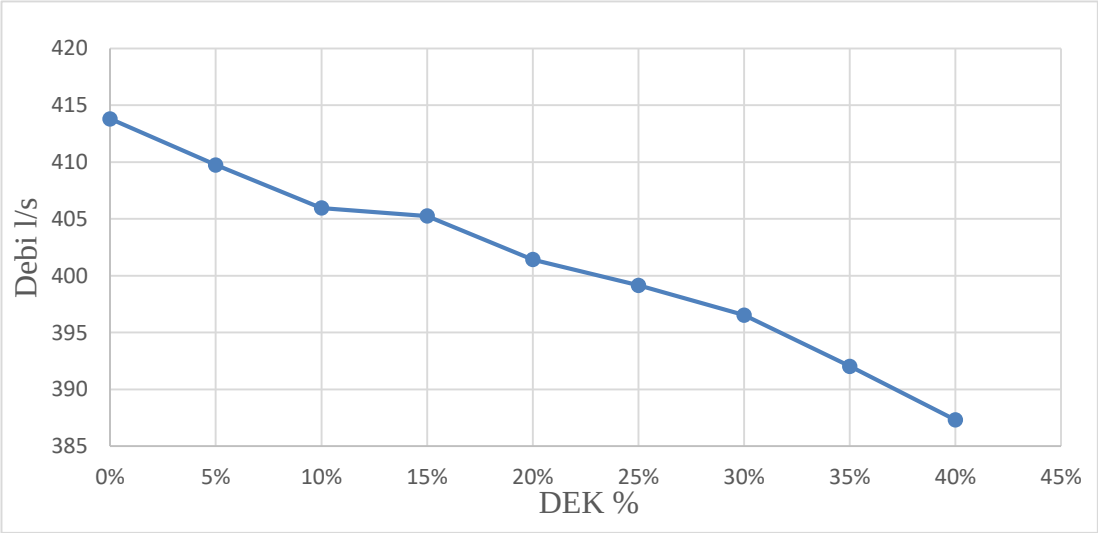
(5yıl)	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
O1	396,09	390,1	386,96	383,69	380,33	376,88	373,33	369,73	366,03
O2	413,8	409,75	405,95	405,25	401,42	399,16	396,53	392,03	387,31
O3	17,9	17,55	17,18	16,79	16,37	15,92	15,43	14,9	14,32

Şekil 26'ya bakıldığında, O1 çıkış noktasının sonuçları %0, %5, %10…%35 ve %40 senaryo sonuçları verilmiştir. Başlangıçta DEK uygulamasının entegre edilmediği %0 senaryosunda O1 çıkış noktasının maksimum 396,09 l/sn akış hızı ölçülmüştür. DEK uygulamasının entegrasyonundan sonraki maksimum çıkış debileri karşılaştırıldığında, her senaryoda azalma olduğu görülmektedir. %40 DEK uygulaması senaryosu için maksimum debi 366,03 l/s olarak ölçülmüştür. **Tablo 8**'de uygulanan %10 DEK sonucuna bakıldığında %2,31 oranında azalma olduğu görülmektedir.



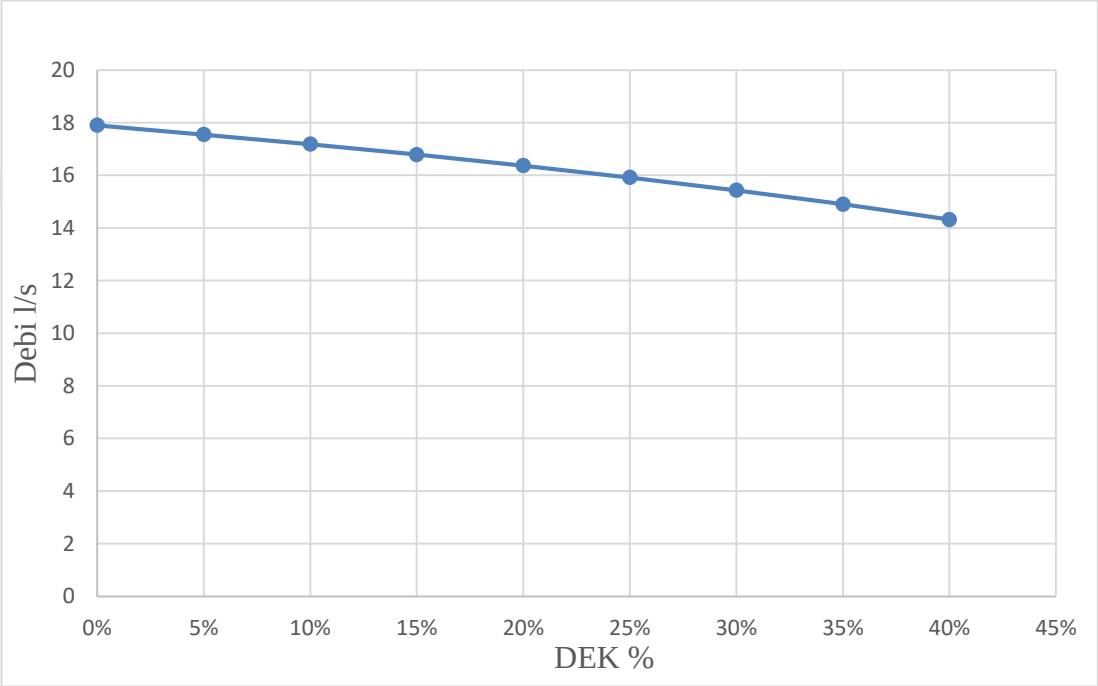
Şekil 26. 5 yıllık senaryo durumda O1 çıkış noktası debisi grafiği.

Şekil 27 incelendiğinde, O2 çıkış noktasına %0, %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35 ve %40 DEK uygulaması entegre edilip simülasyon sonuçları gösterilmektedir. DEK uygulamasının başlangıçta entegre edilmediği %0 senaryosunda O2 çıkış noktasında maksimum 413,8 l/sn akış hızı ölçülmüştür. DEK uygulamasını entegre edildikten sonra maksimum akış hızını karşılaştırdığımızda, tüm senaryolarda düştüğünü gördük. %40 senaryosunda maksimum çıkış debisi 387,31 l/s olarak ölçülmüştür. **Tablo 8**'de uygulanan %10 DEK sonucuna bakıldığında %1,90 oranında azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 27. 5 yıllık senaryo durumda O2 çıkış noktası debisi grafiği.

Şekil 28'de O3 çıkış noktasının sonuçları %0, %5, %10...%35 ve %40 senaryo sonuçlarıdır. Başlangıçta DEK uygulamasının dahil edilmediği %0 senaryosunda, 17,9 l/s'lik bir maksimum O3 çıkış noktasının akış hızı ölçülmüştür. DEK uygulaması entegre edildikten sonra maksimum çıkış debisi karşılaştırıldığında, her senaryoda azaldığı görülebilir. %40 DEK uygulama senaryosu için maksimum akış hızı 14,32 l/s'dir. **Tablo 8**'de uygulanan %10 DEK sonucuna bakıldığında %4,02 oranında azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 28. 5 yıllık senaryo durumda O3 çıkış noktası debisi grafiği.

Tablo 8. Beş yıllık yağış serisinde çıkış noktalarındaki yüzdelik sonuçlar.

(5yıl)	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
O1	1,51%	2,31%	3,13%	3,98%	4,85%	5,75%	6,66%	7,59%
O2	0,98%	1,90%	2,07%	2,99%	3,54%	4,17%	5,26%	6,40%
O3	1,96%	4,02%	6,20%	8,55%	11,06%	13,80%	16,76%	20,00%

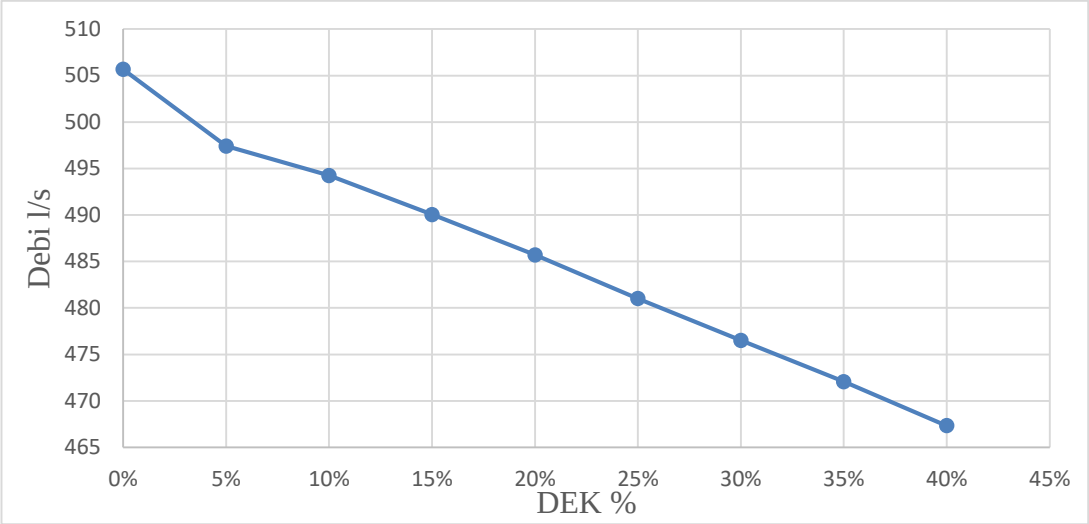
4.3.On (10) Yıllık Yağış Serisi Senaryosu

Bu bölümde, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Florya istasyonundan alınan yağış verileri kullanılarak oluşturulan 10 yıllık bir yağış serisi EPA SWMM programı kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Model simülasyonları, DEK uygulamasının etkinliğini ve çalışma alanı olan Esenyurt bölgesinde çıkış noktalarına ulaşan akışı ortaya koymuştur. **Tablo 9** incelendiğinde uygulanan DEK sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 9. On yıllık yağış serisinde çıkış noktaları sonuçları**.**

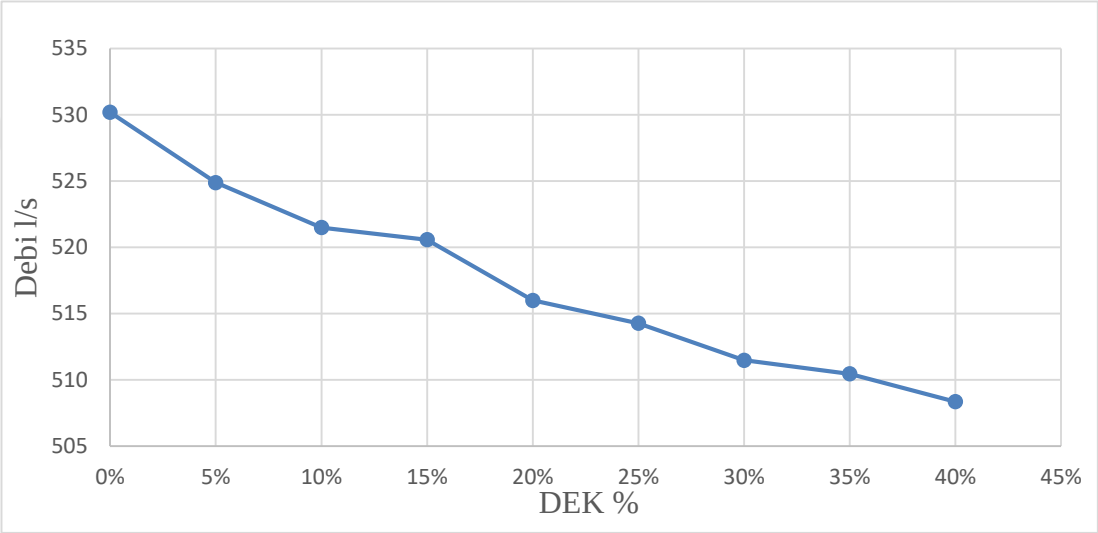
(10yıl)	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
O1	505,67	497,42	494,25	490,04	485,7	481	476,51	472,07	467,34
O2	530,18	524,88	521,49	520,58	516	514,27	511,48	510,46	508,36
O3	23,74	23,25	22,72	22,15	21,55	20,9	20,21	19,46	18,65

Şekil 29 incelendiğinde O1 çıkış noktası için %0, %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35 ve %40 DEK uygulaması sonuçları verilmiştir. Başlangıçta DEK uygulaması entegre edilmemiş olan %0 senaryosunda maksimum debi 505,67 l/s olarak ölçülmüştür. DEK uygulaması entegre edildikten sonra maksimum çıkış debileri kıyaslandığında her senaryoda azalmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. %40 DEK uygulama senaryosu için maksimum akış hızı 467,34 l/s olarak ölçülmüştür. **Tablo 10**'da uygulanan %10 DEK sonucuna bakıldığında %2,26 oranında azalma olduğu görülmektedir.



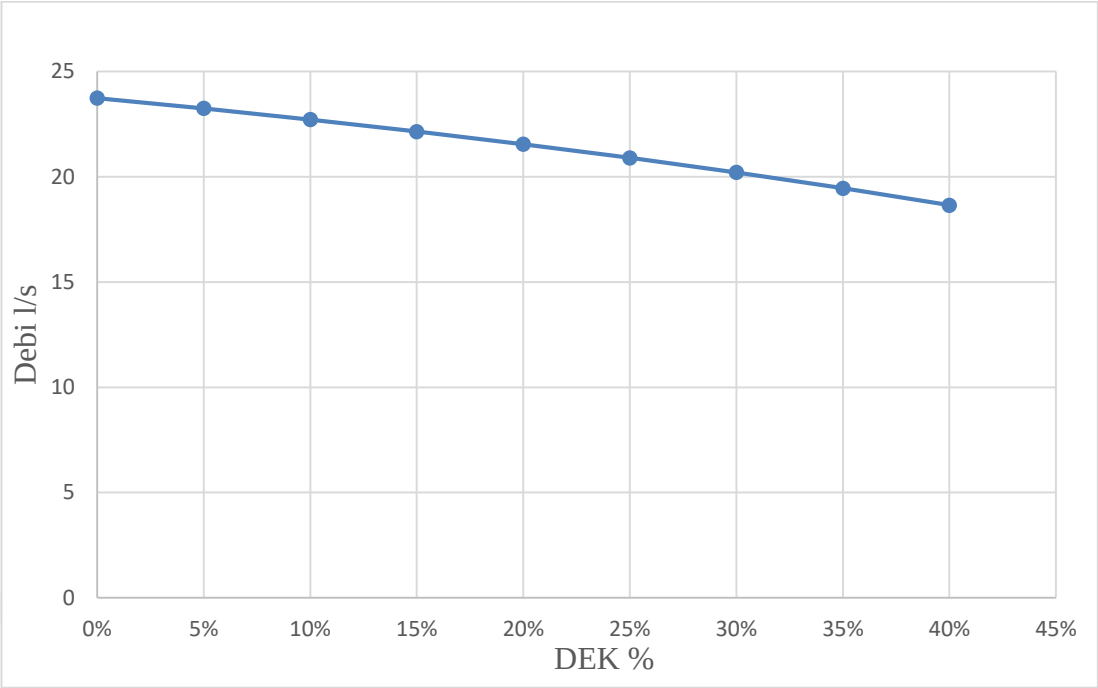
Şekil 29. 10 yıllık senaryo durumda O1 çıkış noktası debisi grafiği.

Şekil 30 incelendiğinde, O2 çıkış noktasına %0, %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35 ve %40 DEK uygulaması entegre edilip simülasyon sonuçları gösterilmektedir. DEK uygulamasının başlangıçta entegre edilmediği %0 senaryosunda O2 çıkış noktasında maksimum 530,18 l/sn akış hızı ölçülmüştür. DEK uygulamasını entegre edildikten sonra maksimum akış hızını karşılaştırdığımızda, tüm senaryolarda düştüğünü gördük. %40 senaryosunda maksimum çıkış debisi 508,36 l/s olarak ölçülmüştür. **Tablo 10**'da uygulanan %10 DEK sonucuna bakıldığında %1,64 oranında azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 30. 10 yıllık senaryo durumda O2 çıkış noktası debisi grafiği.

Şekil 31'de O3 çıkış noktasının sonuçları %0, %5, %10...%35 ve %40 senaryo sonuçlarıdır. Başlangıçta DEK uygulamasının dahil edilmediği %0 senaryosunda, 23,74 l/s'lik bir maksimum O3 çıkış noktasının akış hızı ölçülmüştür. DEK uygulaması entegre edildikten sonra maksimum çıkış debisi karşılaştırıldığında, her senaryoda azaldığı görülebilir. %40 DEK uygulama senaryosu için maksimum akış 18,65 l/s'dir. **Tablo 10**'da uygulanan %10 DEK sonucuna bakıldığında %4,30 oranında azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 31. 10 yıllık senaryo durumda O3 çıkış noktası debisi grafiği.

Tablo 10. On yıllık yağış serisinde çıkış noktalarındaki yüzdelik sonuçlar.

(10yıl)	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**	**30%**	**35%**	**40%**
O1	1,63%	2,26%	3,09%	3,95%	4,88%	5,77%	6,64%	7,58%
O2	1,00%	1,64%	1,81%	2,67%	3,00%	3,53%	3,72%	4,12%
O3	2,06%	4,30%	6,70%	9,22%	11,96%	14,87%	18,03%	21,44%

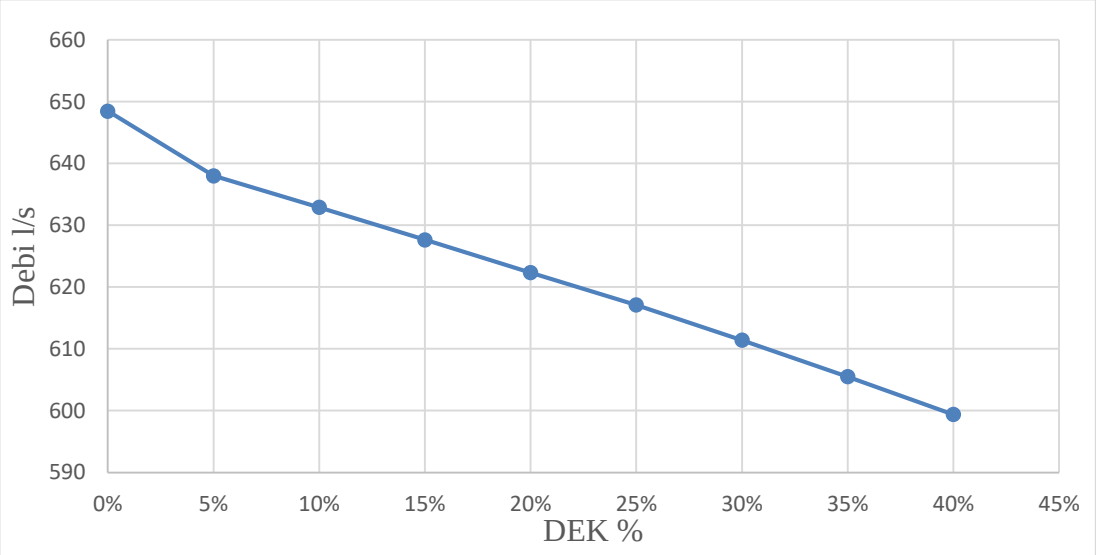
4.4. Yirmi Beş (25) Yıllık Yağış Serisi Senaryosu

Bu bölümde, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Florya istasyonundan alınan yağış verileri kullanılarak oluşturulmuş 25 yıllık bir yağış dizisi olan EPA SWMM programı kullanılarak analiz yapılmıştır. Model simülasyonları, DEK uygulamasının etkinliğini ve çalışma alanı olan Esenyurt bölgesinde çıkış noktasına ulaşan akışı göstermiştir. **Tablo 11** incelendiğinde uygulanan DEK sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 11. Yirmi beş yıllık yağış serisinde çıkış noktaları sonuçları.

(25yıl)	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
O1	648,46	638	632,9	627,65	622,35	617,1	611,42	605,5	599,4
O2	678,6	673,51	670,37	670,12	669,11	661,2	658,46	654,55	649,81
O3	31,79	31,06	30,3	29,48	28,61	27,68	26,69	25,63	24,51

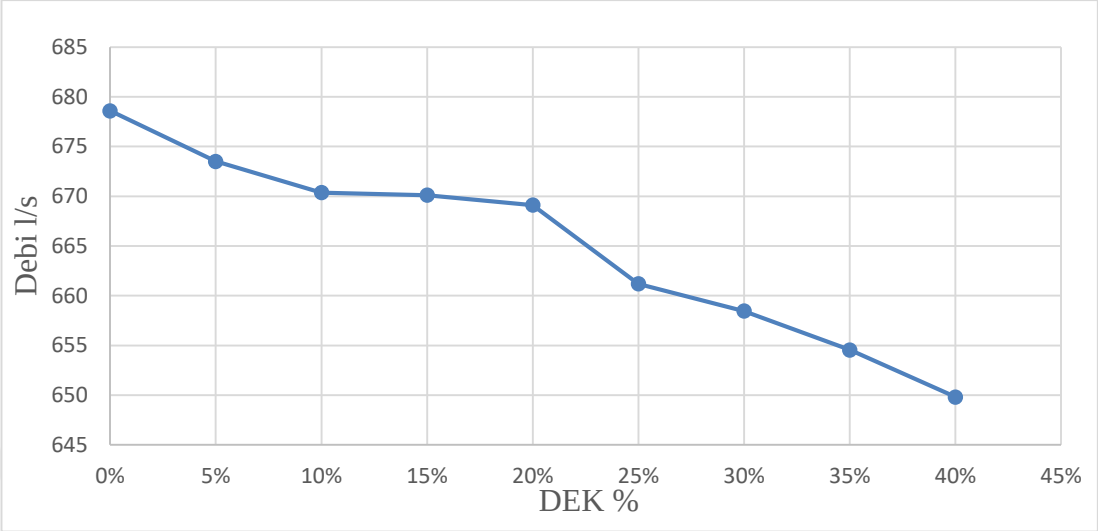
Şekil 32 incelendiğinde O1 çıkış noktası için %0, %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35 ve %40 DEK uygulaması sonuçları verilmiştir. Başlangıçta DEK uygulaması entegre edilmemiş olan %0 senaryosunda maksimum debi 648,46 l/s olarak ölçülmüştür. DEK uygulaması entegre edildikten sonra maksimum çıkış debileri kıyaslandığında her senaryoda azalmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. %40 DEK uygulama senaryosu için maksimum akış 599,4 l/s olarak ölçülmüştür. **Tablo 12**'de uygulanan %10 DEK sonucuna bakıldığında %2,40 oranında azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 32. 25 yıllık senaryo durumda O1 çıkış noktası debisi grafiği.

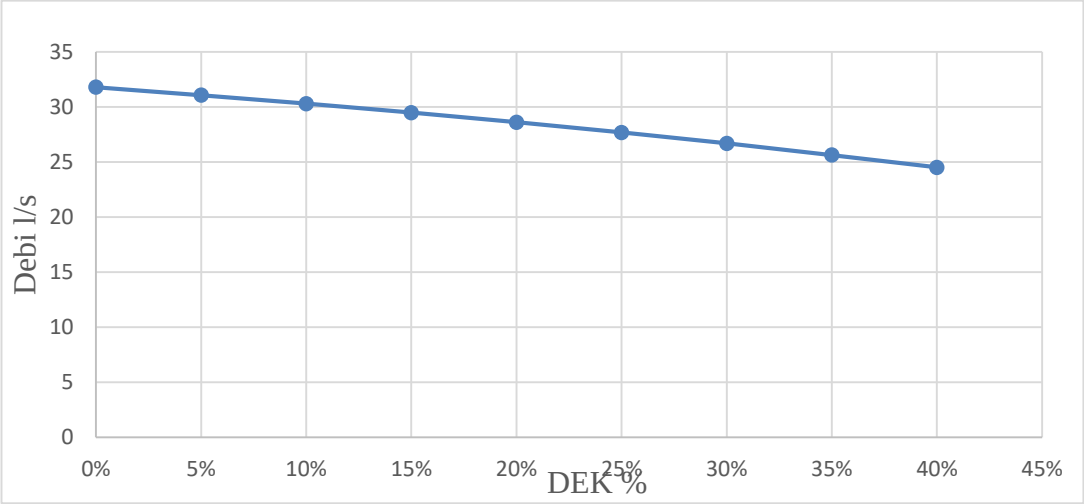
Şekil 33 incelendiğinde, O2 çıkış noktasına %0, %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35 ve %40 DEK uygulaması entegre edilip simülasyon sonuçları gösterilmektedir. DEK uygulamasının başlangıçta entegre edilmediği %0 senaryosunda O2 çıkış noktasında maksimum 678,6 l/sn akış ölçülmüştür. DEK uygulamasını entegre edildikten sonra maksimum akışı karşılaştırdığımızda, tüm senaryolarda düştüğünü gördük. %40 senaryosunda maksimum çıkış debisi 649,81 l/s

olarak ölçülmüştür. **Tablo 12**'de uygulanan %10 DEK sonucuna bakıldığında %1,21 oranında azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 33. 25 yıllık senaryo durumda O2 çıkış noktası debisi grafiği.

Şekil 34' te O3 çıkış noktasının sonuçları %0, %5, %10...%35 ve %40 senaryo sonuçlarıdır. Başlangıçta DEK uygulamasının dâhil edilmediği %0 senaryosunda, O3 çıkış noktasında 31,79 l/s'lik bir maksimum akış ölçülmüştür. DEK uygulaması entegre edildikten sonra maksimum çıkış debisi karşılaştırıldığında, her senaryoda azaldığı görülmüştür. %40 DEK uygulama senaryosu için maksimum akış 24,51 l/s'dir. **Tablo 12**'de uygulanan %10 DEK sonucuna bakıldığında %4,69 oranında azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 34. 25 yıllık senaryo durumda O3 çıkış noktası debisi grafiği.

Tablo 12. Yirmi beş yıllık yağış serisinde çıkış noktalarındaki yüzdelik sonuçlar.

(25yıl)	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
O1	1,61%	2,40%	3,21%	4,03%	4,84%	5,71%	6,62%	7,57%
O2	0,75%	1,21%	1,25%	1,40%	2,56%	2,97%	3,54%	4,24%
O3	2,30%	4,69%	7,27%	10,00%	12,93%	16,04%	19,38%	22,90%

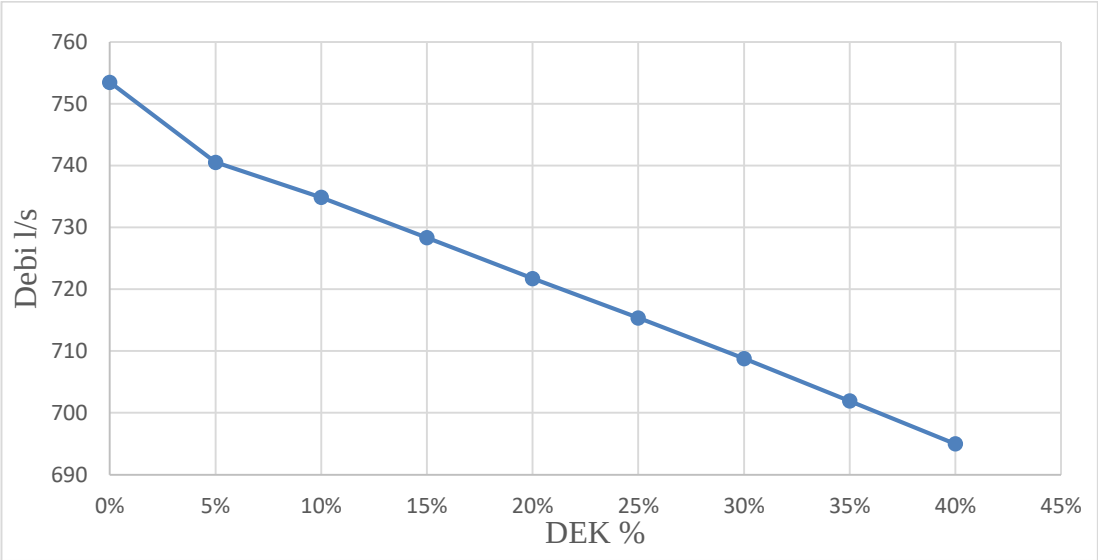
4.5.Elli (50) Yıllık Yağış Serisi Senaryosu

Bu bölümde Meteoroloji Genel Müdürlüğünden elde edilen Florya İstasyonuna ait yağış verileri ile oluşturulmuş 50 yıllık yağış serisi EPA SWMM programı kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Model simülasyonları ile çalışma alanı olan Esenyurt bölgesinde bulunan çıkış noktalarına ulaşan akımların yanı sıra DEK uygulamasının etkinliğini gözlemlenmiştir. **Tablo 13** incelendiğinde uygulanan DEK sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 13. Elli yıllık yağış serisinde çıkış noktaları sonuçları.

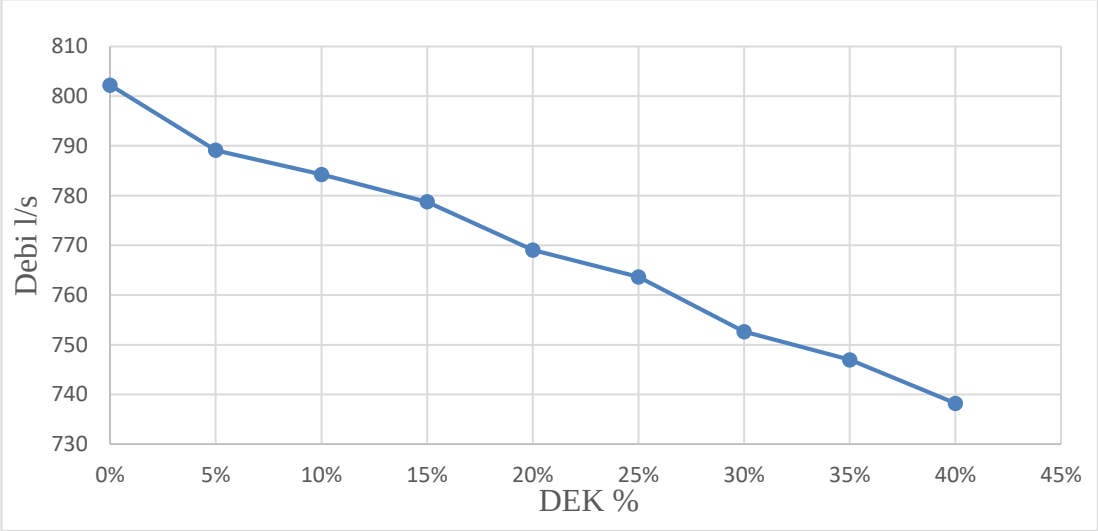
(50yıl)	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
O1	753,48	740,53	734,87	728,35	721,74	715,37	708,78	701,93	694,99
O2	802,21	789,1	784,23	778,75	769,04	763,63	752,63	746,96	738,21
O3	37,89	36,98	36,02	35	33,92	32,77	31,55	30,25	28,86

Şekil 35' te O1 çıkış noktasının sonuçları %0, %5, %10...%35 ve %40 senaryo sonuçlarıdır. Başlangıçta DEK uygulamasının dahil edilmediği %0 senaryosunda, 753,48 l/s'lik bir maksimum O1 çıkış noktasının akış ölçülmüştür. DEK uygulaması entegre edildikten sonra maksimum çıkış debisi karşılaştırıldığında, her senaryoda azaldığı görülebilir. %40 DEK uygulama senaryosu için maksimum akış, 694,99 l/s'dir. **Tablo 14**'te uygulanan %10 DEK sonucuna bakıldığında %2,47 oranında azalma olduğu görülmektedir.



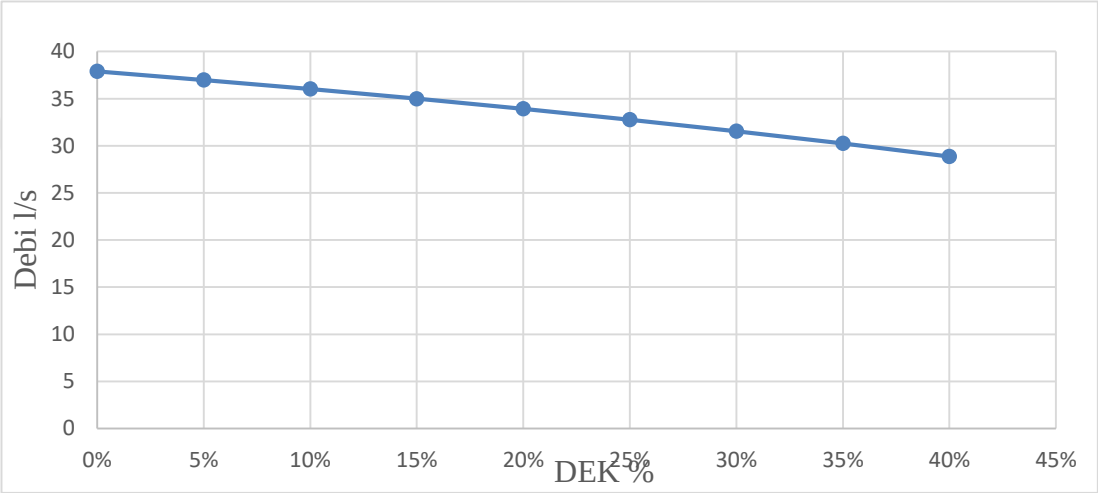
Şekil 35. 50 yıllık senaryo durumda O1 çıkış noktası debisi grafiği.

Şekil 36 incelendiğinde %0, %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35 ve %40 DEK uygulaması sonuçları O2 çıkış noktası için verilmiştir. O2 çıkış noktasında başlangıçta DEK uygulaması entegre edilmemiş olan %0 senaryosunda maksimum debi 802,21 l/s olarak ölçülmüştür. DEK uygulaması entegre edildikten sonra maksimum çıkış debileri kıyaslandığında her senaryoda azalmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. %40 senaryoda maksimum çıkış debisi 738,21 l/s olarak ölçülmüştür. **Tablo 14**'te uygulanan %10 DEK sonucuna bakıldığında %2,24 oranında azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 36. 50 yıllık senaryo durumda O2 çıkış noktası debisi grafiği.

Şekil 37 incelendiğinde %0, %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35 ve %40 DEK uygulaması sonuçları O3 çıkış noktası için verilmiştir. O3 çıkış noktasında Başlangıçta DEK uygulaması entegre edilmemiş olan %0 senaryosunda maksimum debi 37,89 l/s olarak ölçülmüştür. DEK uygulaması entegre edildikten sonra maksimum çıkış debileri kıyaslandığında her senaryoda azalmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. %40 senaryoda maksimum çıkış debisi 28,86 l/s olarak ölçülmüştür. **Tablo 14**'te uygulanan %10 DEK sonucuna bakıldığında %4,94 oranında azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 37. 50 yıllık senaryo durumda O3 çıkış noktası debisi grafiği.

Tablo 14. Elli yıllık yağış serisinde çıkış noktalarındaki yüzdelik sonuçlar.

(50yıl)	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
O1	1,72%	2,47%	3,34%	4,21%	5,06%	5,93%	6,84%	7,76%
O2	1,63%	2,24%	2,92%	4,13%	4,81%	6,18%	6,89%	7,98%
O3	2,40%	4,94%	7,63%	10,48%	13,51%	16,73%	20,16%	23,83%

4.6.Yüz (100) Yıllık Yağış Serisi Senaryosu

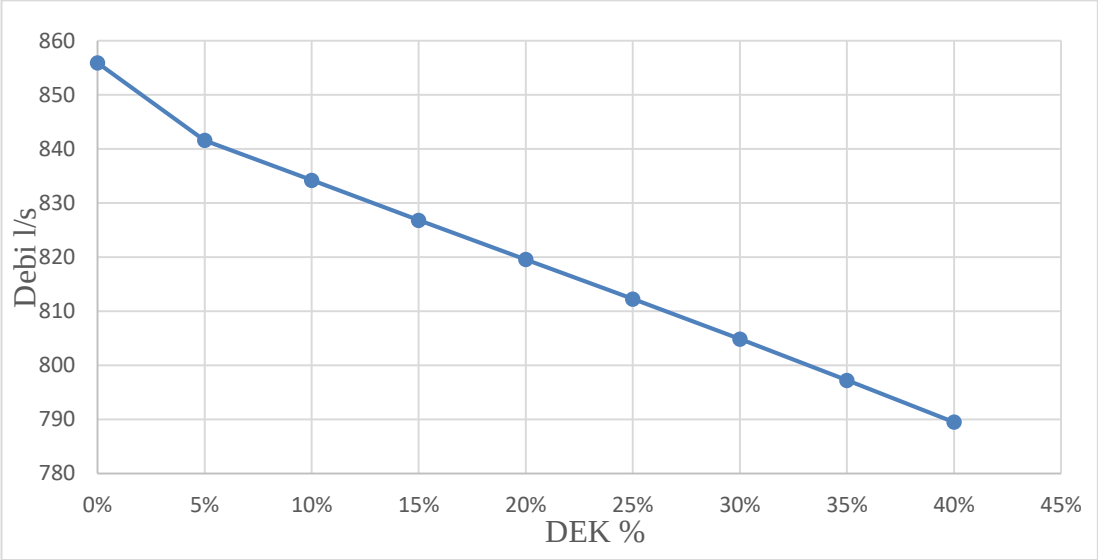
Bu bölümde Meteoroloji Genel Müdürlüğünden elde edilen Florya İstasyonuna ait yağış verileri ile oluşturulmuş 100 yıllık yağış serisi EPA SWMM programı kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. **Tablo 15**'te model simülasyonları ile

çalışma alanı olan Esenyurt bölgesinde bulunan çıkış noktalarına ulaşan akımların yanı sıra DEK uygulamasının etkinliğini ortaya konmuştur.

Tablo 15. Yüz yıllık yağış serisinde çıkış noktaları sonuçları.

(100yıl)	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
O1	855,91	841,59	834,21	826,81	819,58	812,26	804,86	797,22	789,5
O2	905,61	877,34	869,47	862,08	857,79	852,95	848,72	846,92	846,03
O3	44,17	43,06	41,9	40,66	39,35	37,97	36,51	34,95	33,3

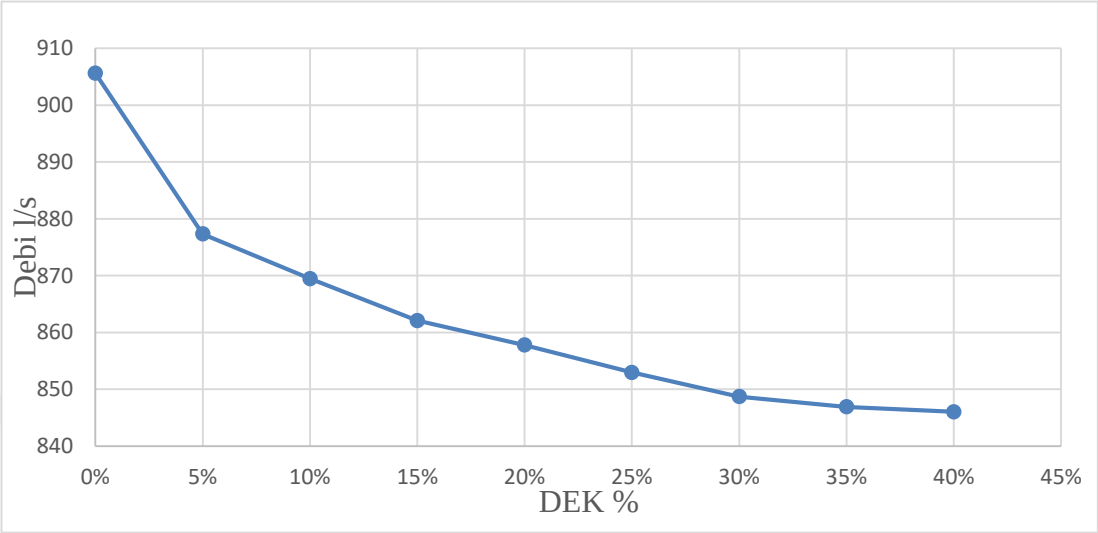
Şekil 38'de O1 çıkış noktasının sonuçları %0, %5, %10...%35 ve %40 senaryo sonuçlarıdır. Başlangıçta DEK uygulamasının dahil edilmediği %0 senaryosunda, 855,91 l/s'lik bir maksimum O1 çıkış noktasının akış hızı ölçülmüştür. DEK uygulaması entegre edildikten sonra maksimum çıkış debisi karşılaştırıldığında, her senaryoda azaldığı görülebilir. %40 DEK uygulama senaryosu için maksimum akış hızı 789,5 l/s'dir. **Tablo 16**'da uygulanan %10 DEK sonucuna bakıldığında %2,54 oranında azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 38. 100 yıllık senaryo durumda O1 çıkış noktası debisi grafiği.

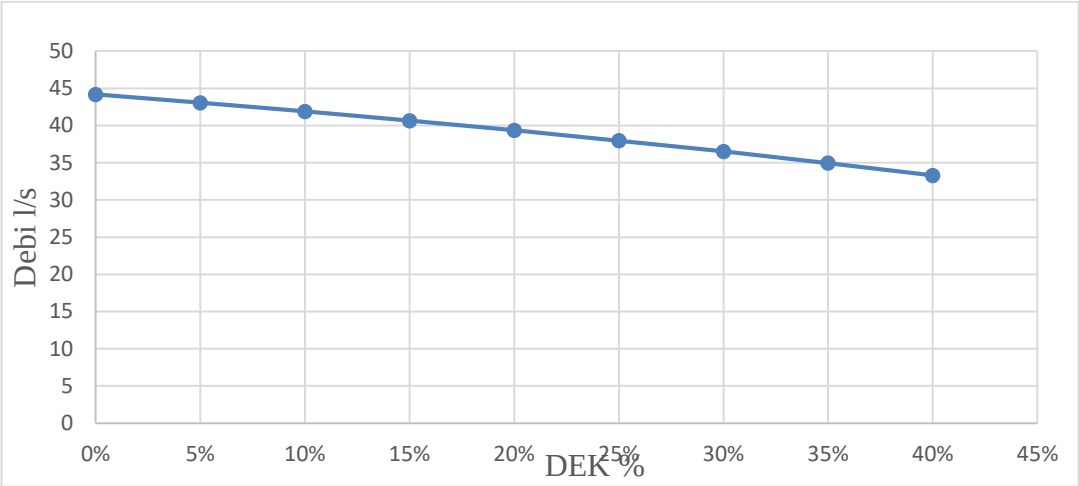
Şekil 39'da O2 çıkış noktasının sonuçları %0, %5, %10...%35 ve %40 senaryo sonuçlarıdır. Başlangıçta DEK uygulamasının dâhil edilmediği %0 senaryosunda, 905,61 l/s'lik bir maksimum O1 çıkış noktasının akış hızı ölçülmüştür. DEK uygulaması entegre edildikten sonra maksimum çıkış debisi karşılaştırıldığında, her

senaryoda azaldığı görülebilir. %40 DEK uygulama senaryosu için maksimum akış hızı 846,03 l/s'dir. **Tablo 16**'da uygulanan %10 DEK sonucuna bakıldığında %3,99 oranında azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 39. 100 yıllık senaryo durumda O2 çıkış noktası debisi grafiği.

Şekil 40'ta O3 çıkış noktasının sonuçları %0, %5, %10...%35 ve %40 senaryo sonuçlarıdır. Başlangıçta DEK uygulamasının dâhil edilmediği (%0) senaryosunda, O3 çıkış noktasının maksimum debisi 44,17 l/s olarak ölçülmüştür. DEK uygulaması entegre edildikten sonra maksimum çıkış debisi karşılaştırıldığında, her senaryoda azaldığı görülebilir. %40 DEK uygulama senaryosu için maksimum akış hızı 33,3 l/s'dir. **Tablo 16**'da uygulanan %10 DEK sonucuna bakıldığında %5,14 oranında azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 40. 100 yıllık senaryo durumda O3 çıkış noktası debisi grafiği.

Tablo 16. Yüz yıllık yağış serisinde çıkış noktalarındaki yüzdelik sonuçlar.

(100yıl)	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**	**30%**	**35%**	**40%**
O1	1,67%	2,54%	3,40%	4,24%	5,10%	5,96%	6,86%	7,76%
O2	3,12%	3,99%	4,81%	5,28%	5,81%	6,28%	6,48%	6,58%
O3	2,51%	5,14%	7,95%	10,91%	14,04%	17,34%	20,87%	24,61%

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması nüfusun yoğun olduğu yerleşim alanında uygulanmak üzere seçilip yapılmıştır. Literatüre baktığımızda şimdiye kadar yapılan Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulaması ilk kez yerleşim alanına sahip bölgede yapılmıştır. Çalışma alanı nüfusun yoğun olduğu İstanbul ili Esenyurt ilçesi olup 1,02 km²'lik bir alana sahiptir. Seçilen çalışma alanı, binalar ve asfalt yollar nedeniyle geçirimsiz alanlara sahip, yoğun nüfuslu bir bölgedir.

Tez çalışmasında Google Earth Pro programı kullanılarak çalışma alanında binaların konumu, caddeler, sokaklar ve bunların eğimleri dikkate alınarak alt havzalar belirlenmiştir. Bu alt havzalar SWMM 5.2 programına dahil edilmiştir. İSKİ Genel Müdürlüğünden alınan alt yapı verileri alınarak SWMM programında bağlantı noktaları, borular ve mevcut çıkış noktaları oluşturulmuştur. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Florya İstasyonundan alınan yağış şiddet-süre tekerrür verileri programda rain gage komutuyla programa aktarılmıştır.

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

Seçilen alt havzaların bölgeye uygulanabilirliği doğrultusunda yağmur varili, yeşil çatı ve geçirimli kaldırımın **Tablo 4**'te gösterildiği gibi 8 farklı kombinasyonu SWMM programına entegre edilip 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık yağış serileri DEK uygulamaları sonucunda yağışın en az olan 2 yıllık serisi ve %10 DEK uygulamasında; O1 çıkış noktasının debisi gözlemlendiğinde %2,29 oranında bir azalma meydana gelmiştir. O2 çıkış noktasında ise %2,39 ve O3 çıkış noktasında %3,30 oranında azalmaların meydana geldiği görülmüştür.

Sonuç olarak İstanbul ili Esenyurt ilçesi için modellenen DEK uygulamalarının sonucunda seçilen bölgenin çıkış noktalarındaki debilerinde azalmaların meydana geldiği gözlemlenmiş ve nüfusu yoğun olan şehir bölgelerinde DEK uygulamaları uygulanabilirliği bu çalışma ile gözlemlenmiştir. Bu uygulamanın yapılabilmesi için gerekli olan verilerin tam teşekküllü bir şekilde elde edilmesi göz ardı edilmemelidir.

KAYNAKÇA

Balov, M.N., 2014, Akış Hidrografı Tahmin Modelleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Daryaei, A., (2019), Yeşil Çatı Sistemlerinin Enerji Verimliliğine Etkisinin Ölçülmesi Üzerine Bir Araştırma: Tahran Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.

Demir, D., (2012), Konvansiyonel Yağmursuyu Yönetim Sistemleri ile Sürdürülebilir Yağmursuyu Yönetim Sistemlerinin Karşılaştırılması: İTÜ Ayazağa Yerleşkesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Demirhan, E. (2021), Yeşil Çatılarda Yağmur Suyu ve Güneş Enerjisi Sistemlerinin Sakarya Üniversitesi'ndeki Kazan Dairesi Binasında Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü

Demirezen, K.İ., (2019), Sızdırma Hendeğinin Hidrolojik Performansının Deneysel ve Sayısal Modeller ile Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

Dutal, H., (2016), Terbüzek Deresi Yağış Havzasının SWMM (Storm Water Management Model) Programı Kullanılarak Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

FARHAR, A. (2022), Şehirleşme Etkisi Altında Taşkın Hidrografı Elde Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi, 1-75.

Gülbaz, S., 2015, Yağış-Havza-Biyotutma Sisteminin Hidrolojik-Su Kalitesi Modellemesi Ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Gülbaz, S., Kaya, Y.E., ve Kazezyılmaz Alhan, C.M., (2018), Düşük Etkili Kentleşme uygulamalarının yüzeysel akışa etkisi: İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü örneği, İklim Değişikliği ve Çevre, 3(1):45-50s.

Gülbaz, S. ve Kazezyılmaz Alhan, C.M., (2017), Düşük Etkili Kentleşme uygulaması: Biyotutmanın hidrolojik performansının deneysel modellerle araştırılması, Pamukkale Universitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(9): 1041-1048s.

Huber, W.C., and Dickinson, R.E., 1988, Storm Water Management Model, Version 4, User's Manual, Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA, USA.

Kaya, H. (2018). Meskun Bölge Yollarında Yağmur Suyu Drenajının Klasik Yöntemlerle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

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

Levi, S., (2007), Yağış Sularının Sürdürülebilir Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Rossman, L.A., (2015), Storm Water Management Model, User's Manual, Version 5.1, National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, September, EPA-600/R-14/413b.

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

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

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

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

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

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

Tsihrintzis, V.A. ve Hamid, R., (1998), Runoff quality prediction from small urban catchments using SWMM, Hydrologıcal Processes, 12:311–329pp.

Uyumaz, A. (1991). Yağmursuyu Drenajı. İstanbul: İTÜ.

Ünal, U., & Akyüz, D. E. (2017), Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemlerinde Yağmur Hendeklerinin Değerlendirilmesi. Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi, 1(1), 15-24.

İnternetten Alınan Kaynaklar:

(Url-1)
https://tr.wikipedia.org/wiki/Esenyurt

(Url-2)
http://www.ence.umd.edu/~apdavis

(Url-3)
https://www.stormwaterpa.org/assets/media/BMP_manual/chapter_6/Chapter_6-4-8.pdf

(Url-4)
https://webdosya.csb.gov.tr/db/mpgm/haberler/yagmur-hasadinda--8230-20180710105317.jpg

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Emre EDİN

Uyruğu : T.C.

Eğitim

Derece	**Eğitim Birimi**	**Mezuniyet Tarihi**
Yüksek lisans	İstanbul Gelişim Üniversitesi	2023
Lisans	Şırnak Üniversitesi	2018
Lise	Şehmus Sultan Tatlıcı Lisesi	2010

İş Deneyimi

Yıl	**Yer**	**Görev**

Yabancı Dil

Yayınlar

Hobiler