

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

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**ÇATALCA - SUBAŞI MAHALLESİ YAĞMUR SUYU
DRENAJ SİSTEMİNİN PROJELENDİRİLMESİ VE
YAKLAŞIK MALİYETİNİN HESAPLANMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Doğukan SARI

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA

İstanbul – 2025

TEZ TANITIM FORMU

Yazar Adı Soyadı : Doğukan SARI

Tezin Dili : Türkçe

Tezin Adı : atalca - Subaşı Mahallesi Yağmur Suyu Drenaj Sisteminin
Projelendirilmesi ve Yaklaşık Maliyetinin Hesaplanması

Enstitü : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Tezin Türü : Yüksek Lisans

Tezin Tarihi : 20.01.2025

Sayfa Sayısı : 131

Tez : Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA

Danışmanları

Dizin Terimleri : Storm Water Management Model (SWMM), Geçirimsiz Yüzeyler, Taşkın Yönetimi, Hidrolik Simülasyon, Pik Debi Analizi, evresel Sürdürülebilirlik, Drenaj Hatları Tasarımı, Boru Doluluk Oranı, Ekonomik Analiz

Türkçe zet : Bu alışma, İstanbul ili Çatalca ilçesi Subaşı Mahallesi'nde yağmur suyu drenaj sisteminin EPA SWMM yazılımı ile modellenmesi ve tasarımı üzerine odaklanmaktadır.

Dağıtım Listesi : 1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne
2. YK Ulusal Tez Merkezine

İmzası

Doğukan SARI

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

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**ÇATALCA - SUBAŞI MAHALLESİ YAĞMUR SUYU
DRENAJ SİSTEMİNİN PROJELENDİRİLMESİ VE
YAKLAŞIK MALİYETİNİN HESAPLANMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Doğukan SARI

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA

İstanbul – 2025

BEYAN

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

Doğukan SARI

...../...../2025



İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Doğukan SARI 'ın Çatalca - Subaşı Mahallesi Yağmur Suyu Drenaj Sisteminin Projelendirilmesi ve Yaklaşık Maliyetinin Hesaplanması adlı tez çalışması, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği anabilim dalı, İnşaat Mühendisliği bilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Ferruh MAHNAMFAR

Üye

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA

(Danışman)

Üye

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NURİ

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

... / ... / 2025

İmzası

Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Günümüzde hızla artan nüfus, göç ve iklim değişikliği, kentlerin doğal dengesi üzerinde büyük bir baskı oluşturarak mevcut altyapı sistemlerinde çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Özellikle kentsel alanlarda artan yapılaşma, geçirimsiz yüzey alanlarının genişlemesine neden olmakta ve yağmur suyunun doğal yollarla yeraltına sızmasını önemli ölçüde engellemektedir. Bu durum kontrolsüz yüzeysel akışa sebebiyet vererek su baskınlarına, altyapı yetersizliklerine ve sonuç olarak can ve mal kayıplarına neden olmakta; bu da şehirlerin sürdürülebilirliğini tehlikeye sokmaktadır.

Bu çalışma, bu tür sorunları azaltmak ve uzun vadede kalıcı çözümler üretebilmek amacıyla İstanbul ili Çatalca ilçesi Subaşı Mahallesi'nde yaşanan aşırı yağış kaynaklı su birikintisi probleminin giderilmesine yönelik, İSKİ Şartnamesi'ne uygun bir yağmursuyu drenaj sisteminin tasarımı ve modellemesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Öncelikli olarak, bölgenin mevcut durum analizi yapılmış; topoğrafik özellikleri, yapılaşma eğilimleri ve yağmur suyunun akış dinamikleri belirlenmiştir. Bu aşamada, yağmur suyunun toplandığı havzalar titizlikle tanımlanarak, havza alanları detaylı biçimde hesaplanmıştır. Ardından, boru çıkış noktaları ve yağmursuyu hatlarının güzergâhları belirlenmiş; tahliye hatları, başlangıç, tali ve ana kollar olmak üzere farklı kademeler şeklinde tasnif edilmiştir.

Tasarım sürecinde, İSKİ Şartnamesi'nde belirtilen minimum boru çapları ve diğer teknik kriterler göz önünde bulundurularak, suyun etkili ve kontrollü yönlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda, kullanılan altyapı elemanlarının ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik ilkelerine uygunluğu gözetilmiştir. Tasarımı desteklemek için ise EPA SWMM (Environmental Protection Agency Storm Water Management Model) yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım sayesinde, farklı yağış senaryoları (5, 25, 50 ve 100 yıllık tekerrür süreleri) oluşturularak, sistemin performansı hem normal hem de aşırı yağış koşullarında incelenmiştir. Bu senaryolar doğrultusunda, boru ağının optimizasyonu yapılarak kapasite yetersizliği veya su taşkını gibi potansiyel riskler en aza indirilmeye çalışılmıştır.

Modelleme sürecinde elde edilen sonuçlar, tasarlanan drenaj sisteminin bölgedeki taşkın riskini önemli ölçüde azalttığını ve tahliye süreçlerini iyileştirdiğini göstermektedir. Özellikle nüfus artışı, göç, hızlı kentleşme ve iklim değişikliğiyle

birlikte daha sık ve yoğun yaşanan yağışlara karşı, tasarlanan sistemin esnek ve dayanıklı bir çözüm sunduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, sistemin ekonomik boyutu da ele alınarak, çeşitli formüller ve güncel rayiç bedeller yardımıyla yaklaşık maliyet analizleri yapılmış; altyapı yatırımının hem yatırım hem de işletme safhalarına ilişkin öngörülebilir sonuçlar elde edilmiştir.

Bu tez çalışması, Çatalca Subaşı Mahallesi'nde yaşanan yağmur suyu drenaj problemlerine yönelik kapsamlı bir çözüm önerisi sunmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma, modern mühendislik yaklaşımları, çevresel sürdürülebilirlik ilkeleri ve ekonomik analizlerle desteklenerek bölgeye özel bir altyapı modeli geliştirmiştir. Elde edilen sonuçlar, bölgesel altyapı sorunlarının çözümüne katkıda bulunacak yenilikçi bir yöntem ortaya koymuştur. Bu kapsamda öne çıkan bulgular şu şekilde özetlenebilir:

Teknik ve Hidrolik Performans

Farklı dönüş aralıklarına göre yağış senaryoları (5, 25, 50 ve 100 yıl) oluşturulmuş ve drenaj sisteminin performansı detaylı şekilde analiz edilmiştir. 5 yıllık dönüş aralığında, maliyet avantajı yüksek, ancak uzun vadeli dayanıklılık açısından sınırlı bir çözüm sunulmuştur. 25 ve 50 yıllık dönüş aralıklarında, maliyet-performans dengesi optimize edilmiş ve sistemin uzun vadede sürdürülebilir olduğu görülmüştür. 100 yıllık dönüş aralığı senaryosunda ise tasarımın, gelecekte oluşabilecek en yoğun yağışlara karşı bile etkin koruma sağlayacak şekilde esnek ve dayanıklı bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir.

Sistem tasarımında kullanılan boru çapları, doluluk oranları ve enerji çizgisi yükseklikleri İSKİ Teknik Şartnamesi'ne uygun şekilde belirlenmiştir. Bu, taşkın risklerini minimize ederken yüzeysel akışın kontrol altına alınmasını sağlamıştır.

Ekonomik Değerlendirme

Çalışma kapsamında yapılan yaklaşık maliyet analizleri, farklı dönüş aralıklarına göre altyapının yatırım maliyetlerini net bir şekilde ortaya koymuştur:

- 5 yıllık tasarım maliyeti: ₺30.568.335,78
- 25 yıllık tasarım maliyeti: ₺37.699.219,49
- 50 yıllık tasarım maliyeti: ₺38.185.497,48
- 100 yıllık tasarım maliyeti: ₺45.964.258,45

Maliyet analizlerinden elde edilen veriler, kısa vadeli tasarımların düşük maliyet avantajı sunduğunu, ancak uzun vadede daha kapsamlı çözümler için 50 ve 100 yıllık tasarımların daha etkin bir ekonomik seçenek olduğunu göstermiştir.

Kullanılan dayanıklı malzemeler ve optimum güzergah seçimleri, hem yatırım hem de işletme maliyetlerini düşürmüş ve sistemin ekonomik sürdürülebilirliğini sağlamıştır.

Çevresel ve Toplumsal Etkiler

Çalışma, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini dikkate alarak tasarlanmıştır. Yüzeysel akışın azaltılması, yeraltı su kaynaklarının korunmasını sağlamış, çevreye verilen zarar minimuma indirilmiştir. Önerilen drenaj sistemi, bölgedeki taşkın risklerini ve su baskınlarını önleyerek can ve mal kayıplarını önemli ölçüde azaltmıştır. Bu, bölge halkının yaşam kalitesine doğrudan katkıda bulunmuştur. Sistem, bölgenin kentsel gelişimini destekleyen güvenli ve sürdürülebilir bir altyapı sunarak yerel ekonomiye dolaylı katkılar sağlamıştır.

Yenilikçi ve Uygulanabilir Çözümler

Tasarlanan drenaj sistemi, sadece Çatalca Subaşı Mahallesi için değil, benzer altyapı problemleri yaşayan diğer bölgeler için de bir örnek teşkil etmektedir. EPA SWMM yazılımı ile yapılan modelleme ve simülasyonlar, modern altyapı projeleri için etkili bir araç olarak değerlendirilmiştir. Bölgesel ölçekten ulusal ölçeğe kadar uygulanabilir olan bu yaklaşım, şehirlerin altyapı planlamasına yönelik bütüncül bir bakış açısı sunmaktadır.

Geleceğe Yönelik Öneriler

İklim değişikliği senaryoları: Artan yağış frekansları ve yoğunluklarına uyum sağlamak için gelecekteki projelerde esnek ve dayanıklı sistemler tasarlanmalıdır. Yeşil altyapı uygulamaları: Geçirgen yüzeyler, yağmur bahçeleri ve biyolojik hendekler gibi çevresel çözümlerin altyapı projelerine entegre edilmesi önerilmektedir. Düzenli bakım ve güncellemeler: Sistemin performansını uzun vadede koruyabilmek için düzenli bakım ve kapasite analizleri yapılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Yağmursuyu drenaj sistemi, EPA SWMM, İSKİ Şartnamesi, taşkın riski, Yağış tekerrür süreleri, Havza analizi, Sürdürülebilir altyapı, Yaklaşık maliyet hesaplaması.



SUMMARY

Today, the rapidly increasing population, migration, and climate change exert significant pressure on the natural balance of cities, leading to various problems in existing infrastructure systems. Particularly in urban areas, the increasing urbanization has expanded impermeable surface areas, significantly hindering the natural infiltration of rainwater into the ground. This situation causes uncontrolled surface runoff, leading to flooding, infrastructure inadequacies, and ultimately, loss of life and property, thereby jeopardizing the sustainability of cities.

This study focuses on designing and modeling a stormwater drainage system in compliance with the İSKİ Technical Specification to address excessive rainfall-induced water accumulation problems in Subaşı Neighborhood, Çatalca District, Istanbul. Initially, a current situation analysis of the region was conducted, including its topographic features, urbanization trends, and rainwater flow dynamics. In this phase, the catchment areas where rainwater accumulates were carefully identified, and their areas were calculated in detail. Subsequently, pipe outlets and the routes of stormwater lines were determined, categorizing the drainage lines into primary, secondary, and main branches.

During the design phase, the minimum pipe diameters and other technical criteria specified in the İSKİ Technical Specification were considered to ensure effective and controlled water management. In this context, the economic and environmental sustainability of the infrastructure elements used was prioritized. To support the design, the EPA SWMM (Environmental Protection Agency Storm Water Management Model) software was utilized. Using this software, various rainfall scenarios (recurrence periods of 5, 25, 50, and 100 years) were created, and the system's performance was examined under both normal and extreme rainfall conditions. Based on these scenarios, the pipe network was optimized to minimize potential risks such as capacity shortages or water overflow.

The results obtained during the modeling process showed that the designed drainage system significantly reduces flood risk in the area and improves the drainage processes. Particularly in response to more frequent and intense rainfall caused by

population growth, migration, rapid urbanization, and climate change, the system was observed to offer a flexible and resilient solution. Additionally, the economic aspect of the system was evaluated, and approximate cost analyses were conducted using various formulas and current market rates, resulting in predictable outcomes for both the investment and operational phases of the infrastructure.

This thesis was carried out to provide a comprehensive solution to the stormwater drainage problems in Subaşı Neighborhood, Çatalca District. The study developed a region-specific infrastructure model supported by modern engineering approaches, environmental sustainability principles, and economic analyses. The results obtained revealed an innovative method that contributes to the solution of regional infrastructure problems. The prominent findings of this study are summarized as follows:

Technical and Hydraulic Performance

Rainfall scenarios (recurrence periods of 5, 25, 50, and 100 years) were created, and the performance of the drainage system was analyzed in detail. For the 5-year recurrence period, a cost-effective but limited solution in terms of long-term durability was offered. For the 25- and 50-year recurrence periods, the cost-performance balance was optimized, and the system was found to be sustainable in the long term. In the 100-year recurrence period scenario, the design provided a flexible and resilient structure capable of effectively protecting against even the most intense future rainfall events.

The pipe diameters, fill rates, and energy line elevations used in the system design were determined in accordance with the İSKİ Technical Specification, minimizing flood risks and controlling surface runoff.

Economic Assessment

The approximate cost analyses conducted within the scope of the study revealed the investment costs of the infrastructure according to different recurrence periods:

- 5-year design cost: ₺30,568,335.78
- 25-year design cost: ₺37,699,219.49
- 50-year design cost: ₺38,185,497.48
- 100-year design cost: ₺45,964,258.45

The cost data showed that short-term designs offer low-cost advantages, but 50- and 100-year designs are more effective economic options for comprehensive long-term solutions. The use of durable materials and optimal route selection reduced both investment and operating costs, ensuring the system's economic sustainability.

Environmental and Societal Impacts

The study was designed with environmental sustainability goals in mind. Reducing surface runoff preserved groundwater resources and minimized environmental damage. The proposed drainage system significantly reduced flood risks and water accumulation in the area, thereby directly contributing to the quality of life for the local population by preventing loss of life and property. The system provided a safe and sustainable infrastructure that supports the urban development of the area, indirectly contributing to the local economy.

Innovative and Applicable Solutions

The designed drainage system serves as an example for other regions facing similar infrastructure problems, not just for Subaşı Neighborhood. Modeling and simulations conducted with the EPA SWMM software demonstrated its effectiveness as a tool for modern infrastructure projects. This approach, applicable from a regional to a national scale, offers a comprehensive perspective for urban infrastructure planning.

Future Recommendations

Climate change scenarios: Flexible and resilient systems should be designed in future projects to adapt to the increasing frequency and intensity of rainfall. Green infrastructure applications: Environmental solutions such as permeable surfaces, rain gardens, and bioswales should be integrated into infrastructure projects.

Regular maintenance and updates: Regular maintenance and capacity analyses should be conducted to maintain the system's performance in the long term.

Keywords: Stormwater drainage system, EPA SWMM, İSKİ Specifications, flood risk, rainfall return periods, watershed analysis, sustainable infrastructure, approximate cost analysis.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
SUMMARY	v
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
GRAFİKLER LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
ÖNSÖZ.....	xiv
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM GENEL BİLGİLER

1.1. Tezin Amacı.....	3
1.2. Tezin Problemi.....	4
1.3. Literatür Taraması	5
1.4. Hipotez.....	12

İKİNCİ BÖLÜM MATERYAL VE METODOLOJİ

2.1. SWMM (Yağmur Suyu Yönetim Modeli).....	14
2.1.1. Model Bileşenleri ve Kullanılacak Veriler	14
2.1.2. Hesaplama Metotları.....	15
2.2. İSKİ Teknik Şartname (H.17.14.1.3)	18
2.2.1. Genel Planlama ve Yatırım	18
2.2.2. Debiler ve Atıksu Yükleri	20
2.2.3. Yağmursuyu Hatlarının Tasarımı	21
2.2.4. Boru Malzemeleri	22
2.2.5. Bacalar ve Özel Yapılar.....	24
2.2.6. Hat Geçişleri ve Diğer Yapılar	25
2.2.7. Uygulama Projelerinin Hazırlanması	26
2.3. EPA SWMM.....	28
2.3.1. EPA SWMM Nedir ?.....	28
2.3.2. Modelleme Verileri.....	30
2.3.3. Model Kurulumu (Metodoloji).....	31
2.3.4. Simülasyon Aşamaları	32
2.3.5. Elde Edilen Çıktılar ve Analizler.....	32

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM MODEL KURULUMU VE SENARYOLAR

3.1. Çalışma Alanı	35
3.1.1. Tahliye Hattı [B1-B8.6.2.5] :.....	40

3.1.2. Tahliye Hattı [B14-B25] :	50
3.2. Model Kurulumu	53
3.2.1. Düğüm Noktalarının (Junction) Oluşturulması	53
3.2.2. Alt Havzaların (Subcatchment) Oluşturulması	56
3.2.3. Boruların (Conduits) Yerleştirilmesi	64
3.2.4. Çıkış Noktalarının (Outfall) Oluşturulması	68
3.2.5. Yağış Ölçer (Rain Gage) Oluşturulması	71

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

MODEL SONUÇLARI

4.1. Dönüş Aralıklı Yağışlar	72
4.1.1. Beş (5) Yıllık Dönüş Aralıklı Yağış	72
4.1.2. Yirmi Beş (25) Yıllık Dönüş Aralıklı Yağış	73
4.1.3. Elli (50) Yıllık Dönüş Aralıklı Yağış	74
4.1.4. Yüz (100) Yıllık Dönüş Aralıklı Yağış	75
4.2. Farklı Dönüş Aralıklarında Yaklaşık Maliyet Hesabı	76
4.2.1. Yaklaşık Maliyet Nedir?	76
4.2.2. Altyapı ve Yol İşlerinde Yaklaşık Maliyete Dâhil Edilebilecek Örnek İş Kalemleri	77
4.2.3. Yaklaşık Maliyet Hesabında Bu Verilerin Kullanımı	80
4.2.4. Hesaplamalar Ve Örnek Uygulama	82
4.2.5. Örnek Hesaplama Adımları	83
4.2.6. Altyapı Projelerinde Kullanılan İmalat Kalemleri ve Rayiç Bedellerin Genel Değerlendirmesi:	84
4.2.7. Kalemlerin Rayiç Bedelleri	86
4.3. Yıllık Tekerrüre Göre Maliyetler	94
4.3.1. 5 Yıllık Dönüş Aralığına Göre Tasarlanan Yağmursuyu Hattının Yaklaşık Maliyeti	94
4.3.2. 25 Yıllık Dönüş Aralığına Göre Tasarlanan Yağmursuyu Hattının Yaklaşık Maliyeti	97
4.3.3. 50 Yıllık Dönüş Aralığına Göre Tasarlanan Yağmursuyu Hattının Yaklaşık Maliyeti	100
4.3.4. 100 Yıllık Dönüş Aralığına Göre Tasarlanan Yağmursuyu Hattının Yaklaşık Maliyeti	103
SONUÇ VE ÖNERİLER	106
KAYNAKÇA	110

KISALTMALAR

LID	:	Low Impact Development - Düşük Etkili Gelişim
DEK	:	Low Impact Development - Düşük Etkili Kentleşme
EPA	:	Environmental Protection Agency -Çevre Koruma Ajansı
SWMM	:	Storm Water Management Model-Yağmur Suyu Yönetimi
İSKİ	:	Istanbul Water and Sewerage Administration- İSKİ
CN	:	Curve Number - Havza Yüzey Akış Eğri Numarası
MGM	:	General Directorate of Meteorology - MGM
SCS	:	SCS Curve Number Method - SCS Eğri Numarası Yöntemi
C	:	Runoff Coefficient - Yüzey Akış Katsayısı

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. 1 numaralı tahliye hattı ana kolu.....	42
Tablo 2. 1 numaralı tahliye hattı tali kolu.....	42
Tablo 3. 1 numaralı tahliye hattı 1. başlangıç kolu.....	44
Tablo 4. 1 numaralı tahliye hattı 2. başlangıç kolu.....	44
Tablo 5. 1 numaralı tahliye hattı 3. başlangıç kolu.....	44
Tablo 6. 1 numaralı tahliye hattı 4. başlangıç kolu.....	46
Tablo 7. 1 numaralı tahliye hattı 5. başlangıç kolu.....	46
Tablo 8. 1 numaralı tahliye hattı 6. başlangıç kolu.....	46
Tablo 9. 1 numaralı tahliye hattı 7. başlangıç kolu.....	49
Tablo 10. 2 numaralı tahliye hattı ana kolu.....	52
Tablo 11. 1 ile 40 arası havza bilgileri.....	60
Tablo 12. 41 ile 78 arası havza bilgileri.....	61
Tablo 13. 79 ile 117 arası havza bilgileri	62
Tablo 14. 118 ile 157 arası havza bilgileri	63

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 1. 1 numaralı tahliye hattı 1. başlangıç kolu boy kesiti	41
Grafik 2. 1 numaralı tahliye hattı tali kolu boy kesiti.....	43
Grafik 3. 1 numaralı tahliye hattı 2. başlangıç kolu boy kesiti.	43
Grafik 4. 1 numaralı tahliye hattı 2. başlangıç kolu boy kesiti	45
Grafik 5. 1 numaralı tahliye hattı 3. başlangıç kolu boy kesiti	45
Grafik 6. 1 numaralı tahliye hattı 4. başlangıç kolu boy kesiti	47
Grafik 7. 1 numaralı tahliye hattı 5. başlangıç kolu boy kesiti	47
Grafik 8. 1 numaralı tahliye hattı 6. başlangıç kolu boy kesiti	48
Grafik 9. 1 numaralı tahliye hattı 7. başlangıç kolu boy kesit	48
Grafik 10. 2 numaralı tahliye hattı başlangıç kolu boy kesiti	53

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. SWMM modelinde yüzey akımının oluşumu (Nuri Balov, 2014).....	17
Şekil 2. Çalışma alanı (Google Earth Pro).....	35
Şekil 3. Çalışma alanı (Google Earth Pro).....	36
Şekil 4. Çalışma alanı içerisinde yerleşim durumu ve ulaşım ağı.....	36
Şekil 5. Yağmur suyunun tahliye hattı (Google Earth Pro).....	37
Şekil 6. Yağmur suyu tahliye hatları.....	38
Şekil 7. Tahliye hatları ve düğüm noktalarının yerleşimi.....	39
Şekil 8. 1 numaralı tahliye hattı.....	40
Şekil 9. 2 numaralı tahliye hattı.....	50
Şekil 10. Düğüm noktalarının (Junction) yerleşimi.	54
Şekil 11. B-8.3 düğüm noktasına (Junction) ait bilgiler.	54
Şekil 12. Çalışma havzasında oluşturulan alt havzalar.	57
Şekil 13. H-114 alt havzasına (Subcatchment) ait bilgiler.	64
Şekil 14. Boru sistemi.	65
Şekil 15. (I1-I2) düğüm noktaları arasındaki boruya ait bilgiler.	65
Şekil 16. Tahliye hatlarına ait çıkış noktalarının yerleşimi.....	68
Şekil 17. 1 numaralı tahliye hattına ait bilgiler.....	69
Şekil 18. 5 yıllık dönüş aralığına göre yapılan tasarımda max. boru derinliği.	72
Şekil 19. 25 yıllık dönüş aralığına göre yapılan tasarımda max. boru derinliği.....	73
Şekil 20. 50 yıllık dönüş aralığına göre yapılan tasarımda max. boru derinliği.....	74
Şekil 21. 100 yıllık dönüş aralığına göre yapılan tasarımda max. boru derinliği.....	75

ÖNSÖZ

Bu çalışma, İstanbul ili Çatalca ilçesi Subaşı Mahallesi’nde, kentleşmenin yoğun olduğu bir bölgede yağmur suyu drenaj sisteminin modellenmesi amacıyla hazırlanmıştır. Modelleme sürecinde, Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından geliştirilmiş olan Storm Water Management Model (SWMM) yazılımı kullanılmış ve çalışma alanına ilişkin hidrolojik ve topoğrafik veriler detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu tez, yağmur suyunun kontrollü bir şekilde yönlendirilmesi ve taşkın risklerinin azaltılması için çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik kriterlerine uygun altyapı çözümleri sunmayı hedeflemektedir. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak yazılmıştır.

Çalışmam boyunca bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, vizyonu ve engin bilgisiyle her zaman ilham kaynağım olan, destek ve teşvikleriyle sürecin her anında yanımda olan, öğrencisi olmaktan büyük onur ve gurur duyduğum kıymetli tez danışmanım, saygıdeğer hocam Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA’ya sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

Yüksek Lisans sürecim boyunca daima yanımda olan, desteklerini esirgemeyen, çok değerli arkadaşım Elif ŞAHİN’e,

Akademi yolunda yürüme şevkini bana kazandıran, çok değerli arkadaşım Anıl ÇETİN’e,

Hayatım boyunca beni destekleyen, daima yanımda olan ve her zaman yüreklendiren, haklarını asla ödeyemeyeceğim anneme ve babama teşekkürlerimi sunarım.

GİRİŞ

Su, yeryüzünün oluşumundan itibaren yaşamın temel kaynağı olmuş ve dünya üzerindeki canlıların varlığını sürdürebilmesi için hayati bir rol oynamıştır. Dünya yüzeyinin büyük bir bölümünü kaplayan su, kara, atmosfer ve canlılar arasında dinamik bir döngü oluşturur. Bu hidrolojik döngü, suyun buharlaşarak atmosfere yükselmesi ve ardından yağış olarak yeryüzüne dönmesi ile basitçe tanımlanabilir. Suyun farklı formlarda döngüyü gerçekleştirmesi, ekosistemin sürekliliği ve su dengesinin korunması açısından kritik öneme sahiptir. Bu döngü sayesinde insan, hayvan ve bitki yaşamı devam eder.

İnsanlık tarihinde su döngüsüne yönelik ilk müdahaleler tarım faaliyetleri ile başlamıştır. Sulama ihtiyacını karşılamak için nehirler ve akarsular kullanılmış, zamanla bu ihtiyacın artmasıyla birlikte insanlar yeni su kaynakları arayışına yönelmiştir. Yeraltı sularından faydalanmak amacıyla kuyular açılmış, ancak bu durum yeraltı su seviyelerinde düşümlere yol açarak su kaynaklarının sürdürülebilirliğini tehlikeye atmıştır. Zamanla artan nüfus, hızla gelişen teknoloji ve yoğun kentleşme, suya olan talebi artırmış, buna bağlı olarak su kaynakları üzerindeki baskı da giderek büyümüştür. Bu süreçte, insanların hidrolojik döngüye yaptığı müdahaleler, su dengesinde bozulmalara ve çevresel sorunlara yol açmıştır.

Yoğun kentleşme, özellikle geniş beton yüzeyler ve geçirimsiz tabakalar oluşturarak suyun yeraltına sızmasını engellemiş ve yüzeyde su birikimine yol açmıştır. Bu birikim, taşkın ve sel gibi doğal afetlerin daha sık meydana gelmesine neden olmuştur. Bu durum hem çevresel hem de toplumsal anlamda ciddi can ve mal kayıplarına sebebiyet vermiştir. Artan taşkın riskleri ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetim ihtiyacı, yağmur suyu drenaj sistemleri gibi çözümlerin önemini artırmıştır. Yağmur suyu drenaj sistemleri, yeraltına sızamayan suyun yüzeyde birikmesini önlemek ve kontrollü bir şekilde tahliyesini sağlamak amacıyla geliştirilen altyapı sistemleridir.

Bu çalışma, yağış sırasında ve sonrasında yüzeyde biriken suyun, modern yöntemlerle etkin bir şekilde yönetilmesini hedeflemektedir. Çalışmanın odak noktası, EPA SWMM (Storm Water Management Model) kullanılarak yağmur suyu drenaj sistemlerinin modellenmesidir. EPA SWMM, kentsel havzalarda hidrolojik

modelleme ve su kalitesi analizleri için kullanılan, dünyada yaygın bir şekilde kabul görmüş bir simülasyon programıdır. Bu model, drenaj sisteminin performansını optimize etmek ve sistemin sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini sağlamak amacıyla düşük etkili kentleşme (LID) yöntemlerini entegre ederek uygulanmıştır. LID yöntemleri, çevresel etkileri en aza indirerek sürdürülebilir altyapı çözümleri sunmaktadır.

Tez çalışmasının uygulama alanı, İstanbul'un Çatalca ilçesine bağlı Subaşı Mahallesi olarak belirlenmiştir. Bölgenin yoğun kentsel yerleşime sahip olması, yağmur suyu drenaj sistemine olan ihtiyacı artırmaktadır. Bölgedeki mevcut sorunlar, özellikle aşırı yağışlarda meydana gelen taşkın riskleri ve yağmur suyunun yüzeyde birikmesi ile dikkat çekmektedir. Bunun yanı sıra bölgede mevcut bir yağmur suyu drenaj hattı bulunmaması, çalışmanın gerçekleştirilmesini daha da önemli hale getirmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, Çatalca Subaşı Mahallesi'nde yağmur suyu drenaj sisteminin modellenmesi, sistemin performans analizi ve farklı senaryolar altında yaklaşık maliyet hesabının yapılması amaçlanmıştır. Özellikle 5, 25, 50 ve 100 yıllık taşkın senaryoları üzerinden projelendirme yapılmış ve bu senaryoların maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma, bölgedeki altyapı eksikliklerini gidermeye yönelik çözümler sunmanın yanı sıra benzer projelere rehberlik edecek bir kaynak niteliği taşımaktadır.

BİRİNCİ BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Tezin Amacı

Bu tezin amacı, İstanbul ili Çatalca ilçesi Subaşı Mahallesi'nde yağmur suyu drenaj problemlerine yönelik kapsamlı, sürdürülebilir ve ekonomik bir çözüm önerisi sunmaktır. Özellikle yoğun yağışlar sonrası meydana gelen su birikintileri ve taşkınların önlenmesi için, İSKİ Teknik Şartnamesi'ne uygun bir yağmursuyu drenaj sisteminin tasarımı ve modellemesi yapılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda, modern mühendislik yöntemleri ve yazılımlar kullanılarak bölgeye özgü bir altyapı modeli geliştirilmiştir.

Mevcut Durum Analizi Yapmak:

- Subaşı Mahallesi'nin topoğrafik, hidrolojik ve kentsel özelliklerini detaylı bir şekilde analiz etmek.
- Bölgedeki mevcut yağmur suyu drenaj sisteminin kapasite yetersizliklerini ve problemlerini tespit etmek.

Havza ve Akış Alanlarının Belirlenmesi:

- Yağmur suyunun toplandığı havza sınırlarını ve alanlarını hassas bir şekilde hesaplamak.
- Su akış yollarını ve yüzeysel akış yoğunluğunu tanımlayarak drenaj güzergâhlarını belirlemek.

Optimum Drenaj Sistemi Tasarımı Yapmak:

- İSKİ Teknik Şartnamesi'nde belirtilen boru çapları, eğimler ve diğer teknik kriterlere uygun bir drenaj sistemi tasarlamak.
- Boru hatlarını başlangıç, tali ve ana kollar şeklinde kategorize ederek bölgeye en uygun güzergâhları oluşturmak.

Modelleme ve Simülasyon Çalışmaları:

- EPA SWMM yazılımı kullanarak farklı yağış senaryolarına (5, 25, 50 ve 100 yıllık dönüş aralıkları) göre sistemin performansını analiz etmek.
- Sistem performansını taşkın risklerini minimize edecek şekilde optimize etmek.

Ekonomik Sürdürülebilirliği Sağlamak:

- Tasarım ve inşaat maliyetlerini analiz ederek farklı senaryolara uygun maliyet avantajlarını değerlendirmek.
- Kullanılacak altyapı malzemelerinin dayanıklılık ve uzun ömürlülük kriterlerine uygun olmasını sağlamak.

Çevresel Etkileri Minimize Etmek:

- Doğal su döngüsünü destekleyen, yüzeysel akışı kontrol altına alan ve yeraltı su kaynaklarını koruyan bir sistem tasarlamak.
- Geçirimsiz yüzeylerin etkisini azaltmak için yeşil altyapı çözümlerini tasarıma entegre etmek.

Uzun Vadeli Çözümler Geliştirmek:

- İklim değişikliğiyle artan yağış yoğunluğu ve frekansına karşı esnek ve dayanıklı bir drenaj sistemi oluşturmak.
- Tasarımı, hem bölgesel hem de ulusal ölçekte benzer problemler yaşayan diğer bölgeler için uygulanabilir bir model haline getirmek.

Kentsel Gelişimi Desteklemek:

- Yağmur suyu drenaj sistemini bölgenin genel kentsel planlamasıyla uyumlu hale getirmek.
- Altyapı iyileştirmeleriyle bölgenin ekonomik ve sosyal kalkınmasına katkıda bulunmak.

1.2. Tezin Problemi

Günümüzde hızla artan nüfus, göç ve kentleşme, şehirlerin mevcut altyapı sistemlerinde ciddi baskılar yaratmakta ve bu durum çeşitli problemleri beraberinde getirmektedir. Özellikle kentsel alanlarda artan yapılaşma, geçirimsiz yüzeylerin yaygınlaşmasına neden olmakta, bu da yağmur suyunun doğal yollarla yeraltına sızmasını önemli ölçüde engellemektedir. Bu durum, kontrolsüz yüzeysel akışlara sebep olarak su baskınlarına, taşkınlara ve altyapı yetersizliklerine yol açmaktadır.

Çatalca Subaşı Mahallesi, hızlı kentleşmenin ve yetersiz altyapının etkisiyle yağmur suyu drenaj sistemlerinin verimsiz çalıştığı bir bölge olarak öne çıkmaktadır. Bölgede yoğun yağışlar sonrasında sıkça yaşanan su birikintileri, taşkınlar ve altyapı hasarları, hem günlük yaşamı olumsuz etkilemekte hem de can ve mal güvenliği açısından risk oluşturmaktadır.

Bu problemin temel nedenleri arasında:

- Geçirimsiz yüzey oranlarının artışı: Yağmur suyunun doğal döngüye katılımını engelleyerek yüzey akışını artırmaktadır.
- Yetersiz drenaj altyapısı: Mevcut altyapının, artan yağış debilerini taşıyamaması taşkın risklerini yükseltmektedir.
- İklim değişikliği: Artan yağış yoğunlukları ve frekansları, mevcut sistemlerin kapasitesini aşan olaylara sebep olmaktadır.
- Planlama eksiklikleri: Bölgeye özgü topoğrafik, hidrolojik ve kentsel verilerin yeterince dikkate alınmadığı eski altyapı sistemleri, problemlerin büyümesine neden olmaktadır.

Bu sorunlar, hem bölgenin yaşam kalitesini düşürmekte hem de altyapı sistemlerinin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Bu tez çalışması, Çatalca Subaşı Mahallesi'nde yağmur suyunun yönetimine yönelik kapsamlı bir drenaj sistemi tasarımı yaparak bu problemlere çözüm sunmayı amaçlamaktadır. Tasarlanacak sistem, mevcut ve gelecekteki iklim koşullarına uyumlu, esnek ve dayanıklı bir yapı sunmayı hedeflemektedir.

1.3. Literatür Taraması

Bu yüksek lisans tezi çalışma ile ilgili çok sayıda bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan güncel ve çalışma konusuna yakın olanlardan birkaçının özeti bu başlık altında verilmiştir.

Toy (2011), Bu çalışmada, Antalya'da sıklıkla yaşanan taşkın problemlerinin mevcut yağmur suyu drenaj sistemi üzerindeki etkisi değerlendirilmiş ve bu soruna yönelik alternatif çözüm önerileri geliştirilmiştir. Antalya'da özellikle kış aylarında meydana gelen yoğun yağışlar, şehrin mevcut altyapısının yetersiz kalmasına neden olmakta ve taşkın olayları sık sık yaşanmaktadır. Özellikle Toros Dağları'nın eteklerinde yoğunlaşan yağışlar, hem şiddetli hem de ani su baskınlarına yol açmaktadır.

Araştırmada, yüzeysel akış, yağış miktarı ve yoğunluğu dikkate alınarak, drenaj sisteminin geliştirilmesi için gerekli iyileştirme alanları belirlenmiş, yerel koşullar göz önüne alınarak çevre dostu ve maliyet etkin çözümler önerilmiştir. Çalışma boyunca, mevcut drenaj sistemindeki kapasite yetersizliği, taşkınların önlenmesine yönelik kısa ve uzun vadeli stratejiler ışığında değerlendirilmiştir. Ayrıca, yağış verilerinin analiz edilmesi ve sistem kapasitesinin artırılmasına yönelik yeni yöntemler önerilmiştir.

Bu araştırma, Antalya'daki su taşkını riskini minimize edecek teknik çözümleri içeren bir yaklaşım sunmayı hedeflemektedir.

Karatepe (2011), Bu çalışma, meskûn alanlardaki yağmur suyu drenaj sistemlerini incelemekte ve özellikle drenaj giriş yerleri ile ilgili detaylı bir analiz sunmaktadır. Çalışmanın başlangıç noktası olarak drenaj tipleri ve şekilleri ele alınmış, meskûn alanlardaki drenaj hatlarının giriş yerlerine dair teknik bilgi ve tasarım özellikleri açıklanmıştır.

Yağmur suyunun meskûn alanlardan uzaklaştırılmasını sağlayan drenaj giriş yerlerinin hidrolik performansı, hesaplamaları ve tasarım kıstasları değerlendirilmiş, bu sistemlerin karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır. Özellikle ızgara tipi drenaj giriş yerlerine odaklanılarak, Amerika Birleşik Devletleri Federal Otoyol Müdürlüğü'nün (FHWA) deneysel verilerinden yararlanılmıştır. Bu veriler tablolar halinde sunulmuş, grafikler ve denklemler oluşturulmuş ve bu denklemler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışmada, ızgara giriş yerlerinin verimi çeşitli boyutsuz parametrelerle analiz edilerek, verimlilik açısından önemli sonuçlar elde edilmiştir.

Buna ek olarak, emsal deney incelemeleri sonucunda akım davranışı, enine ve boyuna eğimler gibi faktörler de hidrolik ve matematiksel olarak incelenmiş ve ızgara tiplerinin verimlilik açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Bu sayede, en verimli ve en verimsiz ızgara tipleri tespit edilerek, drenaj sistemlerinin geliştirilmesine yönelik yeni bulgular sunulmuştur.

Demir (2012), Günümüzde, plansız kentleşme ve nüfus artışı nedeniyle yağmur suyu kaynaklı problemler artış göstermektedir. Yüzeysel akışın yoğunlaşması, suyun şehirlerde daha kısa sürede akışa geçmesine ve taşkınlara sebep olmaktadır. Ayrıca, yağmur suyu drenaj altyapıları yetersiz kaldığında, yatırım ve işletim maliyetleri artmakta, çevre ve halk sağlığı olumsuz etkilenmektedir.

Bu tez kapsamında, konvansiyonel ve sürdürülebilir yağmur suyu drenaj sistemleri incelenmiş, bu sistemlerin avantajları ve dezavantajları ele alınmıştır. Çalışmada öncelikli hedef, yağmur suyunun etkin şekilde yönetilmesi ve sel risklerinin en aza indirgenmesidir. İlk bölümde, doğal döngü ve kentleşmenin bu döngüye etkileri tartışılmış, yağmur suyu drenajına dair genel sorunlar değerlendirilmiştir. İkinci

bölümde, mevcut drenaj sistemleri ve sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi karşılaştırılmıştır.

Tezin dördüncü bölümünde, İTÜ Ayazağa Yerleşkesi örneğinde yağmur suyu yönetimi simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Proje alanı detaylandırılmış ve analizler için StormCAD yazılımı kullanılmıştır. Konvansiyonel ve sürdürülebilir drenaj sistemlerinin etkinliği karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise sistemlerin maliyet analizleri yapılmış ve sosyal ile çevresel maliyetler değerlendirilmiştir.

Çetin (2014), Bu doktora tezi kapsamında, gerçek projelendirme aşamalarında karşılaşılan problemleri çözmek amacıyla kentsel yağmur suyu ve kanalizasyon sistemlerinin tasarımında optimizasyon yöntemlerinin kullanımı incelenmiştir. Çeşitli optimizasyon teknikleri değerlendirilerek, en uygun algoritmaların bu süreçlerde nasıl kullanılabileceği araştırılmıştır.

Kentsel yağmur suyu ve kanalizasyon projelerinin ilk aşamasında, şebeke akış yönlerinin belirlenmesi ve maliyetlerin minimize edilmesi için optimizasyon yöntemleri uygulanmıştır. Bu bağlamda, genetik algoritma temel alınmış ve bu algoritmanın girdileri arasında maliyet ve etkinlik gibi önemli faktörler dikkate alınmıştır. Sonuçta, oluşturulan şebekenin bir sonraki aşamada nasıl optimize edilebileceği detaylandırılmıştır.

Bu çalışma kapsamında, hem hidrolik hem de maliyet optimizasyonu hedeflenmiştir. Optimizasyon sonuçları, maliyetlerin düşürülmesi ve şebekenin verimliliğinin artırılması yönünde önemli bulgular sunmuştur. Ayrıca, genetik algoritma tabanlı bir yazılım programı geliştirilmiş ve bu programın testleri farklı projelerde başarılı sonuçlar vermiştir.

İçkale (2016), Bu çalışmada, gelişmiş ülkelerde yağmur suyu drenaj sistemlerinin yaygın kullanımı ele alınmış ve meskûn bölgelerde yağmur suyunun yüzey akışına etkisi ile drenaj sistemlerinin işleyişi değerlendirilmiştir. Özellikle meskûn bölgelerde yağmur suyu giriş yerlerinin teknik özellikleri ve hidrolik verimlilikleri incelenmiştir. Çeşitli giriş tipleri arasında bordürde bırakılan giriş yerleri, cadde kenarındaki ızgaralı giriş yerleri, birleşik girişler ve cadde boyunca yerleştirilen girişler olmak üzere dört ana giriş tipi tartışılmıştır.

Bu giriş yerlerinin farklı eğim ve koşullar altında yağmur suyu akışını nasıl yönettiği analiz edilmiş, giriş yerlerinin zaafı ve üstünlükleri değerlendirilmiştir. FHWA (Amerika Birleşik Devletleri Federal Otoyol Müdürlüğü) tarafından sağlanan veriler ve yapılan deneyler ışığında, giriş yerlerinin verimlilikleri farklı boyutsuz parametrelerle değerlendirilmiş ve çeşitli grafiklerle sunulmuştur. Ayrıca, İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Yerleşkesi'nde bulunan yağmur suyu giriş yerleri, mevcut yerleşim koşulları göz önüne alınarak detaylı bir şekilde incelenmiş ve bu giriş yerlerinin daha verimli hale getirilmesi için öneriler sunulmuştur.

Bu çalışma, yağmur suyu yönetim sistemlerinin tasarımında yeni ve verimli yaklaşımlar geliştirmenin önemini vurgulamakta ve bu sistemlerin etkinliğini artırmak için çeşitli öneriler sunmaktadır.

Kaya (2018), Bu çalışmada, yağmur suyu drenaj sistemlerinde karşılaşılan sorunlar ve maliyetler göz önünde bulundurularak, klasik yöntemlere kıyasla daha etkili olan yağmur suyu yönetim sistemleri incelenmiştir. Araştırma kapsamında, yağış-tekrarlama sürelerine göre çeşitli grafik ve çizelgeler kullanılarak giriş altyapısı tasarlanmıştır. Çeşitli giriş tiplerinin hidrolik verimlilikleri değerlendirilmiş ve eksiklikleri ile avantajları tespit edilmiştir.

Özellikle meskûn alanlardaki cadde ve bordür girişlerinin, yağmur suyunun etkin bir şekilde tahliye edilmesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca, bu girişlerin yetersiz performansının neden olduğu olası ekonomik ve sosyal zararlar da ele alınmıştır. Giriş tiplerinin hidrolik verimlilikleri, Kansas Üniversitesi tarafından yapılan çalışmalar doğrultusunda, farklı eğimlerdeki davranışları dikkate alınarak analiz edilmiştir.

Sonuç olarak, giriş yerlerinin performansını etkileyen faktörler belirlenmiş, en verimli giriş tipleri grafik ve denklemler yardımıyla analiz edilerek sunulmuştur. Bu çalışma, yağmur suyu yönetim sistemlerinin tasarımında kullanılabilecek yeni stratejiler sunmaktadır.

Avcuoğlu (2019), Bu çalışmada, gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılan yağmur suyu drenaj sistemleri incelenmiş ve özellikle meskûn bölge yollarında kullanılan yağmur suyu giriş yerlerinin teknik özellikleri ve hidrolik verimlilikleri

değerlendirilmiştir. Bordürde, caddede, birleşik ve ızgaralı olmak üzere dört ana yağmur suyu giriş yeri analiz edilmiştir.

Mevcut deneysel veriler kullanılarak, yağmur suyu giriş yerlerinin farklı boyuna eğimlerdeki hidrolik verimlilikleri karşılaştırılmıştır. Her bir giriş yerinin avantajları ve dezavantajları yol koşullarına göre kıyaslanarak en verimli giriş yeri belirlenmiştir. Çalışmada, bu giriş yerlerinin hidrolik performansı ve hesap kıstasları detaylandırılmıştır.

İzgaralarda tutulup deşarj edilen suyun, gelen toplam suya oranı olarak ifade edilen verimlilik değerleri (Q_t/Q), çeşitli boyutsuz ifadeler (L/FT , W/T , WL/TD , Q/WLV , F) ile incelenmiş ve grafiklerle gösterilmiştir. Deneysel veriler, beş farklı boyuna eğim kullanılarak değerlendirilmiş ve bu eğimlerde akış davranışları analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda, verimi artıran veya azaltan faktörler belirlenmiş, ızgaraların verimlilikleri karşılaştırılmış ve en verimli ızgara, boyutsuz ifadelerin analizi ile tespit edilmiştir.

Şengün (2020), Günümüzde hızla artan nüfus ve gelişen şehirleşme, su kaynaklarına olan talebi artırmakla kalmayıp, aynı zamanda iklim değişikliğiyle birleşerek taşkın olaylarının daha sık ve şiddetli yaşanmasına neden olmaktadır. Bu taşkınlar, sadece ekonomik kayıplara değil, aynı zamanda çevresel ve sosyal sorunlara da yol açmaktadır. Bu gibi olumsuz etkilerin kontrol altına alınabilmesi için yağmur suyunun etkili bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, İzmir ili Bornova ilçesinde yer alan Ege Üniversitesi Kampüsü'nün hidrolik ve hidrolojik açıdan yağmur suyu yönetim modeli, ABD Çevre Koruma Ajansı tarafından geliştirilmiş olan Yağmur Suyu Yönetim Modeli (SWMM) kullanılarak oluşturulmuştur. Model kapsamında, kampüs içerisindeki taşkın riski taşıyan bölgeler tespit edilmiş ve bu bölgelerdeki durum değerlendirilmiştir. Daha sonra modele Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamaları eklenerek, bu yöntemlerin yüzeysel akış üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma, çevreci bir yaklaşımla yağmur suyunun nasıl daha verimli yönetilebileceğini ve DEK uygulamaları (yeşil çatı, biyotutma, geçirimli kaldırım, sızdırma hendeği ve bitkili hendek) ile yüzeysel akışın nasıl azaltılabileceğini ele almıştır.

Özben (2022), Nüfusun artmasıyla birlikte su talebi de hızla yükselmekte, bu durum su kaynaklarının giderek azalmasına yol açmaktadır. Sürdürülebilir bir gelecek için su kaynaklarının etkili bir şekilde yönetilmesi ve bu kaynaklarla ilgili yenilikçi stratejilerin sürekli olarak geliştirilmesi gerekmektedir. Özellikle tarımsal sulama gibi farklı kullanım alanları için, içme suyuna alternatif olarak yağmur suyu hasadı önemli bir çözüm olabilir.

Bu tez çalışmasında, yağmur suyu hasadının önemi vurgulanmış ve tarımsal amaçlar için kullanılabilirliği ele alınmıştır. Çalışmada, Denizli ili Serinhisar havzası uydu görüntüleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak modellenmiştir. Havzaya ait günlük yağış verileri, 1982-2021 yılları arasını kapsayan üç meteoroloji istasyonundan alınmış, eksik yıllar ise Thiessen metodu ve basit doğrusal regresyon analizi ile tamamlanmıştır. Yağış-akış yöntemlerinden SCS-CN metodu kullanılarak havzada potansiyel yağmur suyu hasadı miktarı belirlenmiştir. Ayrıca, CBS ile çok kriterli karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci entegre edilerek, yağmur suyu hasadı yapılabilecek potansiyel alanlar tespit edilmiştir.

Hesaplamalar sonucunda, bölgedeki tarım arazilerinin sulama ihtiyacının büyük bir kısmının yağmur suyu hasadı ile karşılanabileceği ortaya konulmuştur.

Geben (2023), Su kaynaklarının yetersizliği, çevresel kirlilikler ve artan su tüketimi, özellikle sanayi bölgelerinde su teminini zorlaştırmakta ve alternatif su kaynaklarına olan ihtiyacı artırmaktadır. Yağmur suyu, bu bağlamda kolayca toplanabilen ve düşük arıtma maliyetleri ile öne çıkan bir alternatif su kaynağı olarak dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, Kayseri Organize Sanayi Bölgesi'nde seramik üretimi yapan bir işletme için yağmur suyu toplama sistemi tasarımı hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında, galvaniz kaplı çatı üzerinden toplanacak yağmur suyu için bir depolama sistemi tasarlanmış ve yıllık yağmur suyu toplama kapasitesi hesaplanmıştır. Analizler, yağmur ve kar sularının kimyasal özelliklerini incelemiş, bu sonuçlar Türk Standartları Enstitüsü (TSE) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartları ile karşılaştırılmıştır. Yağmur suyunun pH değerinin uygun olduğu, ancak sertliğinin yüksek olduğu ve kar suyuna göre renk değerinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

22.000 m² çatı alanına sahip işletme için, DIN 1989-1:2001-10 formülleri kullanılarak yıllık yaklaşık 6.514 m³ yağmur suyu toplanacağı hesaplanmıştır. Bu su, içme suyu, proses suyu, yangın tesisatı, buhar kazanı make-up suyu, araç yıkama ve peyzaj sulama gibi çeşitli kullanım alanlarında değerlendirilecektir. İşletmenin yıllık su tüketiminin yaklaşık 34.867 m³ olduğu ve yağmur suyunun toplam su tüketimine %19 oranında katkı sağlayabileceği belirlenmiştir.

Ayrıca arıtma sistemleri, kullanılan malzemeler ve ekipmanlar hakkında bilgi verilmiş, sistemin ilk yatırım maliyeti 1.226.725,69 TL olarak hesaplanmıştır. Yağmur suyu toplama sisteminin, 6 yıl gibi kısa bir sürede kendini amorti edeceği sonucuna varılmıştır.

Altun (2024), Nüfus artışı ve kentleşme, geçirimsiz yüzeylerin genişlemesine neden olarak, yağmur suyunun yeraltına sızmasını engellemekte ve kentlerde su baskınlarına yol açmaktadır. Bu çalışmada, Zonguldak ilindeki yoğun kentleşmiş bir bölgede yağmur suyu drenaj sisteminin modellenmesi ve Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamalarının bu sisteme entegrasyonu üzerine odaklanılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan veriler ve tasarım kriterleri doğrultusunda EPA SWMM programı kullanılarak drenaj sistemi oluşturulmuş ve DEK yöntemlerinin yüzeysel akış ve pik debi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Çalışma kapsamında, yeşil çatı, yağmur bahçeleri ve yağmur varili gibi DEK yöntemleri kullanılarak model senaryoları 25, 50 ve 100 yıllık yağış serileriyle test edilmiştir. Yapılan analizlerde, farklı tahliye noktalarındaki maksimum debi miktarlarında önemli azalmalar gözlemlenmiştir. Örneğin, 25 yıllık yağış serisinde debi miktarları %21,12 ile %45,85 arasında azalmış, 50 yıllık yağış serisinde %21,90 ile %45,71 arasında azalma görülmüş, 100 yıllık yağış serisinde ise %22,01 ile %45,59 arasında bir azalma tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar, DEK uygulamalarının yağmur suyunu kontrol etmede etkin bir çözüm sunduğunu ve bu yöntemlerin çevre dostu yaklaşımlar olduğunu göstermektedir.

1.4. Hipotez

Bu çalışma, Çatalca Subaşı Mahallesi'nde yağmur suyu drenaj problemlerine yönelik tasarlanan bir sistemin, bölgedeki taşkın risklerini ve su birikintisi problemlerini azaltmada etkili olabileceği ve aynı zamanda çevresel, ekonomik ve toplumsal sürdürülebilirlik hedeflerini destekleyebileceği varsayımına dayanmaktadır. Bu hipotez, modern mühendislik yaklaşımları, EPA SWMM yazılımı ile yapılan modelleme çalışmaları ve ekonomik analizler temelinde oluşturulmuştur.

Ana Hipotez

İSKİ Teknik Şartnamesi'ne uygun şekilde tasarlanan ve EPA SWMM yazılımı ile modellenen yağmur suyu drenaj sistemi, Çatalca Subaşı Mahallesi'nde yoğun yağışlar sonucu oluşan taşkınları önleyecek, altyapının taşıma kapasitesini artıracak ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından uygulanabilir bir çözüm sunacaktır.

Alt Hipotezler

Teknik ve Hidrolik Performans Varsayımları:

Tasarlanan drenaj sistemi, farklı dönüş aralıklarında (5, 25, 50 ve 100 yıllık) etkili bir şekilde çalışacak ve taşkın risklerini minimum seviyeye indirecektir.

EPA SWMM yazılımı ile yapılan simülasyonlar, sistemin tasarım verimliliğini artıracak ve boru hatlarının kapasitesini optimize edecektir.

Ekonomik Varsayımlar:

Tasarım, yatırım ve işletme maliyetleri açısından maliyet-performans dengesi sağlayacaktır.

Kullanılan dayanıklı altyapı elemanları, uzun vadede bakım ve onarım maliyetlerini düşürerek ekonomik fayda sağlayacaktır.

Çevresel Varsayımlar:

Sistem, yüzeysel akış kontrolü ile yeraltı su kaynaklarının korunmasına katkıda bulunacaktır.

Çevreye zarar vermeyen malzemeler ve yeşil altyapı çözümleri, tasarımın çevresel sürdürülebilirlik boyutunu güçlendirecektir.

Toplumsal Varsayımlar:

Bölgedeki taşkın risklerinin azaltılması, can ve mal kaybını önleyecek, böylece halkın yaşam kalitesini artıracaktır.

Güçlü bir altyapı, bölgenin kentsel gelişimini hızlandıracak ve ekonomik büyümeye dolaylı katkı sunacaktır.

Uzun Vadeli Varsayımlar:

İklim değişikliğiyle artan yağış yoğunluğu ve frekansına rağmen, sistem esnek ve dayanıklı bir çözüm sunacaktır.

Model, benzer altyapı sorunları yaşayan diğer bölgeler için uygulanabilir bir referans sağlayacaktır.

Hipotezin Test Edilmesi

Bu hipotezi test etmek için şu yöntemler uygulanmıştır:

Mevcut Durum Analizi: Bölgedeki topoğrafik özellikler, yüzey akış alanları ve mevcut altyapının yetersizlikleri detaylı olarak incelenmiştir.

Modelleme ve Simülasyon Çalışmaları: EPA SWMM yazılımı ile farklı dönüş aralıklarında yağmur suyu tahliye sisteminin performansı test edilmiştir.

Ekonomik Analiz: Tasarlanan sistemin yatırım ve işletme maliyetleri analiz edilmiştir.

Çevresel ve Sosyal Değerlendirme: Tasarımın çevresel etkileri ve bölge halkının yaşam kalitesine olan katkıları ele alınmıştır.

Bu hipotez, çalışma boyunca yapılan analizler ve modelleme sonuçları ile test edilmiş, varsayımlar bilimsel ve teknik yöntemlerle doğrulanmıştır. Tez kapsamında elde edilen bulgular, bu hipotezin doğruluğunu ve sistemin etkinliğini göstermektedir.

İKİNCİ BÖLÜM

MATERYAL VE METODOLOJİ

Tez çalışmasının bu bölümünde, EPA SWMM programı ve bu programca tanımlanan yağmur suyu hattı uygulamaları detaylı biçimde açıklanmaktadır.

2.1. SWMM (Yağmur Suyu Yönetim Modeli)

1971 yılında geliştirilmeye başlanan EPA (Amerikan Çevre Koruma Ajansı) tarafından sunulan Yağmur Suyu Yönetim Modeli (SWMM), uzun süreli (sürekli) veya kısa süreli (tek fırtına) yağışlar sonucu yüzeyde oluşan suyun dinamik simülasyonunu sağlayan bir yazılımdır (Rossman, 2010; Huber ve Dickinson, 1988). Bu program, yağış-akıntı süreçlerini hidrolojik döngünün önemli unsurları olan yağış, sızma, buharlaşma, yeraltı suyu ve yüzeysel akış gibi faktörleri dikkate alarak parametrik bir model oluşturur (Huber ve Dickinson, 1988; Tsihrintzis ve Hamid, 1998).

EPA SWMM, yağışların havza üzerindeki etkisini modelleyerek yüzeysel akış miktarını, su kalitesini, borular veya kanallar içerisindeki debiyi, su derinliğini ve akış hızını hesaplayabilmektedir. Modelde alt havzalar, açık ya da kapalı kanallar, birleşim noktaları, giriş ve çıkış noktaları, yağmur ölçerler, pompalar, düzenleyiciler ve depolama hazneleri gibi unsurlar tanımlanarak, bu yapıların eğimi, genişliği, uzunluğu, kesit alanı ve kot farkları gibi özellikler veri olarak elde edilmektedir. Ayrıca, belirli bir yağış süresi girdisi ile akışa geçen suyun debisi, hızı ve kanal içerisindeki suyun derinliği gibi hidrodinamik veriler hesaplanarak havzanın genel akış dinamikleri analiz edilebilmektedir (Gülbaz, S., Kaya, Y.E., Kazezyılaz Alhan, M., 2018).

2.1.1. Model Bileşenleri ve Kullanılacak Veriler

Yağmur Ölçer (Rain Gages): Yağmur ölçerler, bir veya birden fazla alt havzaya ait yağış değerlerini ölçmek için kullanılır. Yağış verileri, manuel olarak veya farklı bir veri kaynağından modele girilebilir. Modeli kuran kişi, yağış veri türünü ve ölçüm aralığını belirler, bu da simülasyonun hassasiyetini doğrudan etkiler.

Alt Havzalar (Subcatchments): Hidrolojik açıdan bir çıkışa sahip drenaj alanları alt havza olarak tanımlanır. Büyük havzaları oluşturan daha küçük alt birimler de alt havzalar olarak adlandırılır. Alt havza tanımlamalarında dikkate alınan önemli parametreler şunlardır:

- Havza alanı
- Ortalama eğim
- Yağış girdileri
- Geçirimsiz yüzey oranı
- Havza genişliği
- Sızma modeli
- Geçirimli ve geçirimsiz yüzeylerin Manning pürüzlülük katsayısı
- Yüzey depresyon depolaması (su birikme alanları)

Bağlantı Düğüm Noktaları (Junction): Bağlantı düğüm noktaları, modellenen drenaj sisteminin birleşim elemanlarıdır. Doğal yüzey kanalları veya boru bağlantı noktaları gibi alanlarda bulunur. Bu noktaların kotu, suyun doğru bir şekilde yönlendirilmesi açısından önemli bir parametredir.

Çıkış Ağzı (Outfall): Çıkış ağzı, drenaj sisteminde suyun tahliye edildiği en düşük kotta bulunan noktadır. Bu düğüm noktasının kotu, suyun doğru bir şekilde sistemden uzaklaştırılmasını sağlamak için kritik bir rol oynar.

Akım Bölücü (Pumps): Akım bölücü elemanlar, düğüm noktasına gelen akışı belirli kanallara yönlendiren sistem bileşenleridir. Bu bileşenler, sistemde akışın kontrol edilmesi ve yönlendirilmesinde önemli bir görev üstlenir.

Depolama Ünitesi (Storage Units): Depolama üniteleri, drenaj sisteminde fiziksel depolama kapasitesini ifade eder. Bu üniteler, yüzey alanı-derinlik fonksiyonları kullanılarak hacimsel kapasitesi belirlenmiş depolama alanlarını temsil eder.

Boru Hatları (Conduits): Boru hatları, drenaj sisteminde iki düğüm noktası arasında bağlantı kurarak akışın taşınmasını sağlar. Bu hatlar boru veya kanal şeklinde tasarlanabilir ve sistemin verimli bir şekilde çalışmasında önemli bir rol oynar.

2.1.2. Hesaplama Metotları

SWMM programında yağış-akış süreçlerini simüle ederken çeşitli matematiksel hesaplama yöntemleri kullanılır. Bu çalışmada kullanılacak olan temel hesaplama

yöntemleri yüzey akımı ve sızma işlemleridir. SWMM’de yer alan diğer hesaplama yöntemleri ise şunlardır:

Yüzey Akımı: Yüzeyde biriken suyun, akışa geçişini ve drenaj sistemine girişini simüle eder.

Sızma: Yağmur suyunun yüzeyden yeraltına sızma sürecini hesaplar.

Yeraltı Suyu: Yeraltı suyu hareketlerini ve yeraltı sularının akışa etkisini modelleyen yöntemdir.

Kar Erimesi: Kar erimesi sonucu yüzey akışına geçen su miktarını hesaplar.

Akış Ötelemesi: Akışın sistem içinde hareketini ve gecikmelerini simüle eder.

Saint-Venant Denklemleri: Akışkanlar mekaniğinin temel denklemleri olan Saint-Venant denklemleri, akışın dinamik davranışını modellemek için kullanılır.

Bu çalışmada, yüzey akımı ve sızma süreçleri dikkate alınarak SWMM programı kullanılmıştır.

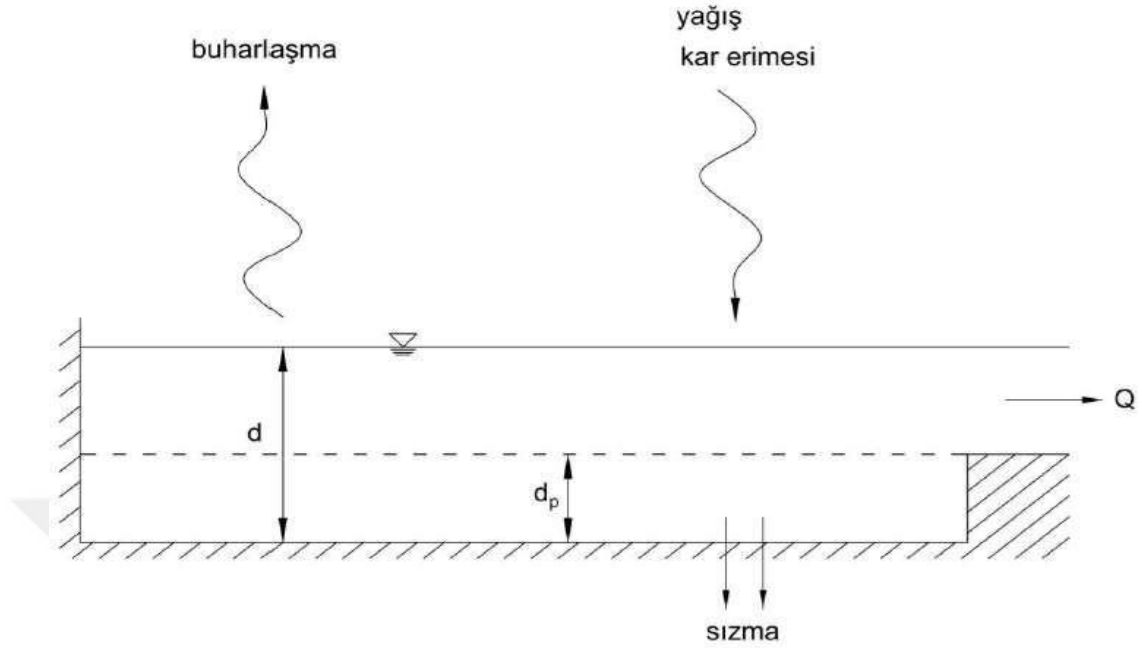
2.1.2.1. Yüzey akımı

Alt havzalardan her biri, SWMM modelinde non-lineer bir hazne gibi davranmaktadır. Bu, havza içine giren akımın başka bir alt havzadan veya doğrudan yağıştan kaynaklanabileceği anlamına gelir. Çıkış akımı ise buharlaşma, sızma veya yüzeysel akış sonucu oluşabilir. Her bir alt havzanın davranışı, hidrolojik süreçlerin etkileşimine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir.

Havzanın maksimum kapasitesi, depresyon depolama kapasitesinin maksimumuna eşittir. Depresyon depolama, yüzeyde biriken suyun tutulduğu ve akışa geçmeden önce buharlaşma veya sızma ile sistemden ayrıldığı depolama alanıdır. Yani havzanın kapasitesi dolana kadar, yağış suyu bu haznede birikebilir ve belirli bir seviyeden sonra yüzey akışına dönüşebilir.

Şematik olarak, SWMM modeli bu süreci, giren ve çıkan akımlar arasındaki etkileşimleri gösteren bir sistem olarak ele alır. Şekil 1’de, yüzey akımının SWMM modelinde nasıl simüle edildiği şematik olarak gösterilmektedir. Bu şemada, alt

havzanın yağış alımı, buharlaşma ve sızma süreçleriyle birlikte yüzey akışının nasıl oluştuğu görselleştirilmektedir.



Şekil 1. SWMM modelinde yüzey akımının oluşumu (Nuri Balov, 2014)

2.1.2.2. Sızma

EPA SWMM modelinde sızma hesaplama yöntemleri olarak Horton denklemi, Green-Ampt modeli ve SCS eğri numarası yöntemi kullanılmaktadır (Nuri Balov, 2014).

Horton Denklemi: Horton denklemi, yapılan deneylere dayalı olarak sızma hızının, başlangıçta belirli bir değerde (f_0) başladığını, ancak bu hızın zamanla azalarak sabit bir değere (f_c) ulaştığını öngören bir modeldir. Bu azalma, eksponansiyel bir süreç izler. Sızma hızının zamanla değişimi, azalma sabiti (k) kullanılarak aşağıdaki formüller aracılığıyla hesaplanır. Horton denklemi, yüzey sızma süreçlerini modelleyerek yağış sonrası topraktaki suyun davranışını anlamak için kullanılır (Nuri Balov, 2014).

Green-Ampt Yöntemi: Green-Ampt yöntemi, özellikle yeşil ve ıslak bölgelerdeki sızma süreçlerini modellemek için tercih edilen bir yöntemdir. Bu model, suyun toprakta ilerlemesini ve toprak özelliklerine dayalı olarak sızma hızını hesaplar. Green-Ampt yöntemi, toprak yapısının homojen olduğu varsayımıyla çalışır ve yeraltı

suyu hareketleriyle ilgili detaylı bilgiler sağlar (Huber ve Dickinson, 1988; Alfars, 2011).

SCS Eğri Numarası Yöntemi: 1954 yılında geliştirilen SCS Eğri Numarası Yöntemi, ikinci akışların tahmin edilmesi amacıyla kullanılır. NRCS (eski adıyla SCS) tarafından geliştirilen bu yöntem, toprağın toplam sızma kapasitesini hesaplamak için çizelgelerden elde edilen eğri numarası değerlerine dayanır. Bu yöntemde, toprağın geçirgenliği, arazi kullanım şekli ve yüzey koşulları gibi faktörler dikkate alınarak sızma kapasitesi tahmin edilir (Samouei, 2019).

Bu üç sızma hesaplama yöntemi, EPA SWMM modelinde yağış ve akış süreçlerini daha doğru bir şekilde simüle etmek için kullanılan önemli araçlardır. Her bir yöntem, farklı çevresel ve topografik koşullara uygun sonuçlar verecek şekilde tasarlanmıştır.

2.2. İSKİ Teknik Şartname (H.17.14.1.3)

Bu şartname, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü bünyesindeki yağmursuyu şebeke ve toplayıcılarına ait sanat yapılarının projelendirilmesi işine dair hususları içermektedir.

2.2.1. Genel Planlama ve Yatırım

Mevcut Projelerin Değerlendirilmesi: Proje sahasında daha önce inşa edilmiş veya yapım aşamasında olan altyapı projeleri (örneğin, dere ıslahları, içme suyu hatları, atıksu ve yağmursuyu hatları) detaylı bir şekilde incelenerek, yeni projeler bu sistemlerle uyumlu olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu, mevcut altyapı ile çakışmaların ve olası sorunların önlenmesini sağlar.

Veri Toplama: Proje tasarımında jeolojik, hidrolojik, meteorolojik, imar ve kadastral verilerin toplanarak analize dâhil edilmesi gereklidir. Bu veriler, projenin temel gereksinimlerini karşılayacak doğru planlamayı sağlayarak tasarımın doğruluğunu artırır.

Havza Planlaması: Ana havzanın alt havzalara ayrılarak detaylandırılması ve bu alt havzalar üzerindeki sistemlerin bütünsel bir yaklaşımla analiz edilmesi, tasarım sürecinin önemli bir parçasıdır. Her alt havza içindeki sistemlerin, proje kapsamında

doğru bir şekilde dâhil edilip edilmediği kontrol edilmelidir. Bu sayede havza genelinde suyun doğru yönetimi sağlanır.

Kamu Alanlarının Kullanımı: Yağmursuyu hatlarının mümkün olduğunca kamuya ait alanlardan geçirilmesi, kamulaştırma maliyetlerini azaltır ve çevresel etkileri minimize eder. Yeşil alanlar üzerinden geçen hatlar için en az 3 metre genişliğinde servis yolları planlanmalıdır. Bu yollar, bakım ve onarım çalışmalarını kolaylaştıracak bir altyapı sunar.

Ana ve Kademe Hatlar: Projenin yapıldığı alanlara göre yağmursuyu hatlarının sınıflandırılması önemlidir. Yapılaşmış bölgelerde birinci kademe hatlar, henüz yapılaşmamış bölgelerde ise ikinci kademe hatlar tasarlanmalıdır. Bu hatlar, bölgenin altyapı gelişimine paralel olarak uygun şekilde planlanmalıdır.

Kamulaştırma: Kamulaştırma gerektiren alanlar belirlenirken, bu alanların yüzölçümleri, ada ve parsel numaraları tespit edilerek mülkiyet durumları analiz edilmelidir. Bu analiz, proje güzergâhının optimize edilmesini ve kamulaştırma süreçlerinin doğru bir şekilde yönetilmesini sağlar.

Açık Kazı ve Kazısız Boru Döşeme Yöntemleri: Açık kazı yöntemi, sadece teknik ve ekonomik açıdan uygun olduğu yerlerde tercih edilmelidir. Zemin koşullarının teknik olarak zorlayıcı olduğu ve maliyetlerin yüksek olduğu bölgelerde ise kazısız boru döşeme yöntemleri (mikrotünel, boru-itme gibi) kullanılmalıdır. Bu yöntemler, proje maliyetini optimize ederken aynı zamanda çevresel etkileri de minimize eder.

Zemin Etütleri: Proje sahasında gerçekleştirilen zemin etütleri doğrultusunda uygun kazı yöntemi ve boru döşeme tekniği belirlenmelidir. Zemin koşullarının analizine dayalı olarak yapılan bu seçimler, projenin sağlamlığını ve uzun vadeli dayanıklılığını sağlar.

Boru Döşeme Yöntemleri: Proje güzergâhında uygulanacak boru döşeme yöntemlerinin teknik uygunluğu ve çevresel etkileri değerlendirilmelidir. Boru-itme veya mikrotünel gibi yöntemlerin tercih edilip edilmeyeceği, çevresel etkiler ve maliyet analizleri sonucunda belirlenmelidir. Ayrıca, kullanılan yöntemlerin çevreye zarar vermemesi ve maliyet etkinliği açısından optimize edilmesi sağlanmalıdır.

2.2.2. Debiler ve Atıksu Yükleri

Debi Hesaplama Yöntemleri: Proje sahasındaki yağmursuyu debilerinin doğru bir şekilde hesaplanması, sistem tasarımının etkinliği açısından büyük önem taşır. 240 hektar ve daha küçük alanlar için "Rasyonel Metod" kullanılmıştır. Bu yöntem, küçük havzalar için uygun olup, debi hesaplamalarında akış katsayısı, yağış şiddeti ve drenaj alanı dikkate alınarak projeye uygun debi değerleri belirlenmiştir. Daha büyük havzalar için ise "Dere Islahları Teknik Şartnamesi" doğrultusunda hesaplamalar yapılmıştır.

Tekerrür Süresi ve Havza Alanları: Yağmursuyu şebekesi ve toplayıcı sistemlerin tasarımında, her havzanın büyüklüğüne göre belirlenen tekerrür süreleri dikkate alınmıştır. 80 hektara kadar drenaj alanı için 3 yıl, 100 hektara kadar drenaj alanı için 5 yıl, 130 hektara kadar drenaj alanı için 10 yıl, 240 hektara kadar drenaj alanı için 25 yıl tekerrür süresi kullanılarak yağmursuyu sistemleri boyutlandırılmıştır. Bu süreler, şiddetli yağışlarda sistemin yeterliliğini ve güvenliğini sağlamaya yönelik seçilmiştir.

Yağış Şiddetinin Hesaplanması: Yağış şiddeti, yağış süresine (td) bağlı olarak proje sahasına uygun formüllerle hesaplanmıştır. $0 < td \leq 120$ dakika, $120 < td \leq 180$ dakika ve $td > 180$ dakika olmak üzere üç farklı yağış süresi aralığı için farklı hesaplama formülleri kullanılmıştır. Bu formüller, yağışın şiddetine bağlı olarak yağmursuyu sistemlerinin kapasitelerinin doğru bir şekilde belirlenmesine yardımcı olmuştur.

Debi Hesaplama Sonuçlarının Uygunluğu: Hesaplanan debiler, projede tasarlanan yağmursuyu hatlarının kapasitesi ile uyumlu olup olmadığının kontrol edilmesi, tasarımın doğruluğunu sağlamak için yapılmıştır. Ayrıca, sistemin performansı ve güvenilirliği açısından İdare'nin belirlediği kriterlere uygun hesaplamalar yapılmıştır.

Malzeme ve Yapı Uygunluğu: Yağmursuyu hatları için kullanılacak boru malzemeleri ve yapı elemanları, hesaplanan debi ve akış hızlarına göre belirlenmiştir. Malzemelerin aşınma dayanıklılığı, çevresel etkilere karşı

koruma sağlaması ve uzun vadeli dayanıklılığı göz önünde bulundurulmuştur. Proje kapsamında seçilen malzemeler, İdare tarafından belirlenen standartlara uygun olmalıdır.

2.2.3. Yağmursuyu Hatlarının Tasarımı

Boru Doluluk Oranı: Yağmursuyu hatlarının kapasitesini en verimli şekilde kullanabilmek için boru doluluk oranı (%80) esas alınmıştır. Bu oran, boru çapına göre suyun taşınma kapasitesini optimize ederken taşma riskini azaltır. Tasarımda, boru içindeki su yüksekliği (h) ve boru çapı (D) arasında bir denge sağlanarak h/D oranı %80'i geçmeyecek şekilde ayarlanmıştır.

Hidrolik Hesaplar: Yağmursuyu hatlarının boyutlandırılmasında Colebrook-White formülü kullanılarak debi hesaplamaları yapılmıştır. Bu formül, boru iç çapı, eğim, pürüzlülük ve akış hızına göre sistemin taşıma kapasitesini belirler. Debi hesaplamalarında, hat boyunca maksimum kapasiteyi aşmadan güvenli akış sağlanması amaçlanmıştır.

Boru Malzemesi ve Akış Hızları: Tasarımda kullanılan boru malzemeleri, suyun akış hızına göre seçilmiştir. Borularda minimum hız 0,75 m/s, maksimum hız ise 10 m/s olarak belirlenmiştir. Bu hız aralıkları, hem boruların iç yüzeylerinde aşınmayı azaltmak hem de suyun sorunsuz bir şekilde taşınmasını sağlamak için uygulanmıştır. Boruların dayanıklılığı ve uzun ömürlü olması da malzeme seçiminde göz önünde bulundurulmuştur.

Enerji Çizgisi: Yağmursuyu borularında akış hızına göre enerji çizgisi yükseklikleri hesaplanmıştır. Tasarımda, enerji çizgisinin en yüksek değeri, yağmursuyu ızgarasının kotundan en az 50 cm aşağıda kalacak şekilde belirlenmiştir. Bu, sistemdeki suyun aşırı basınç altında dışarı taşmasını engellemek için kritik bir tasarım kriteridir.

Boru Malzemesi Seçimi: Yağmursuyu hatlarında kullanılan boru malzemeleri, aşınma ve korozyon dayanıklılığına göre seçilmiştir. Sürüklenmiş malzeme az olan bölgelerde daha genel malzemeler tercih edilebilirken, zorlu zemin koşulları ve aşınmanın fazla olduğu bölgelerde daha dayanıklı boru malzemeleri (HDPE, CTP gibi)

tercih edilmiştir. Ayrıca, boru malzemelerinin seçimi yapılırken TSE ve EN standartlarına uygunluk sağlanmıştır.

Örtü Kalınlığı: Boru üzerindeki örtü kalınlığı minimum 1,20 metre olacak şekilde planlanmıştır. Trafik yükleri veya yerel koşullara göre bu kalınlık ayarlanabilir. Boru üzerindeki yüklerin fazla olduğu durumlarda borular betonarme gömlek ile korunarak sistemin güvenliği artırılmıştır.

Bacalar ve Özel Yapılar: Bacaların yerleşimi, boru çapı ve eğim değişikliklerinin olduğu noktalarda planlanmıştır. İki baca arasındaki mesafeler boru çapına bağlı olarak belirlenmiştir. Ø600 mm veya daha küçük çaplı borular için maksimum 70 metre, Ø700-Ø1200 mm çaplar arasında ise maksimum 120 metre aralıklarla bacalar yerleştirilmiştir. Ayrıca, yüksek düşümlü hatlarda düşü bacaları planlanmış ve tasarımın sorunsuz akışı sağlayacak şekilde yapılması hedeflenmiştir.

Tasarım Yazılımları: Yağmursuyu kanalizasyon sistemlerinin tasarımında ve analizinde bilgisayar destekli yazılım paketleri kullanılmıştır. Hidrolik modelleme ile sistemin performansı, kapasitesi ve olası sorunları simüle edilmiş, tasarımın doğruluğu bu yöntemle güvence altına alınmıştır.

Parsel Bağlantıları: Parsel bağlantı boruları minimum Ø300 mm çapında beton veya HDPE malzemeden seçilmiş ve yağmursuyu toplayıcı şebekesine bağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Parsel bağlantıları esnek olacak şekilde yapılmış ve yer hareketlerinden etkilenmemesi sağlanmıştır.

2.2.4. Boru Malzemeleri

Boru Malzemesi Seçimi: Yağmursuyu hatlarında kullanılacak boru malzemeleri, sistemin dayanıklılığını ve uzun ömürlü olmasını sağlayacak şekilde seçilmiştir. Zemin koşulları, aşınma ve korozyon riski gibi faktörler göz önüne alınarak, betonarme (BA), beton (BB), koruge HDPE, CTP gibi çeşitli boru malzemeleri tercih edilmiştir. Her bir boru malzemesinin servis ömrü 50 yıl olarak hesaplanmış ve bu süre zarfında güvenilir şekilde çalışmaları hedeflenmiştir.

Aşınma ve Korozyona Karşı Koruma: Boru hatlarında aşınma ve korozyon riskine karşı malzeme seçimi büyük önem taşır. Aşınma seviyesinin düşük olduğu bölgelerde tüm boru malzemeleri kullanılabilirken, aşınmanın daha yoğun olduğu

yerlerde HDPE ve CTP gibi daha dayanıklı malzemeler tercih edilmiştir. Ayrıca, korozyon riski taşıyan ortamlarda boruların beton gömlekle korunması sağlanmıştır.

Boru Hızları: Yağmursuyu hatlarında suyun verimli taşınabilmesi için borulardaki minimum ve maksimum hız değerleri dikkate alınmıştır. Minimum hız 0,75 m/s ve maksimum hız 10 m/s olarak belirlenmiş, bu hız aralıklarında boru seçimi yapılmıştır. Akış hızının bu sınırlar içinde tutulması, aşınmayı azaltarak boru ömrünü uzatmayı ve suyun düzgün bir şekilde tahliyesini sağlamayı amaçlamıştır.

Boru Örtü Kalınlığı: Boru hatlarının üzerindeki toprak örtü kalınlığı minimum 1,20 metre olarak tasarlanmıştır. Ancak, trafik yükleri ve yerel zemin koşulları bu kalınlığı etkileyebileceğinden, gerekirse örtü kalınlığı artırılmış veya boru betonarme gömlek ile korunmuştur. Bu, özellikle ağır yük taşıyan alanlarda boruların zarar görmemesini sağlamak için kritik bir tasarım unsurudur.

Baca Yerleşimi ve Aralıkları: Baca yerleşimi, boru çapı ve hattın eğiminin değiştiği her noktada planlanmıştır. Ayrıca, cadde ve sokak kesişimlerinde, iki boru hattının birleştiği veya hattın başlangıç noktalarında bacalar yerleştirilmiştir. Boru çaplarına göre belirlenen maksimum baca aralıkları şu şekildedir: Ø600 mm veya daha küçük çaplı borular için 70 metre, Ø700-Ø1200 mm çaplı borular için 120 metre, Ø1200 mm'den büyük borular için ise maksimum 150 metre olarak planlanmıştır.

Düşü Bacaları: Boru hattında düşü yüksekliği 7 metreyi aşan durumlarda ardışık düşü bacaları yerleştirilmiştir. Bu bacalar, borular arasındaki yükseklik farkını güvenli bir şekilde dengeleyerek suyun düzgün akışını sağlar. Yüksek düşüler için vorteks bacaları tercih edilmiştir. Bu bacalar, yağmursuyunun kontrollü ve güvenli inişini sağlamak amacıyla maliyet etkin bir çözüm sunar.

Parsel Bağlantıları: Parsel yağmursuyu sistemleri, ana şebekeye bağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Parsel bağlantıları için minimum Ø300 mm çapında beton veya HDPE borular kullanılmış ve bu bağlantıların yer hareketlerinden etkilenmemesi için esnek yapılması sağlanmıştır. Ayrıca, boruların bağlantı noktalarında ek sayısı mümkün olduğunca az tutulmuş ve bakım onarım çalışmalarının hızlı yapılabilmesi için tasarımda bu unsura dikkat edilmiştir.

Depreme Dayanıklılık: Projede kullanılan boru malzemeleri, deprem gibi dinamik yüklere karşı dayanıklı olacak şekilde seçilmiştir. Özellikle deprem riski

taşıyan bölgelerde esnek boru malzemeleri tercih edilerek, olası yer hareketlerine uyum sağlayacak bir yapı oluşturulmuştur. Bağlantı noktaları da kırılma ve kopmalara karşı güçlendirilmiştir.

2.2.5. Bacalar ve Özel Yapılar

Bacaların Yerleşimi ve Aralıkları: Bacaların yerleşimi, boru hattındaki çap, eğim ve doğrultu değişikliklerinin olduğu noktalar dikkate alınarak yapılmıştır. Bacalar, iki veya daha fazla boru hattının birleşim yerlerinde, hattın başlangıç noktalarında ve cadde/sokak kesişimlerinde konumlandırılmıştır. Ayrıca, boru çapına göre iki baca arasındaki maksimum mesafe belirlenmiştir: Ø600 mm veya daha küçük çaplı borular için bu mesafe en fazla 70 metre, Ø700-Ø1200 mm çaplı borular için ise 120 metre olarak planlanmıştır. Daha büyük çaplı borular için bu mesafe en fazla 150 metre olmalıdır.

Baca Tipleri: Proje kapsamında kullanılan baca tipleri, boru çaplarına ve ihtiyaç duyulan yapısal özelliklere göre belirlenmiştir. Ø1200 mm'den küçük boru hatlarında A Tipi Bacalar kullanılmıştır. Bu bacalar prekast betonarme elemanlardan yapılmış olup, üzerine prekast ring eklenerek yükseltilmiştir. Ø1200 mm ve daha büyük borular için ise tamamen betonarme B Tipi Bacalar tercih edilmiştir.

Düşü Bacaları ve Vorteks Yapısı: Düşü yüksekliği 600 mm'den fazla olan hatlarda düşü bacaları planlanmıştır. Bu bacalar, gelen ve giden borular arasındaki kot farkını düzenler. Düşü yüksekliği 7 metreyi aşan hatlarda ardışık düşü bacaları yerleştirilmiş ve vorteks bacaları ile yağmursuyunun hızlı ve güvenli inişi sağlanmıştır. Vorteks bacaları, maliyet etkinliği açısından yüksek düşü kotlarına sahip projelerde tercih edilmiştir.

Bacaların Korozyon Ortamlarında Kullanımı: Yeraltı su seviyesi yüksek veya korozyon ortamların bulunduğu bölgelerde, betonarme bacalar yerine koruge HDPE bacalar tercih edilmiştir. Bu malzeme, esnekliği sayesinde yer hareketlerine uyum sağlayarak uzun vadeli dayanıklılık sunar. Ayrıca, bu tür ortamlarda boru hatları ve bacaların aşınmaya ve korozyona karşı koruyucu kaplamalarla güçlendirilmesi sağlanmıştır.

Muayene ve Temizlik Bacaları: Bacaların düzenli bakım ve onarımı için uygun boyutlarda temizlik ve muayene kapakları tasarlanmıştır. A Tipi Bacalar için temizlik açıklığı 625 mm dairesel olarak belirlenmiş, B Tipi Bacalar içinse 675 mm x 675 mm kare ya da 750 mm x 900 mm dikdörtgen temizlik açıklıkları planlanmıştır. Bu kapaklar, sistemin sürdürülebilirliğini sağlamak için önemli bir tasarım unsuru olarak projeye dâhil edilmiştir.

Depreme Dayanıklılık ve Yer Hareketlerine Uyum: Kullanılan boru ve baca malzemeleri, depreme ve yer hareketlerine karşı dayanıklı olacak şekilde seçilmiştir. Özellikle boru bağlantıları ve bacaların, kırılma veya sızıntıya neden olmadan yer hareketlerine uyum sağlayabilecek esneklikte yapılması sağlanmıştır. Ek yerlerinin sayısının azaltılması ve bu noktaların güçlendirilmesi, boru hatlarının dayanıklılığını artıran önemli bir kriter olmuştur.

2.2.6. Hat Geçişleri ve Diğer Yapılar

Altyapı Tesisleri ile Kesişmeler: Yağmursuyu hatlarının tasarımında, proje güzergâhında bulunan mevcut altyapı tesisleri (elektrik, doğalgaz, su, atıksu hatları vb.) ile kesişim noktaları titizlikle değerlendirilmiştir. Bu noktalar, projeye işlenerek kesişmelerin olumsuz etkilerinin en aza indirgenmesi sağlanmıştır. Güzergâh üzerinde bulunan diğer altyapı tesislerinin hasar görmemesi için gerekli önlemler alınmış, özellikle kritik geçiş noktalarında detaylı boykesit ve enkesit planları hazırlanmıştır.

Geçiş Yapıları: Yağmursuyu hatlarının köprüler, dere geçişleri, büyük kesitli geçişler ve diğer altyapı yapıları ile entegrasyonu dikkatli bir şekilde planlanmıştır. Bu geçişlerde, projenin hidrolik ve yapısal uygunluğunu sağlamak amacıyla geçiş yapıları tasarlanmış ve gerekli statik hesaplamalar yapılmıştır. Özellikle köprü ve dere geçişlerinde yapının sağlamlığı ve güvenliği sağlanarak, taşkın riskleri minimize edilmiştir.

Deniz ve Göl Geçişleri: Deniz ve göl geçişleri gibi zorunlu güzergâhlar için uygun dolgu projeleri hazırlanmıştır. Bu projeler, deniz ve gölün mevcut durumuna uygun olarak planlanmış ve ilgili kurumların izni doğrultusunda uygulanmıştır. Dolgu yüksekliği, genişliği ve stabilitesi gibi faktörler göz önüne alınarak, bu tür geçişlerin güvenli ve dayanıklı olması sağlanmıştır.

Statik ve Betonarme Projeler: Yağmursuyu hatlarının geçtiği güzergâhlarda, tüneller, bacalar ve diğer hidrolik yapılar için statik ve betonarme projeler hazırlanmıştır. Bu projeler, İdare'nin onayladığı standartlara uygun olarak tasarlanmış ve ilgili yapısal hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca, yeraltı tesislerinin bulunduğu bölgelerde tünel güzergâhları boyunca gerekli boykesitler alınmış, sondaj logları eklenerek zeminin uygunluğu değerlendirilmiştir.

Vorteks Bacaları ve Şaftlar: Vorteks bacaları, özellikle yağmursuyu hatlarının yüksekten düşük kotlara geçişini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Bu yapılar, yağmursuyunun hızlı ve güvenli bir şekilde inişini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, tünel güzergâhları boyunca hidrojen sülfür ve metan gibi gazların dışarı atılabilmesi için şaftlar üzerinde havalandırma bacaları planlanmıştır. Bu yapılar, yeraltı su yönetimini ve güvenliğini artıran önemli tasarım unsurlarıdır.

Dolgu Yapıları: Deniz veya göl kenarlarından zorunlu geçiş yapılan bölgelerde dolgu projeleri hazırlanmış ve ilgili kuruluşlardan gerekli izinler alınmıştır. Dolgu projeleri, deniz veya gölün doğal yapısına zarar vermeden yağmursuyu hatlarının güvenli bir şekilde geçişini sağlamak amacıyla yapılmıştır. Dolgu yüksekliği ve genişliği gibi faktörler, deniz veya gölün durumuna uygun şekilde planlanmıştır.

2.2.7. Uygulama Projelerinin Hazırlanması

Proje Hazırlığı: Yağmursuyu hatları ve ilgili altyapı sistemlerinin tasarımında, İdare'nin şartnamelerine uygun olarak uygulama projeleri hazırlanmıştır. Proje hazırlık aşamasında, mevcut veriler, jeolojik etütler ve arazi analizleri dikkate alınarak detaylı bir planlama yapılmıştır. Proje sahasının halihazır haritaları güncellenmiş ve sistem tasarımının her aşaması detaylandırılmıştır.

Alternatif Projelerin Hazırlanması: Projenin uygulanabilirliği ve maliyet etkinliği açısından alternatif projeler hazırlanmıştır. Bu alternatif projeler, mevcut projelerle mukayeseli olarak değerlendirilmiş ve İdare'ye sunulmuştur. Alternatif projelerde, yağmursuyu debileri, atıksu yükleri ve bölgesel ihtiyaçlar göz önüne alınarak farklı sistem çözümleri geliştirilmiştir.

Proje Uygulamaları ve İnşaat Planları: Tasarım aşamasında hazırlanan uygulama projeleri, 1:1000 ölçekli planlar şeklinde hazırlanmış ve boykesit ile enkesit çizimleri

detaylandırılmıştır. Bu çizimler, yağmursuyu hatlarının tüm teknik detaylarını içermekte olup, hatların boyutlandırılması, bağlantıları ve inşaat süreçleri açıkça belirtilmiştir. İnşaat projeleri, yatay 1:1000 ve dikey 1:100 ölçeklerde detaylandırılarak doğru bir uygulama süreci sağlanmıştır.

Metraj ve Keşif Raporları: Proje kapsamında kullanılacak malzemelerin (borular, bacalar, kaplamalar vb.) metraj hesaplamaları detaylı bir şekilde yapılmıştır. Bu hesaplamalar, projenin doğru bir şekilde uygulanması için ihtiyaç duyulan tüm malzemeleri kapsamaktadır. Ayrıca, proje ile ilgili maliyetler detaylandırılarak keşif raporları hazırlanmış ve İdare'ye sunulmuştur. Bu raporlar, projenin bütçelendirilmesi ve maliyet kontrolü açısından önemli bir belge niteliğindedir.

Hidrolik Hesaplar ve Tablolar: Proje kapsamında yağmursuyu hatlarının kapasite ve performansını belirlemek için hidrolik hesaplamalar yapılmıştır. Boru hatları ve kutu menfezler için yapılan hidrolik hesaplar, İdare'nin belirlediği kriterlere uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda debi, akış hızı, boru doluluk oranları gibi parametreler dikkate alınmıştır. Bu hesaplamaların sonuçları, hidrolik tablolar halinde sunulmuş ve projenin doğruluğu bu şekilde teyit edilmiştir.

Mimari ve Statik Projeler: Yağmursuyu hatlarıyla ilgili yapılar için mimari ve statik projeler hazırlanmıştır. Bacalar, vorteks yapıları ve diğer özel yapılar için mimari çizimler detaylandırılmış, bu yapılara uygun statik hesaplamalar yapılmıştır. Betonarme yapılar için hazırlanan projeler, İdare'nin onayladığı hidrolik projelere uygun olacak şekilde geliştirilmiş ve yapısal güvenliği sağlamak amacıyla gerekli analizler yapılmıştır.

Özel Yapılar: Yağmursuyu hatlarının geçtiği güzergâhlarda yer alan özel yapılar (vorteks bacaları, şaftlar vb.) için detaylı projeler hazırlanmıştır. Bu yapılar, projenin ihtiyaçlarına uygun olarak tasarlanmış ve İSKİ'nin proje teknik şartnamelerine uygun hale getirilmiştir. Özel yapıların tasarımı, projenin uzun vadeli dayanıklılığı ve güvenliği için kritik bir rol oynamaktadır.

2.3. EPA SWMM

2.3.1. EPA SWMM Nedir ?

EPA SWMM (Environmental Protection Agency Storm Water Management Model), kentsel alanlarda yüzeysel akış, taşkın analizi ve yağmur suyu yönetimi için kullanılan güçlü bir hidrolik ve hidrolojik modelleme yazılımıdır. ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından geliştirilmiş olan bu yazılım, açık kaynak kodludur ve ücretsiz olarak sunulmaktadır. Hem sürekli simülasyonlar hem de belirli bir olay temelli analizler yapmak için uygundur ve dakikalık aralıklardan yıllar sürecektir analizlere kadar geniş bir zaman aralığında çalışabilir.

SWMM, yağmur suyu yönetimi, kirlilik yükü hesaplama, kanalizasyon sistemlerinin optimizasyonu ve taşkın kontrolü gibi çeşitli mühendislik problemlerinin çözülmesinde kullanılmaktadır. Yazılım, alt havzalar, kanallar, rezervuarlar, taşkın kontrol yapıları, su kalitesi bileşenleri ve diğer altyapı unsurlarının modellenmesine olanak tanır.

2.3.1.1. SWMM'nin Amaçları

EPA SWMM'nin temel amacı, yağmur suyu yönetimini optimize ederek kentsel alanlardaki su kaynaklarının korunmasını sağlamak ve taşkın risklerini azaltmaktır. Yazılımın başlıca amaçları şunlardır:

Yüzey Akışı ve Taşkın Analizleri: Farklı yağış senaryolarında suyun toplanması, akışı ve taşkın risklerini hesaplama.

Yağmur Suyu Yönetimi: Yağışın zemin üzerindeki davranışını (infiltrasyon, buharlaşma, yüzeysel akış) modelleme.

Altyapı Optimizasyonu: Kanalizasyon sistemlerinin kapasite analizlerini yaparak performansı iyileştirme.

Kirlilik Yükü Hesaplama: Yağmur suyu ile taşınan kirlleticilerin miktarını ve türlerini belirleme.

2.3.1.2. SWMM'nin Kullanım Alanları

SWMM, çok yönlü yapısı sayesinde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Başlıca kullanım alanları şunlardır:

Kanalizasyon Sistemleri: Mevcut kanalizasyon sistemlerinin kapasite analizlerinin yapılması ve taşkın önleme yapılarının geliştirilmesi.

Yağmur Suyu Drenajı: Şehirlerde yağmur suyunun etkili bir şekilde yönetimi ve drenaj altyapısının tasarlanması.

Taşkın Kontrolü: Yoğun yağış durumlarında taşkın risklerinin belirlenmesi ve bu risklerin azaltılması.

Kirlilik Analizleri: Yağmur suyu kaynaklı kirleticilerin yayılımının ve etkilerinin analiz edilmesi.

Altyapı Planlaması: Yeni yapılaşma alanlarında altyapı planlaması yapılması ve mevcut sistemlerin iyileştirilmesi.

2.3.1.3. Proje ile İlişkisi

Bu projede EPA SWMM yazılımı, proje sahasındaki yağmur suyu yönetimi ve taşkın analizlerinin gerçekleştirilmesi için temel bir aracı olarak kullanılmıştır. Yazılım, hem mevcut durumun analizi hem de gelecekte ortaya çıkabilecek senaryoların değerlendirilmesinde kritik bir rol oynamıştır. Projede EPA SWMM kullanımının önemli alanları şunlardır:

Hidrolik ve Hidrolojik Analiz: Farklı yağış senaryoları altında yüzeysel akışın hesaplanması ve drenaj sistemlerinin kapasite analizinin yapılması.

Taşkın Riski Belirleme: Taşkın alanlarının tespit edilmesi ve risklerin azaltılmasına yönelik çözümler sunulması.

Altyapı Optimizasyonu: Mevcut altyapının performansının değerlendirilmesi ve iyileştirme önerilerinin geliştirilmesi.

Yazılım, proje kapsamında yağış verileri, topoğrafya ve altyapı haritaları gibi veri setlerini kullanarak çeşitli simülasyonlar gerçekleştirmiş ve bu simülasyonların sonucunda daha doğru ve sürdürülebilir kararlar alınmasına katkı sağlamıştır.

2.3.1.4. Meteorolojik Veriler

Bu kategori, yağmur suyu akışını modellemek için kullanılan temel verileri içermektedir. Modelin doğruluğunu artırmak için çalışma alanına ait yüksek çözünürlüklü ve zaman serisi içeren meteorolojik veriler elde edilmiştir.

Yağış Miktarı: Çalışma alanındaki yağış miktarına ilişkin veriler, meteoroloji istasyonlarından veya ulusal veri tabanlarından temin edilmiştir. Yağış verileri, SWMM'nin girdisi olarak kullanılarak modelleme sürecinde akış miktarlarının doğru bir şekilde hesaplanmasına olanak sağlamıştır. Veri kaynağı olarak 5 dakikalık, saatlik veya günlük bazda ölçümler değerlendirilmiştir.

2.3.2. Modelleme Verileri

Modelleme sürecinde kullanılan veriler, meteorolojik, hidrolik-hidrolojik, altyapısal ve coğrafi bilgi setlerinden oluşmaktadır. Bu veriler, modelleme doğruluğunu artırmak ve simülasyonlardan elde edilen sonuçların güvenilirliğini sağlamak için özenle toplanmıştır.

2.3.2.1. Meteorolojik Veriler

Yağmur suyu akışını modellemek için kullanılan meteorolojik veriler, çalışmanın doğruluğunu önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle çalışma alanına ait yüksek çözünürlüklü ve zaman serisi içeren veriler temin edilmiştir.

Yağış Miktarı: Yağış miktarına ilişkin veriler, meteoroloji istasyonlarından veya ulusal veri tabanlarından alınmıştır. Bu veriler, 5 dakikalık, saatlik veya günlük bazda ölçümlerle modele dahil edilmiştir. Böylece modeldeki akış miktarlarının doğru bir şekilde hesaplanması sağlanmıştır.

2.3.2.2. Hidrolik ve Hidrolojik Veriler

Yüzeysel akış ve drenaj sisteminin doğru bir şekilde modellenebilmesi için hidrolik ve hidrolojik verilere ihtiyaç duyulmuştur.

Akış Yolları: Yağmur suyunun akış yollarını belirlemek amacıyla coğrafi bilgi sistemlerinden (GIS) faydalanılarak yüzey topografyasından elde edilen haritalar kullanılmıştır.

Zemin Eğimi: Akış hızı ve yönünü etkileyen zemin eğimleri, dijital yükseklik modeli (DEM) yardımıyla hesaplanarak modeldeki alt havzaların özelliklerini tanımlamada kullanılmıştır.

2.3.2.3. Altyapı Verileri

Mevcut altyapının analizi ve iyileştirme önerilerinin geliştirilmesi için drenaj sistemine ait detaylı veriler toplanmıştır.

Kanalizasyon ve Boru Sistemleri: Çalışma alanındaki kanalizasyon sistemlerinin çap, uzunluk ve eğim gibi özellikleri modellenmiş ve kapasite analizi yapılmıştır. Bu analizler, kritik bölgelerin belirlenmesine katkı sağlamıştır.

2.3.2.4. Harita ve Coğrafi Veriler

Modelde kullanılan coğrafi veriler, çalışma alanının topografik ve fiziksel özelliklerini anlamak için temel oluşturmuştur.

GIS Verileri: Çalışma alanının sınırları, drenaj alanları ve alt havza bölümleri coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla haritalandırılmıştır. Bu haritalar, SWMM için giriş parametrelerini tanımlamada önemli rol oynamıştır.

DEM (Dijital Yükseklik Modeli): Bölgedeki yükseklik değişimlerini ve eğimleri temsil eden DEM verisi, yüzey akışının yönünü ve hızını hesaplamak için kullanılmıştır. Ayrıca taşkın alanlarının belirlenmesine de katkı sağlamıştır.

2.3.3. Model Kurulumu (Metodoloji)

Bu çalışmada, EPA SWMM yazılımı kullanılarak modelleme yapılmıştır. Modelin doğru ve güvenilir sonuçlar üretebilmesi için sistematik bir metodoloji izlenmiş ve bu süreç iki temel aşamada ele alınmıştır: modelin hazırlanması ve modelin kalibrasyonu ile doğrulanması.

2.3.3.1. Modelin Hazırlanması

Modelleme sürecinin ilk aşaması, çalışma alanının tanımlanması, girdilerin belirlenmesi ve parametrelerin ayarlanmasını kapsamaktadır.

Coğrafi Alan Tanımı: Modelleme yapılacak bölgenin coğrafi özellikleri yazılıma tanımlanmıştır. Havza sınırları ve alt havzalar, dijital yükseklik modeli kullanılarak tespit edilmiş ve yüzey akışının yönü ile yoğunluğu belirlenmiştir.

Girdilerin Belirlenmesi: Modelde kullanılan yağış verileri, zemin özellikleri, eğim ve drenaj ağı gibi bilgiler özenle seçilerek sisteme entegre edilmiştir.

Parametre Ayarları: İnfiltrasyon süreçlerini modellemek için Horton infiltrasyon modeli gibi yöntemler uygulanmış ve başlangıç koşulları modele tanımlanmıştır.

2.3.3.2. Modelin Kalibrasyonu ve Doğrulaması

Modelden elde edilen sonuçların saha gerçekleriyle uyumlu olmasını sağlamak amacıyla kalibrasyon ve doğrulama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Farklı veri setleri ve senaryolarla yapılan bu testler, modelin güvenilirliğini artırmıştır.

2.3.4. Simülasyon Aşamaları

Proje kapsamında, EPA SWMM yazılımı kullanılarak çeşitli senaryolar altında simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte hem mevcut durumun analizi hem de gelecekteki olası durumların değerlendirilmesi yapılmıştır. Senaryoların Tanımlanması: Mevcut durum ve farklı yağış şiddetleri ile sürelerini içeren geleceğe yönelik senaryolar oluşturulmuştur. Ayrıca kentsel gelişimle birlikte geçirimsiz yüzeylerin artışının drenaj sistemine etkisi incelenmiştir. Koşulların Simülasyonu: Drenaj sisteminin farklı yağış olaylarına karşı performansı değerlendirilmiş, taşkın riski bulunan alanlar belirlenmiştir. Kritik bölgeler için kapasite sınırını aşan altyapı bileşenleri analiz edilmiştir.

2.3.5. Elde Edilen Çıktılar ve Analizler

Simülasyon çalışmaları sonucunda farklı senaryolara yönelik birçok veri elde edilmiştir. Bu veriler, mevcut drenaj sisteminin performansını değerlendirmek ve iyileştirme önerileri geliştirmek için analiz edilmiştir.

Hidrolik Çıktılar: Maksimum akış debileri, su derinlikleri ve taşkın alanlarının haritaları oluşturulmuştur.

Hidrolojik Çıktılar: Yüzeysel akış miktarları ve yeraltı sızma oranları belirlenerek sistemin taşkın yönetimine katkısı değerlendirilmiştir.

Optimizasyon ve Öneriler: Drenaj sisteminin iyileştirilmesi, yağmur suyu depolama çözümleri ve yeşil altyapı önerileri geliştirilmiştir.

Sonuç olarak, proje kapsamında EPA SWMM yazılımı kullanılarak hem mevcut durumun detaylı bir analizi yapılmış hem de gelecekteki riskleri azaltmaya yönelik öneriler sunulmuştur.

2.3.5.1. Hidrolik Çıktılar

Simülasyonlar sonucunda elde edilen hidrolik veriler, drenaj sisteminin taşkın riski ve kapasite kullanım durumunu değerlendirmek için kullanılmıştır:

Akış Debisi: Çeşitli yağış senaryolarında drenaj sisteminde oluşan maksimum akış debileri hesaplanmıştır. Bu veriler, kapasite sınırlarının aşıldığı ve taşkın riskinin olduğu bölgelerin tespitinde kullanılmıştır.

Su Derinliği: Boru hatları ve açık kanallarda oluşan su derinlikleri analiz edilmiştir. Bu derinlikler, altyapının mevcut taşıma kapasitesini değerlendirmek için temel oluşturmuştur.

Taşkın Bölgeleri: Taşkın riski yüksek bölgeler, topografik özellikler ve kapasite sınırlarını aşan akışlar dikkate alınarak haritalandırılmıştır. Bu haritalar, taşkın önleme stratejilerinin geliştirilmesine rehberlik etmiştir.

2.3.5.2. Hidrolojik Çıktılar

Hidrolojik analizler, yüzeysel akış ve yeraltı sızma süreçlerinin anlaşılmasına yönelik önemli bilgiler sağlamıştır:

Yüzey Akış Miktarı: Farklı yağış senaryolarında oluşan yüzeysel akış miktarları hesaplanmıştır. Bu veriler, drenaj sisteminin mevcut kapasitesini değerlendirmek için kullanılmıştır.

Yeraltı Sızma Oranı: Toprak türleri ve infiltrasyon modelleri kullanılarak yağışın ne kadarının yeraltına sızdığı belirlenmiştir. Bu oranlar, taşkın riskini azaltan önemli bir etken olarak değerlendirilmiştir.

2.3.5.3. Optimizasyon ve Öneriler

Elde edilen sonuçlara dayalı olarak drenaj sisteminin performansını artırmak ve taşkın risklerini azaltmak için çeşitli öneriler geliştirilmiştir:

Drenaj Sistemlerinin İyileştirilmesi: Kapasite sınırlarını aşan bölgelerde boru hatlarının çaplarının artırılması önerilmiştir. Ayrıca kritik taşkın bölgelerinde yağmur suyu depolama havuzlarının inşası planlanmıştır.

Yeşil Altyapı Uygulamaları: Geçirimsiz yüzeylerin artırdığı taşkın riskini azaltmak için yağmur bahçeleri ve geçirgen yüzeyler gibi yeşil altyapı çözümleri önerilmiştir.

Altyapı Yönetim Sistemleri: GIS tabanlı yönetim sistemleri oluşturularak altyapı bileşenlerinin izlenmesi ve entegrasyonu teşvik edilmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MODEL KURULUMU VE SENARYOLAR

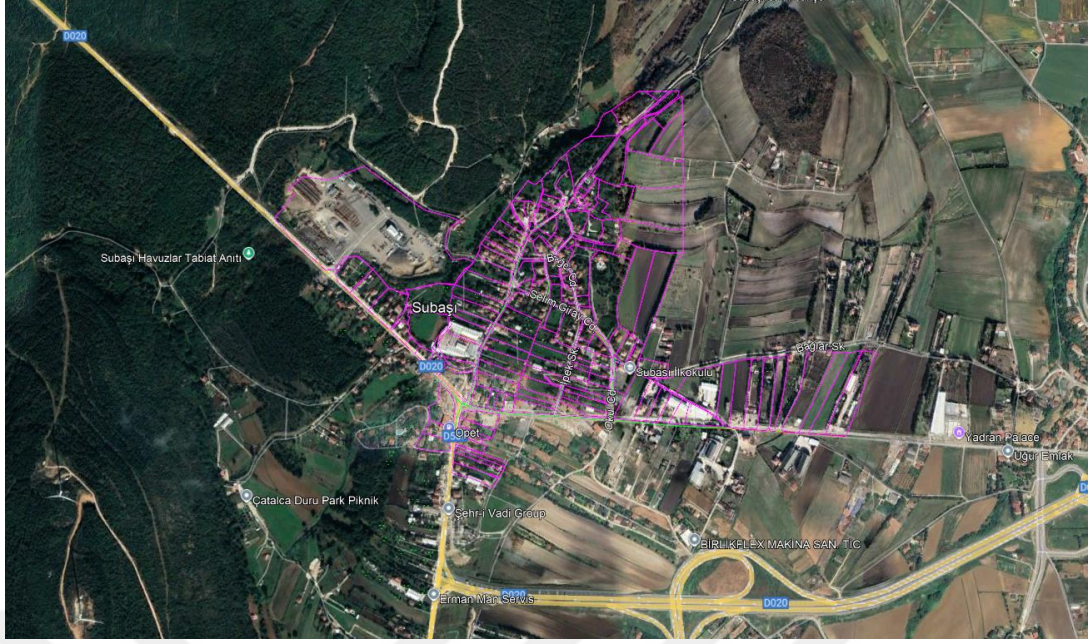
3.1. Çalışma Alanı

Tez çalışmasının bu bölümünde, İstanbul ili Çatalca ilçesi Subaşı Mahallesi'nde bulunan kentsel bir yerleşim alanında yağmur suyu drenaj sistemi modellemesi yapılacaktır. Çalışma alanının topoğrafyası, imar planlaması ve yerleşim durumu ele alınarak drenaj sisteminin nasıl tasarlanacağı boy kesit grafikleri ile açıklanmıştır. Bu süreçte, model kurulumunun temel adımları ve izleyeceği yol, bölgenin topoğrafik yapısına uygun bir şekilde detaylandırılacaktır.

Seçilen çalışma bölgesi, Subaşı Mahallesi'nde yapılaşmanın yoğun olduğu bir kentsel yerleşim alanıdır ve toplam 2,1 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Şekil 2 ve Şekil 3'te çalışma alanının detaylı haritası sunulmuştur. Bu görseller, bölgedeki topoğrafik yapı ve yerleşim düzeni hakkında önemli veriler sağlayarak modellemenin temelinin oluşturacaktır.

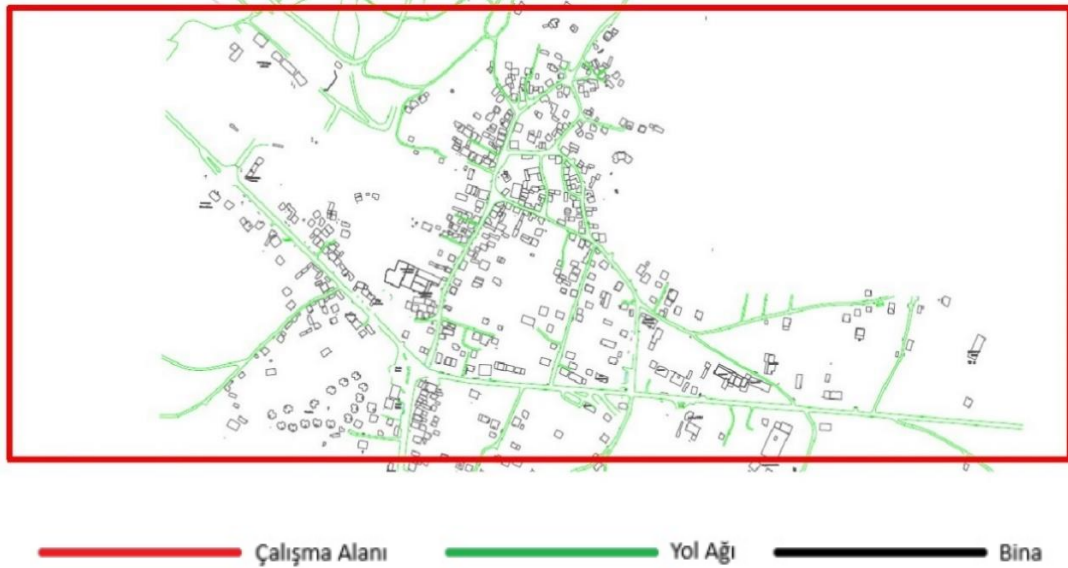


Şekil 2. Çalışma alanı (Google Earth Pro).



Şekil 3. Çalışma alanı (Google Earth Pro).

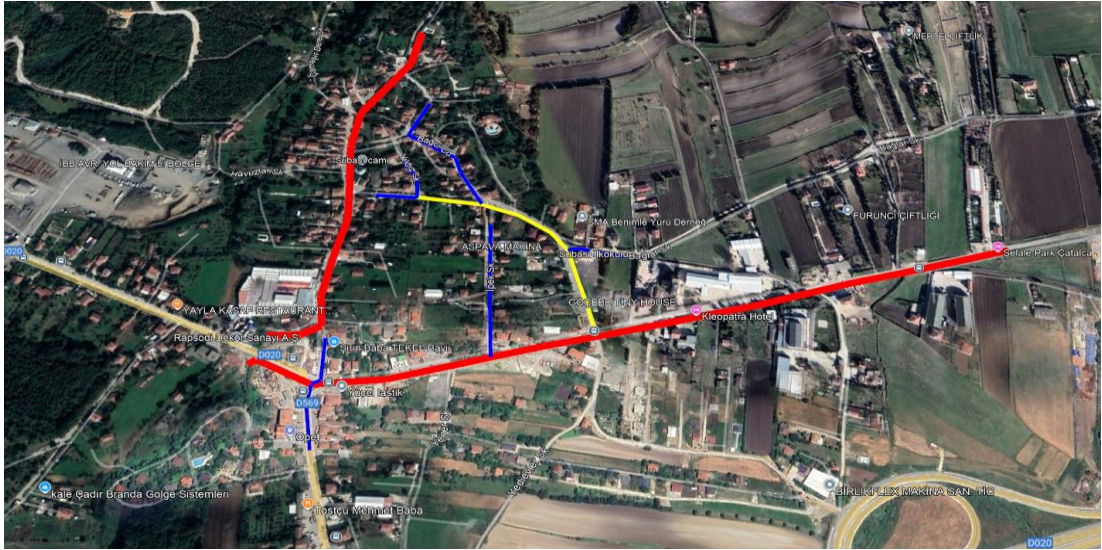
Model kurulumu öncesinde, çalışma alanına ilişkin analizler ilgili belediyeden alınan imar planı doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, bölgenin yerleşim düzeni, kentsel alanlardaki yapılaşma yoğunluğu ve boş alanlar ile yol ve ulaşım ağı durumu göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Çalışma alanındaki yapılaşma durumu ve yol ağına ilişkin detaylar Şekil 4’te sunulmaktadır.



Şekil 4. Çalışma alanı içerisinde yerleşim durumu ve ulaşım ağı

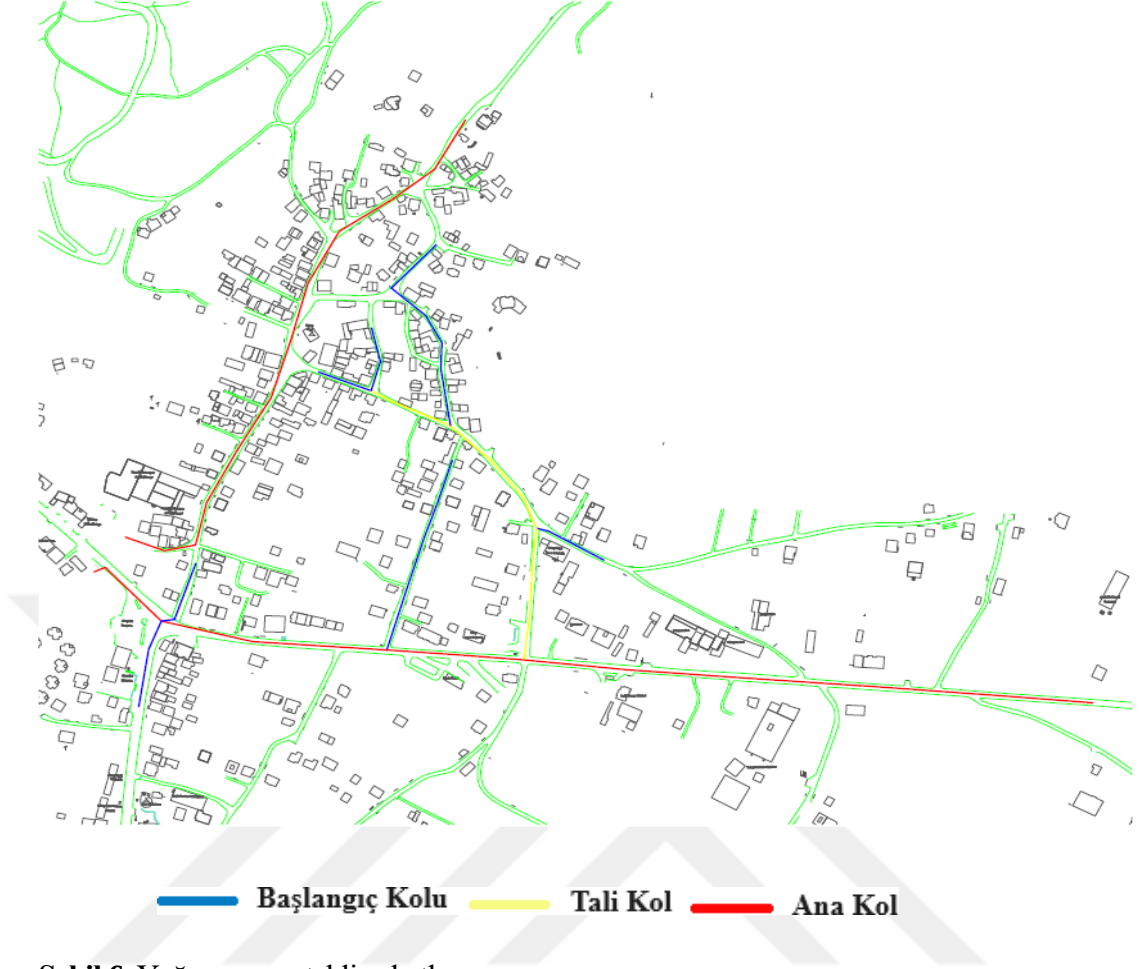
Bu analiz, çalışma bölgesindeki yapılaşma ve geçirimsiz yüzeylerin (örneğin beton ve asfalt gibi) kapladığı alan miktarını ve yoğunluğunu tespit ederek tasarım sürecine yol göstermeyi amaçlamaktadır. Bu tespitler, bölgenin alt havzalara ayrılması, alt havzalardan suyun doğru bir şekilde yönlendirilmesi ve yağmur suyunun tahliye edileceği hattın belirlenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Ayrıca, çevresel ve modelleme kriterlerine en uygun yöntemin seçilmesinde de tasarım sürecine rehberlik etmektedir.

Şekil 5'te, Google Earth görüntüsü üzerine işlenmiş veriler, Şekil 6'da ise ulaşım ağı üzerinde yağış durumunda yağmur suyunun tahliye edileceği hatlar detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Tahliye hatları, başlangıç, tali ve ana kol olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır: Başlangıç kolu mavi, tali kol sarı ve ana kol hattı kırmızı renkle işaretlenmiştir. Yağış sırasında suyun, başlangıç kolundan tali kola ve oradan ana kola yönlendirilmesi planlanmış olup, bu yaklaşım suyun en verimli şekilde tahliye edilmesini sağlamayı hedeflemektedir.



— Başlangıç Kolu — Tali Kol — Ana Kol

Şekil 5. Yağmur suyunun tahliye hattı (Google Earth Pro).



Şekil 6. Yağmur suyu tahliye hatları.

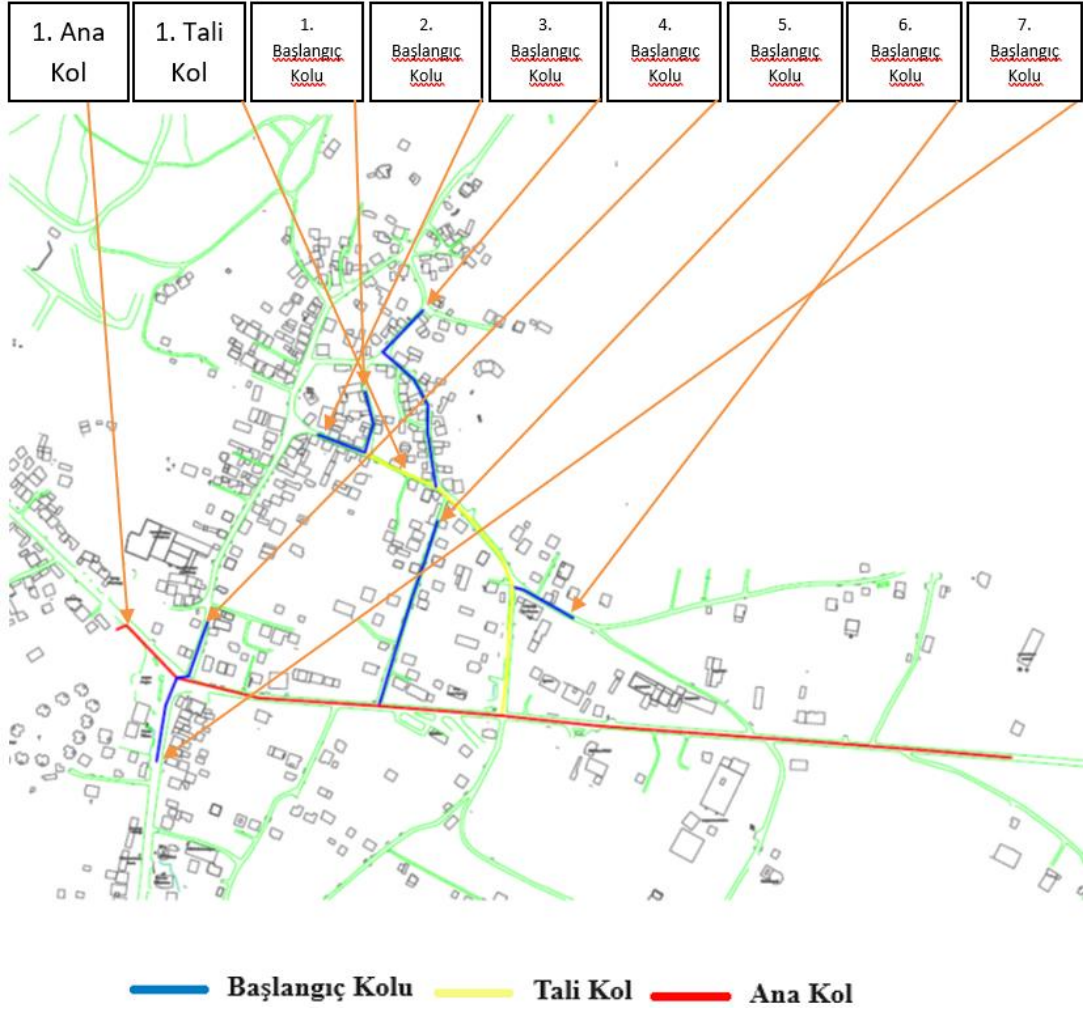
Modelleme sürecine yön veren bir diğer önemli analiz, çalışma alanına ait topoğrafik veriler ve yükseklik ölçümleridir. İlgili belediyeden temin edilen bu bilgiler, alan içerisindeki kot farklılıkları ve engebeli bölgelerin durumunu ortaya koyarak tasarım sürecine ışık tutmaktadır. Bu veriler, suyun akış yönünün belirlenmesi, drenaj hatlarının doğru bir şekilde yerleştirilmesi ve sistemin verimli çalışması açısından hayati bir öneme sahiptir.

Şekil 6’da yer alan su tahliye şemasında, suyun başlangıç kolundan tali kola, ardından ana kola doğru yönlendirilmesi planlanmış olup, bu planlama sırasında bölgenin topoğrafik yapısı ve eğim yönleri dikkate alınmıştır.

Yapılan analizler sonucunda, kentleşme durumu, ulaşım ağı, topoğrafik yapı ve eğim bilgileri temel alınarak, çalışma alanı Şekil 7’de iki farklı yağmur suyu tahliye hattına ayrılmıştır. Bu hatlar üzerinde stratejik düğüm noktaları belirlenmiştir.

Tahliye hatları boyunca toplamda 51 adet düğüm noktası konumlandırılmıştır. Bu düğüm noktaları, "B" harfi ile temsil edilmekte olup, B1'den B27'ye kadar olan tüm düğüm noktalarının konumu Şekil 8'de detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

3.1.1. Tahliye Hattı [B1-B8.6.2.5] :



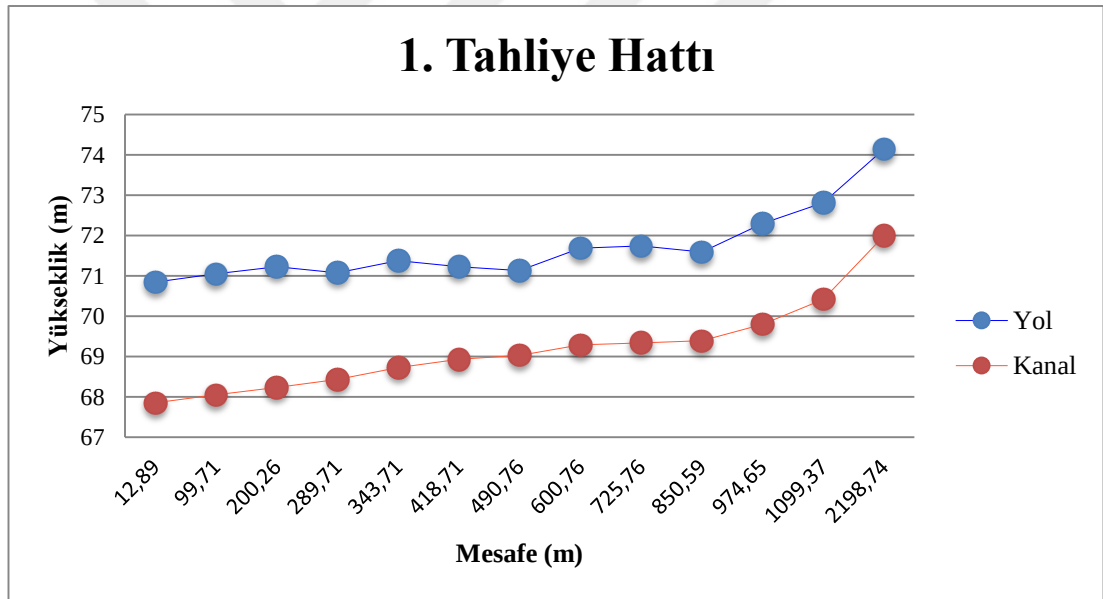
Şekil 8. 1 numaralı tahliye hattı

Bu tahliye hattında toplamda 40 adet düğüm noktası (junction) bulunmaktadır ve sistem, 7 başlangıç kolu, 1 tali kol ve ana koldan oluşmaktadır. [B1-B13] arasındaki düğüm noktaları ana kolu, [B8.6.2.2-B8] arasındaki düğüm noktaları ise tali kolu oluşturmaktadır. Başlangıç kolları şu şekilde sıralanmıştır: [B8.6.2.5-B8.6.2.2] birinci, [B8.6.2.3-B8.6.2.2] ikinci, [B8.6.1.5-B8.6] üçüncü, [B8.3.2-B8.3] dördüncü, [B8.6.4-B6] beşinci, [B3.1-B3] altıncı ve [B27-B3] yedinci başlangıç koludur. Bu kollarla ilgili kot değerleri, kazı derinlikleri ve eğim durumları aşağıda ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Boy kesit grafikleri, kanal yerleşimi ve eğimlerin tasarıma uygunluğu net bir şekilde görülmektedir.

Düğüm noktaları, şartnamede belirtilen kriterlere uygun olarak konumlandırılmıştır. Ø600 mm veya daha küçük çaplı borular için düğüm noktaları maksimum 70 metre, Ø700-Ø1200 mm çapındaki borular için ise maksimum 120 metre aralıklarla yerleştirilmiş ve bu mesafeler tabloya mesafe sütununda işlenmiştir. Üst kotlar yol seviyesini, alt kotlar ise oluşturulan kanalın kotunu temsil etmektedir. İki kot arasındaki fark kazı miktarını ifade eder. Kazı derinliği, donma seviyesine ve yer altındaki diğer hatlara bağlı olarak değişse de, çalışma alanı için minimum 1 metre olarak belirlenmiştir.

Tabloda, gri renkli satırlar düğüm noktaları arasındaki bağlantı kanallarını, sarı renkli satırlar ise ilgili kolun bağlandığı son düğüm noktasını göstermektedir.



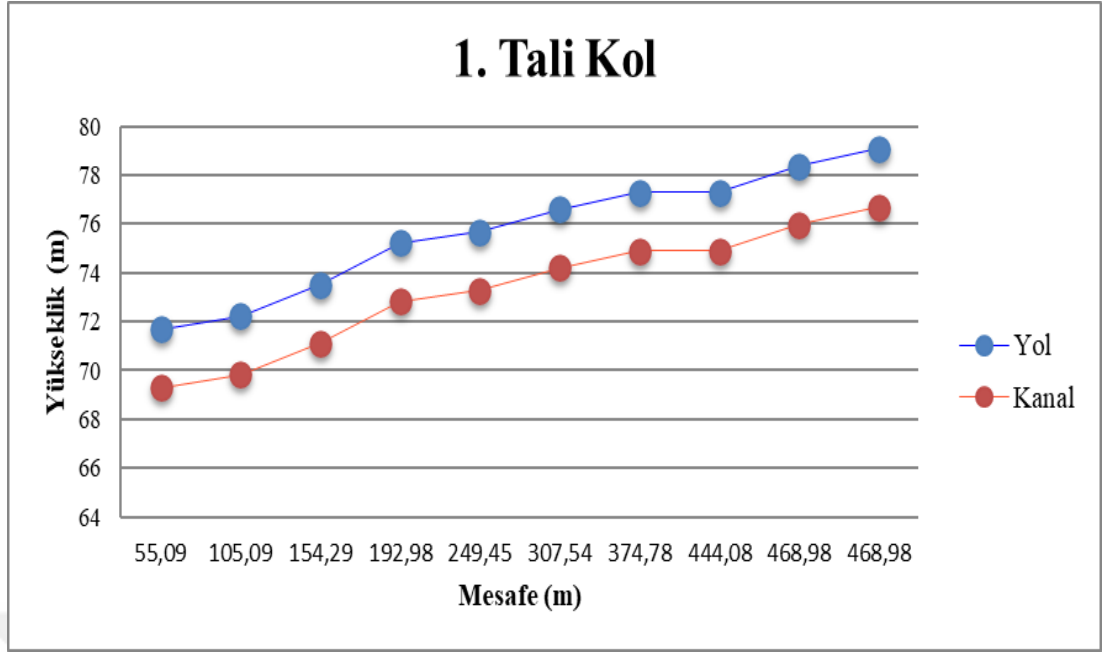
Grafik 1. 1 numaralı tahliye hattı 1. başlangıç kolu boy kesiti.

Tablo 1. 1 numaralı tahliye hattı ana kolu

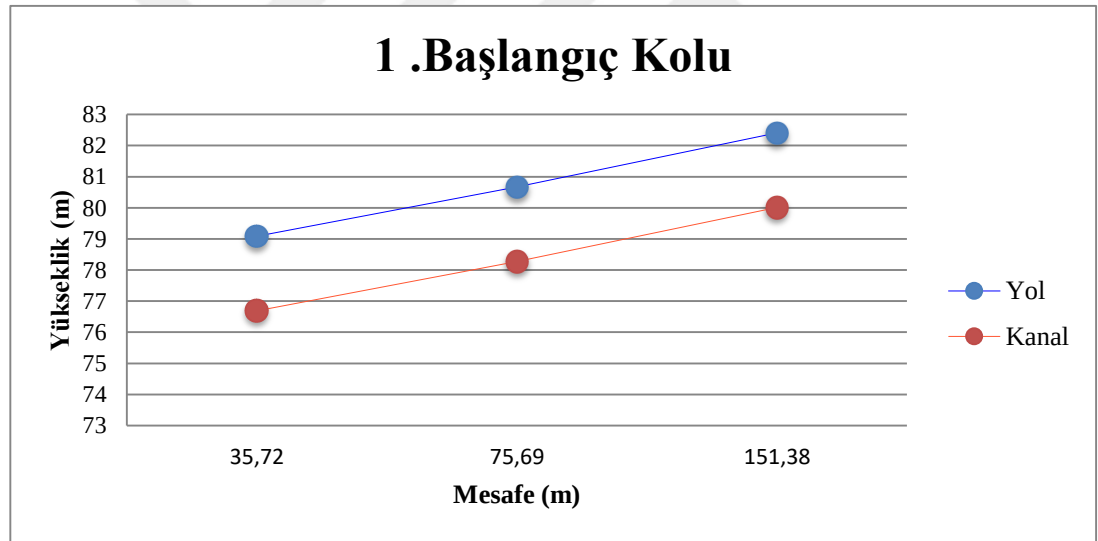
Ana Kol	Eğim %				Maksimum Hız m/s (Yıllık)						
	Mesafe (m)	Yol	Kanal	Bir Sonraki Hat Üzerindeki Mesafe (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol	Kanal	3	25	50	100
B-1	12,89	70,85	67,85	12,89	3	1,6%	1,6%	7,15	8,21	8,66	8,79
B-2	99,71	71,05	68,05	86,82	3	0,2%	0,2%	3,26	3,75	3,96	3,98
B-3	200,26	71,23	68,23	100,55	3	0,1%	0,2%	1,51	1,64	1,75	1,86
B-4	289,71	71,08	68,43	89,45	2,65	0,3%	0,3%	1,5	1,63	1,75	1,83
B-5	343,71	71,38	68,73	54	2,65	0,3%	0,4%	1,43	1,58	1,68	1,76
B-6	418,71	71,23	68,93	75	2,3	0,1%	0,1%	1,1	1,35	1,55	1,38
B-7	490,76	71,13	69,03	72,05	2,1	0,8%	0,4%	1,25	1,52	1,65	1,52
B-8	600,76	71,69	69,29	110	2,4	0,0%	0,0%	0,85	0,98	1	1,03
B-9	725,76	71,74	69,34	125	2,4	0,1%	0,0%	0,76	0,85	0,88	0,9
B-10	850,59	71,59	69,39	124,83	2,2	0,6%	0,3%	0,9	1,2	1,43	1,06
B-11	974,65	72,3	69,8	124,06	2,5	0,4%	0,5%	1,05	1,17	1,19	1,36
B-12	1099,37	72,82	70,42	124,72	2,4	1,1%	1,3%	0,79	0,87	0,9	0,92
B-13	2198,74	74,15	72	1099,37	2,15						

Tablo 2. 1 numaralı tahliye hattı tali kolu

1.Tali Kol							Eğim %		Maksimum Hız m/sn (Yıllık)			
	Mesafe (m)	Yol	Kanal	Bir Sonraki Hat Üzerindeki Mesafe (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol	Kanal	3	25	50	100	
B-8	55,09	71,69	69,29	55,09	2,4	1,0%	1,0%	2,18	2,55	2,63	2,58	
B-8.1	105,09	72,24	69,84	50	2,4	2,5%	2,5%	3,44	3,56	3,63	3,65	
B-8.2	154,29	73,51	71,11	49,2	2,4	3,5%	3,5%	3,81	4,24	4,32	4,56	
B-8.3	192,98	75,23	72,83	38,69	2,4	1,2%	1,2%	0,8	1,04	1,12	0,99	
B-8.4	249,45	75,68	73,28	56,47	2,4	1,6%	1,6%	2,48	2,88	2,98	3,32	
B-8.5	307,54	76,6	74,2	58,09	2,4	1,2%	1,2%	2,5	2,82	2,95	2,74	
B-8.6	374,78	77,3	74,9	67,24	2,4	0,0%	0,0%	2,52	2,81	2,92	3	
B-8.6	444,08	77,3	74,9	69,3	2,4	1,5%	1,5%	1,27	1,18	1,35	1,44	
B-8.6.2.1	468,98	78,37	75,97	24,9	2,4	2,9%	2,9%	1,25	1,59	1,67	1,71	
B-8.6.2.2	468,98	79,09	76,69		2,4							



Grafik 2. 1 numaralı tahliye hattı tali kolu boy kesiti



Grafik 3. 1 numaralı tahliye hattı 2. başlangıç kolu boy kesiti.

Tablo 4. 1 numaralı tahliye hattı 1. başlangıç kolu

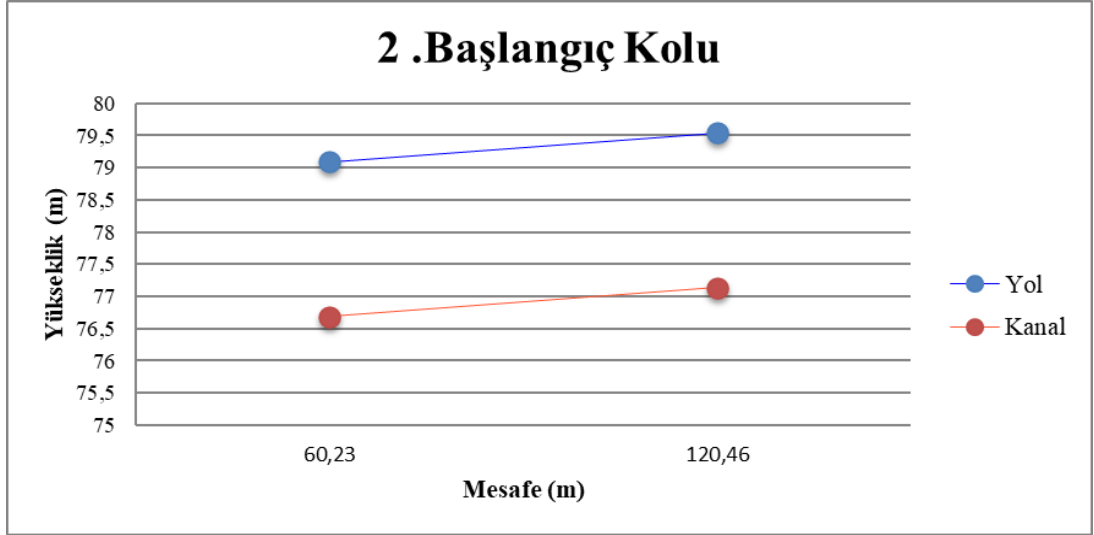
1. Başlangıç Kolu	Mesafe (m)	Yol	Kanal	Bir Sonraki Hat Üzerindeki Mesafe (m)	Kazı Derinliği (m)	Eğim %		Maksimum Hız m/sn (Yıllık)			
						Yol	Kanal	3	25	50	100
B-8.6.2.2	35,72	79,09	76,69	35,72	2,4	4,4%	4,4%	1,56	1,76	1,84	1,89
B-8.6.2.4	75,69	80,67	78,27	39,97	2,4	4,4%	4,4%	1,32	1,47	1,54	1,57
B-8.6.2.5	151,38	82,41	80,01	75,69	2,4						

Tablo 5. 1 numaralı tahliye hattı 2. başlangıç kolu

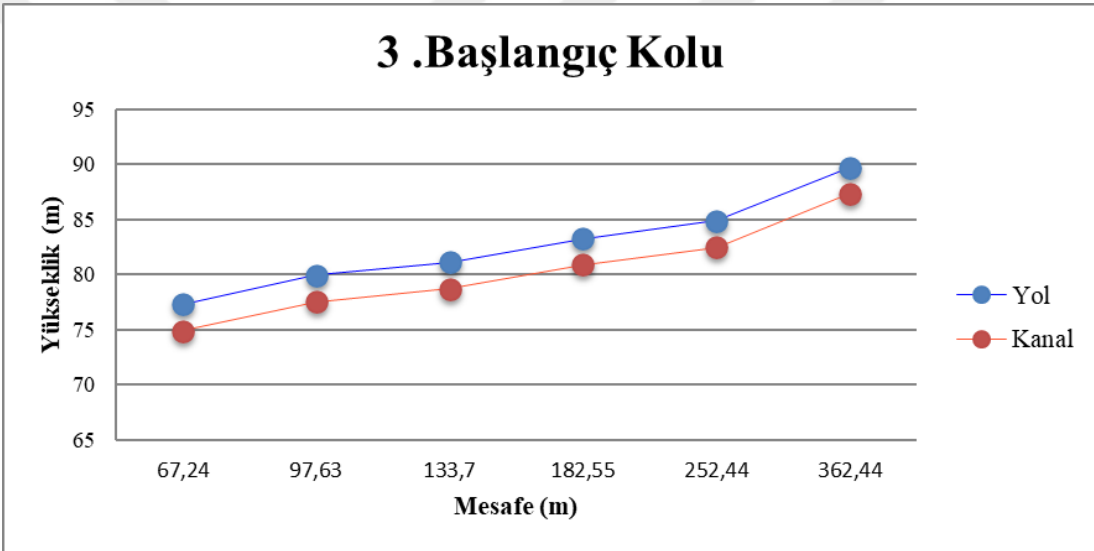
2. Başlangıç Kolu	Mesafe (m)	Yol	Kanal	Bir Sonraki Hat Üzerindeki Mesafe (m)	Kazı Derinliği (m)	Eğim %		Maksimum Hız m/sn (Yıllık)			
						Yol	Kanal	3	25	50	100
B-8.6.2.2	60,23	79,09	76,69	60,23	2,4	0,7%	0,7%	1,25	1,59	1,67	1,71
B-8.6.2.3	120,46	79,54	77,14	60,23	2,4						

Tablo 3. 1 numaralı tahliye hattı 3. başlangıç kolu.

3. Başlangıç Kolu	Mesafe (m)	Yol	Kanal	Bir Sonraki Hat Üzerindeki Mesafe (m)	Kazı Derinliği (m)	Eğim %		Maksimum Hız m/sn (Yıllık)			
						Yol	Kanal	3	25	50	100
B-8.6	67,24	77,3	74,9	67,24	2,4	3,9%	3,9%	2,95	3,34	3,51	3,41
B-8.6.1.1	97,63	79,92	77,52	30,39	2,4	3,9%	3,9%	2,99	3,71	3,85	4,36
B-8.6.1.2	133,7	81,12	78,72	36,07	2,4	6,0%	6,0%	4,28	4,17	4,34	4,39
B-8.6.1.3	182,55	83,29	80,89	48,85	2,4	3,3%	3,3%	3,46	3,89	4,04	4,12
B-8.6.1.4	252,44	84,88	82,48	69,89	2,4	7,0%	7,0%	3,46	3,85	4,01	4,08
B-8.6.1.5	362,44	89,75	87,35	110	2,4						



Grafik 4. 1 numaralı tahliye hattı 2. başlangıç kolu boy kesiti



Grafik 5. 1 numaralı tahliye hattı 3. başlangıç kolu boy kesiti.

Tablo 6. 1 numaralı tahliye hattı 4. başlangıç kolu

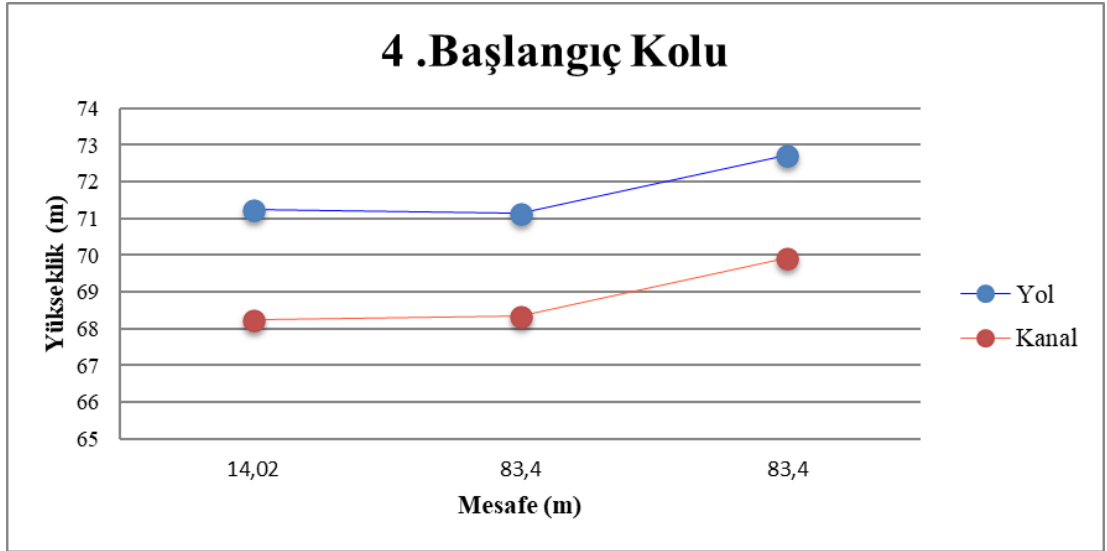
4. Başlangıç Kolu		Mesafe (m)		Yol		Kanal		Bir Sonraki Hat Üzerindeki Mesafe (m)		Kazı Derinliği (m)		Eğim %		Maksimum Hız m/sn (Yıllık)			
												Yol	Kanal	3	25	50	100
B-3		14,02	71,23	68,23		14,02		14,02		3	0,6%	0,8%	0,77	0,87	1,06	1,06	1,06
B-3.1		83,4	71,14	68,34		69,38				2,8	2,3%	2,3%	1,45	1,55	1,59	1,61	1,61
B-3.2		83,4	72,72	69,92						2,8							

Tablo 8. 1 numaralı tahliye hattı 5. başlangıç kolu

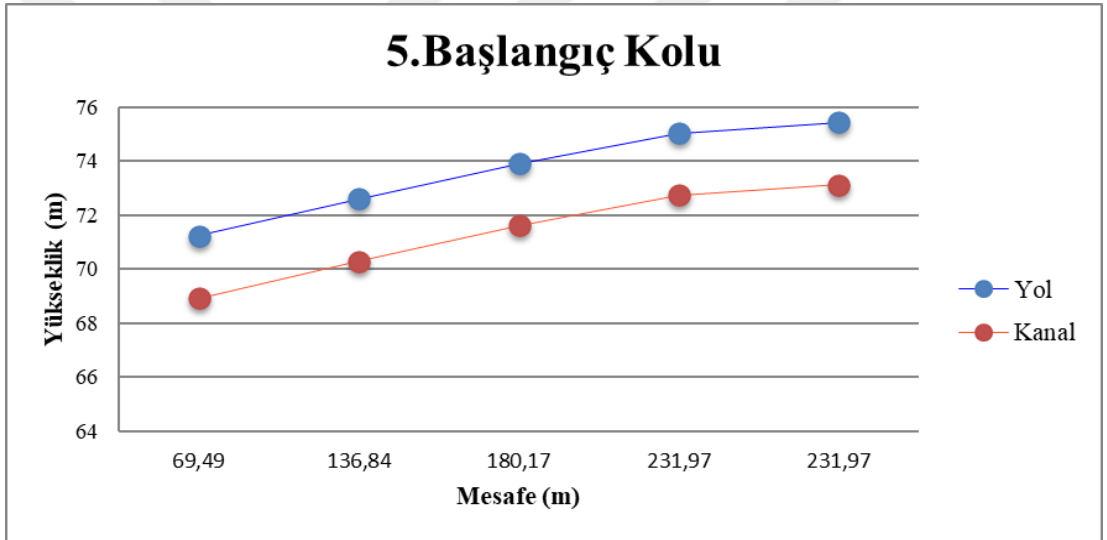
5. Başlangıç Kolu		Mesafe (m)		Yol		Kanal		Bir Sonraki Hat Üzerindeki Mesafe (m)		Kazı Derinliği (m)		Eğim %		Maksimum Hız m/sn (Yıllık)			
												Yol	Kanal	3	25	50	100
B-6		69,49	71,23	68,93		69,49		69,49		2,3	2,0%	2,0%	1,12	1,25	1,28	1,35	1,35
B-6.1		136,84	72,6	70,3		67,35				2,3	1,9%	1,9%	1,82	2,08	2,19	2,06	2,06
B-6.2		180,17	73,91	71,61		43,33				2,3	2,6%	2,6%	1,77	1,75	1,81	2,05	2,05
B-6.3		231,97	75,04	72,74		51,8				2,3	0,8%	0,8%	0,93	1,12	1,18	1,2	1,2
B-6.4		231,97	75,43	73,13						2,3							

Tablo 7. 1 numaralı tahliye hattı 6. başlangıç kolu

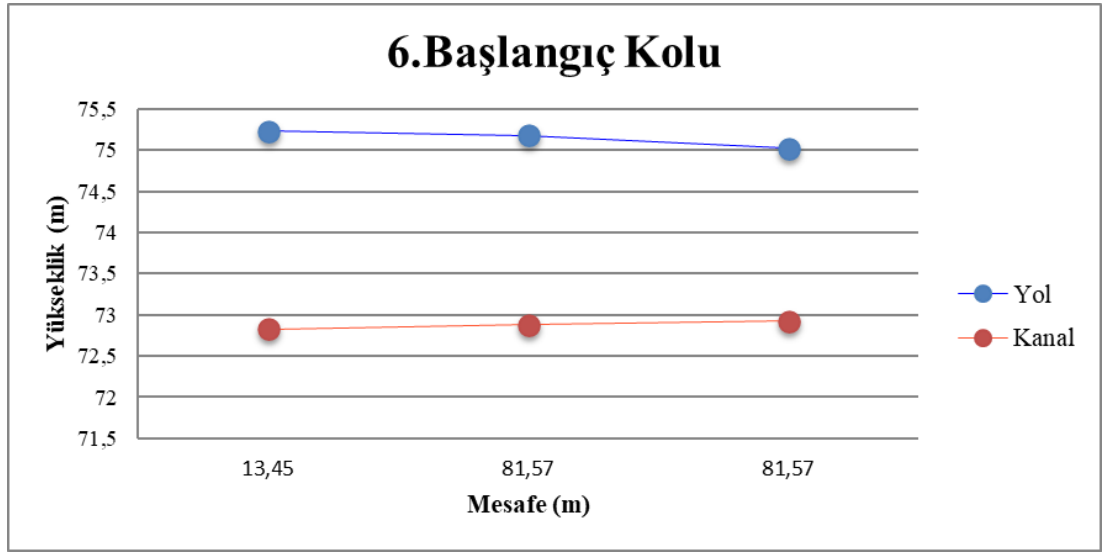
6. Başlangıç Kolu		Mesafe (m)		Yol		Kanal		Bir Sonraki Hat Üzerindeki Mesafe (m)		Kazı Derinliği (m)		Eğim %		Maksimum Hız m/sn (Yıllık)			
												Yol	Kanal	3	25	50	100
B-8.3		13,45	75,23	72,83		13,45		13,45		2,4	0,4%	0,4%	0,8	1,04	1,12	1,12	0,99
B-8.3.1		81,57	75,18	72,88		68,12				2,3	0,2%	0,1%	0,94	0,98	1,1	1,1	1,2
B-8.3.2		81,57	75,02	72,92						2,1							



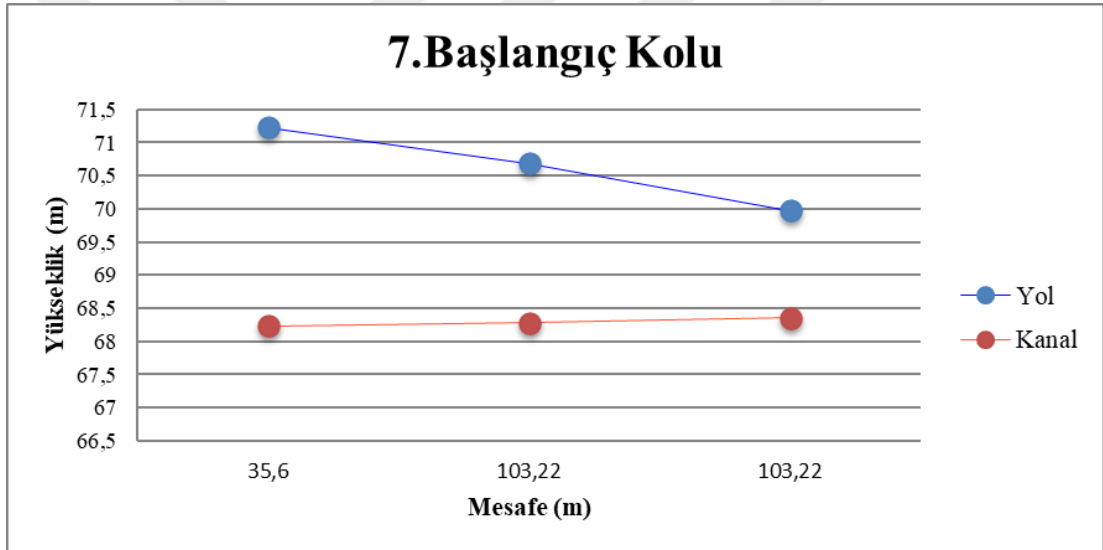
Grafik 6. 1 numaralı tahliye hattı 4. başlangıç kolu boy kesiti



Grafik 7. 1 numaralı tahliye hattı 5. başlangıç kolu boy kesiti



Grafik 8. 1 numaralı tahliye hattı 6. başlangıç kolu boy kesiti

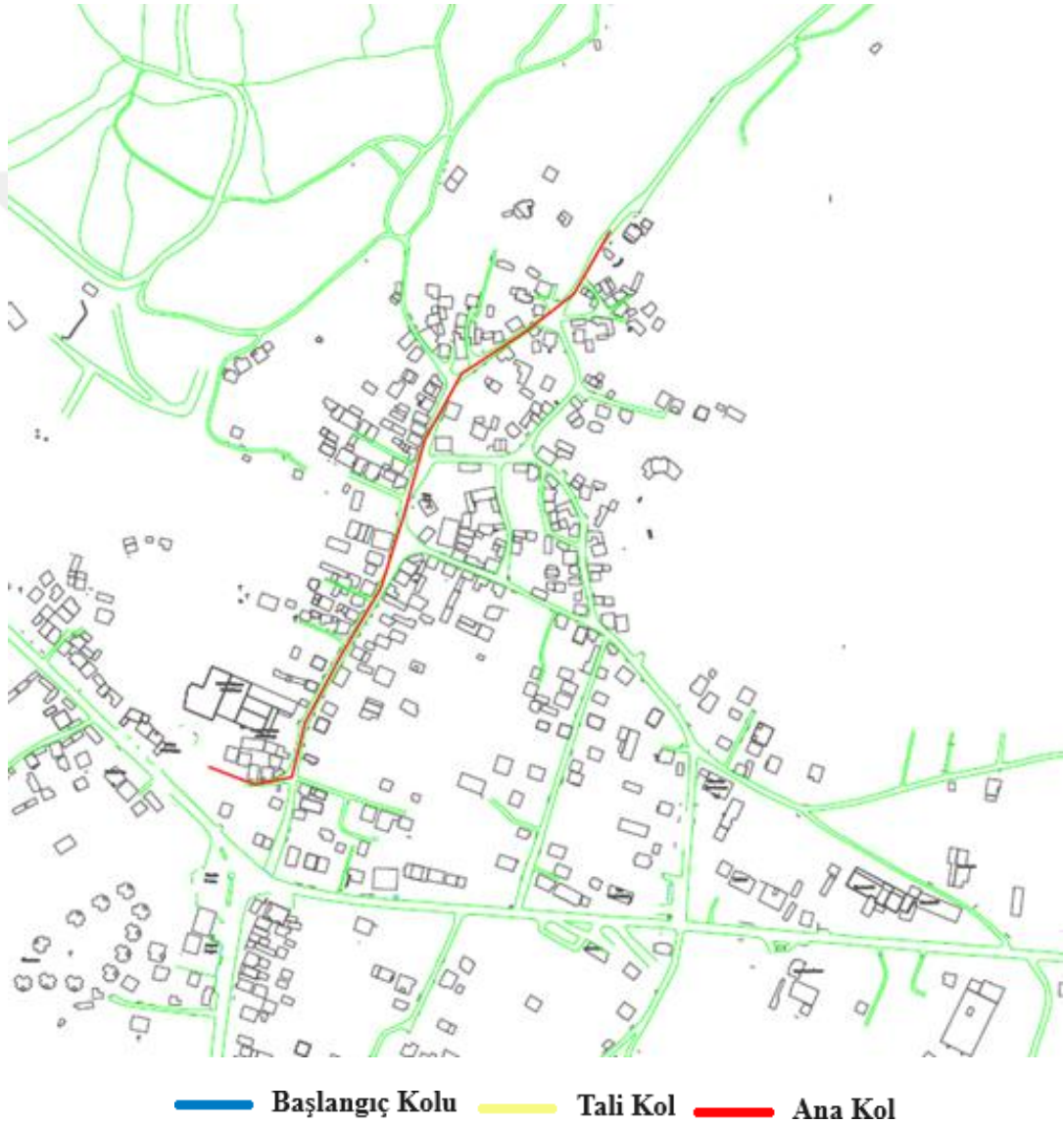


Tablo 9. 1 numaralı tahliye hattı 7. başlangıç kolu

7. Başlangıç Kolu	Mesafe (m)	Yol	Kanal	Bir Sonraki Hat Üzerindeki Mesafe (m)	Kazı Derinliği (m)	Eğim %		Maksimum Hız m/sn (Yıllık)		
						Yol	Kanal	3	25	50
B-3	35,6	71,23	68,23	35,6	3	1,5%	0,1%	1,03	1,25	1,33
B-26	103,22	70,69	68,28	67,62	2,41	1,1%	0,1%	0,75	0,83	0,87
B-27	103,22	69,97	68,35		1,62					

3.1.2. Tahliye Hattı [B14-B25] :

Bu tahliye hattı üzerinde toplamda 12 adet düğüm noktası (junction) bulunmaktadır ve tamamı 1 adet ana koldan oluşmaktadır. [B14-B25] düğüm noktaları arasındaki bölüm, hattın ana kolunu teşkil etmektedir. Ana kola ait kot değerleri, kazı derinlikleri ve eğim durumları aşağıda detaylı olarak sunulmuştur. Boy kesit grafikleri, kanal yerleşiminin ve eğim kriterlerine uygunluğun net bir şekilde analiz edilmesini sağlamaktadır.



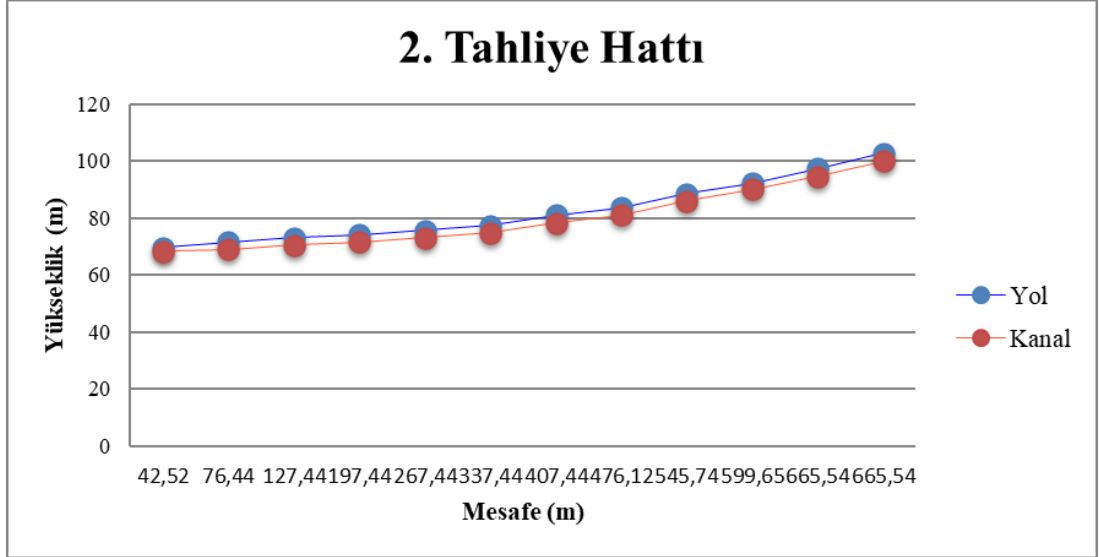
Şekil 9. 2 numaralı tahliye hattı

Tabloda, düğüm noktaları şartnameye uygun olarak belirlenen kriterlere göre yerleştirilmiştir. Ø600 mm veya daha küçük çaplı borular için düğüm noktaları maksimum 70 metre, Ø700-Ø1200 mm çapındaki borular için ise maksimum 120 metre aralıklarla konumlandırılmıştır. Bu mesafeler tabloya mesafe sütununda açık bir şekilde yansıtılmıştır. Üst kotlar yol seviyesini, alt kotlar ise kanalın taban kotunu temsil etmektedir. Üst ve alt kot arasındaki fark, kazı miktarını ifade etmekte olup, kazı derinlikleri donma seviyesine ve yer altındaki diğer hatların konumlarına bağlı olarak değişmektedir. Çalışma alanı için minimum 1 metre kazı derinliği uygun görülmüştür.

Tabloda, gri renkli satırlar düğüm noktaları arasındaki bağlantı kanallarını, sarı renkli satır ise ilgili kolun bağlandığı son düğüm noktasını göstermektedir. Bu düzenleme, sistemin tasarım ve uygulama aşamalarında net bir referans sağlamaktadır.

Tablo 10. 2 numaralı tahliye hattı ana kolu.

				Eğim %		Maksimum Hız /m/sn (Yıllık)					
Ana Kol	Mesafe (m)	Yol	Kanal	Bir Sonraki Hat Üzerindeki Mesafe (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol	Kanal	3	25	50	100
B-14	42,52	69,68	68,43	42,52	1,25	4,6%	1,2%	5,79	6,46	6,78	6,94
B-15	76,44	71,64	68,94	33,92	2,7	4,6%	4,6%	5,17	5,79	6,07	6,21
B-16	127,44	73,21	70,51	51	2,7	2,1%	2,1%	3,96	4,46	4,66	4,77
B-17	197,44	74,27	71,57	70	2,7	2,1%	2,1%	3,32	3,74	3,9	3,99
B-18	267,44	75,72	73,02	70	2,7	2,3%	2,5%	3,42	3,64	3,8	3,87
B-19	337,44	77,35	74,75	70	2,6	5,3%	5,1%	4,05	4,66	4,9	5,02
B-20	407,44	81,04	78,34	70	2,7	3,8%	3,8%	4,06	4,58	4,79	4,88
B-21	476,12	83,72	81,01	68,68	2,71	7,3%	7,3%	4,62	4,79	5,01	5,11
B-22	545,74	88,7	86	69,62	2,7	5,1%	5,8%	3,98	5,15	5,3	5,18
B-23	599,65	92,23	90,03	53,91	2,2	9,4%	8,5%	5,63	5,5	5,66	6,34
B-24	665,54	97,32	94,62	65,89	2,7	8,3%	8,3%	4,69	5,32	5,55	5,73
B-25	665,54	102,76	100,06		2,7						



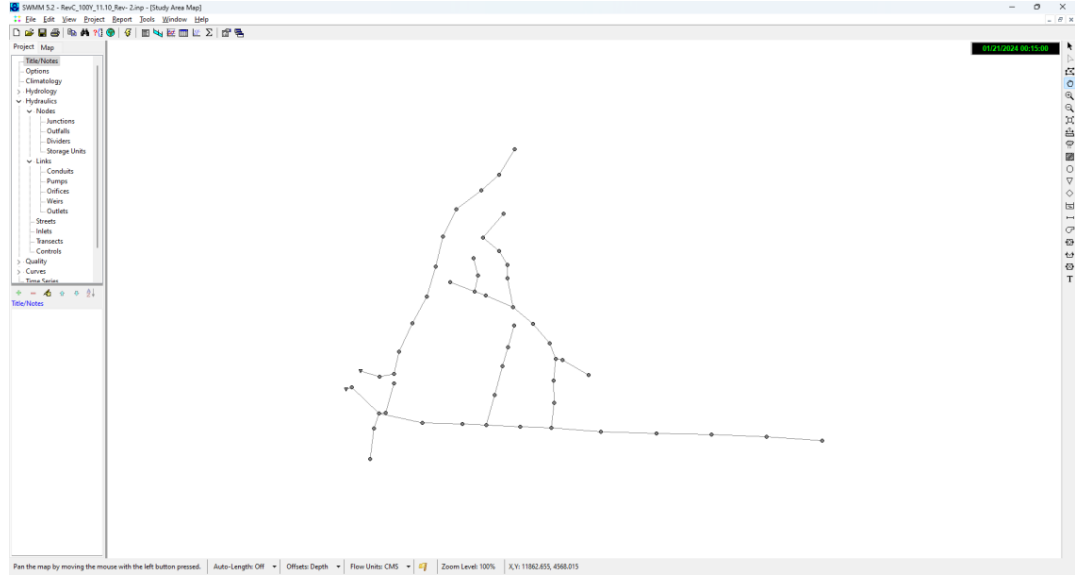
Grafik 10. 2 numaralı tahliye hattı başlangıç kolu boy kesiti.

3.2. Model Kurulumu

Bu bölümde, yağmur suyu drenaj sisteminin modellenmesi için çalışma bölgesine ait veriler SWMM programına aktarılmıştır. İlgili belediyeden alınan koordinat bilgileri programa işlenerek çalışma alanı dijital olarak modellenmiştir. Ön hazırlık aşamasında belirlenen tahliye hatları, bu hatlar üzerindeki düğüm noktaları ve borular modelde oluşturulmuş ve sisteme entegre edilmiştir. Modelin çıkış noktasında oluşan pik debi değerleri ve bu değerlerin sistem performansına etkileri ayrıntılı olarak analiz edilmiştir.

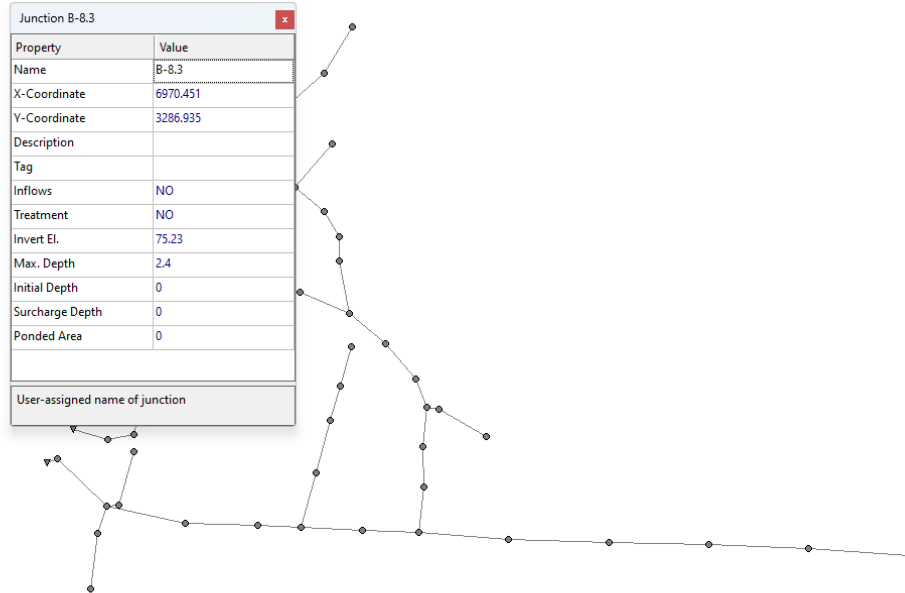
3.2.1. Düğüm Noktalarının (Junction) Oluşturulması

Çalışma alanındaki tahliye hatları boyunca toplam 51 düğüm noktası (junction) yerleştirilmiştir. Bu düğüm noktaları, şartnameye uygun olarak düzenlenmiş; Ø600 mm ve daha küçük çaplı borular için maksimum 70 metre, Ø700-Ø1200 mm çapındaki borular için ise maksimum 120 metre aralıklarla konumlandırılmıştır. Bu düzenleme, drenaj sisteminin etkin ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. "B" harfiyle ifade edilen düğüm noktalarının konumları, B1'den B27'ye kadar olmak üzere Şekil 10'da ayrıntılı olarak sunulmuştur.



Şekil 10. Düğüm noktalarının (Junction) yerleşimi.

Modelin kurulumu öncesinde, çalışma alanına ait boy kesit grafikleri incelenerek düğüm noktalarının kotları ve kazı miktarları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler, tasarımcı tarafından programa aktarılmıştır. İlgili verilerin işlendiği bilgi paneli ise Şekil 11’de detaylı olarak sunulmuştur.



Şekil 11. B-8.3 düğüm noktasına (Junction) ait bilgiler.

Koordinat bilgisi, ilgili belediyeden temin edilen veriler doğrultusunda çalışma alanına ait düğüm noktalarının koordinat bilgileri programa otomatik olarak işlenmiştir. Panel üzerinde belirtilen koordinat verileri, düğüm noktalarının doğru şekilde konumlandırılmasını sağlamış ve bu bilgiler tasarım sürecine rehberlik etmiştir. Koordinat bilgileri, sistemin genel yerleşim planı ve tahliye hatlarının düzenlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır.

EPA SWMM programında, düğüm noktalarına ait veriler aşağıdaki başlıklar altında tanımlanmıştır:

Name (Adı): Düğüm noktasının adı veya kimliği, sistemde diğer düğüm noktalarından ayırt edilmesini sağlar. Örnekte, düğüm noktası "B-25" olarak adlandırılmıştır.

X-Coordinate ve Y-Coordinate (Koordinatlar): Düğüm noktasının haritadaki yatay (X) ve dikey (Y) konumlarını ifade eder. Bu koordinatlar, düğümün modelde doğru yerleştirilmesini sağlar.

Description (Açıklama): Düğüm noktasına ait detaylı açıklamaların yer alabileceği bir alan, örnekte boş bırakılmıştır.

Tag (Etiket): Düğüm noktasını kategorize etmek veya özel bir gruba dahil etmek için kullanılabilecek etiket alanıdır. Bu da boş bırakılmıştır.

Inflows (Debi Girişi): Düğüm noktasına harici bir su girişinin olup olmadığını belirtir. Örnekte, "NO" ifadesi herhangi bir harici debi girişi olmadığını göstermektedir.

Treatment (Arıtma Durumu): Düğüm noktasında bir arıtma işlemi uygulanıp uygulanmadığını ifade eder. "NO" ibaresi, burada bir arıtma işlemi yapılmadığını belirtir.

Invert El. (Taban Kot Değeri): Düğüm noktasının taban kotunu, yani kanalın deniz seviyesinden yüksekliğini ifade eder. Örnekte, taban kot değeri "102.76" metre olarak verilmiştir.

Max. Depth (Maksimum Derinlik): Düğümde suyun ulaşabileceği maksimum derinliktir. Bu örnekte, maksimum derinlik "2.7" metre olarak belirtilmiştir.

Initial Depth (Başlangıç Derinliği): Düğüm noktasındaki başlangıç su derinliğidir. Örnekte, başlangıçta su derinliği "0" olarak verilmiştir, yani düğüm başlangıçta boştur.

Surcharge Depth (Taşma Derinliği): Kanal kapasitesi aşıldığında oluşabilecek taşma seviyesindeki derinliği gösterir. Örnekte bu değer "0" olarak tanımlanmıştır.

Ponded Area (Biriken Su Alanı): Taşma durumunda düğüm çevresinde oluşabilecek birikme alanını belirtir. Örnekte bu alan tanımlanmamış ve "0" olarak bırakılmıştır.

Bu değerler, modelin kurulumu öncesinde yapılan ön hesaplamalar ve boy kesit grafiklerinden elde edilen veriler doğrultusunda belirlenmiş ve tasarımcı tarafından programa entegre edilmiştir.

3.2.2. Alt Havzaların (Subcatchment) Oluşturulması

Çalışma alanı, 2,1 km² büyüklüğünde bir havzayı kapsamakta olup, toplamda 157 adet alt havzadan oluşmaktadır. Şekil 12’de, bu alt havzaların sınırları ve konumları detaylı bir şekilde gösterilmiştir. ‘H’ ile ifade edilen alt havzalara ait bilgiler, model kurulumu öncesinde gerçekleştirilen ön çalışmalar sırasında belirlenmiştir. Yağış durumunda alt havzalardan gelen suyun hangi düğüm noktalarına yönlendirileceği, bu ön çalışmalarda alt havzaların eğim durumları dikkate alınarak tespit edilmiştir.



Şekil 12. Çalışma havzasında oluşturulan alt havzalar.

Şekil 12.'de , EPA SWMM programında "Subcatchment" (alt havza) olarak tanımlanan bir bölgeye ait özellikler yer almaktadır. Aşağıdaki başlıklar, verilerin anlamlarını açıklamaktadır:

Name (Adı): Alt havzanın adı veya kimliği. Örnekte, alt havza "H-114" olarak adlandırılmıştır.

X-Coordinate ve Y-Coordinate (Koordinatlar): Alt havzanın haritadaki yatay (X) ve dikey (Y) konumları. Bu koordinatlar, modelde alt havzanın doğru bir şekilde yerleştirilmesini sağlar.

Description (Açıklama): Alt havzaya ait açıklayıcı bilgilerin yer alabileceği bir alan, örnekte boş bırakılmıştır.

Tag (Etiket): Alt havzayı kategorize etmek veya özel bir gruba dahil etmek için kullanılan bir alan, örnekte boş bırakılmıştır.

Rain Gage (Yağmur Ölçer): Alt havzanın hangi yağmur ölçer verilerini kullandığını ifade eder. Örnekte "1" numaralı yağmur ölçer atanmıştır.

Outlet (Çıkış Noktası): Alt havzadan akan suyun yönlendirildiği düğüm noktası veya yapı. Örnekte "B-8.6.1.4" olarak belirtilmiştir.

Area (Alan): Alt havzanın toplam yüzey alanını ifade eder (km² cinsinden). Örnekte "0.1183" km² olarak verilmiştir.

Width (Genişlik): Su toplama alanının genişliği (m cinsinden). Örnekte "22.321" metre olarak belirtilmiştir.

% Slope (Eğim Oranı): Alt havzanın yüzey eğimi. Örnekte eğim %7 olarak verilmiştir.

% Imperv (Geçirimsizlik Oranı): Alt havzanın geçirimsiz yüzey oranı (örneğin asfalt ve beton gibi). Örnekte %53 geçirimsizlik oranı vardır.

N-Imperv (Geçirimsiz Yüzey Pürüzlülüğü): Geçirimsiz yüzeylerin Manning pürüzlülük katsayısı. Örnekte "0.015" olarak verilmiştir.

N-Perv (Geçirimli Yüzey Pürüzlülüğü): Geçirimli yüzeylerin Manning pürüzlülük katsayısı. Örnekte "0.2" olarak belirtilmiştir.

Dstore-Imperv (Geçirimsiz Yüzey Depolama Derinliği): Geçirimsiz yüzeylerde suyun depolanabileceği maksimum derinlik (mm). Örnekte "2.54" mm olarak verilmiştir.

Dstore-Perv (Geçirimli Yüzey Depolama Derinliği): Geçirimli yüzeylerde suyun depolanabileceği maksimum derinlik (mm). Örnekte "5.08" mm olarak belirtilmiştir.

%Zero-Imperv (Boş Geçirimsiz Alan Oranı): Boş geçirimsiz yüzeylerin oranı (%). Örnekte %10'dur.

Subarea Routing (Alt Alan Yönlendirmesi): Alt havza içinde suyun akış yönlendirmesi. Örnekte "OUTLET" (çıkışa yönlendirme) olarak belirtilmiştir.

Percent Routed (Yönlendirilen Su Yüzdesi): Alt havza içinde yönlendirilen suyun yüzdesi. Örnekte %100'dür.

Infiltration Data (Sızma Verisi): Sızma hesaplamasında kullanılan yöntem. Örnekte "HORTON" sızma modeli kullanılmıştır.

Groundwater (Yeraltı Suyu): Yeraltı suyu özelliklerini belirtir. Örnekte "NO" ile yeraltı suyu modeli tanımlanmamıştır.

LID Controls (Düşük Etkili Tasarım Kontrolleri): Alt havzada düşük etkili tasarım (örneğin yeşil altyapı) kullanımı. Örnekte "0" olarak belirtilmiş, yani bu tasarım uygulanmamış.

Land Uses (Arazi Kullanımı): Alt havzanın arazi kullanım türü. Örnekte "0" olarak belirtilmiş.

Initial Buildup (Başlangıç Birikimi): Başlangıçta birikmiş kirleticiler veya tortular. Örnekte "NONE" (yok) olarak verilmiştir.

Curb Length (Kenar Uzunluğu): Bordür uzunluğu (m). Örnekte "0" olarak belirtilmiştir.

N-Perv Pattern, Dstore Pattern, Infil. Pattern: Pürüzlülük, depolama ve sızma için kullanılan zamanla değişen desenler. Örnekte tanımlanmış bir desen bulunmamaktadır.

Bu bilgiler, alt havzanın fiziksel ve hidrolik özelliklerini belirlemek için kullanılmaktadır ve modelin doğruluğu açısından kritik önem taşımaktadır.

Yukarıda açıklanan tüm veriler, yapılan ön çalışma ile elde edilen bilgiler olup, tasarımcı tarafından programa işlenmiştir.

Tablo 11. 1 ile 40 arası havza bilgileri

Havza Adı	Toplam Alan m ²	Havza Eğimi	Yapı Yüzdesi
1	10602	3%	5%
2	7982	3%	0%
3	6332	4%	0%
4	11442	4%	10%
5	6817	4%	11%
6	4413	4%	1%
7	6337	5%	4%
8	6347	4%	35%
9	6918	3%	0%
10	5417	2%	7%
11	9948	2%	10%
12	2094	3%	0%
13	3509	2%	31%
14	1884	3%	40%
15	2442	1%	20%
16	2669	2%	14%
17	3422	3%	12%
18	5641	1%	9%
19	1088	3%	0%
20	3102	4%	19%
21	1946	1%	34%
22	2212	1%	28%
23	1789	4%	0%
24	800	2%	21%
25	1528	1%	10%
26	1793	3%	19%
27	1404	2%	0%
28	1422	3%	10%
29	1504	2%	12%
30	1533	3%	8%
31	719	2%	16%
32	727	2%	23%
33	1437	4%	20%
34	1527	2%	39%
35	2082	2%	10%
36	641	6%	8%
37	1280	3%	33%
38	2685	1%	24%
39	1410	1%	0%
40	1818	1%	11%

Tablo 12. 41 ile 78 arası havza bilgileri

Havza Adı	Toplam Alan m ²	Havza Eğimi	Yapı Yüzdesi
41	3391	1%	3%
42	2887	1%	17%
43	3056	1%	17%
44	3295	1%	0%
45	3501	1%	11%
46	4242	2%	63%
47	2448	4%	0%
48	1203	4%	40%
49	1065	2%	30%
50	1015	2%	7%
51	2247	3%	25%
52	4503	3%	12%
53	1589	1%	5%
54	1237	2%	40%
55	834	7%	25%
56	1876	5%	45%
57	8111	4%	3%
58	7675	1%	6%
59	6354	3%	37%
60	5363	4%	9%
61	5410	2%	5%
62	100906	3%	3%
63	4846	2%	9%
64	2304	1%	17%
65	3150	1%	23%
66	3019	1%	25%
67	2100	1%	27%
68	874	1%	23%
69	864	1%	23%
70	1853	1%	44%
71	1431	1%	10%
72	1496	1%	5%
73	2852	1%	18%
74	3096	1%	16%
75	3669	1%	34%
76	4268	1%	4%
77	3213	1%	14%
78	4265	1%	10%

Tablo 13. 79 ile 117 arası havza bilgileri

Havza Adı	Toplam Alan m²	Havza Eğimi	Yapı Yüzdesi
79	5422	2%	45%
80	5541	2%	58%
81	1661	3%	56%
82	6026	1%	82%
83	4723	2%	26%
84	2367	1%	0%
85	4045	2%	68%
86	4031	2%	28%
87	6479	2%	25%
88	4591	1%	9%
89	3230	1%	82%
90	1794	1%	63%
91	2918	1%	40%
92	2865	1%	43%
93	2173	2%	40%
94	1778	3%	59%
95	1653	6%	51%
96	3076	8%	0%
97	1237	6%	37%
98	372	17%	51%
99	842	6%	12%
100	1166	2%	25%
101	4406	3%	21%
102	2682	6%	5%
103	9438	6%	0%
104	3420	2%	0%
105	6621	1%	0%
106	850	3%	0%
107	2317	4%	11%
108	947	5%	51%
109	1799	4%	59%
110	1718	4%	32%
111	1576	5%	24%
112	1696	6%	38%
113	1082	3%	30%
114	1183	7%	53%
115	2257	10%	28%
116	1436	7%	25%
117	2645	5%	46%

Tablo 14. 118 ile 157 arası havza bilgileri

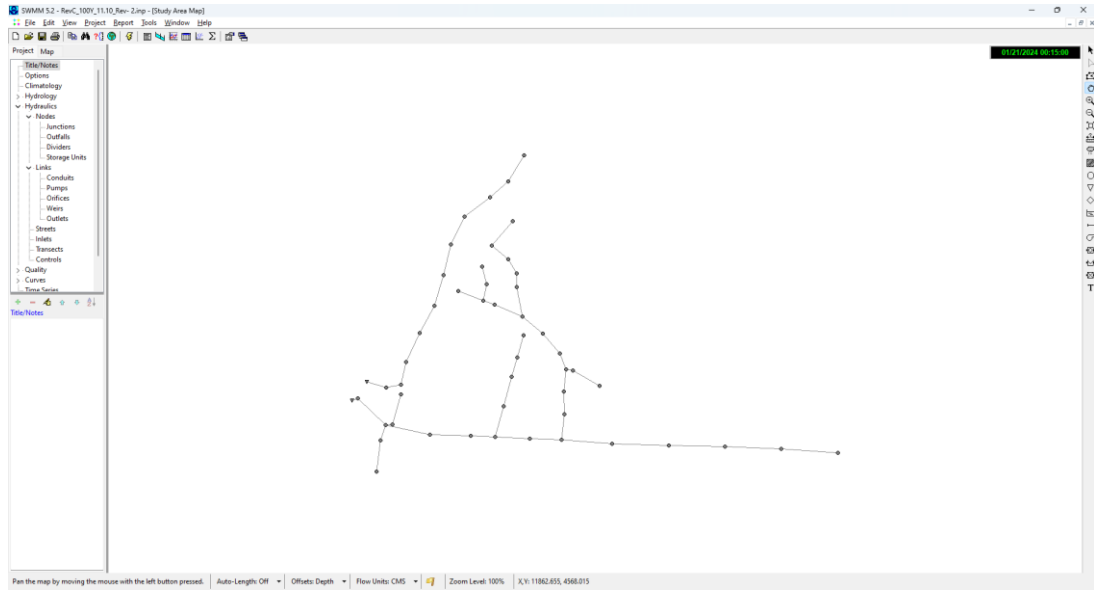
Havza Adı	Toplam Alan m ²	Havza Eğimi	Yapı Yüzdesi
118	1228	4%	69%
119	700	3%	0%
120	1364	6%	28%
121	794	3%	70%
122	546	6%	71%
123	3206	2%	16%
124	1763	4%	48%
125	2189	3%	42%
126	2092	5%	41%
127	17284	6%	4%
128	1407	6%	53%
129	938	5%	36%
130	6056	7%	30%
131	1350	4%	39%
132	536	6%	41%
133	832	4%	49%
134	1066	4%	0%
135	2105	6%	10%
136	11888	6%	0%
137	12409	8%	0%
138	2575	18%	48%
139	2892	14%	4%
140	3189	13%	25%
141	10270	17%	0%
142	570	13%	57%
143	328	20%	0%
144	259	13%	75%
145	2197	11%	43%
146	1877	10%	48%
147	6756	30%	0%
148	14215	11%	0%
149	399	4%	31%
150	990	4%	43%
151	8399	4%	0%
152	13050	10%	0%
153	5175	11%	0%
154	4743	2%	0%
155	2385	2%	0%
156	3073	3%	3%
157	1844	4%	0%

Subcatchment H-114	
Property	Value
Name	H-114
X-Coordinate	5462.517
Y-Coordinate	6140.573
Description	
Tag	
Rain Gage	1
Outlet	B-8.6.1.4
Area	0.1183
Width	22.321
% Slope	7
% Imperv	53
N-Imperv	0.015
N-Perv	0.2
Dstore-Imperv	2.54
Dstore-Perv	5.08
%Zero-Imperv	10
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration Data	HORTON
Groundwater	NO
Snow Pack	
LID Controls	0
Land Uses	0
Initial Buildup	NONE
Curb Length	0
N-Perv Pattern	
Dstore Pattern	
Infil. Pattern	
User-assigned name of subcatchment	

Şekil 13. H-114 alt havzasına (Subcatchment) ait bilgiler.

3.2.3. Boruların (Conduits) Yerleştirilmesi

Yağış sırasında düğüm noktalarınca alt yapıya aktarılan su, tayin edilen hat boyunca, borular (conduits) vasıtasıyla iletimi olmaktadır. Düğüm noktaları arasında iletim söz konusu boru yapısı ile sağlanmaktadır. Çalışma alanında toplamda 49 adet boru elemanı bulunmaktadır. Çalışma alanı içerisinde kullanılacak olan bu yapı elemanının kesiti, kullanılacak olan bölgenin sokak veya cadde oluşuna, ait olduğu hat kolunun uzunluğu ve kapasitesine göre değişiklik göstermektedir. 0.3-2.2 m boru çapı aralığında, bulunduğu hatta olan uygunluğa göre tasarımcı tarafından tayin edilen bu değer, yine tasarımcı tarafından SWMM programına işlenmiştir. Şekil 14’de boru sistemi, Şekil 15’de (B20-B21) düğüm noktalarını bağlayan boruya ait ilgili verilerin girişi gösterilmektedir.



Şekil 14. Boru sistemi.

Conduit B20-B21	
Property	Value
Name	B20-B21
Inlet Node	B-21
Outlet Node	B-20
Description	
Tag	
Shape	CIRCULAR
Max. Depth	0.8
Length	70
Roughness	0.015
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	
Inlets	NO
User-assigned name of Conduit	

Şekil 15. (I1-I2) düğüm noktaları arasındaki boruya ait bilgiler.

Bu tabloda, EPA SWMM programında bir boru (conduit) hattına ait özellikler gösterilmiştir. Aşağıdaki açıklamalar, her bir özelliğin anlamını açıklamaktadır:

Name (Adı): Boru hattının adı veya kimliği. Örnekte, boru hattı "B20-B21" olarak adlandırılmıştır.

Inlet Node (Giriş Düğümü): Boru hattına suyun giriş yaptığı düğüm noktası. Örnekte bu giriş noktası "B-21" olarak belirtilmiştir.

Outlet Node (Çıkış Düğümü): Boru hattından suyun çıkış yaptığı düğüm noktası. Örnekte bu çıkış noktası "B-20" olarak verilmiştir.

Description (Açıklama): Boruya ilişkin açıklama alanı, örnekte boş bırakılmıştır.

Tag (Etiket): Borunun özel bir kategoride sınıflandırılması için kullanılan alan. Örnekte bu alan da boş bırakılmıştır.

Shape (Şekil): Borunun geometrik şekli. Örnekte "CIRCULAR" (daire kesitli) olarak belirtilmiştir.

Max. Depth (Maksimum Derinlik): Borunun iç çapına karşılık gelen maksimum derinlik (m). Örnekte "0.8" metre olarak belirtilmiştir.

Length (Uzunluk): Borunun iki düğüm noktası arasındaki uzunluğu (m). Örnekte uzunluk "70" metre olarak verilmiştir.

Roughness (Pürüzlülük Katsayısı): Borunun iç yüzeyine ait pürüzlülük katsayısı. Örnekte "0.015" olarak belirtilmiştir.

Inlet Offset (Giriş Kot Farkı): Giriş düğümü ile boru arasındaki kot farkı (m). Örnekte "0" olarak belirtilmiştir.

Outlet Offset (Çıkış Kot Farkı): Çıkış düğümü ile boru arasındaki kot farkı (m). Örnekte "0" olarak belirtilmiştir.

Initial Flow (Başlangıç Debisi): Boru hattında başlangıçta akan su miktarı (m^3/s). Örnekte "0" olarak verilmiştir, yani başlangıçta akış yoktur.

Maximum Flow (Maksimum Debi): Borunun taşıyabileceği maksimum debi kapasitesi (m^3/s). Örnekte bu değer "0" olarak tanımlanmıştır.

Entry Loss Coeff. (Giriş Kayıp Katsayısı): Boruya girişte oluşan enerji kaybının katsayısı. Örnekte bu değer "0" olarak belirtilmiştir.

Exit Loss Coeff. (Çıkış Kayıp Katsayısı): Borudan çıkışta oluşan enerji kaybının katsayısı. Örnekte bu değer "0" olarak verilmiştir.

Avg. Loss Coeff. (Ortalama Kayıp Katsayısı): Boru boyunca oluşan ortalama enerji kaybının katsayısı. Örnekte bu değer "0" olarak belirtilmiştir.

Seepage Loss Rate (Sızıntı Kayıp Oranı): Borudan sızan suyun oranı (m^3/s). Örnekte bu değer "0" olarak tanımlanmıştır.

Flap Gate (Çek Valf): Boru hattında geri akışı önlemek için kullanılan çek valfin olup olmadığını belirtir. Örnekte "NO" (yok) olarak belirtilmiştir.

Culvert Code (Menfez Kodu): Boru hattının menfez yapısı için kullanılan kod. Örnekte bir kod tanımlanmamıştır.

Inlets (Girişler): Boruya bağlanan ilave girişler. Örnekte bu alan boş bırakılmıştır.

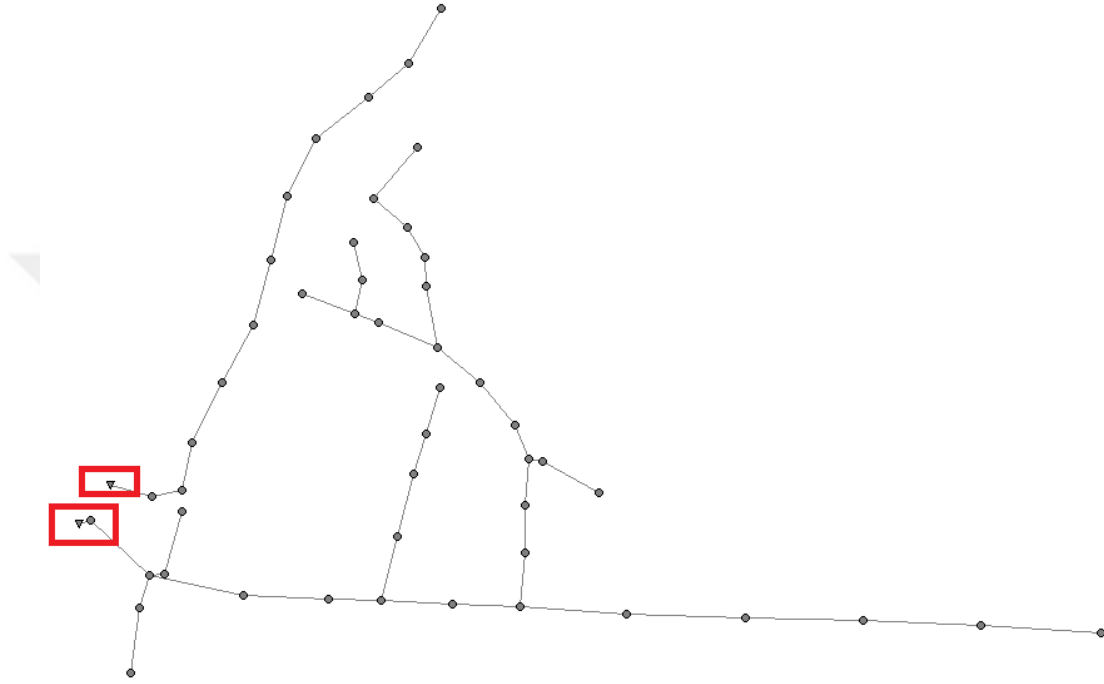
Bu veriler, boru hattının fiziksel ve hidrolik özelliklerinin tanımlanmasında ve drenaj sistemi modellemesinin doğruluğunun sağlanmasında kullanılmıştır. Her bir parametre, sistem tasarımı ve performans analizi açısından kritik bir öneme sahiptir.

Boru çapı, tahliye hattının bulunduğu konum (sokak veya cadde), kolun uzunluğu ve bölgenin kapasite gereksinimlerine göre belirlenmiştir. Başlangıç ve tali kollarında, hat mesafesinin kısa olması ve sokak üzerinden konumlanması nedeniyle boru çapı 0.3 m olarak belirlenmiştir. Ana kollarında ise hatların genellikle caddeler üzerinden geçmesi ve yüksek kapasite ihtiyacı nedeniyle boru çapı 0.6 m olarak tasarlanmıştır. Boru hattının yapı malzemesi beton olduğu için pürüzlülük katsayısı 0.015 olarak alınmıştır.

Yukarıda açıklanan tüm bu veriler, yapılan ön çalışmalar sırasında tasarımcı tarafından elde edilmiş ve ilgili programa işlenmiştir.

3.2.4. Çıkış Noktalarının (Outfall) Oluşturulması

Çalışma bölgesindeki tahliye hatları boyunca taşınan yağmur suyunun ulaştığı son nokta, 'çıkış ağzı' olarak tanımlanmaktadır. Çalışma alanında, tahliye hatları için toplamda 2 adet çıkış noktası belirlenmiş ve modele işlenmiştir. Şekil 16'da bu çıkış noktalarının yerleşimi, Şekil 32'de ise SWMM programına bu çıkış noktaları için girilen veri paneli detaylı bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 16. Tahliye hatlarına ait çıkış noktalarının yerleşimi.

Outfall B-14	
Property	Value
Name	B-14
X-Coordinate	2926.668
Y-Coordinate	3034.878
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	68.43
Tide Gate	NO
Route To	
Type	FREE
Fixed Outfall	
Fixed Stage	0
Tidal Outfall	
Curve Name	*
Time Series Outfall	
Series Name	*
User-assigned name of outfall	

Şekil 17. 1 numaralı tahliye hattına ait bilgiler.

Bu tabloda, EPA SWMM programında bir "Outfall" (Çıkış Noktası) elemanına ait özellikler listelenmiştir. Aşağıdaki açıklamalar, her bir özelliğin anlamını ve modelleme açısından önemini detaylı bir şekilde açıklamaktadır:

Name (Adı): Çıkış noktasının adı veya kimliği. Örnekte, çıkış noktası "B-14" olarak adlandırılmıştır.

X-Coordinate ve Y-Coordinate (Koordinatlar): Çıkış noktasının haritadaki yatay (X) ve dikey (Y) konumlarını ifade eder. Örnekte, X koordinatı "2926.668", Y koordinatı ise "3034.878" olarak verilmiştir. Bu koordinatlar, çıkış noktasının doğru konumlandırılmasını sağlar.

Description (Açıklama): Çıkış noktasına ilişkin açıklama alanı, örnekte boş bırakılmıştır.

Tag (Etiket): Çıkış noktasını kategorize etmek veya özel bir gruba dahil etmek için kullanılan alan. Bu alan, örnekte boş bırakılmıştır.

Inflows (Debi Girişi): Çıkış noktasına herhangi bir harici su girişinin olup olmadığını belirtir. Örnekte "NO", yani harici bir giriş olmadığı ifade edilmiştir.

Treatment (Arıtma Durumu): Çıkış noktasında bir arıtma işlemi uygulanıp uygulanmadığını belirtir. Örnekte "NO" olarak belirtilmiş, yani arıtma işlemi yapılmamaktadır.

Invert El. (Taban Kot Değeri): Çıkış noktasının taban kotunu ifade eder (m cinsinden). Örnekte "68.43" metre olarak belirtilmiştir.

Tide Gate (Gelgit Kapısı): Geri akışı önlemek için kullanılan bir gelgit kapısının olup olmadığını belirtir. Örnekte "NO", yani gelgit kapısı bulunmadığı ifade edilmiştir.

Route To (Yönlendirme): Çıkış noktasından akan suyun yönlendirileceği yer veya eleman. Örnekte belirtilmemiştir.

Type (Tip): Çıkış noktasının türünü ifade eder. Örnekte "FREE", yani serbest çıkış (serbest akış) olarak tanımlanmıştır.

Fixed Outfall (Sabit Çıkış): Sabit bir su seviyesi varsa belirtilir. Örnekte "Fixed Stage" değeri "0" olarak verilmiştir, yani sabit bir su seviyesi tanımlanmamıştır.

Tidal Outfall (Gelgit Çıkışı): Çıkış noktasının gelgit etkisine bağlı bir su seviyesi ile ilişkili olup olmadığını belirtir. Örnekte bu alan boş bırakılmıştır.

Curve Name (Eğri Adı): Çıkış noktasına ait bir akış-suya ilişkili eğri tanımlanmışsa, bu eğrinin adı belirtilir. Örnekte "*" ile herhangi bir eğri tanımlanmadığı ifade edilmiştir.

Time Series Outfall (Zaman Serisi Çıkışı): Çıkış noktasına ait bir zaman serisi tanımlanmışsa, bu serinin adı belirtilir. Örnekte "*" ile herhangi bir zaman serisi tanımlanmadığı belirtilmiştir.

Bu bilgiler, modelleme sürecinde yağmur suyunun tahliyesi için tanımlanan çıkış noktalarının özelliklerini belirlemek için kullanılır. Çıkış noktaları, sistemin nihai tahliye işlevini gerçekleştiren kritik elemanlardır.

3.2.5. Yağış Ölçer (Rain Gage) Oluşturulması

Modelde kullanılan yağmur ölçer, MGM İstanbul - Florya İstasyonundan alınan veriler doğrultusunda tayin edilmiştir. Bu istasyondan elde edilen 5, 10, 15, 30 dakika, 1 saat ve 2 saatlik periyotlara ait maksimum yağış değerleri analiz edilmiştir. Bu veriler temel alınarak, Yağış-Şiddet-Süre-Tekerrür (YSST) analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, Lop-Pearson 3 olasılık dağılım fonksiyonu kullanılarak 25, 50 ve 100 yıllık tekerrür aralıklarında oluşabilecek muhtemel yağış durumları hesaplanmıştır. Bu değerlendirmelere dayanarak, yağış hiyetografi oluşturulmuş ve Grafik 11’de sunulmuştur.



Grafik 11. Florya Meteoroloji İstasyonuna Ait Yağış Şiddet-Süre-Tekerrür Eğrileri.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

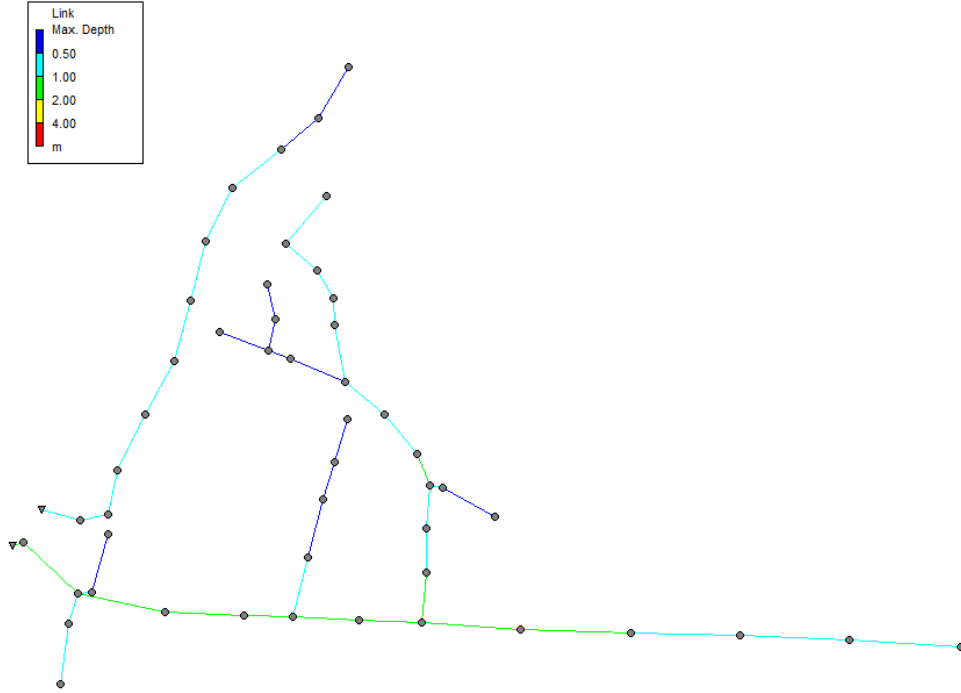
MODEL SONUÇLARI

Bu bölümde, çalışma alanında oluşturulan 2 farklı tahliye hattının, 5, 25, 50 ve 100 yıllık dönüş aralıklı yağış miktarları sonucu oluşan akış durumu ve hatların çıkış noktalarındaki debi değerleri analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına dayanarak sistem tasarımı gerçekleştirilmiş ve ardından tahliye hatlarının uygulanmasına yönelik yaklaşık maliyet hesaplamaları yapılmıştır.

4.1. Dönüş Aralıklı Yağışlar

4.1.1. Beş (5) Yıllık Dönüş Aralıklı Yağış

Bu bölümde, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'den temin edilen İstanbul - Florya İstasyonu'na ait yağış verileri kullanılarak 5 yıllık dönüş aralıklı yağış, EPA SWMM programı ile analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, tasarım kriterlerinin belirlenmesi ve tahliye sistemine yönelik yaklaşık maliyet hesaplamalarının yapılması hedeflenmiştir.

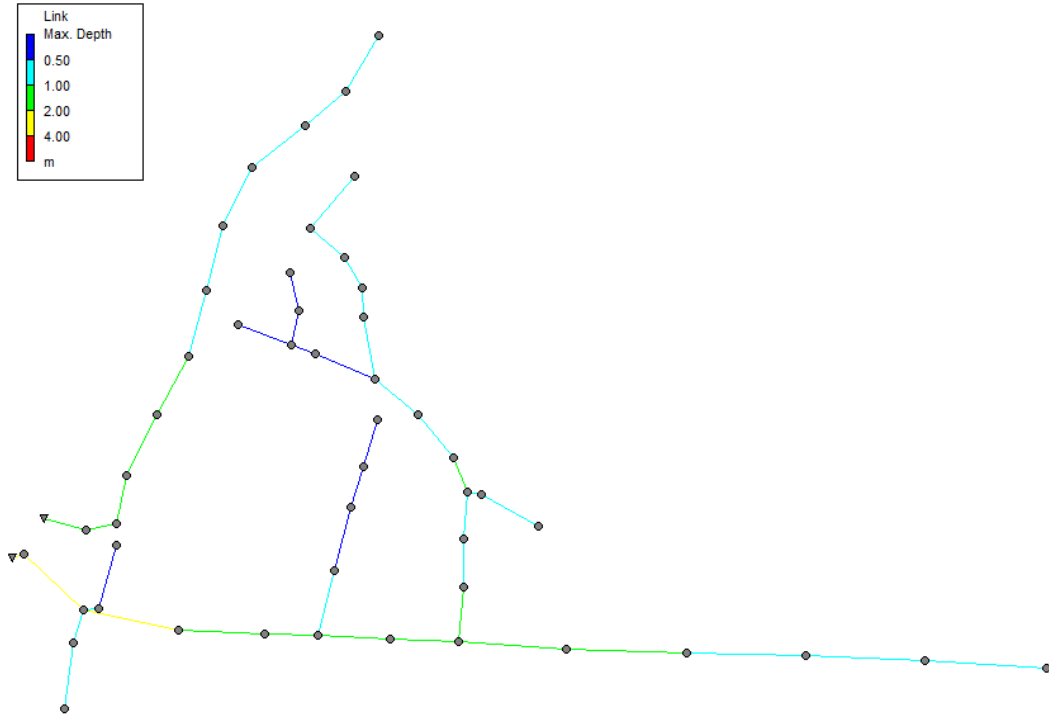


Şekil 18. 5 yıllık dönüş aralığına göre yapılan tasarımda max. boru derinliği.

Şekil 18’de, modelde maksimum derinliklerin renklerle ifade edildiği tahliye hatlarının durumu gösterilmektedir. Şekilde bulunan lejant, borular üzerindeki maksimum derinliklerin farklı renklerle ayrımını sağlamaktadır. Bu görsel, çalışma alanındaki alt havzalarda suyun akış durumu ve tahliye sisteminin değerlendirilmesi için önemli bir rehber niteliğindedir.

4.1.2. Yirmi Beş (25) Yıllık Dönüş Aralıklı Yağış

Bu bölümde, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)’den temin edilen İstanbul - Florya İstasyonu’na ait yağış verileri kullanılarak 25 yıllık dönüş aralıklı yağış, EPA SWMM programı ile analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, tasarım kriterlerinin belirlenmesi ve tahliye sistemine yönelik yaklaşık maliyet hesaplamalarının yapılması hedeflenmiştir.

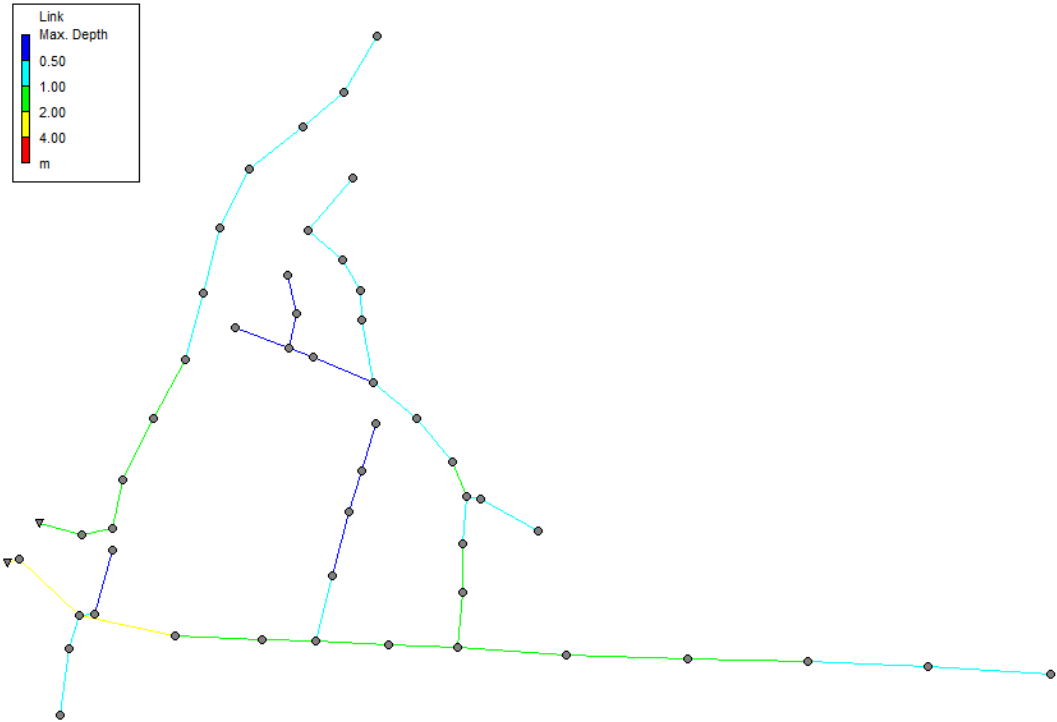


Şekil 19. 25 yıllık dönüş aralığına göre yapılan tasarımda max. boru derinliği.

Şekil 19’da, modelde maksimum derinliklerin renklerle ifade edildiği tahliye hatlarının durumu gösterilmektedir. Şekilde bulunan lejant, borular üzerindeki maksimum derinliklerin farklı renklerle ayrımını sağlamaktadır. Bu görsel, çalışma alanındaki alt havzalarda suyun akış durumu ve tahliye sisteminin değerlendirilmesi için önemli bir rehber niteliğindedir.

4.1.3. Elli (50) Yıllık Dönüş Aralıklı Yağış

Bu bölümde, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)’den temin edilen İstanbul - Florya İstasyonu’na ait yağış verileri kullanılarak 50 yıllık dönüş aralıklı yağış, EPA SWMM programı ile analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, tasarım kriterlerinin belirlenmesi ve tahliye sistemine yönelik yaklaşık maliyet hesaplamalarının yapılması hedeflenmiştir.

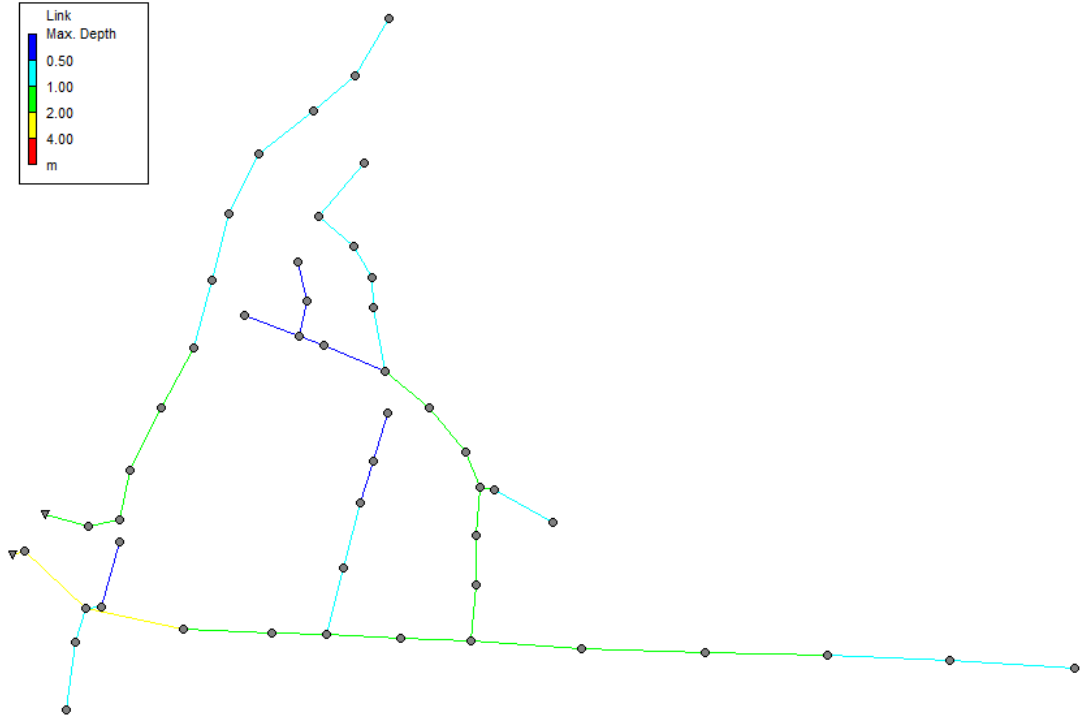


Şekil 20. 50 yıllık dönüş aralığına göre yapılan tasarımda max. boru derinliği.

Şekil 20’de, modelde maksimum derinliklerin renklerle ifade edildiği tahliye hatlarının durumu gösterilmektedir. Şekilde bulunan lejant, borular üzerindeki maksimum derinliklerin farklı renklerle ayrımını sağlamaktadır. Bu görsel, çalışma alanındaki alt havzalarda suyun akış durumu ve tahliye sisteminin değerlendirilmesi için önemli bir rehber niteliğindedir.

4.1.4. Yüz (100) Yıllık Dönüş Aralıklı Yağış

Bu bölümde, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)’den temin edilen İstanbul - Florya İstasyonu’na ait yağış verileri kullanılarak 100 yıllık dönüş aralıklı yağış, EPA SWMM programı ile analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, tasarım kriterlerinin belirlenmesi ve tahliye sistemine yönelik yaklaşık maliyet hesaplamalarının yapılması hedeflenmiştir.



Şekil 21. 100 yıllık dönüş aralığına göre yapılan tasarımda max. boru derinliği.

Şekil 21’de, modelde maksimum derinliklerin renklerle ifade edildiği tahliye hatlarının durumu gösterilmektedir. Şekilde bulunan lejant, borular üzerindeki maksimum derinliklerin farklı renklerle ayrımını sağlamaktadır. Bu görsel, çalışma alanındaki alt havzalarda suyun akış durumu ve tahliye sisteminin değerlendirilmesi için önemli bir rehber niteliğindedir.

4.2. Farklı Dönüş Aralıklarında Yaklaşık Maliyet Hesabı

4.2.1. Yaklaşık Maliyet Nedir?

Yaklaşık maliyet, bir projenin tamamlanabilmesi için gereken kaynakların (malzeme, işçilik, ekipman, nakliye vb.) tahmini maliyetlerinin belirlenmesi sürecidir. Bu süreçte temel amaç, proje kapsamında harcanacak toplam bedeli önceden öngörerek, bütçe planlamasını doğru ve etkin biçimde yapmaktır. Özellikle altyapı inşaatları, yol yapım işleri, kanalizasyon hatları gibi büyük ölçekli ve çok sayıda iş kalemi içeren projelerde, hem malzeme hem de işçilik kalemleri oldukça çeşitlidir. Bu nedenle, yaklaşık maliyet hesabı için detaylı analiz yapmak, güncel birim fiyatlara hâkim olmak ve her kalemin teknik özelliklerini dikkate almak büyük önem taşır.

Yaklaşık maliyet hesabı, sadece işin kaba tahminini vermekle kalmaz, aynı zamanda projenin fizibilitesinin değerlendirilmesinden yüklenici seçim süreçlerine kadar pek çok aşamada karar alıcılara yol gösterir. Özellikle kamu kurumları ya da belediyeler tarafından yürütülen projelerde, İller Bankası (İlbank), Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı gibi resmi kurumların yayımladığı birim fiyat listeleri, yaklaşık maliyetin hazırlanmasında başlıca referans dokümanlar olarak kullanılmaktadır.

Aşağıda, 2024 yılına ait bazı resmi birim fiyatlar örneklenerek, bu fiyatların yaklaşık maliyet hesabındaki kritik rolü açıklanacaktır. Burada yer alan her bir kalem, proje aşamasında öngörülen imalat veya hizmetin niteliğine göre seçilerek, miktarlarla çarpılır ve varsa ek faktörlerle (nakliye, bakım, zorluk derecesi, bölgesel farklar vb.) revize edilerek nihai tahmin yapılır.

4.2.2. Altyapı ve Yol İşlerinde Yaklaşık Maliyete Dâhil Edilebilecek Örnek İş Kalemleri

4.2.2.1. Asfalt İşleri

Her Türlü Asfaltın Kesilmesi

Poz No (İlbank 43.650.1004)

Birim Fiyat (2024): 358,95 TL/m²

Açıklama: Asfalt kesme işlerinde maliyet hesabı, kesilen alanın m²'si üzerinden yapılır. Dolayısıyla kesim derinliği ve uzunluğunun çarpımıyla ortaya çıkan toplam kesim yüzeyi, bu birim fiyatla çarpılarak iş kaleminin yaklaşık maliyeti belirlenir.

4.2.2.2. Asfalt, Kırmataş ve Şose Sökülmesi (Çıkan Malzemelerin Nakli Dâhil)

Poz No (KGM 18.190)

Birim Fiyat (2024): 175,83 TL/m³

Açıklama: Sökülmesi planlanan asfalt veya şose tabakasının yerinde hacmi (m³) esas alınarak hesaplama yapılır. Yine nakliye bedelinin iş içinde dâhil olması, proje maliyeti açısından avantajlı ya da dezavantajlı olabilir; bu, projenin lokasyonuna, sökülecek miktara ve bertaraf yöntemine göre değişiklik gösterir.

4.2.2.3. Kazı İşleri

Makine ile Her Derinlik ve Genişlikte, Her Cins ve Klasta Zeminde Kazı Yapılması

Poz No (KGM/14.210)

Birim Fiyat (2024): 244,83 TL/m³

Açıklama: Altyapı projelerinde kazı işlerinin doğru hesaplanması, hem malzeme hem de işçilik yönünden büyük önem taşır. Kazı miktarı arttıkça, hafriyat nakliyesi, depolama veya dolguda kullanma maliyetleri de dâhil edilmelidir.

4.2.2.4. Dolgu ve Malzeme Serme İşleri

Konkasörle Kırılmış 0-11 mm Çapında Kırma Taşın Kompaktör ile Sıkıştırılarak Taban Islahı veya Gömlekleme Yapılması

Poz No (İlbank 43.610.1041)

Birim Fiyat (2024): 710,80 TL/m³

Açıklama: Kazıdan sonra zemin iyileştirme veya boru etrafına dolgu yapma işlemlerinin büyük kısmı kırmataş gibi granüler malzemelerle yapılır. Bu malzemenin sıkıştırılması ve finiş düzeyine getirilmesi iş kalemi, toplam maliyette önemli bir paya sahiptir.

4.2.2.5. 12-32 mm Arası Kırmataşın El ile Serme, Sulama ve Sıkıştırılması

Poz No (ÇŞİDB 15.125.1007)

Birim Fiyat (2024): 614,88 TL/m³

Açıklama: Daha büyük çaplı kırmataş malzemenin elle serilmesi ve sıkıştırılması, işçilik maliyetlerini artırabilir. Yaklaşık maliyette bu farkı öngörmek, işin gerçek maliyetini doğru tahmin etmek bakımından önemlidir.

4.2.2.6. Beton ve Betonarme Boru İşleri

C25/30 Basınç Dayanım Sınıfında Normal Hazır Beton Dökülmesi

Poz No (ÇŞİDB 15.150.1005)

Birim Fiyat (2024): 2.605,30 TL/m³

Açıklama: Beton kalitesi arttıkça birim fiyat da yükselir. Hazır beton alımında nakliye süresi ve pompa kullanımı da maliyeti etkileyen unsurlardır.

4.2.2.7. Ø 300 mm - Ø 2000 mm Aralığında Muflu veya Lamba Zıvanalı Beton Kanalizasyon Borularının Döşenmesi

Poz No (İlbank 43.526.xxxx)

Birim Fiyat (2024):

Ø 300 mm: 604,30 TL/mt

Ø 400 mm: 1.030,00 TL/mt

Ø 600 mm: 2.347,49 TL/mt

Ø 800 mm: 2.181,60 TL/mt

Ø 1000 mm: 5.735,91 TL/mt

Ø 1200 mm: 6.002,66 TL/mt

Ø 1400 mm (Sülfata Dayanıklı): 10.304,25 TL/mt

Ø 1600 mm (Sülfata Dayanıklı): 12.220,62 TL/mt

Ø 1800 mm (Sülfata Dayanıklı, Lamba Zıvanalı): 19.212,09 TL/mt

Ø 2000 mm (Sülfata Dayanıklı, Lamba Zıvanalı): (Fiyat bilgisi eksik veya değişken)

Ø 2200 mm (Sülfata Dayanıklı, Lamba Zıvanalı): 31.140,50 TL/mt

Açıklama: Çap büyüdükçe ve sülfata dayanıklı çimento gibi özel üretim teknikleri devreye girdikçe, boru birim fiyatları da yükselir. Bu tür borular genellikle atık su, yağmur suyu hatlarında kullanılır; projenin teknik şartnamesi, doğru boru çapı ve dayanım sınıfının seçiminde belirleyici olur.

4.2.2.8. Prefabrik Muayene Bacası ve Bacaya Ait Elemanlar

Poz No (İlbank 43.560.xxxx)

Prefabrik Muayene Bacası Taban Elemanları

Çıkış çapı Ø 300 mm'den Ø 600 mm'ye kadar farklı çaplarda, 2 giriş 1 çıkışlı taban elemanlarının fiyatları 2.015,00 TL/Adet'ten başlayıp 11.503,72 TL/Adet'e kadar değişebilmektedir.

Açıklama: Her projede kullanılacak baca sayısı ve muayene bacalarının teknik özellikleri, inşa edilecek hattın çapına ve proje gereksinimlerine göre farklılaşır.

4.2.2.9. Baca Gövde Bileziği Elemanı

Yükseklik 0,35 m, iç çap 1,00 m olan bileziklerde 2024 birim fiyatı ~2.015,00 TL/Adet civarındadır.

Açıklama: Bacanın gövde yüksekliğini ayarlamak, konik elemanlar eklemek veya boyun bileziği monte etmek gibi imalatlar, tekil adet bazında hesaplanır. Yaklaşık maliyet çıkartırken sahadaki fiili ihtiyaç dikkate alınmalıdır.

4.2.2.10. Sfero Döküm Baca Kapağı ve Izgara Elemanları

Poz No (İlbank 43.665.xxxx)

88 kg'lık sfero döküm çerçeveli baca kapağı (9.061,36 TL/Adet)

55 kg'lık sfero döküm çerçeveli baca kapağı (6.106,36 TL/Adet)

80 kg'lık sfero döküm çerçeveli ızgara (8.243,64 TL/Adet)

Açıklama: Baca kapakları ve ızgaralar, maliyet hesaplarında genellikle adet üzerinden değerlendirilir. Ancak kapak ağırlığı veya boyutları proje standartlarına göre değişebildiği için, her bir parçanın özgül (kg bazlı) birim fiyatının bilinmesi de önemlidir.

4.2.2.11. Malzeme Nakliyesi

Kırma Taş, Taş Tozu, Kum-Çakıl, Stabilize vb. Malzemelerin Ocaktan Nakli (Ortalama 45 km)

Nakliye birim fiyatları bölgeye, yakıt fiyatlarına, araç özelliklerine göre değişmekle birlikte, örnek olarak ton-km başına 1,50 TL varsayımıyla hesaplanabilir:
Maliyet = Miktar (ton) × 35 (km) × 1,50 TL/(ton·km)

Beton Büz Boru, Prefabrik Baca-Izgara Elemanlarının Nakli (Ortalama 35 km)

Benzer şekilde, 35 km'lik mesafe ve ton başına belirlenmiş nakliye bedeli dikkate alınarak hesaplama yapılır. Örneğin, ton-km başına 1,50 TL kabul edilirse:
Maliyet = Miktar (ton) × 35 (km) × 1,50 TL/(ton·km)

Açıklama: Nakliye kalemi, genellikle ihmal edilebilecek bir değer gibi görülse de, taşınacak malzeme miktarı arttıkça toplam proje maliyetinde ciddi bir yer tutar. Özellikle büyük çaplardaki beton borular veya sfero döküm elemanların nakliyesi, hafif malzemelere göre daha masraflı olur.

4.2.3. Yaklaşık Maliyet Hesabında Bu Verilerin Kullanımı

Yaklaşık maliyet hazırlarken aşağıdaki adımları izlemek ve yukarıda örneklenen iş kalemlerini doğru biçimde entegre etmek gerekir:

4.2.3.1. İş Kalemlerinin Belirlenmesi:

Projenin kapsamına göre ihtiyaç duyulan imalat ve hizmet kalemleri tespit edilir. Örneğin, kanalizasyon yapım işi söz konusuysa; kazı, kırmataş dolgusu, boru döşemesi, muayene bacası imalatı ve asfalt kaplama gibi kalemler sırasıyla listeye alınır.

4.2.3.2. Miktarların Tespiti (Take-Off):

Her iş kalemine ilişkin proje keşfi veya metraj hesapları yapılır. Örneğin, 500 metre uzunluğunda, Ø 600 mm çapında kanal borusu döşenecekse; 500 m x 2.347,49 TL/mt = 1.173.745 TL gibi bir ara maliyet elde edilir. Kazı hacmi m³ cinsinden, asfalt kesimi m² cinsinden vb. hesaplamalar da aynı mantıkla yapılır.

4.2.3.3. Birim Fiyatların Kontrolü:

Güncel (2024) birim fiyat cetvelleri referans alınarak, projenin teknik özelliklerine en uygun poz numarası üzerinden tahmin yapılır. Sülfata dayanıklı çimento gerektiren veya buhar kürlü beton içeren işler, standart betona kıyasla farklı (genellikle daha yüksek) birim fiyatlara sahiptir.

4.2.3.4. Ek Maliyetlerin Eklenmesi:

Nakliye, yükleme-boşaltma, vinç veya pompa kullanımı gibi ek hizmetlerin maliyetleri bu aşamada dâhil edilir.

Bölgesel veya coğrafi koşullar (örneğin zor hava şartları, ulaşım güçlüğü vb.) ve piyasa dalgalanmaları da yedek ya da öngörü payı olarak yaklaşık maliyete eklenebilir.

4.2.3.5. Genel Giderler ve Kar Oranı:

Yüklenici kuruluşlar tarafından genel giderler ve kâr (örneğin %15-%25 arasında değişebilen) eklenir. Kamusal projelerde, idare tarafından belirlenen şartname hükümleri doğrultusunda bir hesaplama yöntemi izlenir.

4.2.3.6. Toplam Maliyetin Oluşturulması:

Her kalemin ara toplamı çıkarıldıktan ve varsa diğer maliyet kalemleri dâhil edildikten sonra, projenin tümü için yaklaşık maliyet rakamına ulaşılır. Bu rakam, ihale bedeli veya bütçe planlaması için temel bir girdi görevi üstlenir.

4.2.4. Hesaplamalar Ve Örnek Uygulama

Proje kapsamında tipik olarak şu imalat kalemleri ve miktarlar söz konusudur:

4.2.4.1. Asfalt Kesimi

Örnek Miktar: 15,138 m²

Açıklama: Mevcut asfaltın, kazı yapılacak veya yeni imalat yapılacak kısımlarda kesilmesi işidir. Miktar, kesilmesi planlanan alanın (en × boy) ölçümlerinden elde edilir.

4.2.4.2. Asfalt/Kırmataş/Şose Sökülmesi (Nakliye Dâhil)

Örnek Miktar: 68,005 m³

Açıklama: Sökülecek tabakanın kalınlığı ve genişliği dikkate alınarak yerinde hacmi (m³) belirlenir. Bu imalat, söküm işlemini ve malzemenin uygun alana taşınmasını kapsar.

4.2.4.3. Makine ile Kazı (Her Cins ve Klasta Zeminde, Nakliye Hariç)

Örnek Miktar: 201,945 m³

Açıklama: Hendek veya diğer altyapı çalışmaları için yapılacak kazının hacmidir. Kazı genişliği, derinliği ve uzunluğu üzerinden kazı hacmi hesaplanır. Nakliyesi ayrıca bir kalem olarak ele alınabilir.

4.2.4.4. Kırmataş Serme ve Sıkıştırma

Örnek Miktar: 33,059 m³

Açıklama: Hendek taban ıslahı, boru alt-yastığı veya üst dolgu için granüler malzeme (örneğin 0–11 mm kırmataş) kullanılabilir. Projede kullanılacak hacim, kesit alanı ve hat uzunluğu çarpılarak bulunur.

4.2.4.5. Geri Dolgu İmalatları

Örnek Miktar (Örneğin Üst Dolgu veya Gömlekleme Üstü Dolgu): 162,438 m³

Açıklama: Kazı sonrası hendek kapatma amacıyla, kazıdan çıkan uygun malzeme veya dışarıdan getirilen dolgu malzemesi kullanılır. Miktar, kazı hacmi ve dolgu katman kalınlığı hesaplarına göre belirlenir.

4.2.4.6. Boru Döşemesi (Beton veya Diğer Malzemeler)

Örnek Boru Boyu (Ø300 vb.): 75,763 m

Açıklama: Yağmursuyu veya atıksu hatlarında kullanılan borunun cinsi (beton, HDPE vb.) ve çapına göre birim fiyat seçilir. Toplam boru boyu; proje güzergâh uzunluğu, bağlantı hatları ve muhtelif ek imalatlar göz önünde bulundurularak tespit edilir.

4.2.4.7. Prefabrik Baca Elemanları ve Montajı

Örnek Adet: 2, 4 veya proje gereksinimine göre daha fazla

Açıklama: Baca taban elemanı, gövde bileziği, konik parça, kapak gibi farklı bileşenler olabilir. Her biri için adet üzerinden ya da (bazı durumlarda) boy/ton hesabıyla birim fiyat uygulanır.

4.2.4.8. Nakliye İşlemleri

Örnek Miktarlar:

Kırmataş, Kum-Çakıl vb. Ocaktan Nakli: 452,291 ton

Boru ve Prefabrik Baca Elemanlarının Şantiye Sahasına Nakli: 11,819 ton

Kazı Malzemesi veya Molozun Şantiye Dışına Nakli: 323,113 ton

Açıklama: Malzeme nakliyesinde genellikle ton (veya m³) bazında ve ton·km birim fiyatına göre ücretlendirme yapılır. Mesafe arttıkça nakliye maliyeti de yükselir.

4.2.5. Örnek Hesaplama Adımları

4.2.5.1. Metraj Çıkarmak:

Asfalt kesimi için kesilecek alan (m²), kazı için hendek hacmi (m³), boru montajı için hat uzunluğu (m) gibi veriler proje çizimlerinden veya sahadan gelen ölçümlerden elde edilir.

4.2.5.2. Birim Fiyatlarla Eşleştirme:

Her kalem, ilgili resmi kurumun (ör. İller Bankası, KGM vb.) belirlediği poz numarası ve birim fiyat ile ilişkilendirilir.

Örneğin:

Asfalt kesimi: “Her Türlü Asfaltın Kesilmesi” pozu, TL/m²

Makine ile kazı: “Her Cins Zeminde Kazı” pozu, TL/m³

Kırmataş serme: “Kırmataş Dolgu ve Sıkıştırması” pozu, TL/m³

Nakliye: “Şantiye Dışı Moloz Nakli” pozu, TL/ton

4.2.5.3. Toplam Maliyet:

Tüm kalemlerin tek tek hesaplanan maliyetleri, en sonunda toplanarak projenin yaklaşık maliyeti elde edilir.

İdare veya projenin türüne göre, bu toplama genel gider, kâr veya fiyat farkı gibi ek unsurlar ilave edilebilir.

4.2.6. Altyapı Projelerinde Kullanılan İmalat Kalemleri ve Rayiç Bedellerin Genel Değerlendirmesi:

Aşağıda listelenen iş kalemleri ve rayiç bedeller, altyapı ve üstyapı projelerinde sıkça karşılaşılan imalatlara yönelik bir genel değerlendirme sunmaktadır. Tablo incelendiğinde, projelerde asfalt kesimi, asfalt/kırmataş/şose sökümü, makine ile kazı, beton boru döşemesi, prefabrik muayene bacası montajı, ızgara/menhol temini ve yerleştirilmesi gibi pek çok farklı kalemin bulunduğu görülür. Bu kalemlerin rayiç bedelleri, ilgili resmi kurumlar (örneğin İller Bankası, Karayolları Genel Müdürlüğü, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı vb.) tarafından yayımlanan 2024 yılı birim fiyat cetvellerine dayanmaktadır.

Aşağıda yer alan bazı başlıklar ve bunların projelerdeki önemi şu şekilde özetlenebilir:

4.2.6.1. Asfalt İşleri ve Söküm

Her Türlü Asfaltın Kesilmesi (TL/metre)

Asfalt, Kırmataş ve Şose Sökülmesi (TL/metreküp)

Altyapı kazıları veya üstyapı revizyonlarında, mevcut kaplamaların kesilmesi ve sökülmesi ilk aşamada yapılır. Burada belirlenen rayiç bedeller, işin m² veya m³ bazında hacmine/alanına göre çarpılarak maliyet tahmini yapılmasını sağlar.

4.2.6.2. Kazı ve Dolgu İşleri

Makine ile Her Cins ve Klasta Zeminde Kazı Yapılması

Kırmataş Dolgu ve Sıkıştırma (0-11 mm, 12-32 mm vb. gradasyona göre)

4.2.6.3. Mıcır Serme, Sulama ve Sıkıştırma

Projede altyapı hendeklerinin veya temel inşaatlarının hazırlanması amacıyla yapılan kazı ve dolgu işlemleri, genellikle büyük miktarlara ulaşır. Birim fiyatlar (TL/m³) üzerinden miktar (kazı veya dolgu hacmi) ile çarpılarak bu kalemlerin maliyeti bulunur.

4.2.6.4. Beton ve Boru İmalatları

C25/30 Basınç Dayanım Sınıfında Hazır Beton (TL/metreküp)

Ø 300 mm'den Ø 2200 mm'ye kadar Beton Kanalizasyon Boruları (TL/metre)

Sülfata Dayanıklı Çimentodan Yapılmış Lamba Zıvanalı Beton Borular

Yağmursuyu veya atıksu hatlarının döşenmesinde kullanılan muflu veya lamba zıvanalı beton boruların çapı büyüdükçe, birim fiyat da artmaktadır. Ayrıca sülfata dayanıklı çimento gibi özel niteliklere sahip borular, standart beton borulara kıyasla daha yüksek rayiç bedellere sahiptir.

4.2.6.5. Prefabrik Baca Elemanları

Çıkış çapı Ø 300 mm'den Ø 600 mm'ye kadar taban elemanları (2 giriş, 1 çıkışlı)

Koni elemanı, gövde bileziği, boyun bileziği vb.

Muayene bacası yapımında kullanılan prefabrik parçalar, adet bazında (TL/adet) ücretlendirilir. Farklı yükseklik, iç çap veya et kalınlığına sahip bilezikler, konik elemanlar, baca tabanları ve kapakları, baca sayısı ve uygulanacak projedeki çap doğrultusunda seçilir.

4.2.6.6. *Izgara ve Menhol Elemanları*

60×60, 70×70 veya proje özel ölçülerinde sfero döküm ızgara, menhol kapağı

4.2.6.7. *Ig (Sfero Izgara Bedeli Hariç) vb. kalemler*

Yağmursuyu toplama sistemlerinde ızgara ve menholler, trafik yükü ve iklim koşulları gibi faktörlere dayanacak şekilde tasarlanır. Sfero döküm veya pik döküm kapak ve ızgaralar adet veya kilogram birim fiyatlarıyla hesaplanır.

4.2.6.8. *Nakliye İşlemleri*

Kanalizasyon, yağmursuyu malzemeleri nakli (TL/ton)

Şantiye dışına kazı malzeme ve moloz nakli (TL/ton, belirli mesafeye göre)

Proje kapsamında kullanılan veya çıkan malzemelerin nakliyesi, proje bütçesinde önemli bir yer tutar. Nakliye genellikle ton veya metreküp bazında, mesafeyle orantılı birim fiyatlar üzerinden değerlendirilir.

4.2.7. **Kalemlerin Rayiç Bedelleri**

4.2.7.1. *Her Türlü Asfaltın Kesilmesi*

Birim: Metrekare (m²)

Rayiç Bedeli: 358,95 TL

Açıklama: Mevcut asfalt kaplamanın, projede belirtilen alanlarda kesilerek kaldırılması veya düzenlenmesi amacıyla yapılan işlemdir.

4.2.7.2. *Asfalt, Kırma Taş ve Sös Sökülmesi (Çıkan Malzemelerin Nakli Dahil)*

Birim: Metreküp (m³)

Rayiç Bedeli: 173,85 TL

Açıklama: Mevcut yol kaplaması veya dolgu malzemesi (asfalt, kırma taş vb.) yerinden sökülerek çıkartılır ve uygun döküm alanına taşınır. Nakliye maliyeti fiyata dâhildir.

4.2.7.3. *Makine ile Her Derinlik ve Her Genişlikte Her Cins ve Klasik İzinde Kazı Yapılması (Kazıdan Çıkan Malzemenin Nakli Hariç)*

Birim: Metreküp (m³)

Rayiç Bedeli: 141,30 TL

Açıklama: Farklı zemin türlerinde (killi, kumlu, kayalık vb.) her derinlik ve genişlikte kazı yapılması işidir. Kazı sonucu çıkan malzemenin nakli bu kaleme dâhil değildir.

4.2.7.4. *Konkasöre Kırılmış 0–11 mm Çapında Kırma Taşın Kompakte Edilerek Hendek ve Temel Tabanı Islahı, Boru Tabanı Yataklaması ve Borunun Gömleklenme Yapılması (Kırmataşın İş Başına Nakli Hariç)*

Birim: Metreküp (m³)

Rayiç Bedeli: 70,10 TL

Açıklama: Hendek tabanının iyileştirilmesi, boru yatağının hazırlanması ve boru etrafının doldurulması için ince kırma taşın serilmesi ve sıkıştırılması işini kapsar. Kırma taşın şantiyeye nakli bu kalemin dışında tutulur.

4.2.7.5. *Nitelikli Dolgu Temin Edilerek, Serme, Sulama ve Sıkıştırma Yapılması (Malzeme 12–32 mm Arası Kırmataş)*

Birim: Metreküp (m³)

Rayiç Bedeli: 514,85 TL

Açıklama: Projede öngörülen nitelikli dolgu malzemesinin (12–32 mm arası kırmataş) temini, kontrollü serimi, nemlendirilmesi ve tabakalar hâlinde sıkıştırılması işlemidir. Nakliye ayrı kalem olarak değerlendirilebilir.

4.2.7.6. *C25/30 Basınç Dayanımı Sınıfında, Gri Renkte, Normal Hazır Beton Dökülmesi (Beton Nakli Dahil)*

Birim: Metreküp (m³)

Rayiç Bedeli: 604,30 TL

Açıklama: Gerek altyapı gerek üstyapı elemanlarının betonlanmasında kullanılan C25/30 sınıfı hazır betonun şantiyeye getirilmesi ve dökülmesi işini içerir.

4.2.7.7. 300 mm Muflu Beton Kanalizasyon Borularının Döşenmesi

(500 Düzlü, Buhar Kürlü, Entegre Contalı, Baş Bağlama ve Sızdırmazlık Bedeli Dâhil)

Birim: Metre (m)

Rayiç Bedeli: 180,95 TL

Açıklama: 300 mm çapındaki muflu beton boruların, contalar ve sızdırmazlık malzemeleriyle birlikte kanalizasyon hattına döşenmesidir.

4.2.7.8. 400 mm Muflu Beton Kanalizasyon Borularının Döşenmesi

Birim: Metre (m)

Rayiç Bedeli: 240,75 TL

Açıklama: 400 mm çapında, entegre contalı ve buhar kürlü boruların kanalizasyon veya benzer altyapı hatlarında kullanılması işlemidir.

4.2.7.9. 500 mm Muflu Beton Kanalizasyon Borularının Döşenmesi

Birim: Metre (m)

Rayiç Bedeli: 312,25 TL

Açıklama: 500 mm çapındaki beton boruların döşenmesi ve sızdırmaz şekilde eklenmesi. Özellikle atıksu veya yağmursuyu hatlarında tercih edilir.

4.2.7.10. 600 mm Muflu Beton Kanalizasyon Borularının Döşenmesi

Birim: Metre (m)

Rayiç Bedeli: 493,50 TL

Açıklama: Büyük çaptaki atıksu ve kanalizasyon hatları için kullanılan 600 mm çaplı muflu beton boruların montajı ve ek yerlerinin sızdırmaz şekilde birleştirilmesi.

4.2.7.11. 700 mm Muflu Beton Kanalizasyon Borularının Döşenmesi

Birim: Metre (m)

Rayiç Bedeli: 575,10 TL

Açıklama: 700 mm çaplı beton boruların döşenmesi. Buhar kürlü imalat sayesinde boruların dayanımı artırılır ve ek noktalarında entegre conta kullanılır.

4.2.7.12. 800 mm Muflu Beton Kanalizasyon Borularının Döşenmesi

Birim: Metre (m)

Rayiç Bedeli: 632,60 TL

Açıklama: Özellikle yüksek debili kanalizasyon veya yağmursuyu hatlarında tercih edilen 800 mm çaplı boruların döşemesini içerir.

4.2.7.13. 1000 mm Muflu Beton Kanalizasyon Borularının Döşenmesi

Birim: Metre (m)

Rayiç Bedeli: 1030,25 TL

Açıklama: Geniş çaplı altyapı hatlarında kullanılan 1 metre çapındaki beton boruların, contalı ve sızdırmaz şekilde döşenmesidir.

4.2.7.14. 1200 mm Muflu Beton Kanalizasyon Borularının Döşenmesi

Birim: Metre (m)

Rayiç Bedeli: 1450,85 TL

Açıklama: Çapı 1200 mm olan borular, yüksek taşıma kapasitesi ve dayanıklılık gerektiren ana kolektör hatlarında uygulanır.

4.2.7.15. 1400 mm Muflu Beton Kanalizasyon Borularının Döşenmesi

Birim: Metre (m)

Rayiç Bedeli: 1780,50 TL

Açıklama: Şehir şebekesinde büyük miktarda atıksu veya yağmursuyu taşıyacak ana hatlarda kullanılan 1400 mm çapındaki beton boruların imalatıdır.

4.2.7.16. Çıkış Çapı Ø 300 mm Prefabrik Muayene Bacası Taban

*Elemanlarıyla Muayene Bacası Teşkili (1 Giriş, 1 Çıkış, H=1,20 m,
Conta Bedeli Hariç, Buhar Kürlü, Entegre Contalı)*

Birim: Adet

Rayiç Bedeli: 2815,60 TL

Açıklama: Ø 300 mm çıkış çapına uygun taban elemanı kullanarak muayene bacası kurma işidir. Giriş-çıkış bağlantıları ve sızdırmazlık contaları projeye göre ayrıca değerlendirilir.

4.2.7.17. Çıkış Çapı Ø 600 mm Prefabrik Muayene Bacası Taban

*Elemanlarıyla Muayene Bacası Teşkili (1 Giriş, 1 Çıkış, H=1,50 m,
Conta Bedeli Hariç, Buhar Kürlü, Entegre Contalı)*

Birim: Adet

Rayiç Bedeli: 3420,75 TL

Açıklama: 600 mm çapında çıkışa sahip muayene bacası taban elemanının prefabrik olarak temini ve montajını içerir. Conta maliyeti ayrıca hesaplanır.

4.2.7.18. Çıkış Çapı Ø 1200 mm Prefabrik Muayene Bacası Taban

*Elemanlarıyla Muayene Bacası Teşkili (1 Giriş, 1 Çıkış, H=2,00 m,
Conta Bedeli Hariç, Buhar Kürlü, Entegre Contalı)*

Birim: Adet

Rayiç Bedeli: 11.503,00 TL

Açıklama: Büyük çaplı (1200 mm) bacalar için, prefabrik taban elemanı ile oluşturulan muayene bacası yapısıdır. Yüksek debili hatların bakım ve kontrolünü kolaylaştırır.

4.2.7.19. Prefabrik Muayene Baca Elemanı (Belli Çap ve Yüksekliklerde,

Buhar Kürlü, Entegre Contalı, Conta Bedeli Hariç)

Birim: Adet

Rayiç Bedeli: 1150,30 TL

Açıklama: Standart ölçülerde prefabrik baca segmentinin temini ve yerleştirilmesi. İhtiyaç duyulan yüksekliğe göre üst üste eklenerek baca gövdesi oluşturulur.

4.2.7.20. Muayene Bacası Gövde Bileziği (H=0,50 m – 1,00 m Arası, Buhar Kürlü, Entegre Contalı)

Birim: Adet

Rayiç Bedeli: 650,75 TL

Açıklama: Muayene bacasının yüksekliğini arttırmak veya ayarlamak için kullanılan gövde bilezikleridir. Buhar kürlü üretimle mukavemet kazandırılmıştır.

4.2.7.21. Üst Baca Elemanı (Baca Teşi veya Baca Kapağı Takılacak Şekilde)

Birim: Adet

Rayiç Bedeli: 780,50 TL

Açıklama: Muayene bacasının üst kısmını kapatmaya veya kapak montajına elverişli olacak şekilde tasarlanmış prefabrik elemandır.

4.2.7.22. Baca Kapağı (Dairesel veya Kare Form, Trafik Yüküne Dayanıklı)

Birim: Adet

Rayiç Bedeli: 450,00 TL

Açıklama: Muayene bacalarını trafiğe veya diğer dış etkilere karşı güvenli hâle getirmek için takılan kapaklardır. Gerekli yük sınıflarına göre seçilir.

4.2.7.23. Yarım Baca Elemanı (Yükseklik Ayarı Amaçlı, Buhar Kürlü, Entegre Contalı)

Birim: Adet

Rayiç Bedeli: 315,60 TL

Açıklama: Daha ince seviyelerde yükseklik düzenlemesi yapmayı sağlar. Diğer baca parçalarıyla aynı sızdırmazlık ve dayanıklılık özelliklerine sahiptir.

4.2.7.24. Stabilize Dolgu (0–45 mm Karışım)

Birim: Metreküp (m³)

Rayiç Bedeli: 145,25 TL

Açıklama: Zemin iyileştirme veya kaplama öncesi dolgu işleminde kullanılan, farklı tane boyutlarının belirli oranlarda karıştırıldığı malzemedir.

4.2.7.25. Kireçli Dolgu

Birim: Metreküp (m³)

Rayiç Bedeli: 185,00 TL

Açıklama: Özellikle yumuşak veya suya doygun zeminlerin taşıma kapasitesini artırmak amacıyla kireçle zenginleştirilmiş dolgu uygulamasıdır.

4.2.7.26. Kırma Taş Dolgu (Orta Granülometri, 8–32 mm)

Birim: Metreküp (m³)

Rayiç Bedeli: 220,10 TL

Açıklama: Proje sahasında sert, sağlam ve drenaj özelliği yüksek dolgu elde etmek için kullanılan kırma taş malzemesidir.

4.2.7.27. Katmanlar Hâlinde Sıkıştırma ve Tesviye

Birim: Metreküp (m³)

Rayiç Bedeli: 35,00 TL

Açıklama: Serilen dolgu veya stabilize malzemenin, projenin öngördüğü tabaka kalınlıklarında sıkıştırılarak yüzeyin hazır hale getirilmesidir.

4.2.7.28. Kazıdan Çıkan Malzemenin Şantiye Dışına Nakli (Ortalama Nakliye Mesafesi 40 km)

Birim: Ton (t)

Rayiç Bedeli: 52,00 TL

Açıklama: Kazı işlemleri sonucu elde edilen malzemenin, ortalama 40 km mesafede bulunan bir döküm veya depolama alanına nakledilmesidir.

4.2.7.29. Sökülen Asfalt ve Molozun Şantiye Dışına Nakli (Ortalama Nakliye Mesafesi 45 km)

Birim: Ton (t)

Rayiç Bedeli: 47,50 TL

Açıklama: Yol veya diğer yüzeylerden sökülen asfalt ve molozun uzak bir hafriyat sahasına sevk edilmesi sürecini kapsar.

4.2.7.30. Yağmursuyu Hattı Yapımı (Boru Döşeme, Prefabrik Baca-Zara Elemanlarının Nakliyesi)

Birim: Metre (m)

Rayiç Bedeli: 320,40 TL

Açıklama: Yağmursuyu drenaj sistemlerinde kullanılan boru ve bacaların döşenmesi, gerekli bağlantı elemanlarının eklenmesi, nakliye ve montaj işlerini içerir.

4.2.7.31. Atıksu Hattı Yapımı ve Büz Boru, Prefabrik Baca-Zara Elemanlarının Nakliyesi

Birim: Metre (m)

Rayiç Bedeli: 350,00 TL

Açıklama: Atıksu kolektör veya tali hatlarının döşenmesi, bacalarının yerleştirilmesi ile bu malzemelerin şantiye sahasına taşınması sürecini kapsamaktadır.

4.2.7.32. Şantiye Dışına Kamyonla Kazı Malzemesi ve Moloz Nakli (Ortalama Nakliye Mesafesi 35 km)

Birim: Ton (t) - km

Rayiç Bedeli: 45,00 TL

Açıklama: Moloz veya kazı artığı malzemelerin 35 km mesafedeki döküm sahasına taşınmasıdır. Ekipman ve yakıt giderleri bu kaleme dahildir.

4.2.7.33. Şantiye Dışına Kamyonla Kazı Malzemesi ve Moloz Nakli (Ortalama Nakliye Mesafesi 40 km)

Birim: Ton (t) - km

Rayiç Bedeli: 50,00 TL

Açıklama: Kazı çalışmaları sonucu çıkan atık veya kullanılmayacak malzemelerin, ortalama 40 km uzaklığa taşınarak uygun alanlarda bertaraf edilmesidir

4.3. Yıllık Tekerrüre Göre Maliyetler

Aşağıdaki tablolarda yıllık tekerrür miktarlarına göre maliyet analizleri paylaşılmıştır.

4.3.1. 5 Yıllık Dönüş Aralığına Göre Tasarlanan Yağmursuyu Hattının Yaklaşık Maliyeti

[illegible]

4.3.1.1. GİRİŞ

Bu bölümde, 5 yıllık tasarım projelerinin maliyet analizi hesaplamalarının detayları sunulacaktır. Hesaplamalar, toplam maliyetin hesaplanması, en yüksek maliyetli iş kalemlerinin belirlenmesi ve genel dağılımı ışığında maliyet yapısının incelenmesini kapsamaktadır. Ayrıca, bu analiz, proje yönetimi açısından maliyetlerin etkin kontrolü ve kaynak dağılımının önemi üzerine odaklanmaktadır.

4.3.1.2. GENEL TOPLAM MALİYET

Toplam maliyet, projeye dahil olan tüm iş kalemlerinin maliyetlerinin toplanmasıyla hesaplanmıştır. Aşağıdaki formül kullanılmıştır:

Bu formülde:

projeye dahil olan toplam iş kalemi sayısıdır.

her bir iş kaleminin toplam tutarını ifade eder.

Toplam maliyetin belirlenmesi, tüm proje kapsamını etkileyen stratejik kararları desteklemek için kritik bir adımdır. Hesaplama sonucunda toplam maliyet 30.568.335,77 TL olarak bulunmuştur. İş kalemleri arasında bu maliyetin paylaşımı aşağıdaki detaylarda ele alınmıştır.

4.3.1.3. EN YÜKSEK MALİYETLİ İŞ KALEMLERİ

En yüksek maliyetli iş kalemleri, tüm iş kalemleri arasından maliyet bazında azalan şekilde sıralanarak belirlenmiştir. Bu hesaplama için izlenen adımlar şunlardır:

Her iş kaleminin maliyeti liste halinde sıralanmıştır.

Maliyetlerin azalan şekilde sıralanması sağlanmıştır.

İlk 5 iş kalemi, en yüksek maliyetli kalemler olarak seçilmiştir.

Bu analiz, projenin odaklanması gereken maliyetli alanlarını belirleyerek kaynakların etkin kullanımını desteklemektedir. En yüksek maliyetli iş kalemleri ve tutarları şu şekildedir:

Konkasörle Kırılmış 0-11 mm Çapında Kırma Taşı Temini: 4,854,023 TL

Mıcır Temini ve Serme İşlemleri: 5,493,384 TL

Makine ile Her Derinlikte Hafriyat Çıkarılması: 3,155,914 TL

Asfalt, Kırma Taş ve Şoşe Sökülmesi: 677,042 TL

Her Türlü Asfaltın Kesilmesi: 220,474 TL

4.3.1.4. MALİYET DAĞILIMI

Maliyet dağılımı, tüm iş kalemlerinin maliyetlerinin toplam maliyete oranı olarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki formül uygulanmıştır:

Bu hesaplama sonucunda, en yüksek maliyetli kalemlerin toplam maliyetin yüzde 60'ını oluşturduğu görülmüştür. Detaylı oranlar aşağıdaki gibidir:

Konkasörle Kırılmış 0-11 mm Çapında Kırma Taşı Temini: %20.7

Mıcır Serme: %23.4

Hafriyat: %13.4

Diğer Kalemler: %42.5

Bu oranlar, kaynakların hangi alanlara yoğunlaştırılması gerektiğini göstermekte ve maliyet verimliliğini optimize etmek için önemli çıkarımlar sunmaktadır.

4.3.1.5. SONUÇ

Bu hesaplamalar ışığında, proje maliyetlerinin %60'ının 3 ana kalemden oluştuğu anlaşılmıştır. Bu kalemler proje maliyetinin etkin bir şekilde kontrol edilebilmesi için öncelikli olarak ele alınmalıdır. Ayrıca, bu analiz sonucunda:

Yüksek maliyetli iş kalemlerine odaklanılarak tasarruf fırsatları tespit edilmiştir.

Daha düşük maliyetli kalemlerde de verimlilik artışı için iyileştirme alanları belirlenmiştir.

Maliyet analizinin proje takibinde karar alma süreçlerini iyileştirdiği ortaya konmuştur.

Bu bilgiler, gelecekteki projeler için daha etkin maliyet yönetimi stratejileri geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

4.3.2. 25 Yıllık Dönüş Aralığına Göre Tasarlanan Yağmursuyu Hattının Yaklaşık Maliyeti

İş Kalemi	Toplam Tutar
HER TÜRLÜ ASFALTIN KESİLMESİ	₺. 220.653,74
ASFALT KIRMA, TAŞ VE SOSE SOKULMASI (ÇIKAN MALZEMELERİN NAKLİ HARIC)	₺. 718.856,68
MAKİNE İLE HER DERİNLİK VE HER GENİŞLİKTE HER CİNS VE KLASTAK ZEMİNDE KAZI YAPILMASI VE BORUNUN GÖMLEKLEME YAPILMASI (KIRMA TAŞIN İŞ BAŞINA NAKLİ HARİC)	₺. 3.433.020,36
KONKASÖRLE KIRILMIŞ 1-1 MM ÇAPINDA KIRMA TAŞIN KOMPAKTOR İLE SIKIŞTIRILARAK HENDEK VE TEMEL TABANIN İSLAHİ, BORU TABANINI YATKILAMASI VE BORUNUN GÖMLEKLEME YAPILMASI (KIRMA TAŞIN İŞ BAŞINA NAKLİ HARİC)	₺. 5.354.362,07
MİCİR TEMİN EDİLEREK, EL İLE SERME, SULAMA VE SIKIŞTIRMA YAPILMASI MALZEME 12-32 MM ARASI KIRMA TAŞ ALINACAK TIRI (KIRMA TAŞIN İŞ BAŞINA NAKLİ HARİC)	₺. 5.695.432,63
BETON SANTRALİNDE ÜRETİLEN VEYA SATIN ALINAN VE BETON POMPASIYLA BASILAN, C35/30 BASINÇ DAYANIM SINIFINDA, GRI RENKTE, NORMAL HAZIR BETON DOKÜLMESİ (BETON NAKLİ DAHİL)	₺. -
Ø 300 MM MUJFLU BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 178.549,16
Ø 400 MM MUJFLU BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 185.416,20
Ø 500 MM MUJFLU BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 227.770,52
Ø 600 MM MUJFLU BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 756.932,15
Ø 800 MM MUJFLU BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 2.128.232,37
Ø 1000 MM MUJFLU BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 1.850.674,15
Ø 1200 MM MUJFLU BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. -
Ø 1400 MM MUJFLU BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (SÜLFATA DAYANIKLI ÇİMENTODAN YAPILMIŞ, 500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 1.288.091,35
Ø 1600 MM MUJFLU BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (SÜLFATA DAYANIKLI ÇİMENTODAN YAPILMIŞ, 500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 3.141.317,06
Ø 1800 MM LAMBA ZIVANALI BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 2.755.978,18
Ø 2000 MM LAMBA ZIVANALI BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 4.957.943,73
Ø 2200 MM LAMBA ZIVANALI BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. -
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 300 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TABAN ELEMANLARIYLA MUAYENE BACASI TEŞKİL EDİLMESİ (2 GİRİŞ, 1 ÇIKIŞLI) (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, CONTA BEDELLİ HARİC)	₺. 40.151,37
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 400 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TABAN ELEMANLARIYLA MUAYENE BACASI TEŞKİL EDİLMESİ (2 GİRİŞ, 1 ÇIKIŞLI) (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, CONTA BEDELLİ HARİC)	₺. 13.571,49
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 500 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TABAN ELEMANLARIYLA MUAYENE BACASI TEŞKİL EDİLMESİ (2 GİRİŞ, 1 ÇIKIŞLI) (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, CONTA BEDELLİ HARİC)	₺. 12.000,00
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 600 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TABAN ELEMANLARIYLA MUAYENE BACASI TEŞKİL EDİLMESİ (2 GİRİŞ, 1 ÇIKIŞLI) (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, CONTA BEDELLİ HARİC)	₺. 13.232,88
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 800 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TABAN ELEMANLARIYLA MUAYENE BACASI TEŞKİL EDİLMESİ (1 GİRİŞ, 1 ÇIKIŞLI, H=1,40M, CONTA BEDELLİ HARİC) (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI)	₺. 172.555,80
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 1000 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TABAN ELEMANLARIYLA MUAYENE BACASI TEŞKİL EDİLMESİ (1 GİRİŞ, 1 ÇIKIŞLI, H=1,70M, CONTA BEDELLİ HARİC) (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI)	₺. 80.536,04
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 1200 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TABAN ELEMANLARIYLA MUAYENE BACASI TEŞKİL EDİLMESİ (1 GİRİŞ, 1 ÇIKIŞLI, H=2,00M, CONTA BEDELLİ HARİC) (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI)	₺. -
PREFABRİK MUAYENE BACASI GÖVDE BİLEZİĞİ İLE BACA, TEŞKİLİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTA BAĞLANTILI, CONTA BEDELLİ DAHİL) (H0,60M İÇ ÇAP:1,00M ET KALINLIĞI:0,15M)	₺. 105.178,50
PREFABRİK MUAYENE BACASI GÖVDE BİLEZİĞİ İLE BACA, TEŞKİLİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTA BAĞLANTILI, CONTA BEDELLİ DAHİL) (H0,35M İÇ ÇAP:1,00M ET KALINLIĞI:0,15M)	₺. 40.300,00
PREFABRİK MUAYENE BACASI GÖVDE BİLEZİĞİ İLE BACA, TEŞKİLİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTA BAĞLANTILI, CONTA BEDELLİ DAHİL) (H0,15-0,60M DEĞİŞKEN, İÇ ÇAP:1,00M ET KALINLIĞI:0,15M)	₺. 32.240,00
PREFABRİK MUAYENE BACASI KONİK ELEMANI İLE BACA, TEŞKİLİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTA BAĞLANTILI, CONTA BEDELLİ DAHİL) (H0,68M DEĞİŞKEN, İÇ ÇAP:1,00M ET KALINLIĞI:0,15M)	₺. 173.237,50
PREFABRİK MUAYENE BACASI BOYUN BİLEZİĞİ ELEMANI İLE BACA, TEŞKİLİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTA BAĞLANTILI, CONTA BEDELLİ DAHİL) (H0,15M DEĞİŞKEN, İÇ ÇAP:0,62M ET KALINLIĞI:0,15M)	₺. 32.590,00
KANALİZASYON VE YAĞMURSUYU İNŞAATLARINDA, SFERO DOKUM İZGARAYA YA DA SFERO BACA KAPAĞI TEDARİK EDİLMESİ VE YERİNE KOYULMASI (İŞ BAŞINA NAKLİ DAHİL)	₺. 453.420,00
KIRMA TAŞ, TAŞ TOZU, KUM-CAKIL, STABİLİZE VB. MALZEMELERİN OCAKTAN NAKLİ (ORTALAMA NAKLİYE MESAFESİ 45 KM)	₺. 2.074.845,07
YAĞMURSUYU HATTI YAPIMINDA KULLANILAN BETON BUZ BORU, PREFABRİK BACA-İZGARA ELEMANLARININ NAKLİYESİ (ORTALAMA NAKLİYE MESAFESİ 35 KM)	₺. 184.347,63
ŞANTİYE DİŞİNA KAMYONLA KAZI MALZ. VE MOLÖZ NAKLİ (ORTALAMA NAKLİYE MESAFESİ 40 KM)	₺. 1.177.852,84
Toplam	₺. 37.699.219,49

4.3.2.1. GİRİŞ

Bu bölümde, 5 yıllık tasarım projelerinin maliyet analizi hesaplamalarının detayları sunulacaktır. Hesaplamalar, toplam maliyetin hesaplanması, en yüksek maliyetli iş kalemlerinin belirlenmesi ve genel dağılımı ışığında maliyet yapısının incelenmesini kapsamaktadır. Ayrıca, bu analiz, proje yönetimi açısından maliyetlerin etkin kontrolü ve kaynak dağılımının önemi üzerine odaklanmaktadır.

4.3.2.2. GENEL TOPLAM MALİYET

Toplam maliyet, projeye dahil olan tüm iş kalemlerinin maliyetlerinin toplanmasıyla hesaplanmıştır. Aşağıdaki formül kullanılmıştır:

Bu formülde:

projeye dahil olan toplam iş kalemi sayısıdır.

her bir iş kaleminin toplam tutarını ifade eder.

Toplam maliyetin belirlenmesi, tüm proje kapsamını etkileyen stratejik kararları desteklemek için kritik bir adımdır. Hesaplama sonucunda toplam maliyet 30.568.335,77 TL olarak bulunmuştur. İş kalemleri arasında bu maliyetin paylaşımı aşağıdaki detaylarda ele alınmıştır.

4.3.2.3. EN YÜKSEK MALİYETLİ İŞ KALEMLERİ

En yüksek maliyetli iş kalemleri, tüm iş kalemleri arasından maliyet bazında azalan şekilde sıralanarak belirlenmiştir. Bu hesaplama için izlenen adımlar şunlardır:

Her iş kaleminin maliyeti liste halinde sıralanmıştır.

Maliyetlerin azalan şekilde sıralanması sağlanmıştır.

İlk 5 iş kalemi, en yüksek maliyetli kalemler olarak seçilmiştir.

Bu analiz, projenin odaklanması gereken maliyetli alanlarını belirleyerek kaynakların etkin kullanımını desteklemektedir. En yüksek maliyetli iş kalemleri ve tutarları şu şekildedir:

Konkasörle Kırılmış 0-11 mm Çapında Kırma Taşı Temini: 5,695,423 TL

Mıcır Temini ve Serme İşlemleri: 5,554,362 TL

Makine ile Her Derinlikte Hafriyat Çıkarılması: 3,433,020 TL

4.3.2.4. MALİYET DAĞILIMI

Maliyet dağılımı, tüm iş kalemlerinin maliyetlerinin toplam maliyete oranı olarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki formül uygulanmıştır:

Bu hesaplama sonucunda, en yüksek maliyetli kalemlerin toplam maliyetin yüzde 60'ını oluşturduğu görülmüştür. Detaylı oranlar aşağıdaki gibidir:

Konkasörle Kırılmış 0-11 mm Çapında Kırma Taşı Temini: %15

Mıcır Temini ve Serme: %15

Ø 2000 mm Lamba Zıvanalı Beton Kanalizasyon Borularının Döşenmesi: %13

Diğer Kalemler: %57

Bu oranlar, kaynakların hangi alanlara yoğunlaştırılması gerektiğini göstermekte ve maliyet verimliliğini optimize etmek için önemli çıkarımlar sunmaktadır.

4.3.2.5. SONUÇ

Bu hesaplamalar ışığında, proje maliyetlerinin %43'ünün 3 ana kalemden oluştuğu anlaşılmıştır. Bu kalemler proje maliyetinin etkin bir şekilde kontrol edilebilmesi için öncelikli olarak ele alınmalıdır. Ayrıca, bu analiz sonucunda:

Yüksek maliyetli iş kalemlerine odaklanılarak tasarruf fırsatları tespit edilmiştir.

Daha düşük maliyetli kalemlerde de verimlilik artışı için iyileştirme alanları belirlenmiştir.

Maliyet analizinin proje takibinde karar alma süreçlerini iyileştirdiği ortaya konmuştur.

Bu bilgiler, gelecekteki projeler için daha etkin maliyet yönetimi stratejileri geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

4.3.3. 50 Yıllık Dönüş Aralığına Göre Tasarlanan Yağmursuyu Hattının Yaklaşık Maliyeti

İş Kalemi	Toplam Tutar
HER TÜRLÜ ASFALTIN KESİLMESİ	₺. 220.675,28
HER TÜRLÜ KIRMA TAŞ VE SOSE SÖKÜLMESİ (ÇIKAN MALZEMELERİN NAKLİ DAHİL)	₺. 726.167,67
MAKİNE İLE HER DİRNLİK VE HER GENİŞLİKTE HER CİNS VE KLASTAKİ ZEMİNDE KAZI YAPILMASI (KAZIDAN ÇIKAN MALZEMENİN NAKLİ HARİC)	₺. 3.469.565,88
KONKASORLE KIRILMAS 0+11 MM ÇAPINDA KIRMA TAŞIN KOMPAKTOR İLE SIKIŞTIRILARAK HENDEK VE TEMEL TABAN İSLAHİ, BORU TABANINI YATIKLAMASI VE BORUNUN GÖMLEKLEME YAPILMASI (KIRMATAŞIN İŞ BAŞINA NAKLİ HARİC)	₺. 5.561.762,89
MICR TEMİN EDİLEREK ELİ İLE SERME, SÜLAMA VE SIKIŞTIRMA YAPILMASI (HAT 12-32 MM ARASI KIRMATAŞ ALINACAKTIR) (KIRMATAŞIN İŞ BAŞINA NAKLİ HARİC)	₺. 5.720.767,22
BETON SANTRALİNDE ÜRETİLEN VEYA SATIN ALINAN VE BETON POMPASIYLA BASILAN, C25/30 BASINÇ DAYANIMI SINIFINDA, GRI RENKTE, NORMAL HAZIR BETON DÖKÜLMESİ (BETON NAKLİ DAHİL)	₺. -
Ø 300 MM MÜFLÜ BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTALI; BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 178.549,16
Ø 400 MM MÜFLÜ BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTALI; BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 185.416,20
Ø 500 MM MÜFLÜ BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTALI; BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 227.770,97
Ø 600 MM MÜFLÜ BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTALI; BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 593.259,41
Ø 800 MM MÜFLÜ BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTALI; BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 1.899.021,19
Ø 1000 MM MÜFLÜ BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTALI; BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 2.537.494,00
Ø 1200 MM MÜFLÜ BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTALI; BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 330.686,54
Ø 1400 MM MÜFLÜ BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (SÜLFATA DAYANIKLI ÇİMENTODAN YAPILMIŞ, 500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTALI; BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 1.288.031,35
Ø 1600 MM MÜFLÜ BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (SÜLFATA DAYANIKLI ÇİMENTODAN YAPILMIŞ, 500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTALI; BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 3.141.317,06
Ø 1800 MM LAMBA ZİVANALI BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTALI; BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 2.755.978,18
Ø 2000 MM LAMBA ZİVANALI BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTALI; BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. 4.638.588,11
Ø 2200 MM LAMBA ZİVANALI BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTALI; BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELLİ DAHİL)	₺. -
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 300 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TESKİL EDİLMESİ (2 GİRİŞ, İÇİKİŞLİ; 500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTALI; CONTA BEDELLİ HARİC)	₺. 40.151,37
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 400 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TESKİL EDİLMESİ (2 GİRİŞ, İÇİKİŞLİ; 500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTALI; CONTA BEDELLİ HARİC)	₺. 13571,49
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 500 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TESKİL EDİLMESİ (2 GİRİŞ, İÇİKİŞLİ; 500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTALI; CONTA BEDELLİ HARİC)	₺. 12.000,00
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 600 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TESKİL EDİLMESİ (2 GİRİŞ, İÇİKİŞLİ; 500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTALI; CONTA BEDELLİ HARİC)	₺. 11.027,40
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 800 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TESKİL EDİLMESİ (1 GİRİŞ, İÇİKİŞLİ, H=1,40M; CONTA BEDELLİ HARİC) (500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTALI)	₺. 161.052,08
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 1000 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TESKİL EDİLMESİ (1 GİRİŞ, İÇİKİŞLİ, H=1,70M; CONTA BEDELLİ HARİC) (500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTALI)	₺. 80.526,04
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 1200 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TESKİL EDİLMESİ (1 GİRİŞ, İÇİKİŞLİ, H=2,00M; CONTA BEDELLİ HARİC) (500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTALI)	₺. 11.503,72
PREFABRİK MUAYENE BACASI GÖVDE BİLEZİĞİ İLE BACA TESKİLİ (500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTA BAĞLANTILI; CONTA BEDELLİ DAHİL) (H4/60M) (Ç. ÇAPI Ø 1000 ET KALINLIĞI Ø 15M)	₺. 10.1672,55
PREFABRİK MUAYENE BACASI GÖVDE BİLEZİĞİ İLE BACA TESKİLİ (500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTA BAĞLANTILI; CONTA BEDELLİ DAHİL) (H4/35M) (Ç. ÇAPI Ø 1000 ET KALINLIĞI Ø 15M)	₺. 40.300,00
PREFABRİK MUAYENE BACASI GÖVDE YÜKSEKLİĞİ AYAR BİLEZİĞİ İLE BACA TESKİLİ (500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTA BAĞLANTILI; CONTA BEDELLİ DAHİL) (HØ15/60M) DEĞİŞKEN, (Ç. ÇAPI Ø 1000 ET KALINLIĞI Ø 15M)	₺. 26.185,00
PREFABRİK MUAYENE BACASI KONİK ELEMANI İLE BACA TESKİLİ (500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTA BAĞLANTILI; CONTA BEDELLİ DAHİL) (HØ65M) DEĞİŞKEN, (Ç. ÇAPI Ø 1000 ET KALINLIĞI Ø 15M)	₺. 166.306,00
PREFABRİK MUAYENE BACASI BOYUN BİLEZİĞİ ELEMANI İLE BACA TESKİLİ (500 DOZLU; BUHAR KÜRLÜ; ENTEGRE CONTA BAĞLANTILI; CONTA BEDELLİ DAHİL) (HØ15M) DEĞİŞKEN, (Ç. ÇAPI Ø 62M ET KALINLIĞI Ø 15M)	₺. 32.590,00
KANALİZASYON VE YAĞMURSUYU İNSAATLARINDA; SFERO DÖKÜM İZGARAYA YA DA SFERO BACA ÇAPAGI TEDARİK EDİLMESİ VE YERİNE KONULMASI (İŞ BAŞINA NAKLİ DAHİL)	₺. 435.283,20
KIRMA TAŞ, TAŞ TOZU, KUMA-ÇAKIL, STABİLİZE VB. MALZEMELERİN OKATKAN NAKLİ (ORTALAMA NAKLİYE MESAFESİ 45 KM)	₺. 2.098.209,60
YAĞMURSUYU HATTI YAPIMINDA KULLANILAN BETON BÜZ BORU, PREFABRİK BACA-İZGARARA ELEMANLARININ NAKLİYESİ (ORTALAMA NAKLİYE MESAFESİ 35 KM)	₺. 189.663,90
ŞANTİYE DİŞİNA KAMYONLA KAZI MALZ. VE MOLOZ NAKLİ (ORTALAMA NAKLİYE MESAFESİ 40 KM)	₺. 1.190.391,43
Toplam	₺. 38.185.497,48

4.3.3.1. GİRİŞ

Bu bölümde, 50 yıllık tasarım projelerinin maliyet analizi hesaplamalarının detayları sunulacaktır. Hesaplamalar, toplam maliyetin hesaplanması, en yüksek maliyetli iş kalemlerinin belirlenmesi ve genel dağılımı ışığında maliyet yapısının incelenmesini kapsamaktadır. Ayrıca, bu analiz, proje yönetimi açısından maliyetlerin etkin kontrolü ve kaynak dağılımının önemi üzerine odaklanmaktadır.

4.3.3.2. GENEL TOPLAM MALİYET

Toplam maliyet, projeye dahil olan tüm iş kalemlerinin maliyetlerinin toplanmasıyla hesaplanmıştır. Aşağıdaki formül kullanılmıştır:

Bu formülde:

Projeye dahil olan toplam iş kalemi sayısıdır.

Her bir iş kaleminin toplam tutarını ifade eder.

Toplam maliyetin belirlenmesi, tüm proje kapsamını etkileyen stratejik kararları desteklemek için kritik bir adımdır. Hesaplama sonucunda toplam maliyet 38.185.497,48 TL olarak bulunmuştur. İş kalemleri arasında bu maliyetin paylaşımı aşağıdaki detaylarda ele alınmıştır.

4.3.3.3. EN YÜKSEK MALİYETLİ İŞ KALEMLERİ

En yüksek maliyetli iş kalemleri, tüm iş kalemleri arasından maliyet bazında azalan şekilde sıralanarak belirlenmiştir. Bu hesaplama için izlenen adımlar şunlardır:

Her iş kaleminin maliyeti liste halinde sıralanmıştır.

Maliyetlerin azalan şekilde sıralanması sağlanmıştır.

İlk 5 iş kalemi, en yüksek maliyetli kalemler olarak seçilmiştir.

Bu analiz, projenin odaklanması gereken maliyetli alanlarını belirleyerek kaynakların etkin kullanımını desteklemektedir. En yüksek maliyetli iş kalemleri ve tutarları şu şekildedir:

Konkasörle Kırılmış 0-11 mm Çapında Kırma Taşı Temini: 5,720,767 TL

Mıcır Temini ve Serme İşlemleri: 5,661,762TL

Makine ile Her Derinlikte Hafriyat Çıkarılması: 4,638,588TL

4.3.3.4. MALİYET DAĞILIMI

Maliyet dağılımı, tüm iş kalemlerinin maliyetlerinin toplam maliyete oranı olarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki formül uygulanmıştır: Bu hesaplama sonucunda, en yüksek maliyetli kalemlerin toplam maliyetin yüzde 42'ini oluşturduğu görülmüştür. Detaylı oranlar aşağıdaki gibidir:

Konkasörle Kırılmış 0-11 mm Çapında Kırma Taşı Temini: %15

Mıcır Temini ve Serme: %15 Ø 2000 mm Lamba Zıvanalı Beton Kanalizasyon Borularının Döşenmesi: %12 Diğer Kalemler: %58

Bu oranlar, kaynakların hangi alanlara yoğunlaştırılması gerektiğini göstermekte ve maliyet verimliliğini optimize etmek için önemli çıkarımlar sunmaktadır.

4.3.3.5. SONUÇ

Bu hesaplamalar ışığında, proje maliyetlerinin %42'sinin 3 ana kalemden oluştuğu anlaşılmıştır. Bu kalemler proje maliyetinin etkin bir şekilde kontrol edilebilmesi için öncelikli olarak ele alınmalıdır. Ayrıca, bu analiz sonucunda:

Yüksek maliyetli iş kalemlerine odaklanılarak tasarruf fırsatları tespit edilmiştir.

Daha düşük maliyetli kalemlerde de verimlilik artışı için iyileştirme alanları belirlenmiştir.

Maliyet analizinin proje takibinde karar alma süreçlerini iyileştirdiği ortaya konmuştur.

Bu bilgiler, gelecekteki projeler için daha etkin maliyet yönetimi stratejileri geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

4.3.4. 100 Yıllık Dönüş Aralığına Göre Tasarlanan Yağmursuyu Hattının Yaklaşık Maliyeti

İş Kalemi	Toplam Tutar
HER TÜRLÜ ASFALTIN KESİLMESİ	₺ 220.782,97
ASFALT KIRMA, TAŞ VE ŞÖSE SÖKÜLMESİ (ÇIKAN MALZEMELERİN NAKLİ DAHİL)	₺ 750.220,63
MAKİNE İLE HER DERİNLİK VE HER GENİŞLİKTE HER CİNS VE KLASİTAKİ ZEMİNDE KAZI YAPILMASI (KAZIDAN ÇIKAN MALZEMENİN NAKLİ HARİC)	₺ 3.623.133,57
KONKRETE KIRILMIŞ 10-15 CM ÇAPINDA KIRMA TAŞIN KOMPAKTOR İLE SIKIŞTIRILARAK HENDEK VE TEMEL TABAN İSLAHİ, BÖRÜ TABANIN YATAKLAMASI VE BORUNUN GÖMLEKLEME YAPILMASI (KIRIMATAŞIN İŞ BAŞINA NAKLİ HARİC)	₺ 6.062.019,84
MİCİR TEMİN EDİLEREK, EL İLE SERME, SULAMA VE SIKIŞTIRMA YAPILMASI (12-33 CM ARASI KIRIMATAŞ ALINACAKTIR) (KIRIMATAŞIN İŞ BAŞINA NAKLİ HARİC)	₺ 5.856.394,53
BETON SANTRALİNDE ÜRETİLEN VEYA SATIN ALINAN VE BETON POMPASIYLA BAŞILAN, C25/30 BASINÇ DAYANIM SINIFINDA, GRI RENKTE, NORMAL HAZIR BETON DÖKÜLMESİ (BETON NAKLİ DAHİL)	₺ -
Ø 300 MM MUFLU BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELİ DAHİL)	₺ 178.549,16
Ø 400 MM MUFLU BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELİ DAHİL)	₺ 116.032,58
Ø 500 MM MUFLU BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELİ DAHİL)	₺ 127.627,47
Ø 600 MM MUFLU BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELİ DAHİL)	₺ 715.481,92
Ø 800 MM MUFLU BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELİ DAHİL)	₺ 1.333.652,02
Ø 1000 MM MUFLU BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELİ DAHİL)	₺ 3.694.342,14
Ø 1200 MM MUFLU BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELİ DAHİL)	₺ 330.696,54
Ø 1400 MM MUFLU BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (SÜLFATA DAYANIKLI ÇİMENTODAN YAPILMIŞ, 500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELİ DAHİL)	₺ 2.574.317,82
Ø 1600 MM MUFLU BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (SÜLFATA DAYANIKLI ÇİMENTODAN YAPILMIŞ, 500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELİ DAHİL)	₺ 1.344.268,34
Ø 1800 MM LAMBA ZIVANALI BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELİ DAHİL)	₺ 5.591.113,07
Ø 2000 MM LAMBA ZIVANALI BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELİ DAHİL)	₺ 2.489.240,94
Ø 2200 MM LAMBA ZIVANALI BETON KANALİZASYON BORULARININ DÖŞENMESİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELİ DAHİL)	₺ 6.246.096,40
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 300 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TEŞKİL EDİLMESİ (2 GİRİŞ, ÇIKIŞLI 500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, CONTA BEDELİ HARİC)	₺ 40.151,37
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 400 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TABAN ELEMANLARIYLA MUAYENE BACASI TEŞKİL EDİLMESİ (2 GİRİŞ, ÇIKIŞLI 500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, CONTA BEDELİ HARİC)	₺ 9.047,65
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 500 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TABAN ELEMANLARIYLA MUAYENE BACASI TEŞKİL EDİLMESİ (2 GİRİŞ, ÇIKIŞLI 500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, CONTA BEDELİ HARİC)	₺ 6.000,00
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 600 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TABAN ELEMANLARIYLA MUAYENE BACASI TEŞKİL EDİLMESİ (2 GİRİŞ, ÇIKIŞLI 500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI, CONTA BEDELİ HARİC)	₺ 13.232,88
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 800 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TABAN ELEMANLARIYLA MUAYENE BACASI TEŞKİL EDİLMESİ (1 GİRİŞ, ÇIKIŞLI, H=1,40M, CONTA BEDELİ HARİC) (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI)	₺ 115.037,20
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 1000 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TABAN ELEMANLARIYLA MUAYENE BACASI TEŞKİL EDİLMESİ (1 GİRİŞ, ÇIKIŞLI, H=1,70M, CONTA BEDELİ HARİC) (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI)	₺ 126.540,92
ÇIKIŞ ÇAPI Ø 1200 MM PREFABRİK MUAYENE BACASI TABAN ELEMANLARIYLA MUAYENE BACASI TEŞKİL EDİLMESİ (1 GİRİŞ, ÇIKIŞLI, H=2,00M, CONTA BEDELİ HARİC) (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTALI)	₺ 11.503,72
PREFABRİK MUAYENE BACASI GÖVDE BİLEZİĞİ İLE BACA TEŞKİLİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTA BAĞLANTILI, CONTA BEDELİ DAHİL) (H0,60M) (Ç ÇAPI Ø 1000 ET KALINLIĞI Ø10,15M)	₺ 98.186,60
PREFABRİK MUAYENE BACASI GÖVDE BİLEZİĞİ İLE BACA TEŞKİLİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTA BAĞLANTILI, CONTA BEDELİ DAHİL) (H0,35M) (Ç ÇAPI Ø 1000 ET KALINLIĞI Ø10,15M)	₺ 36.270,00
PREFABRİK MUAYENE BACASI KONİK ELEMANI İLE BACA TEŞKİLİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTA BAĞLANTILI, CONTA BEDELİ DAHİL) (H0,15M) (Ç ÇAPI Ø 1000 ET KALINLIĞI Ø10,15M)	₺ 28.270,00
PREFABRİK MUAYENE BACASI BOYUN BİLEZİĞİ ELEMANI İLE BACA TEŞKİLİ (500 DOZLU, BUHAR KÜRLÜ, ENTEGRE CONTA BAĞLANTILI, CONTA BEDELİ DAHİL) (H0,65M) DEĞİŞKEN, (Ç ÇAPI Ø 1000 ET KALINLIĞI Ø10,15M)	₺ 166.308,00
KANALİZASYON VE YAĞMURSUYU İNŞAATLARINDA; SFERO DÖKÜM İZGARAYA YA DA SFERO BACA KAPAĞI TEDARİK EDİLMESİ (H0,15M) DEĞİŞKEN, (Ç ÇAPI Ø 62M ET KALINLIĞI Ø10,15M)	₺ 32.590,00
KIRMA TAŞ, TAŞ TOZU, KUM-ÇAKIL, STABİLİZE VB. MALZEMELERİN OKAKTAN NAKLİ (ORTALAMA NAKLİYE MESAFESİ 45 KM)	₺ 435.283,20
YAĞMURSUYU HATTI YAPIMINDA KULLANILAN BETON BÜZ HORU, PREFABRİK BACA-İZGARA ELEMANLARININ NAKLİYESİ (ORTALAMA NAKLİYE MESAFESİ 35 KM)	₺ 2.193.425,10
SANİTİYE DIŞINA KAMYONLA KAZI MALZ. VE MOLÖZ NAKLİ (ORTALAMA NAKLİYE MESAFESİ 40 KM)	₺ 173.461,89
Toplam	₺ 1.243.079,77
	₺ 45.964.258,45

4.3.4.1. GİRİŞ

Bu bölümde, 100 yıllık tasarım projelerinin maliyet analizi hesaplamalarının detayları sunulacaktır. Hesaplamalar, toplam maliyetin hesaplanması, en yüksek maliyetli iş kalemlerinin belirlenmesi ve genel dağılımı ışığında maliyet yapısının incelenmesini kapsamaktadır. Ayrıca, bu analiz, proje yönetimi açısından maliyetlerin etkin kontrolü ve kaynak dağılımının önemi üzerine odaklanmaktadır.

4.3.4.2. GENEL TOPLAM MALİYET

Toplam maliyet, projeye dahil olan tüm iş kalemlerinin maliyetlerinin toplanmasıyla hesaplanmıştır. Aşağıdaki formül kullanılmıştır: Bu formülde: projeye dahil olan toplam iş kalemi sayısıdır. her bir iş kaleminin toplam tutarını ifade eder.

Toplam maliyetin belirlenmesi, tüm proje kapsamını etkileyen stratejik kararları desteklemek için kritik bir adımdır. Hesaplama sonucunda toplam maliyet 45.964.258,45 TL olarak bulunmuştur. İş kalemleri arasında bu maliyetin paylaşımı aşağıdaki detaylarda ele alınmıştır.

4.3.4.3. EN YÜKSEK MALİYETLİ İŞ KALEMLERİ

En yüksek maliyetli iş kalemleri, tüm iş kalemleri arasından maliyet bazında azalan şekilde sıralanarak belirlenmiştir. Bu hesaplama için izlenen adımlar şunlardır:

Her iş kaleminin maliyeti liste halinde sıralanmıştır.

Maliyetlerin azalan şekilde sıralanması sağlanmıştır.

İlk 5 iş kalemi, en yüksek maliyetli kalemler olarak seçilmiştir.

Bu analiz, projenin odaklanması gereken maliyetli alanlarını belirleyerek kaynakların etkin kullanımını desteklemektedir. En yüksek maliyetli iş kalemleri ve tutarları şu şekildedir:

Konkasörle Kırılmış 0-11 mm Çapında Kırma Taşı Temini: 6,062,019 TL

Mıçır Temini ve Serme İşlemleri: 5,856,384 TL

Makine ile Her Derinlikte Hafriyat Çıkarılması: 3,623,133 TL

4.3.4.4. MALİYET DAĞILIMI

Maliyet dağılımı, tüm iş kalemlerinin maliyetlerinin toplam maliyete oranı olarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki formül uygulanmıştır:

Bu hesaplama sonucunda, en yüksek maliyetli kalemlerin toplam maliyetin yüzde 40'ını oluşturduğu görülmüştür.

Detaylı oranlar aşağıdaki gibidir:

Konkasörle Kırılmış 0-11 mm Çapında Kırma Taşı Temini: %13

Mıcır Temini ve Serme: %13

Ø 2200 mm Lamba Zıvanalı Beton Kanalizasyon Borularının

Döşenmesi: %14

Diğer Kalemler: %60

Bu oranlar, kaynakların hangi alanlara yoğunlaştırılması gerektiğini göstermekte ve maliyet verimliliğini optimize etmek için önemli çıkarımlar sunmaktadır.

4.3.4.5. SONUÇ

Bu hesaplamalar ışığında, proje maliyetlerinin %40'ını 3 ana kalemden oluştuğu anlaşılmıştır. Bu kalemler proje maliyetinin etkin bir şekilde kontrol edilebilmesi için öncelikli olarak ele alınmalıdır. Ayrıca, bu analiz sonucunda:

Yüksek maliyetli iş kalemlerine odaklanılarak tasarruf fırsatları tespit edilmiştir.

Daha düşük maliyetli kalemlerde de verimlilik artışı için iyileştirme alanları belirlenmiştir.

Maliyet analizinin proje takibinde karar alma süreçlerini iyileştirdiği ortaya konmuştur.

Bu bilgiler, gelecekteki projeler için daha etkin maliyet yönetimi stratejileri geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması, Çatalca Subaşı Mahallesi'nde yağmur suyu drenaj problemlerine yönelik kapsamlı, sürdürülebilir ve uygulanabilir bir çözüm geliştirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bölgenin mevcut durum analizi, modelleme çalışmaları, tasarım süreçleri ve ekonomik değerlendirmeler ışığında önemli sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar, sadece teknik başarıları değil, aynı zamanda ekonomik, çevresel ve toplumsal faydaları da kapsamaktadır. Aşağıda, çalışma kapsamında öne çıkan sonuçlar detaylı bir şekilde açıklanmıştır:

Hidrolik Performans ve Teknik Başarılar:

EPA SWMM yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen modelleme çalışmaları, farklı dönüş aralıklarına (5, 25, 50 ve 100 yıl) göre yağmur suyu drenaj sisteminin etkinliğini değerlendirmiştir. Simülasyonlar, sistemin taşkın risklerini azaltmada başarılı olduğunu ve yüzeysel akışların etkili bir şekilde yönetilebildiğini göstermiştir.

5 yıllık dönüş aralığında, sistem düşük maliyetli ve kısa vadeli bir çözüm sunmuştur; ancak, artan yağış yoğunluğu ve uzun vadeli dayanıklılık açısından sınırlı bir çözüm olduğu tespit edilmiştir.

50 ve 100 yıllık dönüş aralıkları, gelecekteki iklim değişikliği koşullarına uyum sağlayabilecek esnek ve dayanıklı bir çözüm olarak öne çıkmıştır.

Sistem tasarımında boru çapları, doluluk oranları ve enerji çizgisi yükseklikleri İSKİ Teknik Şartnamesi'ne uygun şekilde belirlenmiş, böylece taşkın riskleri minimize edilmiştir.

Ekonomik Değerlendirme ve Sürdürülebilirlik:

Tasarımın maliyet analizi, farklı dönüş aralıkları için detaylı bir şekilde gerçekleştirilmiştir:

- **5 yıllık tasarım maliyeti:** ₺30.568.335,78
- **25 yıllık tasarım maliyeti:** ₺37.699.219,49
- **50 yıllık tasarım maliyeti:** ₺38.185.497,48
- **100 yıllık tasarım maliyeti:** ₺45.964.258,45

Analiz sonuçları, kısa vadede düşük maliyetli tasarımların ekonomik avantaj sunduğunu, ancak uzun vadede daha yüksek maliyetli sistemlerin sürdürülebilir altyapı sağladığını göstermektedir.

Kullanılan dayanıklı malzemeler ve optimum güzergah seçimleri, yatırım ve işletme maliyetlerini minimize ederek sistemin ekonomik sürdürülebilirliğini desteklemiştir.

Çevresel Etkiler:

Sistem tasarımı, yüzeysel akışları kontrol altına alarak yeraltı su kaynaklarının korunmasına katkıda bulunmuştur.

Doğal su döngüsünü desteklemek amacıyla yeşil altyapı uygulamalarına uygun bir yapı oluşturulmuş, geçirimsiz yüzeylerin etkisi azaltılmıştır.

Çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, karbon ayak izini minimuma indiren malzemeler ve yöntemler tercih edilmiştir.

Toplumsal Faydalar:

Yağmur suyu drenaj problemlerinin çözülmesi, bölgedeki taşkın risklerini ve su baskınlarını önlemiş, böylece can ve mal kayıpları önemli ölçüde azaltılmıştır.

Altyapı iyileştirmeleri, bölge halkının yaşam kalitesini artırarak, daha güvenli ve sürdürülebilir bir yaşam alanı oluşturmuştur.

Sistem, yerel ekonomik kalkınmaya dolaylı katkılar sağlamış ve bölgenin kentsel gelişimini destekleyen bir altyapı oluşturmuştur.

Genel Değerlendirme:

Bu çalışma, kentleşmenin ve iklim değişikliğinin getirdiği altyapı problemlerine yönelik yenilikçi bir çözüm sunmuş ve modern mühendislik yaklaşımlarıyla desteklenmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen model, bölgesel düzeyden ulusal düzeye kadar uygulanabilir bir altyapı çözümü sunmaktadır.

Öneriler

Bu çalışmadan elde edilen bulgular ve analizler doğrultusunda, gelecekte benzer projeler ve altyapı sistemleri için şu öneriler sunulabilir:

İklim Değişikliği ve Uzun Vadeli Planlama:

Artan yağış frekansları ve yoğunluğu göz önünde bulundurularak, drenaj sistemleri daha esnek ve dayanıklı hale getirilmelidir.

Gelecekteki altyapı projelerinde, iklim değişikliği senaryoları dikkate alınarak tasarım ve modelleme süreçleri gerçekleştirilmelidir.

Yeşil Altyapı ve Doğal Çözümler:

Geçirgen yüzeyler, yağmur bahçeleri, biyolojik hendekler ve yeşil çatı sistemleri gibi çevre dostu çözümler, altyapı sistemlerine entegre edilmelidir.

Bu uygulamalar, doğal su döngüsünü desteklerken taşkın risklerini de azaltacaktır.

Ekonomik Optimizasyon:

Altyapı projelerinde maliyet-performans dengesi sağlanmalı, kısa vadeli çözümler yerine uzun vadeli faydalar sağlayan tasarımlar tercih edilmelidir.

Bakım ve onarım maliyetlerini azaltmak için dayanıklı ve uzun ömürlü malzemeler kullanılmalıdır.

Toplumsal Katılım ve Bilinçlendirme:

Bölge halkının projelere katılımı sağlanmalı ve yağmur suyu yönetiminin önemi hakkında farkındalık artırılmalıdır.

Kamu ve özel sektör iş birliğiyle eğitim ve farkındalık programları düzenlenmelidir.

Düzenli Bakım ve Performans İzleme:

Tasarlanan drenaj sisteminin performansı düzenli olarak izlenmeli ve gerekli güncellemeler yapılmalıdır.

Bölgesel büyüme ve nüfus artışına bağlı olarak kapasite değerlendirmeleri periyodik olarak yenilenmelidir.

Modelin Diğer Bölgelere Uyarlanması:

Bu çalışma kapsamında geliştirilen model, diğer bölgelerdeki altyapı problemlerine uygulanabilir bir çözüm olarak yaygınlaştırılabilir.

Ulusal ve uluslararası ölçekte projelerde kullanılmak üzere, tasarım kriterleri standartlaştırılabilir.

Son Değerlendirme

Bu tez, kentleşmenin, iklim değişikliğinin ve yetersiz altyapının neden olduğu sorunlara kapsamlı, sürdürülebilir ve ekonomik bir çözüm sunmayı başarmıştır. Çalışmada önerilen sistem, sadece Çatalca Subaşı Mahallesi için değil, benzer altyapı problemleri yaşayan diğer bölgeler için de uygulanabilir bir model teşkil etmektedir. Geliştirilen yaklaşımlar, modern şehirlerin altyapı planlamasında referans niteliğinde bir çözüm sunarak, şehirlerin gelecekte daha dayanıklı ve sürdürülebilir olmasına katkıda bulunacaktır.



KAYNAKÇA

- Balov, M.N., 2014, Akış Hidrografi 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 Hidrografi 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 Üniversitesi 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.
- İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (2020), Yağmur Suyu Kanalizasyonu Teknik Şartnamesi.

- 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.
- Kong, F., Ban, Y., Yin, H., James, P. & Dronova, I. (2017), Modeling stormwater management at the city district level in response to changes in land use and low impact development. Environ. Modell. Software 95, 132–142.
- Levi, S., (2007), Yağış Sularının Sürdürülebilir Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Miao, Z.-T., Han, M. & Hashemi, S. (2019), The effect of successive low-impact development rainwater systems on peak flow reduction in residential areas of Shizhuang, China. Environ. Earth Sci. 78 (2), 51.
- 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.
- Samouei, S. & Özger, M., Evaluating the performance of low impact development practices in urban runoff mitigation through distributed and combined implementation. Journal of Hydroinformatics, 22.6
- Samouei, S. & Özger, M. (2020), A rainfall-runoff model for highly urbanized areas: a case study at Istanbul Technical University main campus. IOP Conference Series: Mater. Sci. Eng. 737 (1), 012163. doi:10.1088/1757-899x/737/1/012163.
- 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.
- Stormwater Drainage Manual Planning, Design and Management Fifth Edition, 2018.

Şengün, N. F. (2020). Ege Üniversitesi kampüsü yağmur suyu drenaj sisteminin projelendirilmesine ve kapasitesinin artırılmasına 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.

USEPA (2000), Low Impact Development (LID): A Literature Review. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA. EPA-841-b-00-005.

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.

Zimmer, C. A., Heathcote, I. W., Whiteley, H. R. & Schroter, H. (2007), Low impact development practices for stormwater: implications for urban hydrology. Can. Water Resour. J. 32 (3), 193–212.

Zhang, S. & Guo, Y. (2015), SWMM simulation of the storm water volume control performance of permeable pavement systems. J. Hydrol. Eng. 20 (8), 06014010.

url-1: muhendis.web.tr/madde-dongulerine-insan-etkisi