

T.C.
NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KENTLERDE YAĞMUR SUYU YÖNETİMİNDE YENİ
YAKLAŞIMLAR KAYSERİ İLİ YAKUT MAHALLESİ
ÖRNEĞİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Mehmet Emre KARADAŞ

Danışman
Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR

Aralık 2023
KAYSERİ

T.C.
NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KENTLERDE YAĞMUR SUYU YÖNETİMİNDE YENİ
YAKLAŞIMLAR KAYSERİ İLİ YAKUT MAHALLESİ
ÖRNEĞİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Mehmet Emre KARADAŞ

Danışman
Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR

Aralık 2023
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Mehmet Emre KARADAŞ



YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI

Kentlerde Yağmur Suyu Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar Kayseri İli Yakut Mahallesi Örneği adlı Yüksek Lisans tezi, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Lisansüstü Tez Yazım Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Mehmet Emre KARADAŞ

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Tefaruk Haktanır



KABUL VE ONAY SAYFASI

Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR danışmanlığında Mehmet Emre KARADAŞ tarafından hazırlanan “Kentlerde Yağmur Suyu Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar Kayseri İli Yakut Mahallesi Örneği” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

.../.../2023

JÜRİ

Danışman : Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Alper AYDEMİR

Üye : Doç. Dr. Hatice ÇITAKOĞLU

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Kurulunun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

...../...../.....

Prof. Dr. Erkan KÖSE

Enstitü Müdürü V.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmam sırasında bilgi birikimi, tecrübesi ve sabrıyla beni her konuda yönlendiren kıymetli danışmanım Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR'a teşekkürlerimi sunarım.

Proje çalışmalarım sırasında arşivlerini ve kaynaklarını açarak desteğini esirgemeyen Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi (KASKİ) yöneticilerine, çalışanlarına ve mesai arkadaşım Çevre Yüksek Mühendisi Veysel Şahin KALSIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca gölgelerini hiçbir zaman eksik hissetmediğim, her zaman yanımda olup bana güç veren canım babam Mustafa KARADAŞ'a, canım annem Kısmet KARADAŞ'a ve varlıklarını her zaman yanımda hissettiğim canım kardeşlerim Ahmet Buğra ve Mahmut Tunahan'a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak hayatıma girdiği günden beri güzelleştiren, yardım, ilgi ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, hayat arkadaşım Şerife KARADAŞ'a ve yaşama sevincim, her günümü mutlu eden canım kızım Kısmet Ela KARADAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Emre KARADAŞ

Kentlerde Yağmur Suyu Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar Kayseri İli Yakut Mahallesi Örneği

Mehmet Emre KARADAŞ

Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2023

Danışman: Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR

ÖZET

Bazılarının gözlem başlangıcı 1930'lara kadar uzayan, ülkemizde Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nce (MGM) işletilmekte olan 240 adet plüviyografli yağmur ölçüm istasyonu vardır. Yağmur verileri her beş yılda bir MGM tarafından yayınlanmakta olup son yayın tarihi 2020'dir. Bu çalışmada öncelikle, Kayseri istasyonunda, 1950 – 2020 arasında ölçülmüş, eksik ve uyumsuz veriler dışında geçerli, her biri 63 elemanlı 5 dakikadan 24 saate kadar 14 adet standard süreli ekstrem yağmur serilerine, 2010 yılında Tübitak destekli bir araştırma projesinin ürünü olan bilgisayar paket programı ile kapsamlı frekans analizleri uygulanarak Kayseri için güncel şiddet-süre-frekans ilişkileri elde edilmiştir. Kayseri Su ve Kanalizasyon İşleri (KASKİ) Genel Müdürlüğü'nün kentsel hidroloji projelerinde uyguladığı teknik bilgilerden de yararlanarak, bu çalışmada Kayseri İli Kocasinan İlçesi Yakut Mahallesinde yağmur suyu drenajı için uygun bir yağmur hasadı ve yeraltı suyu yapay besleme içeren bir yağmur suyu deşarj projesi geliştirilmiş, ve bu proje konvansiyonel yağmur suyu deşarj projesi ile karşılaştırılmıştır.

Yapılaşmanın ve nüfus yoğunluğunun artış gösterdiği kentsel alanlarda geçirimsiz zemin yüzeyleri artmaktadır. Dolayısıyla, yer altına sızma azalmakta, yüzeysel akışa geçen yağmur suyu debisi artmakta ve taşkın olayları meydana gelmektedir. Kentsel taşkınların önüne geçilebilmesi veya boyutlarının indirgenmesi için yağmur suyunun yer altına infiltrasyonunun arttırılmasını ve bir kısmının depolanarak yüzeysel akımın azaltılmasını sağlayacak bir alt yapı oluşturulması gerekmektedir. Özellikle atık su ve yağmur suyu hattı birleşik sistem olarak çalışan bölgelerde bunları ayrı ayrı taşıyan ayrık sistemlere geçilmesi de kentsel taşkınların azaltılmasında önemli bir uygulama olacaktır. Geçirimli zeminlerin arttırılması, yağmur bahçeleri yapımı, modern sarnıç sistemi

uygulamaları gibi sürdürülebilir yöntemlerin günümüzde kullanılması gerekmekte, böylece taşkın zararlarının azaltılmasının yanında yeraltı suyu rezervuarının beslenmesi ile de iki yönlü kazanç elde edilmektedir.

Bu tez kapsamında Kayseri İli Kocasinan İlçesi Yakut Mahallesi'nde meydana gelebilecek taşkın olaylarının önüne geçebilmek, aynı zamanda yağmursularının yeraltı sularını beslemesini sağlamak amacıyla; Yakut Mahallesi'nin arazi yapısı, zemin özellikleri, imar planı ve mevcut alt yapısı incelenerek, konvansiyonel yağmur suyu sistemi ve modern yağmur suyu uygulamalarından yeşil alana deşarj (yağmur hasadı) sistemi 5 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağış verilerine göre MsKanal paket programı yardımıyla Rasyonel Metot kullanılarak projelendirilmiştir. Konvansiyonel yağmur suyu drenaj sistem projesi sonucunda, şebeke hatları toplanıp kolektör hattı yapılarak tek noktadan Yakut Mahallesi kuzeyinde bulunan Sarımsaklı Deresine deşarj olacak şekilde minimum Ø300 mm koruge boru, maksimum Ø2200 mm entegre contalı beton boru kullanılması gerektiği belirlenmiştir. Konvansiyonel sistemde toplam boru uzunluğu 22.693 metre olarak ve yaklaşık maliyeti de 60.524.588 Türk Lirası olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada önerilen yeşil alana deşarj (yağmur hasadı) uygulaması projesinde ise, toplam boru metrajı 13.133 metre olarak, çapları Ø300 mm ile Ø500 mm arasında değişen koruge borular ile çözümleme sağlanmış olup, yaklaşık maliyet de 6.724.956 Türk Lirası olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, Kayseri İli Yakut Mahallesi için ekonomik olarak daha uygun olan, aynı zamanda yeraltı sularının beslenmesine yardımcı olan sürdürülebilir yağmur suyu uygulamalarından yeşil alana deşarj (yağmur hasadı) önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yağmur Suyu, Rasyonel Metot, Konvansiyonel Yağmur Suyu Sistemi, Yağmur Hasadı, Yeşil Alana Deşarj.

New Approaches to Stormwater Management in Cities Kayseri Province Yakut District Example

Mehmet Emre KARADAŞ

Nuh Naci Yazgan University, Graduate School of Sciences

Master of Science (M. Sc.) Thesis, December 2023

Supervisor: Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR

ABSTRACT

In our country there are 240 rain-gauging stations equipped with pluviographs operated by the General Directorate of Turkish State Meteorological Service (MGM), the gauging beginnings of some of these extending to 1930's. The rainfall data are regularly published by MGM at every other five years and the latest publication date is 2020. In this study, first, using the valid data beyond the missing and the incompatible parts, comprehensive frequency analyses have been performed on 14 standard-duration extreme rainfalls series from 5 minutes to 24 hours of 63 elements each gauged over the period of 1950 – 2020 by a computer package program which was developed in 2010 as the product of a research project supported by Tübitak, and up-to-date intensity-duration-frequency relationships have been obtained for Kayseri. Making use of the relevant technical knowledge practiced by the General Directorate of Water and Drainage Works of Kayseri (KASKİ) also, in this study, a project has been developed for drainage of rainstorm water from Yakut Quarter of Kocasinan District of the town of Kayseri in conjunction with rain harvest and artificial recharge of groundwater, and this project has been compared with the conventional system of stormwater drainage.

Impervious ground surfaces keep increasing in municipal areas along with increasing urbanization and population density. Hence, infiltration to the ground decreases, the flowrate of overland flow caused by stormwater increases and flood events take place. An infrastructure providing for an increase in the infiltration rate and storing some of the surface flow is needed to prevent or to alleviate urban flooding. Especially, partitioning of a combined sewerage system carrying both municipal wastewater effluents and rainstorm discharges together into separate systems each conveying these discharges separately will be an effective practice to reduce urban floods. Such sustainable

applications as enlarging pervious surfaces, forming rain gardens, and modern cistern applications are needed in recent times, which will bring about a two-fold benefit by reducing flood damages and by supplementing water to groundwater reservoir at the same time.

In this thesis study, with the purposes of preventing flooding and at the same time artificially recharging the groundwater reservoir by stormwater in Yakut Quarter of Kocasinan District of the town of Kayseri, based on a design storm of 15 minute duration having a 5 year average return period, both a conventional stormwater drainage system and a modern system of discharging some of stormwater to the available green areas (rain harvest) are designed with the help of the computer package Mskanal which uses the Rational Method. For the conventional system, a network of pipes, the smallest one being a corrugated pipe of 300 mm diameter, and the largest one being the sealed concrete pipe of 2200 mm diameter, is designed which discharges the overall accumulated flowrate to Sarımsaklı Creek to the north of the study area. The total length of the pipes in this system and the approximate total cost are computed to be 22,693 m and 60,524,588 Turkish Lira. For the proposed new system of discharging some of the stormwater to the green areas, the total length of the pipes turn out to be 13,133 m, comprising all corrugated pipes having diameters ranging from 300 mm to 500 mm, and the total cost of this alternative system is computed to be 6,724,956 Turkish Lira. In conclusion, the new system which diverts some of the overland flow resulting from the design storm is proposed as a viable alternative because it is financially more profitable and at the same time it will bring about an intangible benefit of artificial recharge of the groundwater reservoir in the vicinity of the study area.

Keywords: Stormwater, Rational Method, Conventional Stormwater System, Rain Water Harvest, Discharge To Green Area.

İÇİNDEKİLER

Kentlerde Yağmur Suyu Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar Kayseri İli Yakut Mahallesi Örneği

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI.....	ii
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMA VE SİMGELER LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
TABLolar LİSTESİ	xiv

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Problemin Tanımı	1
1.2. İlgili Literatür Özetleri.....	3
1.3. Çalışmanın Amacı	6

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı	7
2.2. Konvansiyonel Yağmur suyu Proje Yapım Esasları.....	12
2.2.1 Bir Ekstrem Yağmurdan Oluşan Pik Debi Hesabı için Rasyonel Formül.....	14
2.2.2. Hidrolik Tasarım.....	19
2.3. Yağmur suyu Çizim ve Projelendirme Yazılımı-MsKanal	20
2.4. Yağmur suyu Uygulamalarında Yeni Yaklaşımlar.....	22
2.4.1. Geçirimli Zemin Kaplamaları	23
2.4.2. Yağmur Bahçeleri	24
2.4.3. Yer Altı Yağmur suyu Depolama Alanları (Modern Sarnıç)	24
2.4.4. Yer Altına Sızdırma Sistemi (İnfiltrasyon Sistemi).....	24
2.4.5. Yeşil Alanlara Deşarj (Yağmur Hasadı) (KASKİ Uygulaması).....	26

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Konvansiyonel Yağmur suyu Sistemi Projesi	30
3.1.1. Deşarj Noktası Belirlenmesi	30
3.1.2. Proje Güzergâhı Çizimi	30
3.1.3. Boru Akış Yönleri ve Muayene Baca Noktaları Tayini	32
3.1.4 Yüzeysel Su Akış Çizgileri ve Alan Belirlenmesi.....	34
3.1.5. Yüzeysel Akış Katsayısı (C) ve Boru Çapı (Ø) Belirlenmesi	35
3.1.6. Yağmur suyu Debisi Hesapları	37
3.1.7. MsKanal Programı ile Proje Çözümü ve Sonucu	37
3.2. Yeşil Alanlara Deşarj (Yağmur Hasadı) Yağmur suyu Sistemi Projesi	41
3.3 Projelerin Yaklaşık Maliyet Hesapları.....	50

4. BÖLÜM

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	57

KISALTMA VE SİMGELER LİSTESİ

<u>Sembol</u>	<u>Tanım</u>	<u>Birim</u>
KASKİ	Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi	--
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu	--
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi	--
MDL	Microstation Development Language	--
SAM	Sayısal Arazi Modeli	--
tr	Ekstrem yağmur süresi	(dakika veya saat)
tc	Havzanın toplanma zamanı	(dakika veya saat)
tp	Pik debi zamanı	(dakika veya saat)
i	Yağış şiddeti	(mm/saat)
Pt	Toplam yağmur derinliği	(mm)
Pe	Artık yağmur derinliği	(mm)
ϕ	Sızma indisi	--
C	Havzanın ortalama sızma kapasite katsayısı	--
A	Havza drenaj alanı	(ha)
Qp	Pik debi	(m ³ /s)
Q	Debi	(m ³ /s)
Ø	Boru çapı	(mm)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Kayseri İlinin Türkiye’deki Konumu	7
Şekil 2.2.	Çalışma alanı olan Yakut mahallesinin Kayseri ilinde konumu.....	8
Şekil 2.3.	Yakut mahallesinin 2013 yılı görünümü	8
Şekil 2.4.	Yakut mahallesinin 2023 yılı görünümü	9
Şekil 2.5.	Yakut Mahallesi Zemin Etüt Raporu.....	9
Şekil 2.6.	Yakut mahallesi birleşik sistem mevcut alt yapısı	11
Şekil 2.7.	Yakut mahallesi imar planı.....	12
Şekil 2.8.	Kayseri İli Yağış-Şiddet-Tekerrür Eğrileri.....	13
Şekil 2.9.	Rasyonel Formüle göre hiyetograf – hidrograf modeli.	17
Şekil 2.10.	Geçirimli zemin kaplama örneği	23
Şekil 2.11.	Yağmur bahçesi örnekleri.....	25
Şekil 2.12.	Yer altı yağmur suyu depolama örneği.....	25
Şekil 2.13.	Yer altına sızdırma sistemleri (infiltrasyon).....	26
Şekil 2.14.	KASKİ tarafından yapılan yağmur hasadı noktaları	27
Şekil 2.15.	Erenköy Mahallesi Askeri Hastahane Caddesi yağmur suyu hattı ve yeşil alana deşarj noktaları	28
Şekil 2.16.	Yağmur suyu deşarj noktası tabanı.....	28
Şekil 2.17.	Ø2600 mm beton büz yağmur hasadı yapımı	29
Şekil 3.1.	Sarımsaklı Deresi ve Yakut Mahallesi Genel Görünüm	31
Şekil 3.2.	Yakut Mahallesi yağmur suyu proje güzergahı	32
Şekil 3.3.	Boru akış yönleri ve muayene bacalarının detaylı görünümü	33
Şekil 3.4.	Boru akış yönleri ve muayene bacalarının genel görünümü	33
Şekil 3.5.	Yüzeysel su akış çizgileri	34
Şekil 3.6.	Alan çizimleri	35
Şekil 3.7.	MsKanal programında yüzeysel akış katsayısı seçimi	36
Şekil 3.8.	MsKanal programında boru kataloğu	36
Şekil 3.9.	5 yıl tekerrürlü 15 dakika süreli yağmurun oluşturduğu debi seçimi	37
Şekil 3.10.	Boru çapı, cinsi ve metraj dağılımı.....	38
Şekil 3.11.	Deşarj bacası alan-süre-debi bilgileri	40
Şekil 3.12.	Proje lejandı.....	40
Şekil 3.13.	Proje genel görünümü.....	41
Şekil 3.14.	Deşarj noktaları (mavi renkle belirtilmiş) ve proje güzergâhı.....	42

Şekil 3.15.	Boru akış yönleri ve muayene baca noktaları detayı.....	43
Şekil 3.16.	Yüzeysel su akış çizgileri	44
Şekil 3.17.	Akış alanların oluşturulması.....	44
Şekil 3.18.	Akış alanları detaylı görünümü	45
Şekil 3.19.	Proje sonucu genel görünüm	46
Şekil 3.20.	Proje boru çap ve metraj detayı	46
Şekil 3.21.	Proje detaylı görünümü	47



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Yakut Mahallesi'nin 2023 Yılı Mevcut Alt Yapı Envanteri.....	10
Tablo 2.2.	Çeşitli Alanlarda C Katsayıları	16
Tablo 2.3.	Farklı Boru Çapları İçin Verilebilecek Minimum Ve Maksimum Eğimler	19
Tablo 2.4.	Farklı Boru Çapları İçin Kazı Derinlikleri	20
Tablo 3.1.	İlk Baca Ve Son Baca Verileri	39
Tablo 3.2.	Proje Sonucu 2 Nolu Deşarj Noktasına Ait Veriler.....	47
Tablo 3.3.	Konvansiyonel Sistem Yağmur suyu Projesi Maliyeti.....	51
Tablo 3.4.	Yeşil Alana Deşarj Sistemi Yağmur suyu Projesi Maliyeti	52

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Problemin Tanımı

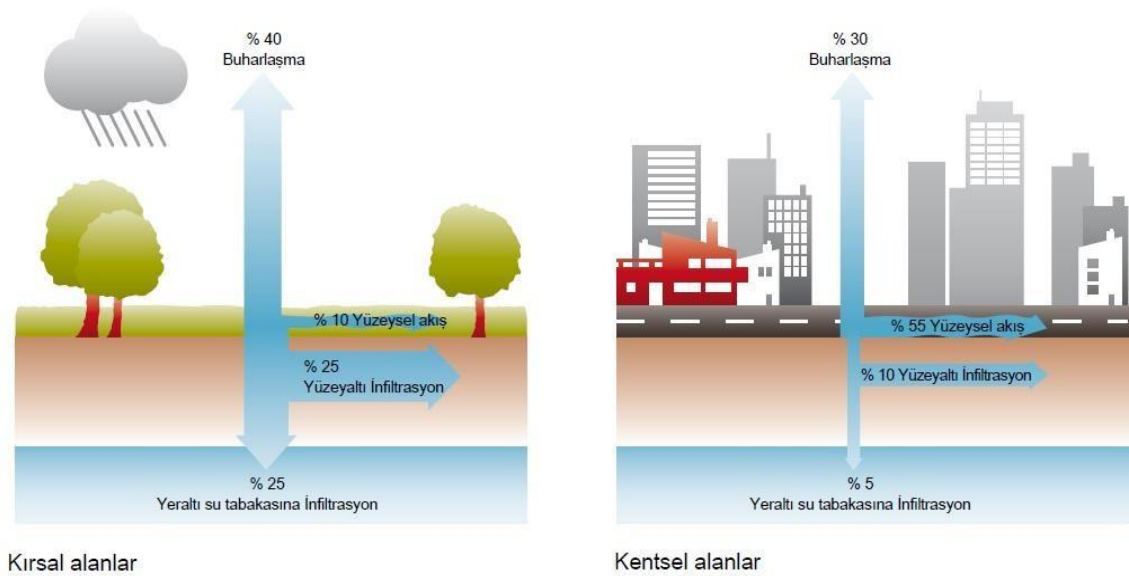
Son yıllarda kentsel sıcaklıkların artmasıyla, araç egzoz gaz emisyonlarının ve diğer sera gazı emisyonlarının artmasıyla oluşan mikro-klima etkileri ve küresel ısınma etkileri ile yağış rejimlerindeki değişimler nedeniyle, kentler üzerinde konvektif yağışların şiddetindeki artışlardan dolayı yerleşim yerlerinde taşkın olayları ile çok sık karşılaşmaya başlanmıştır. İklim değişikliği nedenlerinden dolayı ekstrem yağmurların şiddeti ve toplam miktarlarında son yıllarda artışlar gözlenmektedir. Haktanır ve ark. (2022) yaptıkları *Kayseri Meteoroloji İstasyonunda Gözlenmiş Standart Süreli Yıllık Maksimum Yağmur Serilerinin Frekans ve Trend Analizleri* çalışma sonucunda [1], Kayseri’de 1950 ile 2019 yılları sürecinde gözlenmiş olan 5 dakikadan 24 saate kadar süreli yıllık maksimum yağmur serilerinde % 5’lik hata payı ile (% 95 anlamlılıkta) ‘artan trend’ olduğu sonucuna varmışlardır. Bununla beraber, kentsel alanların ve nüfus yoğunluklarının artış gösterdiği yerlerde, geçirimsiz zeminlerin (asfalt, beton, çatı...) büyümesinden kaynaklı infiltrasyon miktarı çok azaldığı için yağmur sularının yüzeysel olarak akışa geçen miktarlarında artış olmuştur. Bu durum, hem yer altı sularının beslenmesini engellemekte hem de birleşik sistem olarak çalışan atıksu hatlarında, taşıma kapasitesinin yeterli olmamasından kaynaklı cadde ve sokaklara taşma olaylarına yol açmaktadır.

Kentsel gelişimin olduğu her yerde, çarpık kentleşmenin ve rasyonel olmayabilen planlamanın sonucu olarak ortaya çıkan en önemli sorun mevcut altyapının yetersiz kalmasından kaynaklı taşkın ve sel olaylarıdır. Kentsel bölgelerde alt yapının yetersiz olması ve taşkın olaylarının meydana gelme nedenleri aşağıda listelendiği gibi sıralanabilir:

- Yağmur suyu ve atık su hatlarının uygun seçilmemesi
- Geleceğe yönelik planlama yapılmaması
- Birleşik sistemin sık kullanılması
- Geçirimli yüzeylerin azalarak yüzeysel yağmur suyu akışının artması

Son yıllarda sıkça yaşanan ani ve yüksek şiddetli konvektif yağışlarda, asfalt veya beton yollar, binalar, asfalt veya beton kaplı araç parkları gibi yapılaşma sonucu geçirimsiz alanların fazla olmasından dolayı, arazi sızma indisi sıfıra yaklaşmakta, yağmursuları infiltre olamamakta ve yağmur suyunun oluşturduğu tabaka akımının hemen tamamı yüzeysel akışa geçmektedir. Yanısıra, asfalt, beton, çatı kaplaması gibi malzemelerin pürüzlülükleri herhangi bir bitki örtüsü ile kaplı doğal toprak zemine göre düşük olduğu için yüzeysel akımın hızı fazla olur. Böylece, kentsel bir alanda özellikle şiddetli yağmurlarda, yağmur suyunun büyük bir kısmı sokak, cadde, atıksu boruları gibi ortamlarda hızlı birikime yol açar. Yağmursularının yüzeysel akışa geçen miktarındaki artış kentsel alanlarda sel ve taşkın risklerini artırmakla beraber sızma ile beslenme azaldığı için yeraltı suyu rezervuarından sağlanan durumlarda içme-kullanma ve/veya endüstriyel ve/veya tarımsal sulama suyu teminini de zorlaştıracaktır.

Şekil 1.1’de yağmursularının yüzeysel akışa geçen miktarı, kırsal ve kentsel bölge olarak incelendiğinde, kentsel bölgelerde geçirimsiz yüzeylerin artmasından kaynaklı infiltrasyonun ciddi anlamda düşüşü ve yüzeysel akışın artması, genelleştirilmiş oranlar ile özetlenmektedir. [2]



Şekil 1.1. Kentleşmenin yağmur suyuna etkisi. [2]

Bu problemlerin olumsuz etkilerini azaltmak iyi planlanmış bir yağmur suyu sistemi ile olacaktır. Sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi ile infiltrasyon ve yağmur suyu kaynaklı sel ve taşkın problemleri çözüme kavuşturulacak, ani yağış esnasında oluşan zararlar minimize edilebilecektir. Sürdürülebilir yağmur suyu sistemi planlanırken, bölgenin altyapı ve imar durumu, zemin özellikleri incelenmeli ve bölgenin ihtiyacına göre en uygun yöntem seçilmelidir. Kentsel taşkınların azaltılması amacıyla uygulanan yöntemler, (1) yağmur suyunun bir kısmının depolanması ve sonradan kullanılması ve (2) yağmur suyunun infiltrasyonu fazla olan alanlara yönlendirilerek sızmanın artırılıp hem yeraltı suyu rezervuarının beslenmesi hem de yüzeysel akımın azaltılması olarak özetlenebilir.

Bu çalışma ile Kayseri İli Yakut Mahallesinde olası taşkın olaylarının önüne geçilmesi veya etkilerinin azaltılması amaçlanarak sürdürülebilir yağmur suyu uygulamalarından yeşil alana drenaj ile yüzeysel akışın azaltılarak yağmursularının yeraltı sularına kazandırılması hedeflenmektedir.

1.2. İlgili Literatür Özetleri

Kayseri İli için Meteoroloji Kayseri Bölge Müdürlüğünce 1950 ile 2019 yılları arasında kaydı bulunan, 14 standart süreli yıllık maksimum yağış serileri incelenmiş, 106Y192 nolu Tübitak destekli araştırma projesi ürünü olan bilgisayar paket programı yardımıyla bu ekstrem yağmur serilerinin frekans analizleri yapılarak Kayseri için 2 yıldan 10Bin yıla kadar çeşitli tekerrür periyotlarına karşılık Yağış-Şiddet-Süre ilişkilerini çıkarılmıştır. Ayrıca, Mann-Kendall ve Lineer Regresyon yöntemleri ile bu ekstrem yağmur serilerinin trend analizleri de yapılarak, Kayseri’de 1950 ile 2019 yılları sürecinde gözlenmiş olan 5 dakikadan 24 saate kadar süreli yıllık maksimum yağmur serilerinde artan trend olduğu sonucu çıkarılmıştır [1].

Kentsel bir alanda konvansiyonel ve sürdürülebilir yağmur suyu sistemlerini projelendirilmiş ve bu sistemler karşılaştırılmıştır. StromCAD yazılımı kullanarak her iki sistemi de projelendirilmiş, bunlar maliyet ve işletim açısından karşılaştırılmış, İTÜ Ayazağa yerleşkesi için sürdürülebilir yağmur suyu yönetiminin maliyet ve verimlilik açısından daha uygun olduğu kanaatine varılmıştır [2].

Yağmurların kentsel yerleşim bölgelerinde oluşturduğu yüzeysel akımı azaltıcı ve sızmayı arttırıcı yöntemler için çeşitli ülkelerdeki bazı uygulamalar özetlenmiş ve

sürdürülebilir yağmur suyu yönetimini ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan değerlendirilerek, sel ve taşkın gibi doğal afetlere etkileri araştırılmıştır [3].

Adana İli, Çukurova İlçesi, Hayal Park Havzasındaki 157 hektarlık alanda yapılan çalışmada, ortalama tekerrür periyodu 25 yıl, süresi 60 dakika olan yağmur miktarını hesaplanıp bunun oluşturduğu yüzeysel akımın, yedi adet bekletme havuzu ile geciktirme yapılarak, mevcut yetersiz drenaj boruların çaplarının artırılmasıyla birlikte yeraltı suyu beslenmesine katkı verecek biçimde drene edilmesi için bir proje önerisi yapılmıştır [4].

Son yıllarda kentsel bölgelerde yaşanan taşkın ve sel olaylarını göz önünde bulundurarak, yağmur suyu yönetimi odaklı yeşil alt yapı planlama yaklaşımını ele almış, bu yaklaşımın kentsel planlamadaki önceliği ve önemini vurgulamıştır [5].

Malatya İlinde mevcut yağmur suyu drenaj bölgelerinin taşkın performansları değerlendirilerek taşkın yayılım haritaları oluşturulmuştur. Bu haritaların imara açılacak yeni bölgeler için geleceğe yönelik yağmur suyu drenaj sistemlerinin tasarlanmasına katkı sağlayabileceği belirtilmiştir [6].

Su duyarlı kentsel tasarım doğrultusunda yağmur sularının sürdürülebilirliğinin önemine değinilmiş, yağmur suyunu daha nitelikli hale getirerek işlevselliğini arttırmak, akışla gelen yağmur suyunun temizlenerek yeraltı su kaynaklarına iletilmesini sağlamak, fazla yağmur suyunun belli alanlarda süzülerek sert zeminlerin sünger vazifesi görmesini (doğal drenaj noktaları oluşturmasını) sağlamak için yeşil altyapı sistemleri oluşturmanın önemi vurgulanmıştır [7].

Yeryüzüne ulaşan yağmur suyunu depolamak ve çeşitli su taleplerini karşılamak için kullanılan yağmur hasadı sistemi kullanılarak, ODTÜ Kampüsü içerisinde uygulanabilecek olan yağmur suyu depolama tanklarının boyutlarını belirlenmiş, maliyet-fayda analizi yapılmış, yağmur suyu yakalama verimliliği, su tasarrufu verimliliği ve taşma oranı performans göstergeleri irdelenmiştir [8].

Yapay beslenmenin yeraltı suyu rezervuarının hem kısa hem de uzun dönemde su hacminin artırılması için çok yararlı ve son yıllarda yaygınlıkla uygulanan bir faaliyet olduğu belirtilmektedir. Yapay beslenmenin, permeabilitesi yüksek yüzey tabakaları olan alanlarda en etkin biçimde uygulanabildiği, geçirgenliği az sahalarda ise kazılmış hendekler ve şaftlar vasıtasıyla da yapılabildiği belirtilmektedir. Etkili bir yapay beslenme yapabilmek için, öncelikle yüzeydeki tabakanın permeabilitesinin ölçülmesi gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca yapay beslenme yapılan akiferin transmissivitesinin

(yeraltı suyu nakletme, taşıma özelliğinin) yeterli olması gerektiği, böylece yapay beslenme ile yeraltına yönlendirilen su hacminin birikip sıkışma yapmaması gerektiği belirtilmektedir. Yapay beslenme kuyularının tıkanmaya karşı düzenli olarak kontrol edilmesi gerektiği belirtilmektedir. Yeraltı suyu hidrolojisi ve yapay beslenme hakkında 1970'lerden beri kitapları ve birçok yayınlar ile yeraltı suyu yapay beslenme yöntemleri açıklanmaktadır [9].

Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde uygulanabilen yeraltı suyu yapay beslenme yöntemleri açıklanmıştır [10].

Edirne İlinde Fırınlarsırtı TOKİ Konutları içerisinde yüzeysel akışı tutmak ve yer altına infiltrasyonu sağlamak amacıyla yeşil alt yapı sistemlerinden bitkisel öğelerin kullanıldığı bir çözüm önerisi sunulmuştur [11].

İstanbul İli için olası yeşil altyapı uygulamaları incelenmiş, Beşiktaş İlçesi İhlamurdere Caddesinde oluşan taşkın problemleri ve mevcut altyapı incelenerek yeni bir yağmur suyu ızgara modeli ve projesi sunulmuştur. Önerilen proje maliyetinin mevcut uygulanan projeden fazla olsa da, taşkın nedeniyle yaşanan maddi manevi hasarlar göz önüne alındığında yeni ızgara modelinin avantajlı olduğu kanaatine varılmıştır [12].

ODTÜ kampüsü için mevcut alt yapı sistemi incelenerek, SWMM paket programı yardımıyla (yağmur)↔(yüzeysel akış) modeli oluşturulmuş, sürdürülebilir yağmur suyu yöntemlerinin kampüs için geliştirilebileceği bir çalışma yapılmıştır [13].

Yağmur suyu toplama, biriktirme ve geri kullanımı hakkında bilgi verilerek, sürdürülebilir yağmur suyu yöntemlerinden yağmur hasadı uygulamalarının üstünlük ve zayıflıklarından bahsedilmiştir [14].

Kayseri İlinde Millet Bahçesi içerisinde planlanan atık su ve yağmur suyu hatlarını incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda Recep Tayyip Erdoğan Millet Bahçesi alt yapısında yağmur sularının atık su hattından ayrılması gerektiği ve sürdürülebilir yağmur suyu yöntemlerinden yağmur hasadı ve yeşil alana deşarj yapılarak infiltrasyon ile yağmur sularının yer altı suyuna kazandırılması gerektiği belirtilmiştir [15].

1.3. Çalışmanın Amacı

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında, Kayseri İli genelinde, arazi yüzeyleri zemin kotları, zemin özellikleri, mevcut alt yapı sistemleri ve imar planları incelenmiş olup Kayseri İli Kocasinan İlçesi Yakut Mahallesi çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında yapılan incelemelerde atıksu ve yağmur suyu hatlarının birleşik sistem olarak çalıştığı tespit edilmiştir. Bölgenin her şiddetli yağışta karşılaştığı taşkın problemi göz önüne alınarak atıksu ve yağmur suyu hatlarının birbirinden ayrılması gerektiği kanaatine varılmıştır. Bölgede konvansiyonel yağmur suyu sistemi kullanılarak en yakın dereye deşarj sağlanacak şekilde arazi ölçümleri yapılarak, boru çapları, muayene bacaları ve güzergâh projelendirilecek, bununla ilgili yaklaşık maliyet hesaplamaları yapılacaktır. Bu sistemin alternatifi olarak sürdürülebilir yağmur suyu sisteminin tasarım ve uygulamalarından olan yağmur hasadı ve yeşil alanlara drenaj mevcut altyapı sistemine entegre edilerek projelendirilecek ve hidrolojik ve hidrolik hesaplamalar yeniden yapılacaktır. Konvansiyonel ve modern yağmur suyu uygulamaları maliyet ve sürdürülebilirlik açısından karşılaştırılacaktır.

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

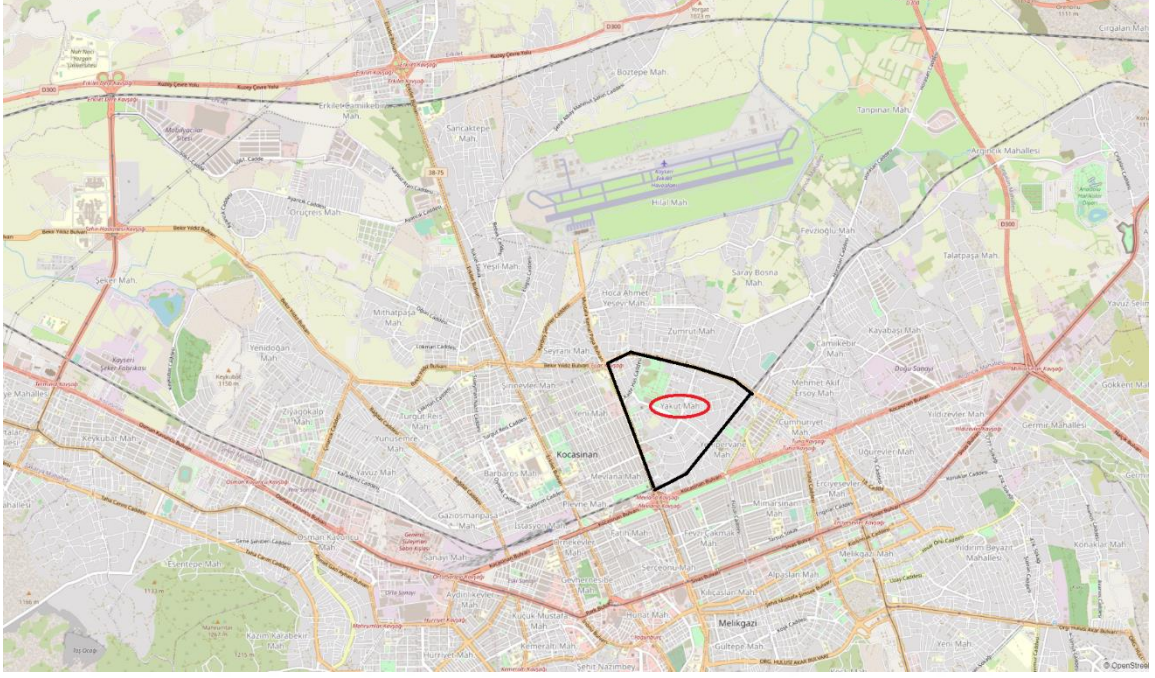
Çalışmamız kapsamında kentlerde yağmur suyu yönetiminde, yağmur suyunun oluşturduğu yüzeysel akımın bir kısmı ile yapay yeraltı suyu beslemesinin de hedeflendiği yeni yaklaşımların projelendirilmesi için Kayseri İli Kocasinan İlçesi Yakut Mahallesi uygun görülmüştür.

Kayseri İli; İç Anadolu bölgesinin güneyi ile Toros Dağları'nın kuzeyinde, Orta Kızılırmak bölümünde yer alır. 37°-45' ve 38°-18' kuzey enlemleri ile 34°-56' ve 36°-59' doğu boylamları arasında, 16.917 km²'lik yüz ölçümü ile ülkemizin %2,2'lik kısmını oluşturmaktadır. Kayseri'nin başlıca akarsuyu Kızılırmak olup şehir merkezinde bulunan taşkın koruma kanalları, doğal dereler ve atık su arıtma tesisi çıkış suyu deşarjları Kızılırmak'a bağlanmaktadır. Kayseri İlinde bozkır iklimi hâkim olup yazları sıcak ve kurak kışları soğuk ve kar yağışlı geçmektedir. Kayseri nüfusu 2022 TÜİK verilerine göre 1.441.253 olup merkez ilçelerinden proje yaptığımız Kocasinan İlçesi'nin nüfusu 409.005'tir.

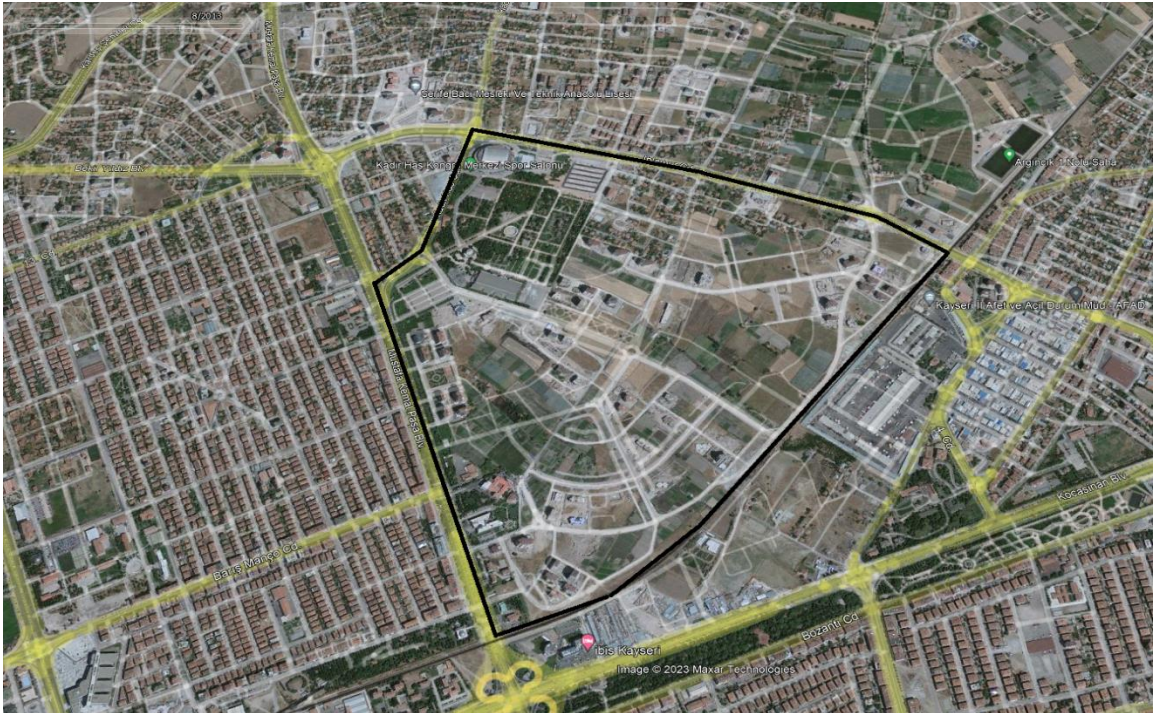


Şekil 2.1. Kayseri İlının Türkiye'deki Konumu (Kaski CBS)

Kocasinan İlçesi 07.12.1988 tarihinde 3508 sayılı kanun ile merkez ilçe olmuştur. Yakut Mahallesi, Kocasinan İlçesi'nin merkezi mahallelerinden biri olup 12.201 nüfusa ve 1.661 km²'lik yüz ölçümüne sahiptir. Yakut mahallesi önceki yıllarda tarım arazisi olarak kullanılmakta iken imarlaşma sonucu yapılaşmanın artmasıyla merkezi bir yaşam alanı haline gelmiştir.



Şekil 2.2. Çalışma alanı olan Yakut mahallesinin Kayseri ilinde konumu (Kaski CBS)



Şekil 2.3. Yakut mahallesinin 2013 yılı görünümü (Google Earth)



Şekil 2.4. Yakut mahallesinin 2023 yılı görünümü (Google Earth)

KOZZA ZEMİN ARAŞTIRMA	PROJE ADI: ADEM SARI KAYSERİ İLİ, KOCAŞINAN İLÇESİ, PERVANE MEVKİİ, K34C05B2C(349) PAFTA 5133 ADA, 4 PARSEL'E AİT ZEMİN VE TEMEL ETÜTÜ VERİ RAPORU
-----------------------	--

Geçirimsizlik (Permeabilite)

Casagrande geçirimsizlik çizelgesi												
k (cm/s)	10^2	10^1	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
Geçirimsizlik sınıfı	Aşırı geçirimsiz		İyi drenaj özelliği				Drenaj güç		Geçirimsiz			
Zemin türü	İn ve temiz çakıl		Temiz kum, kum ve çakıl karışımları			Çok ince kum; organik silt, silt-kil karışımı ve tabakalı killer			Ayrışma bölgesinin altında homojen killer			
Zemin sembolü	GP	GW	SP	SW	GM	SM	SC				CL	CH

(Bu fotoğraf <https://acikders.ankara.edu.tr> adresinden alınmıştır.)

Geçirgenlik Katsayısı, k (cm/sn)	Geçirgenlik Derecesi
$<10^{-6}$	Geçirimsiz
$10^{-6} - 10^{-5}$	Az Geçirimli
$10^{-5} - 10^{-4}$	Yarı Geçirimli
$10^{-4} - 10^{-3}$	Geçirimli
$>10^{-3}$	Çok Geçirimli
K sabitine göre geçirgenlik derecesi 10^{-4} cm/sn Yarı Geçirimli olarak bulunur.	

Şekil 2.5. Yakut Mahallesi Zemin Etüt Raporu

Yakut Mahallesi zemin özellikleri bakımından değerlendirmek için, Kozza Zemin Araştırma Mühendislik Mimarlık firmasının 14-17.12.2021 tarihleri arasında Kayseri İli Yakut Mahallesi 5133 ada 4 parselde yaptığı 3 adet 30 metre derinlikte açtıkları sondajlara göre yapılan zemin etüt raporları incelenmiştir. Zemin etüt raporunda yer altı su seviyesinin 7 metre derinliğe sabitlendiği gözlemlenmiştir. Raporda, Yakut Mahallesi'nin geçirimsizlik (permeabilite) katsayısı 10^{-4} seviyelerinde bulunmuş ve zemin yarı geçirgen olarak nitelendirilmiştir. Şekil 2.5'te verilen zemin etüt raporuna göre zemin geçirimsizlik katsayıları ve Yakut Mahallesi'nin yarı geçirimsiz olduğu görülmektedir.

Yakut Mahallesi'nin mevcut alt yapı sistemi incelendiğinde kanalizasyon ve yağmur suyu hatlarının birleşik sistem olarak çalıştığı görülmektedir. Mevcut haliyle Tablo 2.1'de görüldüğü üzere yaklaşık 20.000 m uzunluğunda farklı boru çaplarında birleşik sistem çalışan hatlara sahiptir.

Tablo 2.1. Yakut mahallesi'nin 2023 yılı mevcut alt yapı envanteri

YAKUT MAHALLESİ BİRLEŞİK SİSTEM ALT YAPI ENVANTERİ	
BORU ÇAPI (mm) VE CİNSİ	BORU UZUNLUĞU (m)
Ø200 BETON	1891
Ø200 KORUGE	1374
Ø300 BETON	3144
Ø300 KORUGE	10259
Ø400 KORUGE	133
Ø1000 BETON	45
Ø1400 BETON	2311
Ø2000 BETON	1331
TOPLAM	20448



Şekil 2.6. Yakut mahallesi birleşik sistem mevcut alt yapısı (Kaski CBS)



Şekil 2.7. Yakut mahallesi imar planı (Kaski CBS)

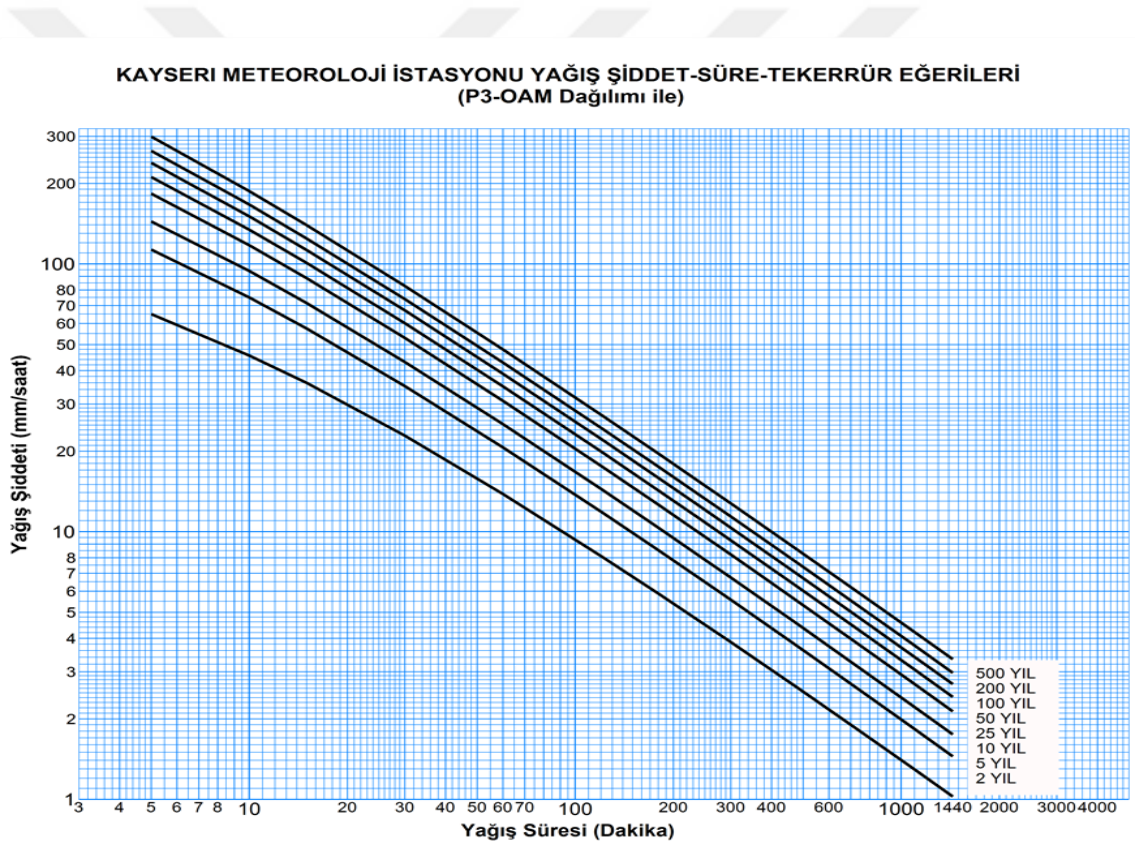
2.2. Konvansiyonel Yağmur Suyu Proje Yapım Esasları

Yağmur suyu sistemleri projelendirilirken ilk olarak proje güzergâhı ve nihai deşarj noktası belirlenmelidir. Sistem sağlıklı ve güvenli çalışabilecek şekilde planlanır ve projelendirilir. Proje; yapım ve işletilmesi sırasında diğer alt yapı elemanları olan elektrik, doğalgaz, telekomünikasyon, içme suyu ve kanalizasyon gibi hatlara zarar vermeyecek ve tehlike arz etmeyecek şekilde çalışılmalıdır.

Proje hazırlanırken imar planına göre güzergâhlar ve deşarj noktası belirlenmesinden sonra yağmur suyu debi hesabı yapılır. Yağmur suyu debisi tayin

edilirken Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne ait yağış-şiddet-süre-tekerrür eğrisi kullanılmalıdır. Debi hesaplarında genellikle 2-5 yıl arası yağması muhtemel olan ve toplanma zamanı arazi eğimine göre 15 dakika kabul edilen veriler kullanılarak hesaplanması uygun görülür.

Şekil 2.8'de 1950 – 2019 süreci arasında Kayseri Meteoroloji Bölge Müdürlüğü tarafından Kayseri'de ölçülmüş kayıtları eksik olmayan 62 yıllık 5 dakikadan 24 saate kadar 14 standart-sürelilik ekstrem yağmur serileri ile 106Y192 nolu Tübitak destekli araştırma projesi ürünü bilgisayar paket programı ile yapılan frekans analizleri sonucu elde edilen çeşitli tekerrür periyotlu yağış şiddet-süre-tekerrür eğrileri görülmektedir.



Şekil 2.8. Kayseri İli Yağış-Şiddet-Tekerrür Eğrileri [3]

Dünyada ve ülkemizde küçük kentsel havzalar için yaygınlaıkla kullanılan Rasyonel Formül KASKİ'de yapılan projelerde de uygulanmaktadır. Yağmur suyu debi hesabı Rasyonel Formüle göre belirlendikten sonra hidrolik tasarım yapılarak proje tamamlanır. Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında da Rasyonel Metot kullanılmıştır.

2.2.1 Bir Ekstrem Yağmurdan Oluşan Pik Debi Hesabı için Rasyonel Formül

Rasyonel Formül 1889 yılında A.B.D. İnşaat Mühendisleri Birliğinin bilimsel dergisinde yayınlanan makalesi ile Emil Kuichling tarafından yüzeysel akım pik debi hesabı için sunulan, alanı en fazla 5 km²'ye kadar olan küçük havzalar için geçerli bir formüldür (Kuichling 1889).

Rasyonel Formülün çıkarılmasında yapılan kabuller aşağıda sunulduğu gibidir.

1-) Ekstrem yağmurun süresi (t_r) havzanın toplanma zamanına (t_c) eşittir ($t_r = t_c$). Alanı en fazla 5 km²'ye kadar olan küçük bir havza için toplanma zamanı en fazla 60 dakika civarında olabilir. Dolayısıyla, küçük havzalar için $t_r = t_c$ kabulü gerçekçi bir durumdur. Yağmur devam ederken, havza boyunca akarak havza çıkış noktasına doğru hareket eden yüzeysel akımın havzanın tamamından gelerek havzanın çıkış noktasında üst üste birikmesi için efektif yağmur süresinin havzanın toplanma zamanına eşit olması gerekir. Dolayısıyla, bu kabul olması gereken bir hidrolojik gerçeğin ifadesidir. Diğer bir deyişle, yüzeysel akımın yağmurun başında havzanın çıkış kesitine en uzak noktasından başlayıp çıkış kesitine ulaşması için geçen zaman havzanın toplanma zamanı olduğu için bir yağmur olayının süresi toplanma zamanına eşit olmak zorundadır.

Dünyanın her yerinde kısa süreli konvektif yağmurların şiddeti (yağma hızı) (i) uzun süreli orografik ve cephesel yağmurların şiddetlerinden daha fazladır. Bir havzanın toplanma zamanı ne kadar kısa ise o havzaya etki edecek konvektif yağmurun şiddeti ters orantılı olarak artar. Havzanın tamamından yüzeysel akımın gelip çıkış kesitine birikmesi için yağmur süresinin havzanın toplanma zamanına eşit olması gerekir. Dolayısıyla, Rasyonel Formülün uygulanmasının ilk ve önemli aşaması havzanın toplanma zamanının hesabıdır. Yağmurun süresi toplanma zamanından daha uzun alınırsa, havzanın çıkış kesitinde oluşacak yüzeysel akım hidrografi bir S hidrografi olacaktır, ama bu S hidrografının pik debisi, süresi toplanma zamanına eşit ve şiddeti daha fazla olan yağmurun oluşturacağı hidrografın pik debisinden daha küçük olacaktır.

2-) Süresi $t_r (= t_c)$ olan ekstrem yağmurun şiddeti (i) t_r boyunca sabittir. Drenaj alanı birkaç yüz metre kare kadar olan (örneğin bir marketin araba parkı) küçük bir havzanın toplanma zamanı 5 dakika kadar kısa bir süre olabilir. Toplanma zamanı 60 dakika olan biraz genişçe bir havzaya etki edecek ekstrem yağmurun şiddetinin 60 dakika

içinde sabit kalacağı varsayımının gerçek olmasa da makul bir varsayım olduğu kabul edilebilir. 12 saat gibi 24 saat gibi çok uzun süreli cephesel yağmurların şiddetinin bu uzun süre içinde sabit kalması meteorolojik olarak mümkün değildir. Fakat, 5 dakika ile 60 dakika arasında süreli konvektif yağmurların şiddetinin bu süre içinde sabit kalacağı varsayımı makul bir kabuldür.

3-) Yağmurun süresi boyunca sabit kabul edilen yağmurun şiddeti havza üzerinde alansal olarak üniform dağılımlıdır. 2-) ve 3-) nolu kabuller kısaca, “Yağmurun şiddeti zamansal ve alansal olarak sabittir.” olarak özetlenebilir. Rasyonel Formül, drenaj alanı en fazla 5 km²'ye kadar olan küçük havzalar için geçerli olduğundan dolayı, yağmurun bu küçük alanın tamamına üniform yayılı olarak aynı şiddette yağdığı kabulü makul bir yaklaşımdır.

4-) Süresi t_r (= t_c) olan ekstrem yağmur boyunca havzanın sızma indisi sabittir. Bu varsayım, küçük havzalar için makul bir kabuldür. Küçük, büyük her havza için ekstrem yağmur başlangıcında sızma kapasitesi fazladır ve yağmurun ilerleyen süresi ile bu sabit bir değere limit olur. Dünyada kabul görmüş ve kanıtlamış Horton modeli sızma kapasitesini, yağmur başında büyükçe bir değerde başlayıp zamana göre sabitleşen eksponansiyel bir analitik ifadeyle tanımlamaktadır (Chow ve diğ 1986). Rasyonel Formülde küçük havzalarda baştaki fazlaca sızma kapasitesi ihmal edilip, bunun yağmur süresince sabit bir değerde olduğu kabul edilmektedir.

5-) Toplam yağmur derinliği P_t ile, artık yağmur derinliği P_e ile, yağmurun şiddeti i , ve sabit sızma indisi ϕ ile gösterildiğinde, artık yağmur derinliği $P_e = P_t - \phi \cdot t_r$ eşitliği ile hesaplanmak yerine, Rasyonel Formülde,

$$P_e (\text{mm}) = C \cdot i (\text{mm/saat}) \cdot t_r (\text{saat}) \quad (2.1)$$

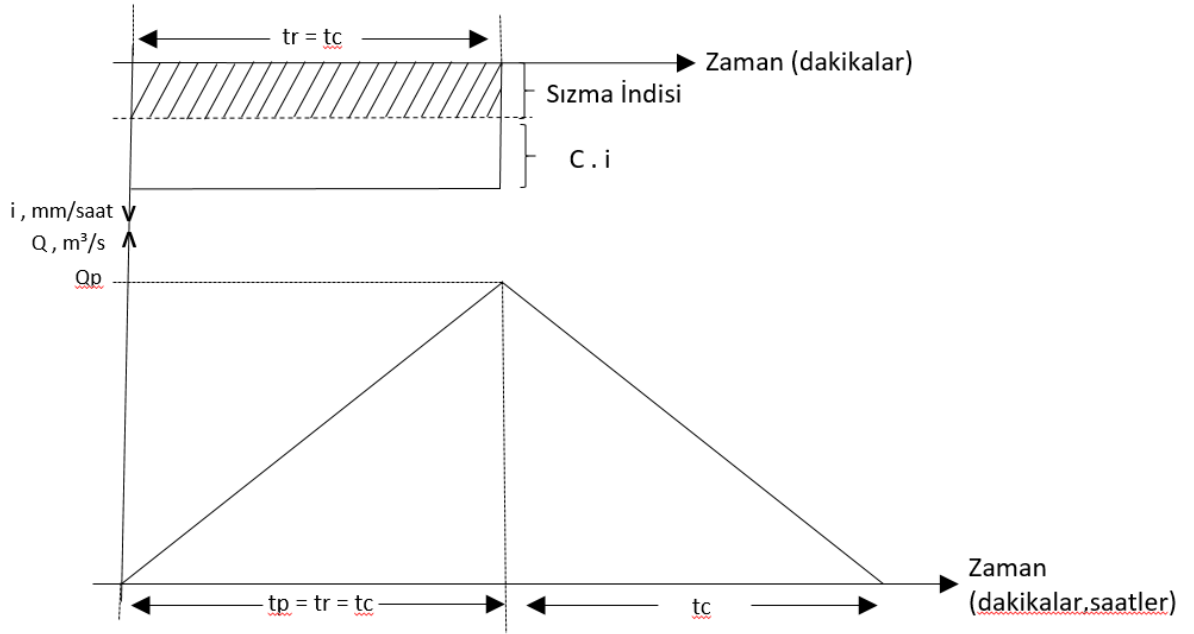
eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada, C: havzanın ortalama sızma kapasitesi katsayısıdır (boyutsuz) ve bu katsayı 0 ile 1 aralığında değerler alır ($0 < C < 1$). Havza yüzeyi tamamen sızdırmaz bir tabaka yapısı ile kaplıysa $C = 1$ değerini alarak $P_e = P_t$ olur. İlgili kitap ve yayınlarda kırsal ve kentsel havzalarda çeşitli yüzey tabakaları için C tabloları verilmektedir (Örneğin: Chow ve diğ 1986, Gürer ve Günyaktı 2020, ODOT 2014). Tablo 2.2’de çeşitli yüzey özelliklerine bağlı olarak C katsayısı değerleri verilmektedir.

Tablo 2.2. Çeşitli alanlarda C katsayıları [16]

Alan tipi	C katsayısı
Ticari alanlar	
Şehir merkezleri	0,70 – 0,95
Tali merkezler	0,50 – 0,70
İkamet alanları	
Tek katlı konut alanları	0,30 – 0,50
Çok katlı ayırık nizam konut alanları	0,40 – 0,60
Çok katlı bitişik nizam konut alanları	0,60 – 0,75
Mücvir alanlar	0,25 – 0,40
Çok katlı apartman alanları	0,50 – 0,70
Endüstriyel alanlar	0,50 – 0,80
Ağır sanayi alanları	0,60 – 0,90
Parklar	0,20 – 0,35
Gelişmemiş alanlar	0,10 – 0,30

6-) Yüzeysel akım hidrografının yükselme ve alçalma dalları doğrusaldır (lineerdir). Bu kabul gerçekçi olmayan bir varsayım olabilir. Yüzeysel akım hidrografının hem yükselen hem de alçalan dalları eğrisel olabilir. Fakat, $t_r = t_c$ olduğu için, havzanın çıkış kesitine en uzak noktasından çıkış kesitine kadar yüzeysel akımın seyahat zamanı toplanma zamanına eşit olacak ve yağmur t_c anında kesildiği için yağmurun bitimiyle birlikte havzanın çıkış kesitinde akımın sıfırlanacağı zaman arasındaki süreç t_c 'ye eşit olacaktır. $t_r = t_c$ olduğu için yüzeysel akım hidrografının pik zamanı da t_r 'ye ve dolayısıyla t_c 'ye eşit olacaktır. Özetle, $t_p = t_r = t_c$ eşitlikleri gerçekleşecektir. Pik debiden sonra alçalma dalı süresi de t_c 'ye eşit olacaktır. Dolayısıyla, hidrografın yükselme ve alçalma dallarının süreleri birbirine eşit olacak ve hidrografın şekli pik debi zamanına göre (t_p 'ye göre) simetrik bir şekil arz edecektir. Bu varsayım ile hidrografın yükselme ve alçalma dallarının doğrusal olduğu kabulü yapıldığında, Rasyonel Formüle göre yüzeysel akım hidrografi bir ikizkenar üçgen olmak zorundadır.

Yukarıda özetlenen kabuller ile Rasyonel Formüle göre tasarım yağmur hiyetografinin ve bunun oluşturduğu yüzeysel akım hidrografının şematik biçimleri Şekil 2.9’de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.9. Rasyonel Formüle göre hiyetograf – hidrograf modeli.

Yukarıda özetlenen kabullere göre oluşan şekilden yararlanarak Rasyonel Formül ile pik debi hesabı aşağıda açıklandığı gibi yapılır.

Kütlenin korunumu prensibine göre havzaya düşen toplam yağmurun bir kısmı, yağmur süresi boyunca, $\phi = (1-C) \cdot i$ değerinde bir sızma oranı ile yeraltına geçeceği için, yağmur süresi boyunca, $C \cdot i$ değerinde bir yağma hızı ile etki eden ve yüzeysel akım oluşturan efektif yağmurun t_r süresi boyunca havzaya boşaltacağı toplam su hacmi, bunun havzanın çıkış kesitinde oluşturduğu yüzeysel akım hidrografının başından sonuna kadar taşıdığı su hacmine eşit olması gerekir. Bu ekstrem yağmur olayının toplam hacmini havzanın çıkış kesitinde akıp giden yüzeysel akımın toplam hacmine eşitleyen süreklilik denklemi aşağıda ifade edildiği gibidir.

Artık yağmurun havza içindeki toplam hacmi = yüzeysel akımın çıkış kesitinden akıp giden toplam hacmi

$$(2.2)$$

Toplam yüzeysel akım hacmi yüzeysel akım hidrografının alanına eşittir. Rasyonel Formül modelinde yüzeysel akım hidrografı, tabanı: $2 \cdot tr$ (saat) $\cdot 3600$ (saniye/saat), yüksekliği: Q_p (m^3/s) olan bir ikizkenar üçgendir. Bir üçgenin alanı, tabanı ile yüksekliğinin çarpımının ikiye bölümüne eşit olduğuna göre, yukarıda özetlenen kabuller altında ve kullandığımız semboller ile, her iki tarafı da m^3 biriminde iken (2.2) nolu eşitliğin analitik biçimi aşağıdaki gibidir.

$$Pe(mm) \cdot (10^3 \text{ m/mm}) \cdot A(\text{hektar}) \cdot (10^4 \text{ m}^2/\text{hektar}) = 2 \cdot tr(\text{saat}) \cdot (3600 \text{ saniye/saat}) \cdot Q_p(m^3/s)/2 \quad (2.2)$$

Burada, A: hektar biriminde havzanın drenaj alanı, Q_p : m^3/s biriminde yüzeysel akım hidrografının pik debisidir, ve eşitliğin her iki tarafındaki su hacmi m^3 birimindedir. Bilindiği gibi, $1 \text{ km}^2 = 100 \text{ hektar}$ ve $1 \text{ hektar} = 10000 \text{ m}^2$ 'dir. Pe yerine, Rasyonel Formüle göre oluşan, onun (2.1) nolu eşitlikteki değerini yerine koyarsak, (2.2) nolu eşitlik aşağıdaki gibi olur.

$$C \cdot i(mm/saat) \cdot tr(saat) \cdot (10^{-3} \text{ m/mm}) \cdot A(\text{hektar}) \cdot (10^4 \text{ m}^2/\text{hektar}) = 2tr(saat) \cdot (3600 \text{ saniye/saat}) \cdot Q_p(m^3/s)/2 \quad (2.2)$$

Q_p için düzenlenirse bu eşitlik aşağıdaki gibi olur.

$$Q_p(m^3/s) = (tr/tr) \cdot C \cdot i(mm/saat) \cdot (10^{-3} \text{ m/mm}) \cdot A(\text{hektar}) \cdot (10^4 \text{ m}^2/\text{hektar}) / (3600 \text{ saniye/saat}) \quad (2.3)$$

Eşitliğin sağ tarafının birimlerini ayrıca irdelersek:

$$[(mm/saat) \cdot (m/mm) \cdot (hektar) \cdot (m^2/hektar) / (saniye/saat)] = (m^3/saniye)$$

Dolayısıyla, i : mm/saat, A: hektar biriminde iken (2.3) nolu eşitlik aşağıdaki öz hale gelir.

$$Q_p(m^3/s) = (0.00278) \cdot C \cdot i(mm/saat) \cdot A(\text{hektar}) \quad (2.3)$$

Veya, havza küçük olduğu için pik debi m³/s yerine litre/saniye biriminde ifade edildiğinde (2.3) nolu eşitlik aşağıdaki gibi olur.

$$Q_p(\text{lt/s}) = (2.78) \cdot C \cdot i(\text{mm/saat}) \cdot A(\text{hektar}) \quad (2.4)$$

2.2.2. Hidrolik Tasarım

Proje güzergâhı hidrolik tasarımı yapılırken, mümkün olduğunca doğal arazi eğimlerinden faydalanılarak, cazibeli akış sağlanacak şekilde, ekonomik olarak tasarlanmalıdır. Ayrıca bu hidrolik tasarım yapılırken boru ve muayene baca tabanlarında yağmur suyu akımları esnasında katı madde birikimini önlemek ve sürdürülebilir bir sistem elde etmek amacıyla olması gereken minimum hız ve eğim şartlarına dikkat edilmelidir. Yağmur suyu hatlarında katı madde birikimini engellemek için hız 0,5 m/sn'nin altına düşmemelidir. Ayrıca hız 5 m/sn'yi geçmemelidir.

Yapımı gerçekleştirilecek borularda eğimler 1/A şeklinde gösterilmelidir. Boru eğimleri; kullanılan boru cinsine göre seçilen pürüzlülük katsayısı, boru çapı ve hız sınırlarına göre Colebrook-White, Manning veya Kutter denklemlerinden elde edilebilir veya yaklaşık olarak Tablo 2.3'deki değerler alınabilir.

Tablo 2.3. Farklı boru çapları için verilebilecek minimum ve maksimum eğimler [16]

Çap (mm)	Minimum Eğim (1/A)	Minimum İstisnai Eğim (1/A)	Maksimum eğim (1/A)
200	300	----	7
300	500	----	7
400	600	900	25
500	800	1000	25
600	1000	1500	25
700	1000	1500	50
800	1200	1800	50
900	1500	1800	50
1000	2000	2500	75
1200	2050	2500	75
1400	2100	2500	75
1600	2150	2500	75
2000	2250	2500	75
3000	2500	2500	75

Projede hattın imal edileceği arazinin zemin eğimi, boru içerisindeki akış hızını 5 m/sn'den daha büyük bir hıza ulaştırıyor ise hızı azaltmak amacıyla şütlü muayene bacaları tercih edilmelidir. Eğer zemin eğimi hattın akışı için verilecek olan eğimden küçükse veya ters eğim var ise hattın bağlanacağı noktadaki arazi kotları dikkate alınarak maksimum kazı derinliklerini aşmadan kazı derinliğini en aza indirecek şekilde boru eğimleri tercih edilmelidir.

Kazı derinliklerinde ekstrem bir durum olmadığı sürece Tablo 2.4'de verilen değerler alınmalıdır.

Tablo 2.4. Farklı boru çapları için kazı derinlikleri [16]

Boru çapı (mm)	Derinlik (cm)
300	150
400	160
500	170
600	180
700	190
800	200
900	210
1000	220
1100	230
1200	240
1400	260
1600	280
1800	300

2.3. Yağmur Suyu Çizim ve Projelendirme Yazılımı-MsKanal

Belediyeler, alt yapı kuruluşları (İller Bankası, İSKİ, ASKİ, BUSKİ, KASKİ, SASKİ gibi), inşaat mühendisliği, çevre mühendisliği, altyapı proje ve yüklenici firmaları ile GIS (Coğrafi Bilgi Sistemi) alanında faaliyette bulunan kurumlar için geliştirilmiş olan MsKanal, hidrolik modelleme yapabilen atık su ve yağmur suyu çizim ve projelendirme yazılımıdır.

MsKanal yazılımı Türkçe menülerden oluşur ve tüm komutlara tek bir ortamdan ulaşılabilir.

Projede yapılmış olan planlama, yazılımdaki elemanlar ile (baca, boru, havza alanı, pompa) rahatlıkla yapılabilir ve oluşturulan sistem görülebilir. Bu şekilde sadece sistemin taslak yapısı değil aynı zamanda ana iskeleti de oluşturulabilir, hesap ve boyutlandırma için gerekli veriler kısa bir sürede hazırlanabilir.

MsKanal, elemanları sadece grafik olarak çizime yerleştirmekle kalmaz, bu elemanlara ait bilgileri de veri tabanında anında oluşturur.

MsKanal'daki SAM (Sayısal Arazi Modeli) özelliği ile zemin kotunun, sayısal haritalarda enterpolasyon ile okunmasına gerek kalmaz. Çalışılan bölgenin SAM'i mevcut ise, bacalar yerleştirildiği anda düğüm noktasına ait zemin kotları otomatik olarak SAM'de okunabilir ve veri tabanı bilgisine yazılır.

Planlanan sistemin proje tipi atık su veya yağmur suyu olarak seçilebilir.

Muayene Baca isimleri ve borular otomatik olarak aynı anda oluşturulabilir.

Program içerisinde bulunan boru kataloğundan istenilen boru çapı ve malzeme seçilebilir.

Elemanların renk, kalınlık, çizgi stili, tabaka, font gibi özelliklerini tanımlanabilir ve değiştirilebilir.

Atık su ve yağmur suyunda kullanılan alan tipleri tanımlanabilir, yoğunluk, su tüketimi, akış katsayısı gibi değerler değiştirilebilir.

Darcy/Colebrook, Manning ve Kutter formüllerine göre hesap yapılabilir.

Maksimum düşü, maksimum kazı derinliği, viskozite gibi değerler boyutlandırma öncesinde değiştirilebilir, yeniden tanımlanabilir ve tekrar tekrar boyutlandırma yapılabilir.

Boru akış yönleri istenildiği şekilde düzenlenebilir.

Boyutlandırmada hidrolik tasarım kriterleri (hız, eğim vb.) değiştirilebilir.

Yağmur suyu hesap ve boyutlandırmasında Süre-Şiddet-Frekans Eğrileri ister denklemlerle ister ham data ile belirlenebilir.

Yağmur suyu projelerinde dairesel kesitin yanında kutu trapez kesitler de tanımlanabilir ve boyutlandırması yapılabilir.

Hesap ve boyutlandırma sonrasındaki akar kot, boru çapları gibi değerleri değiştirebilir, bu şekilde projeye müdahale edilebilir.

Boru bilgilerinin her detayı ayrı ayrı veya birleşik olarak görülebilir.

İster hesap öncesinde ister sonrasında istenilen güzergâhların boy kesitleri otomatik olarak alınabilir, başka dosyalara kaydedilebilir ve bunlardan çıktı alınabilir.

Şebeke ve kolektör hatları için kot-eğim düzenlemesi yapılarak, istenilen eğim ile boru giriş ve çıkış aktar kotları ayarlanır.

Girişi yapılan her elemanın hesap ve boyutlandırması için değişiklikler yapılabilir. Muayene bacası veya borunun arazi kotu, ismi ve çapı gibi değerler değiştirilebilir.

Proje çözümü sonrasında, genel veya detaylı hesap raporları alınabilir, farklı formatlara dönüştürülebilir ve çıktı alınabilir.

Mevcut alt yapı sistemi üzerine ilave debiler girilerek proje çözümü yapılabilir. Sonuçlara göre mevcut ve yeni taşıma kapasitesi değerlendirilebilir.

Proje çözümü sonrasında kazı ve dolgu hesaplamaları otomatik olarak yapılabilir.

Çalışılan proje ile ilgili sonuçlar, detaylı olarak renkli tematik görsel haritalar haline getirilebilir.

2.4. Yağmur Suyu Uygulamalarında Yeni Yaklaşımlar

Meteorolojik veriler dikkate alınarak geçmişle günümüz kıyaslandığında, ülkemizde ve dünya genelinde sıcaklıkların arttığı, bunun yanı sıra yağışların da düzensizleştiği görülmektedir. Buna bağlı olarak yağışların değişimi, arazi ve su kaynakları ile üretim sistemlerini olumsuz olarak etkilemektedir. Bu durum ciddi ekolojik

ve hidrolojik dengesizliklere yol açtığından, çok yakın zamanda muhtemel kuraklık riskleriyle karşı karşıya kalınması söz konusu olabilecektir. Bu durumda yaşanacak olumsuz etkilerin azaltılabilmesi, su kıtlığının asgari düzeyde tutulabilmesi ve kuraklık sorununun çözülebilmesini temin etmek için bazı tedbirlerin alınması zorunlu hale gelmiştir.

Bu nedenle, modern ve sürdürülebilir yağmur suyu projeleri ön plana çıkmıştır. Bu projeler pik yağışlarda meydana gelen taşkın ve sel olaylarının önüne geçmek, yer altı sularını korumak ve alternatif su kaynakları elde etmek amacıyla yapılmaktadır. Projeler ile alakalı çeşitli uygulamalar aşağıda açıklanmıştır.

2.4.1. Geçirimli Zemin Kaplamaları

Bu kaplamalar, yağışla birlikte yüzeysel akışa geçen yağmur suyunun akış miktarı ve debisinin azaltılmasını, yer altına sızdırılarak yer altı suyu beslemesini sağlamaktadır. Kentsel alanlarda geçirimsiz yüzeylerin azaltılması amacıyla kullanılmaktadır. Yollarda ve kaldırımlarda geçirimli asfalt, doğal taş ve kilitli parke uygulamaları yapılmaktadır.



Şekil 2.10. Geçirimli zemin kaplama örneği (Kaski Birim İç Sunum)

2.4.2. Yağmur Bahçeleri

Yağmur bahçeleri, konut bahçesinden daha geniş alanlara farklı oranlarda uygulanabilen yüzey akışının yönlendirildiği, yağmur miktarına göre, çeşitli bitki ve materyallerle (taşlar, yongalar vb.) düzenlemelerin yapıldığı estetik alanlardır. Yağmur bahçesinin en temel özelliği; yağmur sonrası yüzeysel akışa geçen fazla yağışın tutularak, erozyon, sel, taşkın ve su kirliliğine neden olmadan yer altına emilimini sağlamaktır. Bu durum, yer altı su seviyesinin beslenmesine ve dolayısıyla su döngüsüne de olumlu yansımaktadır. Kentsel alanlarda yağmur bahçesinin uygulanması, son derece kolay ve ekonomik olmasının yanı sıra, sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi açısından da oldukça etkilidir.

2.4.3. Yer Altı Yağmur Suyu Depolama Alanları (Modern Sarnıç)

Yağış anında ve sonrasında yüzeysel akışa geçen yağmur suyunu depolamak ve ihtiyaç halinde kullanmak için yapılan bir sistemdir. Su kalitesini yeterli oranda sağlamadığından dolayı sulama sistemlerinde kullanılabilmektedir. Proje yapımına göre modern sarnıçlar arıtma veya filtre sistemi kurulabilir hale gelmektedir.

2.4.4. Yer Altına Sızdırma Sistemi (İnfiltrasyon Sistemi)

Kentlerde yeşil alanların azalarak yapılaşmanın hızla artmasından kaynaklı su kaynakları olumsuz etkilenmektedir. Bu nedenle su kaynaklarını korumak yer altı suyunu beslemek amacıyla infiltrasyon yöntemi kullanılması gerekmektedir. İnfiltrasyon sistemleri sızma hacmi olan topraklarda, şiddetli yağışları depolamak ve yer altı suyunun beslemesi sağlamak için inşa edilirler. Konvansiyonel yağmur suyu sistemlerine göre ekonomik olarak daha az maliyetli ve daha kolay uygulanabilir olduğu düşünülmektedir.

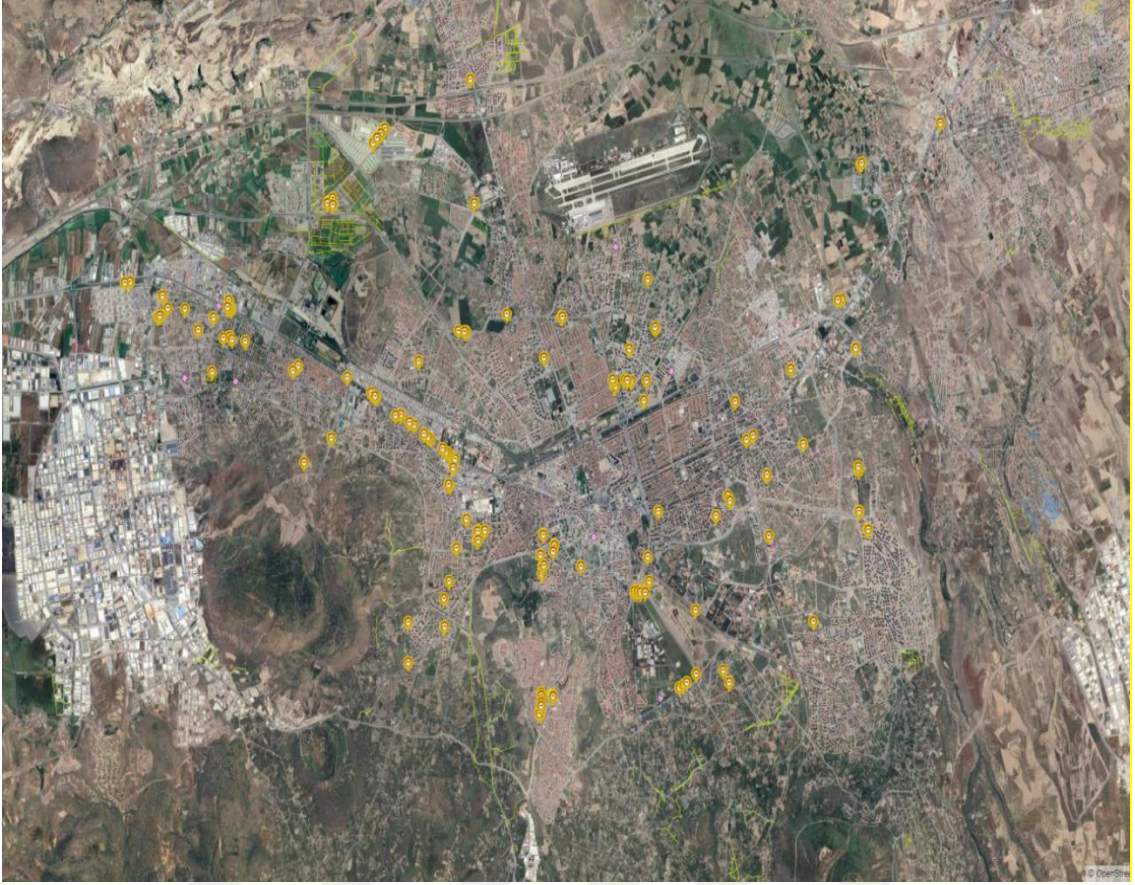


Şekil 2.11. Yağmur bahçesi örnekleri (Kaski Birim İçi Sunum)



Şekil 2.12. Yer altı yağmur suyu depolama örneği (Kaski Birim İçi Sunum)





Şekil 2.14. KASKİ tarafından yapılan yağmur hasadı noktaları (Kaski CBS)

Bugüne kadar yapılan imalatlarda herhangi bir problem yaşanmamış olup, birleşik sistem olarak çalışan atık su hatlarındaki yükü hafiflettiğinden dolayı kanalizasyon taşmalarının da önüne geçilmiştir. Bu faaliyet kapsamında KASKİ Genel Müdürlüğü Kanalizasyon Dairesi Başkanlığı'nca dere yatağına ve taşkın koruma kanallarına teknik nedenlerden dolayı iletilemeyen yağmur suyu hatları yapılması gereken bölgelerde kullanılmaya başlanmıştır. Örnek olarak; Kayseri İli Melikgazi İlçesi Erenköy Mahallesi Askeri Hastahane Caddesinde büyük çaplı yağmur hasadı projesi yapılmış ve uygulaması tamamlanmıştır. 1500 metre uzunluğunda yapılan yağmur suyu hattının deşarjı, bölgede bulunan askeri alan içerisindeki yeşil alanlara, 3 adet Ø2600 mm altı açık beton büzler konularak içerisi kırmataş agrega doldurulmuş ve yağmur suyu yer altına verilmiştir. Şekil 2.15'te yağmur suyu projesi, Şekil 2.16 ve Şekil 2.17'da deşarj noktalarının yapımından görseller sunulmaktadır.



Şekil 2.15. Erenköy Mahallesi Askeri Hastahane Caddesi yağmur suyu hattı ve yeşil alana deşarj noktaları (Kaski CBS)



Şekil 2.16. Yağmur suyu deşarj noktası tabanı



Şekil 2.17. Yağmur hasadında uygulanan Ø2600 mm beton büzün yerleştirilmesi aşaması

3. BÖLÜM

BULGULAR

Proje alanı belirlemek amacıyla Kayseri ilinin zemin özellikler, imar planı ve mevcut alt yapı durumu incelenmiştir. Yapılan araştırma sonucunda proje alanı olarak Kocasinan ilçesi sınırları içerisinde kalan Yakut Mahallesi seçilmiştir. Yakut Mahallesi atık su ve yağmur suyu hatları birleşik sistem olarak çalışan, yağışlı havalarda taşkın ve geri tepme sorunu yaşanan bir bölge olduğu gözlemlenmiştir. Bölgede konvansiyonel yağmur suyu sistemi kullanılarak en yakın deşarj sağlanacak şekilde boru çapları, muayene bacaları ve güzergâh projelendirilecek, bununla ilgili yaklaşık maliyet hesaplamaları yapılacaktır. Bu sistemin alternatifi olarak sürdürülebilir yağmur suyu sisteminin tasarım ve uygulamalarından olan yeşil alanlara deşarj (yağmur hasadı) mevcut altyapı sistemine entegre edilerek projelendirilecek ve hesaplamalar yeniden yapılacaktır. Konvansiyonel ve modern yağmur suyu uygulamaları maliyet açısından karşılaştırılacaktır.

3.1. Konvansiyonel Yağmur Suyu Sistemi Projesi

3.1.1. Deşarj Noktası Belirlenmesi

Konvansiyonel yağmur suyu sistemi bütün yağmursularının toplanarak uygun bir noktaya deşarj edildiği sistemdir. Projede öncelikle deşarj noktası belirleme işlemi için zemin kotları ve bölge incelenmiş, yağmur suyu hattının yapılabilmesi için en verimli deşarj noktası olarak, aşağıda Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, Yakut Mahallesinin kuzeyinde bulunan taşkın koruma kanalı ile bağlanan ve mansap noktasının Kızılırmak olduğu Sarımsaklı Deresi tercih edilmiştir.

3.1.2. Proje Güzergâhı Çizimi

Deşarj noktası tayini akabinde yağmur suyu hatlarının yapılacağı proje güzergâhları belirlenmiştir. Güzergâh belirlenirken mevcut imar planına uyularak yapılacak hatların bakım, onarım ve işletmeye mani durum olmayacak, imar adası ve parsellerden geçmeyecek şekilde imar yollarına uyularak çizimi gerçekleştirilmiştir. Bu kriterler ile belirlenen Yakut Mahallesi yağmur suyu proje güzergahı Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Sarımsaklı Deresi ve Yakut Mahallesi Genel Görünüm



Şekil 3.2. Yakut Mahallesi yağmur suyu proje güzergahı

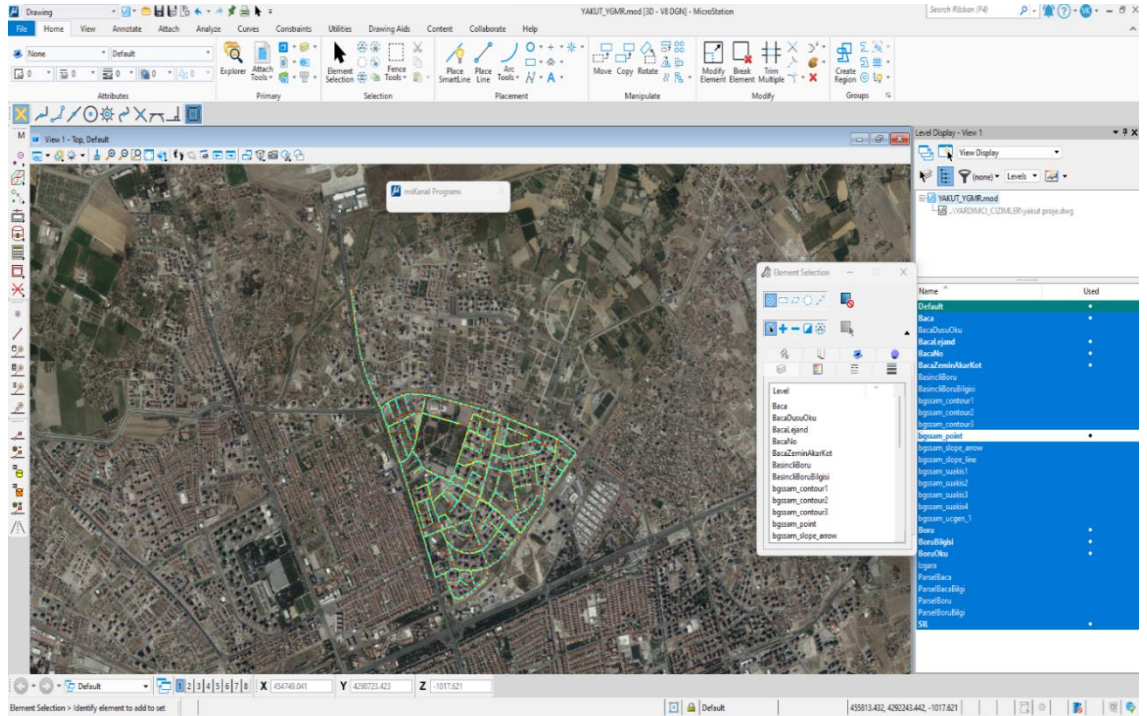
3.1.3. Boru Akış Yönleri ve Muayene Baca Noktaları Tayini

Yağmur suyu proje güzergâhı belirlendikten sonra MsKanal programı ile proje alanımızın zemin kotlarına göre boru akış yönleri ve muayene baca noktaları belirlenmiştir. MsKanal programı içerisinde tanımlanan güzergâha ve zemin kotlarına göre otomatik olarak bu işlemi yapmaktadır fakat her ihtimale karşı kontrolü yapılmış ve

düzenleme gereken yerlere müdahale edilmiştir. Belirlenen boru akış yönlerinin ve muayene bacalarının detaylı görünümü Şekil 3.3'te genel görünümü de Şekil 3.4'te sunulduğu gibidir.



Şekil 3.3. Boru akış yönleri ve muayene bacalarının detaylı görünümü



Şekil 3.4. Boru akış yönleri ve muayene bacalarının genel görünümü

3.1.4 Yüzeysel Su Akış Çizgileri ve Alan Belirlenmesi

Sonrasında, MsKanal programı yardımıyla, Şekil 3.5’de görüldüğü gibi yüzeysel su akış çizgileri oluşturulmuştur. Yüzeysel su akış çizgileri zemin kotlarına ve arazi yapısına göre yağış anında ve sonrasında meydana gelecek yağmur suyu akışının yönlerini belirtmektedir. Yüzeysel su akış çizgilerinden faydalanılarak yağmur suyunun akışına ve toplanma noktasına göre güzergâhta bulunan hattı içine alacak şekilde alan belirlenmesi yapılır. Oluşturulan alan çizimleri Şekil 3.6’da verilmiştir.



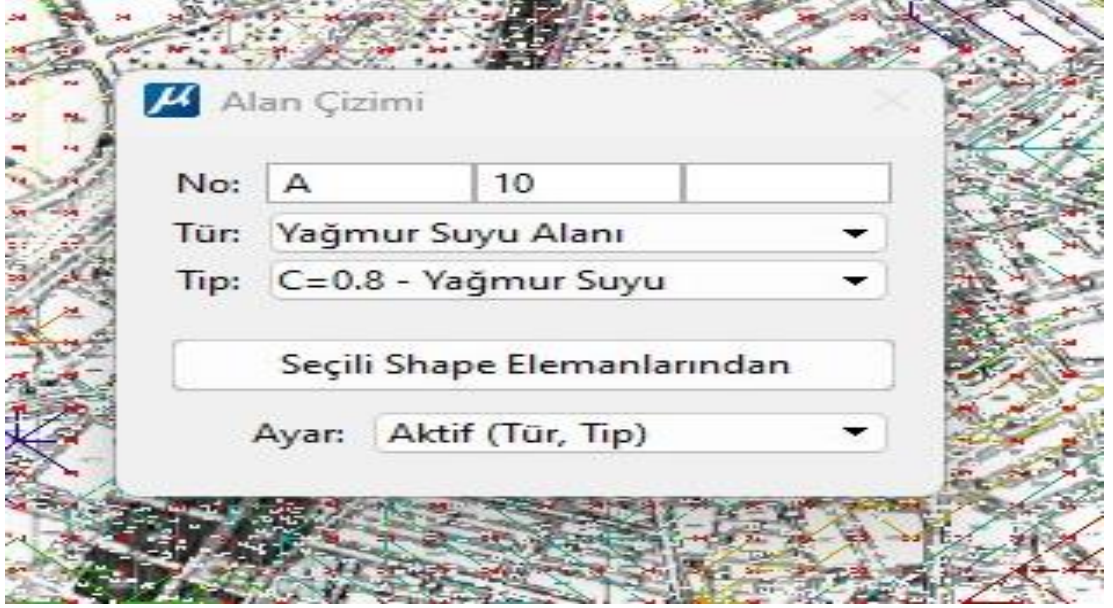
Şekil 3.5. Yüzeysel su akış çizgileri



Şekil 3.6. Alan çizimleri

3.1.5. Yüzeysel Akış Katsayısı (C) ve Boru Çapı (Ø) Belirlenmesi

Yağışlardan sonra meydana gelen yüzeysel akış, buharlaşma, yer yüzeyindeki çukurlarda toplanma ve zemine sızma gibi nedenlerden dolayı azalır. Yağışın yüzeysel olarak akışa geçen kısmı alanın su verme karakteristiği veya akış katsayısı olarak tanımlanır. Uygulamada genellikle yüzeysel akış katsayısı bir drenaj alanı için sabit alınmaktadır. Yağış katsayısının kayıplar ve mevsimsel değişimlere bağlı olmasından dolayı yağış katsayısının daha doğru bir şekilde belirlenebilmesi için bitki örtüsü, alanın jeolojik, hidrojeolojik ve jeomorfolojik özellikleri ile diğer hidrolojik parametrelerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Hall, 1984). Projede oluşturulan alanların genelinde Tablo 2.2’de verilen Şehir Merkezi değerlerinden $C = 0.8$ alınmış olup, yeşil alan ve parklarda $C = 0.1$ alınarak işlemlere devam edilmiştir.



Şekil 3.7. MsKanal programında yüzeysel akış katsayısı seçimi

Akış katsayısının belirlemesinden sonra MsKanal programında bulunan boru kataloğundan minimum çapı Ø300 mm olacak şekilde Ø1000 mm boruya kadar koruge cinsi boru, Ø1000 mm üzerinde boru çapı çıkması durumunda entegre contalı çelik donatılı beton boru olacak şekilde seçim yapılmıştır.

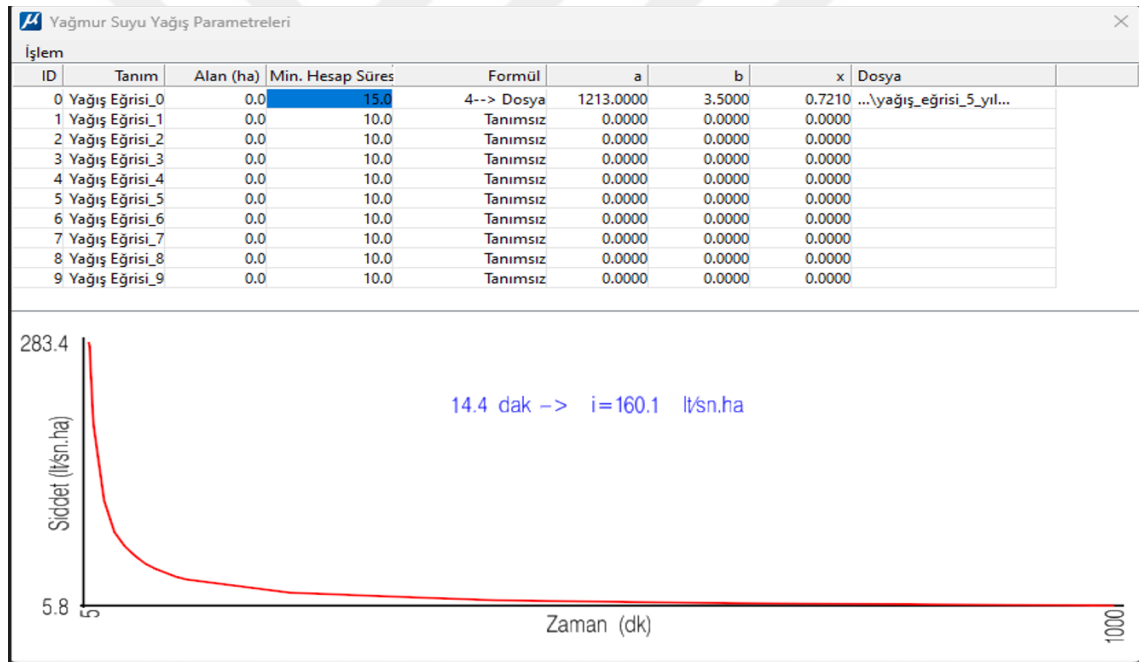
Boru Kataloğu																	
Çap (m)	Malzeme	İç Çap (mm)	Dış Çap (mm)	Et Kalınlığı (mm)	Akar Deri	Colebrook	Manning	Kutter	Min Hız	Maks Hız	Min Eğim	Max Eğim	Min Su D	Doluluk (%)	Ağırlık (kg/r)	Uzunluk (r)	Fiyat
300	KRG	300	300	0	1.500	1.0000	0.009	0.11	0.50	5.00	500.00	7.00	0.02	95.00	1.00	6.00	1.00
400	KRG	400	400	0	1.600	1.0000	0.009	0.11	0.50	5.00	900.00	15.00	0.02	95.00	1.00	6.00	1.00
500	KRG	500	500	0	1.700	1.0000	0.009	0.11	0.50	5.00	1000.00	15.00	0.02	95.00	1.00	6.00	1.00
600	KRG	600	600	0	1.800	1.0000	0.009	0.11	0.50	5.00	1500.00	15.00	0.02	95.00	1.00	6.00	1.00
800	KRG	800	800	0	2.000	1.0000	0.009	0.11	0.50	5.00	1800.00	50.00	0.02	95.00	1.00	6.00	1.00
1000	KRG	1000	1000	0	2.200	1.0000	0.009	0.11	0.50	5.00	2500.00	75.00	0.02	95.00	1.00	6.00	1.00
1200	ECBA	1200	1200	0	2.400	1.5000	0.014	0.20	0.50	5.00	1000.00	75.00	0.02	95.00	3100.00	2.00	1.00
1400	ECBA	1400	1400	0	2.600	1.5000	0.014	0.20	0.50	5.00	1000.00	75.00	0.02	95.00	4000.00	2.00	1.00
1600	ECBA	1600	1600	0	2.800	1.5000	0.014	0.20	0.50	5.00	1000.00	75.00	0.02	95.00	4600.00	2.00	1.00
1800	ECBA	1800	1800	0	3.000	1.5000	0.014	0.20	0.50	5.00	1000.00	75.00	0.02	95.00	5800.00	2.00	1.00
2000	ECBA	2000	2000	0	3.200	1.5000	0.014	0.20	0.50	5.00	1000.00	75.00	0.02	95.00	7100.00	2.00	1.00
2200	ECBA	2200	2200	0	3.400	1.5000	0.014	0.20	0.50	5.00	1000.00	75.00	0.02	95.00	8800.00	2.00	1.00

Seçilen Borular																	
Sıra	Çap (m)	Malzeme	İç Çap (mm)	Dış Çap (mm)	Et Kalınlığı (mm)	Akar Deri	Colebrook	Manning	Kutter	Min Hız (m/s)	Maks Hız (m/s)	Min Eğim	Max Eğim	Min Su D	Doluluk (Q/)	Ağırlık (kg/m)	Uzunluk (m)
1	300	KRG	300	300	0	1.500	1.0000	0.009	0.11	0.50	5.00	500.00	7.00	0.02	95.00	1.00	6.0
2	400	KRG	400	400	0	1.600	1.0000	0.009	0.11	0.50	5.00	900.00	15.00	0.02	95.00	1.00	6.0
3	500	KRG	500	500	0	1.700	1.0000	0.009	0.11	0.50	5.00	1000.00	15.00	0.02	95.00	1.00	6.0
4	600	KRG	600	600	0	1.800	1.0000	0.009	0.11	0.50	5.00	1500.00	15.00	0.02	95.00	1.00	6.0
5	800	KRG	800	800	0	2.000	1.0000	0.009	0.11	0.50	5.00	1800.00	50.00	0.02	95.00	1.00	6.0
6	1000	KRG	1000	1000	0	2.200	1.0000	0.009	0.11	0.50	5.00	2500.00	75.00	0.02	95.00	1.00	6.0
7	1200	ECBA	1200	1200	0	2.400	1.5000	0.014	0.20	0.50	5.00	1000.00	75.00	0.02	95.00	3100.00	2.0
8	1400	ECBA	1400	1400	0	2.600	1.5000	0.014	0.20	0.50	5.00	1000.00	75.00	0.02	95.00	4000.00	2.0
9	1600	ECBA	1600	1600	0	2.800	1.5000	0.014	0.20	0.50	5.00	1000.00	75.00	0.02	95.00	4600.00	2.0
10	1800	ECBA	1800	1800	0	3.000	1.5000	0.014	0.20	0.50	5.00	1000.00	75.00	0.02	95.00	5800.00	2.0
11	2000	ECBA	2000	2000	0	3.200	1.5000	0.014	0.20	0.50	5.00	1000.00	75.00	0.02	95.00	7100.00	2.0
12	2200	ECBA	2200	2200	0	3.400	1.5000	0.014	0.20	0.50	5.00	1000.00	75.00	0.02	95.00	8800.00	2.0

Şekil 3.8. MsKanal programında boru kataloğu

3.1.6. Yağmur Suyu Debisi Hesapları

Bazılarının gözlem başlangıcı 1930'lara kadar uzayan, ülkemizde Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nce (MGM) işletilmekte olan 240 adet plüviyografli yağmur ölçüm istasyonu vardır. Yağmur verileri her beş yılda bir MGM tarafından yayınlanmakta olup son yayın tarihi 2020'dir. Bu çalışmada öncelikle, Kayseri istasyonunda, 1950 – 2020 arasında ölçülmüş, eksik ve uyumsuz veriler dışında geçerli, her biri 63 elemanlı 5 dakikadan 24 saate kadar 14 adet standart süreli ekstrem yağmur serilerine, 2010 yılında Tübitak destekli bir araştırma projesinin ürünü olan bilgisayar paket programı ile kapsamlı frekans analizleri uygulanarak Kayseri için güncel şiddet-süre-frekans ilişkileri elde edilmiştir. Program içerisinde proje çözümü için entegre edilmiş olan, Kayseri iline ait 5 yılda bir yağması muhtemel olan ve toplanma zamanı arazi eğimine göre 15 dakika kabul edilen şekil 3.9.'da görülen 160.1 lt/sn/ha değer seçilmiştir.



Şekil 3.9. 5 yıl tekerrürlü 15 dakika süreli yağmurun oluşturduğu debi seçimi

3.1.7. MsKanal Programı ile Proje Çözümü ve Sonucu

Projede tüm veri girişlerinden sonra MsKanal programının çalıştırılması ile proje çözülmüş olup minimum Ø300 mm koruge borudan başlamak üzere maksimum Ø2200 mm entegre contalı beton boru ile çözümleme sağlanmıştır. Proje metrajı toplam 22.693 metredir. Projede 429 adet muayene bacası bulunmaktadır. Proje 162 ha alana hitap etmekte olup deşarj noktası olan Sarımsaklı Deresine gelen debi 5877 lt/sn olup hattımız

%80 dolulukta çalışacaktır. Projenin B286 nolu deşarj bacasına gelen maksimum debi 7021 lt/sn'dir. 5 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışın havza toplanma süresi 53 dakika olarak hesaplanmıştır. Yağış şiddeti 55,17 lt/sn.ha dır.

YAKUT_YGMR_5_yıl_iReport - Not Defteri						
Dosya	Düzenle	Görünüm				
1. Kademe	432	1053.64	1049.29	7.05	1.50	2.51
Deşarj Noktası	1	1050.32	1050.32	6.78	6.78	0.00
Toplam	433	1053.64	1049.29	7.05	1.50	2.50
Borular...						
Toplam Adet	:	429				
Toplam Yatay Uzunluk	:	22693.00 m				
Toplam Eğik Uzunluk	:	22693.05 m				
Ortalama Uzunluk	:	52.90 m				
Minimum Uzunluk	:	26.00 m				
Maksimum Uzunluk	:	132.00 m				
Minimum Çap	:	300 mm				
Maksimum Çap	:	2200 mm				
Toplam (Boru)...		Yatay(m)	Eğik(m)	Baca(#)		
300 mm KRG	:	5647.00	5647.03	115		
400 mm KRG	:	2341.00	2341.01	47		
500 mm KRG	:	1934.00	1934.00	37		
600 mm KRG	:	940.00	940.00	17		
800 mm KRG	:	2923.00	2923.00	53		
1000 mm KRG	:	2782.00	2782.00	51		
1200 mm ECBA	:	2217.00	2217.00	40		
1400 mm ECBA	:	542.00	542.00	9		
1600 mm ECBA	:	589.00	589.00	10		
1800 mm ECBA	:	661.00	661.00	13		
2000 mm ECBA	:	634.00	634.00	10		
2200 mm ECBA	:	1483.00	1483.00	27		
Toplam Uzunluk	:	22693.00	22693.05			

St 25, Süt 44

Şekil 3.10. Boru çapı, cinsi ve metraj dağılımı

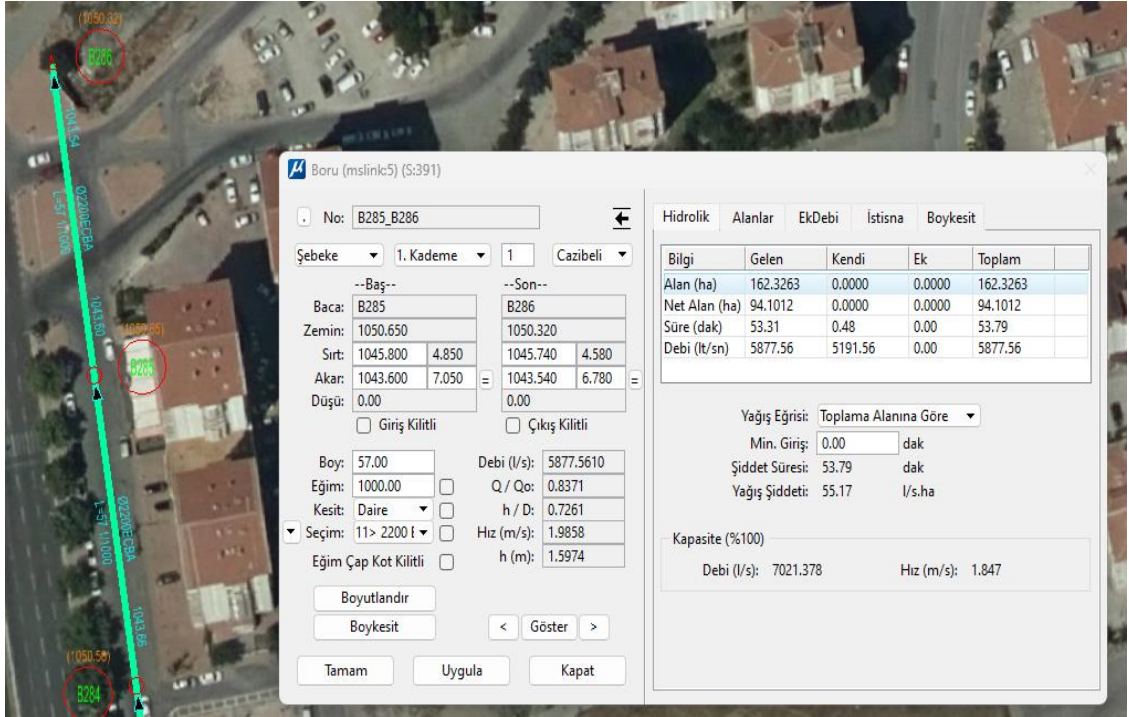
Aşağıdaki tablolar proje çözümü sonrası çıkan hesap tabloları olup, ilk baca ve son baca verileri detaylı olarak gösterilmektedir. Yağış esnasında ilk bacaya yüzeysel akışın giriş süresi 5 dakikadır. Ø300 mm boru ile 0,98 dakikada 48,49 litre, 0,93 m/sn hız

ile %78,68 doluluk oranında 2 nolu bacaya yağmur suyunu aktardığı görülmektedir. Bütün yağmursularının toplanıp B286 nolu bacaya gelme ve deşarja aktarma süreleri de aşağıda verilmiş olup son bacadaki debi %83 doluluk oranı ile 5877 lt/sn olarak sonuçlanmıştır.

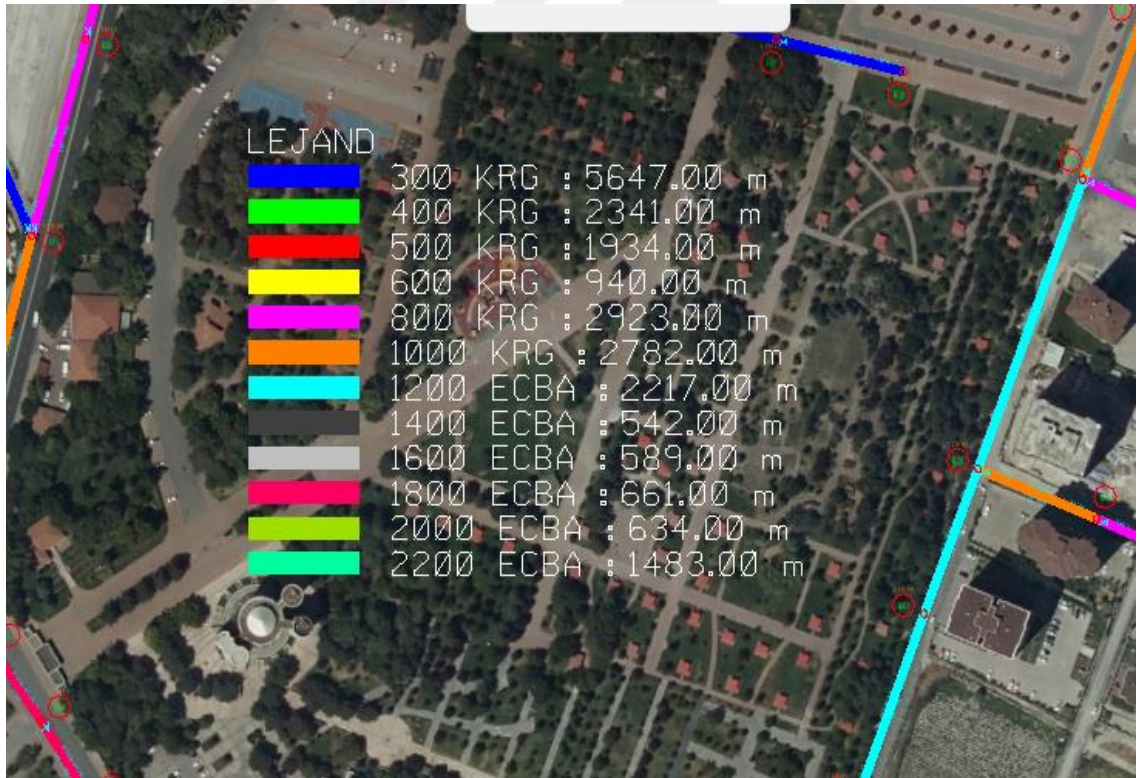
Tablo 3.1. İlk baca ve son baca verileri

Baca no	Baca no	Toplam kısmi alan	Toplam net alan	Süreler			Yağış şiddeti	Hesap debisi	Boru		
				Giriş	Akış	Toplam			Boy	Eğim	Çap
Baş	Son	ha	ha	dak	dak	dak	lt/sn/ha	lt/sn	m		mm
B1	B2	0,3905	0,3124	5	0,98	5,98	160,1	48,5969	55	500	300
B285	B286	162,3263	94,1012	53,31	0,48	53,79	55,17	5877,56	57	1000	2200

Baca no	Baca no	Hız	Su yüksekliği	Doluluk oranı	Zemin Kotu		Sırt Kot		Akar Kot	
					Baş	Son	Baş	Son	Baş	Son
Baş	Son	m/sn	cm	%	m	m	m	m	m	m
B1	B2	0,9385	20,62	78,68	1051,62	1051,8	1050,4	1050,31	1050,12	1050,01
B285	B286	1,9858	159,74	83,71	1050,65	1050,32	1045,8	1045,74	1043,6	1043,54



Şekil 3.11. Deşarj bacası alan-süre-debi bilgileri



Şekil 3.12. Proje lejandı



Şekil 3.13. Proje genel görünümü

3.2. Yeşil Alanlara Deşarj (Yağmur Hasadı) Yağmur Suyu Sistemi Projesi

Konvansiyonel sistem yağmur suyu projesi çözümü sonrasında MsKanal programı yardımıyla Yakut Mahallesi için sürdürülebilir yağmur suyu sisteminin tasarım ve uygulamalarından olan yeşil alanlara deşarj (yağmur hasadı) sistemi projelendirme çalışması yapılmıştır. Konvansiyonel sistemden farklı olan bu sistemde yağmursularının toplanarak tek noktaya deşarj edilmeden imar planı üzerinde bulunan yeşil alanların deşarj noktası olarak kullanılması esas alınmış ve yağış sonrası yüzeysel akışa geçen yağmursularının yeşil alanlara verilerek yer altı sularına katkı sağlaması hedeflenmiştir. Yakut Mahallesi'nin seçilme amacı da zaten imar planında bulunan yeşil alanların fazla olmasıdır. 3.1 numaralı bölümde ve alt bölümlerinde anlattığımız deşarj noktası,

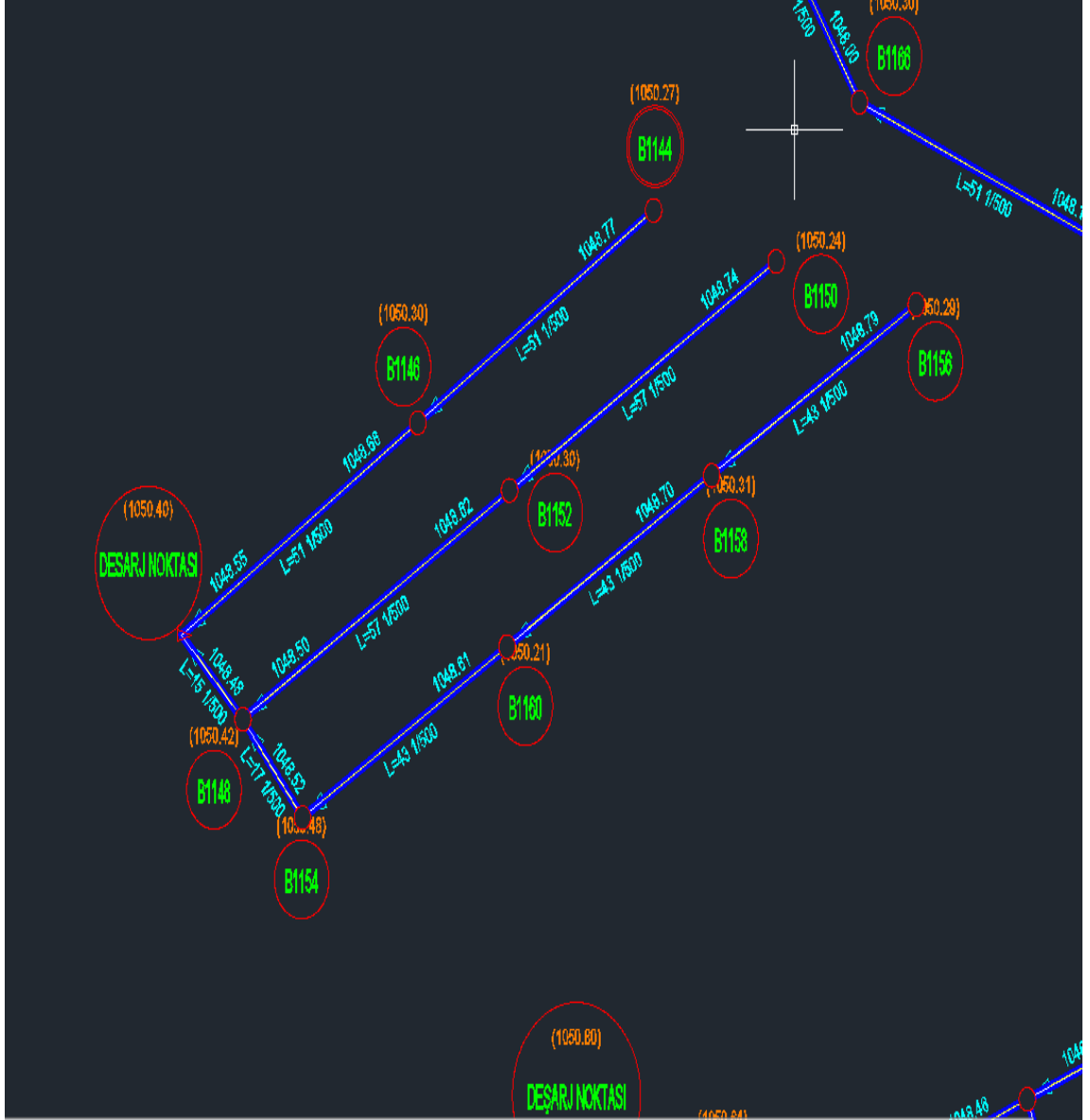
güzergâh, baca ve boru yönleri tayini gibi işlemlerin aynıları yapılacağından dolayı bu bölümde yaptığımız işler kısaca özetlenmiş ve şekiller ile desteklenmiştir.

Projede önceki sayfalarda verilen Yakut Mahallesi imar planı detaylı olarak incelenmiş yeşil alan ve park alanları deşarj noktası olarak tayin edilmiş olup toplam 49 adet deşarj verilecek nokta belirlenmiştir.



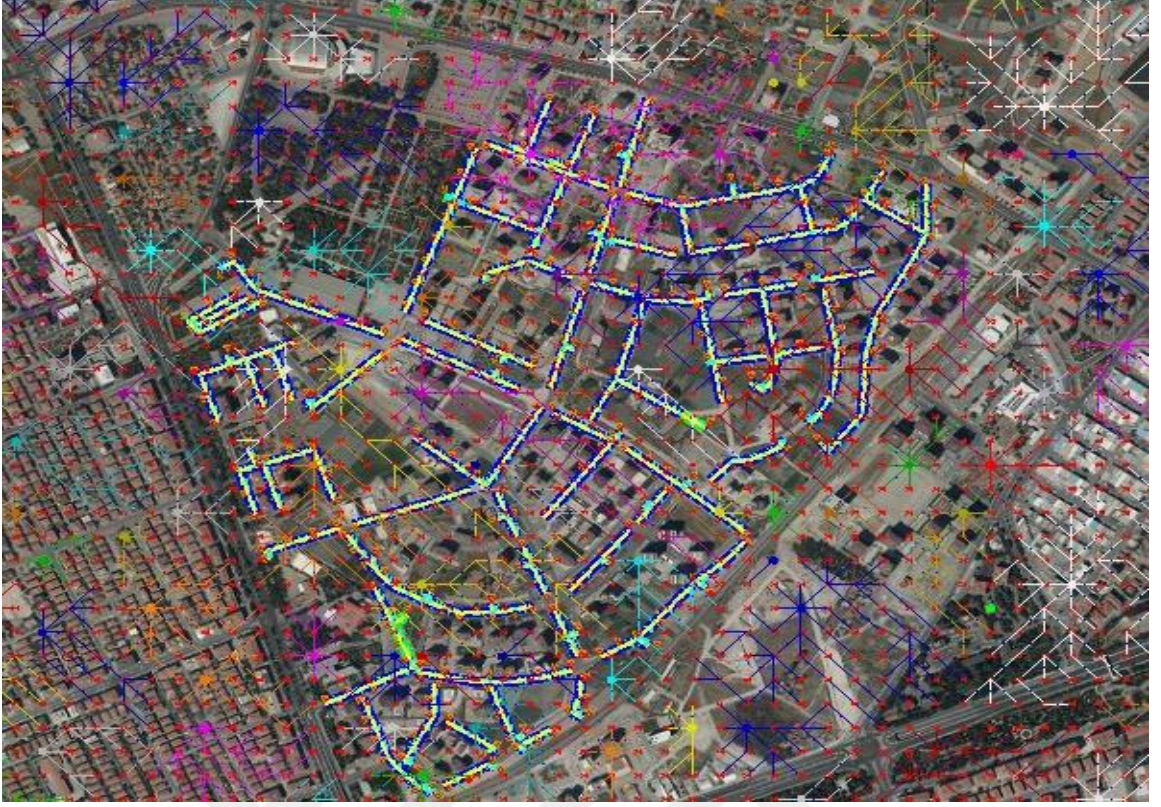
Şekil 3.14. Deşarj noktaları (mavi renkle belirtilmiş) ve proje güzergâhı

Şekil 3.14’de görüldüğü üzere mavi renkte olan noktalar yeşil alan ve park alanları olup deşarj noktaları olarak seçilmiştir. Zemin kotları incelenerek imar planına göre cadde ve sokaklardan yağış sonrası yüzeysel akışa geçecek yağmur suyunun akış yönü de dikkate alınarak sarı renkte olan çizim proje güzergâhı olarak belirlenmiştir. Sonrasında muayene baca yerleri ve boru akış yönleri düzenlenmiştir.



Şekil 3.15. Boru akış yönleri ve muayene baca noktaları detayı

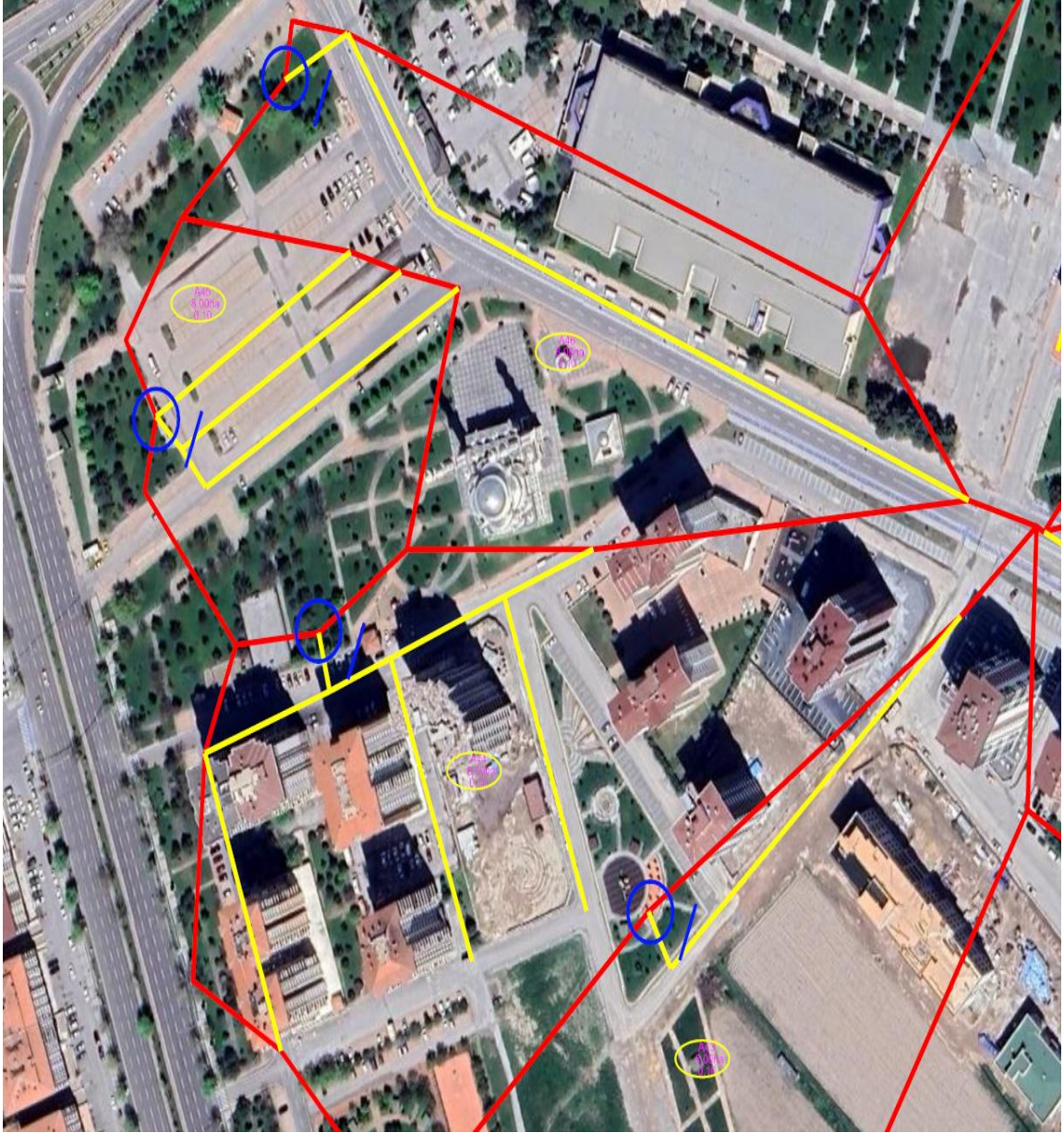
Konvansiyonel sistem yağmur suyu projesi yapımında olduğu gibi alanın yüzeysel su akış çizgileri MsKanal programı tarafından oluşturulmuş ve bu akış çizgilerine göre alanlar belirlenmiştir. Alanlar belirlenirken her bir deşarja giden hatlar da göz önünde bulundurularak 51 adet alan belirlenmiştir. 3.16, 3.17, 3.18 nolu şekillerde yüzeysel su akış çizgileri alan detayları ve genel alan görünümü verilmektedir. Alanlar belirlendikten sonra Tablo 2.2’de belirtilen yüzeysel akış katsayısı C değeri seçilmiş ayrıca proje çözümü öncesi yağmur suyu debisi hesabı için Şekil 3.9’da belirtilen Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden alınan 5 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağış debisi seçilmiştir.



Şekil 3.16. Yüzeysel su akış çizgileri



Şekil 3.17. Akış alanların oluşturulması



Şekil 3.18. Akış alanları detaylı görünümü

Bütün veri girişleri tamamlanmasından sonra MsKanal programı çalıştırılmış ve proje çözümü gerçekleştirilmiştir. Proje sonucuna göre minimum Ø300 mm maksimum Ø500 mm koruge boru ile yağmur suyu projesi çıkmış olup toplamda 13.133 m yağmur suyu hattı yapımı 49 adet deşarj noktası ve yaklaşık 250 adet muayene bacası yapımı hesaplanmıştır. Bütün muayene bacalarının, planlanan hatların ve deşarj noktalarının debi, doluluk oranı, taşıma süresi, hızı gibi bilgiler yer almakta olup ilerleyen sayfalarda örnek olarak bir kısmın bilgilerine yer verilecektir. 3.19, 3.20, 3.21 nolu şekillerde proje genel görünümü, proje detaylı görünümü, boru çap ve metrajları verilmiştir.



Şekil 3.19. Proje sonucu genel görünüm



Şekil 3.20. Proje boru çap ve metraj detayı



Şekil 3.21. Proje detaylı görünümü

Şekil 3.21. de gösterilen deşarj noktasına ait detaylı veriler; baca numaraları, kısmi ve net alanlar, giriş-akış ve toplam süreler, yağış şiddeti, hesap debisi, akış hızı, boru içi su yüksekliği ve doluluk oranı, zemin kotu, boru üst kotu ve boru akar kotu aşağıda ki tabloda verilmiştir. B930 nolu deşarj bacasını temsil etmekte olup yer altına sızmalı şekilde uygulanacak olan altı açık bacadır.

Tablo 3.2. Proje sonucu 2 nolu deşarj noktasına ait veriler

Baca No	Baca No	Toplam	Toplam	Süreler			Yağış Şiddeti	Hesap Debisi
		Kısmi	Net	Giriş	Akış	Toplam		
		Alan	Alan					
Baş	Son	ha	ha	dak	dak	dak	lt/sn/ha	lt/sn
B964	B962	0,3317	0,0332	5	0,95	5,95	160,1	5,1646
B962	B960	0,6634	0,0664	5,95	0,79	6,74	160,1	10,3292
B960	B958	1,2733	0,1274	6,74	0,94	7,68	160,1	19,8183
B958	B956	1,6478	0,1648	7,68	0,56	8,24	160,1	25,6363
B956	B954	2,0223	0,2022	8,24	0,67	8,91	160,1	31,4542

B954	B952	2,5252	0,2525	8,91	0,86	9,77	160,1	39,2789
B952	B950	3,0281	0,3028	9,77	0,84	10,61	160,1	47,1036
B950	B940	3,1886	0,3189	10,61	0,27	10,88	160,1	49,6081
B948	B946	0,4922	0,0492	5	1,15	6,15	160,1	7,6536
B946	B944	0,9844	0,0984	6,15	0,45	6,6	160,1	15,3071
B944	B942	1,4766	0,1476	6,6	0,55	7,15	160,1	22,9607
B942	B940	1,9688	0,1968	7,15	0,88	8,03	160,1	30,6142
B940	B938	5,35	0,535	10,88	0,36	11,24	160,1	83,2246
B938	B936	5,7887	0,5789	11,24	0,82	12,06	160,1	90,0537
B936	B928	6,2274	0,6228	12,06	0,78	12,84	160,1	96,8828
B932	B934	0,428	0,0428	5	1,14	6,14	160,1	6,658
B934	B928	0,856	0,0856	6,14	0,95	7,09	160,1	13,3159
B928	B930	7,4258	0,7426	12,84	0,59	13,43	160,1	115,5189
Baca No	Baca No	Boru			Hız	Su Yükseliği	Doluluk Oranı	
		Boy	Eğim	Çap				
Baş	Son	m		mm	m/sn	cm		
B964	B962	31	500	300	0,5433	5,79	8,36	
B962	B960	31	500	300	0,6562	8,2	16,72	
B960	B958	57	248	300	1,0129	9,63	22,6	
B958	B956	35	269	300	1,0506	11,28	30,44	
B956	B954	35	500	300	0,8764	15,14	50,93	
B954	B952	47	500	300	0,9146	17,53	63,6	
B952	B950	47	500	300	0,9366	20,06	76,26	
B950	B940	15	500	300	0,9393	20,97	80,32	
B948	B946	46	383	300	0,6663	6,58	10,85	
B946	B944	46	47	300	1,7211	5,5	7,6	
B944	B942	46	115	300	1,3917	8,46	17,83	
B942	B940	46	500	300	0,8718	14,91	49,57	
B940	B938	18	900	400	0,8405	29,4	84,68	
B938	B936	41	900	400	0,8316	32,17	91,63	
B936	B928	41	1000	500	0,8782	27,48	57,86	
B932	B934	40	500	300	0,5832	6,58	10,78	
B934	B928	40	500	300	0,7028	9,36	21,56	

B928	B930	32	1000	500	0,9037	30,92	68,99
Baca No	Baca No	Zemin Kotu		Sırt Kot		Akar Kot	
		Baş	Son	Baş	Son	Baş	Son
Baş	Son	m	m	m	m	m	m
B964	B962	1051,9	1051,88	1050,7	1050,63	1050,4	1050,33
B962	B960	1051,88	1051,85	1050,63	1050,56	1050,33	1050,26
B960	B958	1051,85	1051,53	1050,56	1050,33	1050,26	1050,03
B958	B956	1051,53	1051,4	1050,33	1050,2	1050,03	1049,9
B956	B954	1051,4	1051,4	1050,2	1050,13	1049,9	1049,83
B954	B952	1051,4	1051,3	1050,13	1050,03	1049,83	1049,73
B952	B950	1051,3	1051,24	1050,03	1049,93	1049,73	1049,63
B950	B940	1051,24	1051,2	1049,93	1049,9	1049,63	1049,6
B948	B946	1052,71	1052,59	1051,51	1051,39	1051,21	1051,09
B946	B944	1052,59	1051,61	1051,39	1050,41	1051,09	1050,11
B944	B942	1051,61	1051,21	1050,41	1050,01	1050,11	1049,71
B942	B940	1051,21	1051,2	1050,01	1049,91	1049,71	1049,61
B940	B938	1051,2	1051,2	1049,9	1049,88	1049,5	1049,48
B938	B936	1051,2	1051,2	1049,88	1049,83	1049,48	1049,43
B936	B928	1051,2	1051,1	1049,83	1049,78	1049,33	1049,28
B932	B934	1051,2	1051,48	1050	1049,92	1049,7	1049,62
B934	B928	1051,48	1051,1	1049,92	1049,84	1049,62	1049,54
B928	B930	1051,1	1051,12	1049,78	1049,74	1049,28	1049,24

KASKİ tarafından Yakut Mahallesi'nde ve Kayseri'nin birçok yerinde yeşil alana yağmursuları verilerek yer altına sızdırma (yağmur hasadı) işlemi uygulanmaktadır. Aşağıdaki şekilde projemizde kullanılacak olan sızdırmalı bacanın örneği ve yapımı görülmektedir.



Şekil 3.22. Yeraltına sızdırmalı baca yapımı KASKİ uygulaması

3.3 Projelerin Yaklaşık Maliyet Hesapları

Her iki projenin de yaklaşık maliyet hesabı 2023 yılı Temmuz ayı sonrası İller bankası Alt Yapı Tesisleri birim fiyat cetveline göre hesaplanmıştır. Boru çaplarına göre işçilik ve boru fiyatları hesaplanmıştır.

Tablo 3.3. Konvansiyonel sistem yağmur suyu projesi maliyeti

KONVANSİYONEL SİSTEM YAĞMUR SUYU YAKLAŞIK MALİYET HESAP TABLOSU					
S.NO	POZ NO	POZ ADI	BİRİM FİYAT	METRAJ (adet/m)	TOPLAM FİYAT
1	İB/43.527.1 003	300 mm Koruge Boru ve İşçilik Bedeli	₺318,74	5.647	₺1.799.924,78
2	İB/43.560.1 504	Çıkış çapı 300 mm Prefabrik muayene bacası	₺3.682,00	115	₺423.430,00
3	İB/43.527.1 004	400 mm Koruge Boru ve İşçilik Bedeli	₺469,41	2.341	₺1.098.888,81
4	İB/43.560.1 507	Çıkış çapı 400 mm Prefabrik muayene bacası	₺4.043,00	47	₺190.021,00
5	İB/43.527.1 005	500 mm Koruge Boru ve İşçilik Bedeli	₺682,78	1.934	₺1.320.496,52
6	İB/43.560.1 510	Çıkış çapı 500 mm Prefabrik muayene bacası	₺4.782,00	37	₺176.934,00
7	İB/43.527.1 006	600 mm Koruge Boru ve İşçilik Bedeli	₺944,94	940	₺888.243,60
8	İB/43.560.1 513	Çıkış çapı 600 mm Prefabrik muayene bacası	₺4.808,00	17	₺81.736,00
9	İB/43.527.1 008	800 mm Koruge Boru ve İşçilik Bedeli	₺1.491,25	2.923	₺4.358.923,75
10	İB/43.560.1 517	Çıkış çapı 800 mm Prefabrik muayene bacası	₺9.310,00	53	₺493.430,00
11	İB/43.527.1 010	1000 mm Koruge Boru ve İşçilik Bedeli	₺2.300,95	2.782	₺6.401.242,90
12	İB/40.126.1 164	1200 mm Entegre Contalı Beton Boru ve İşçilik Bedeli	₺3.591,30	2.217	₺7.961.912,10
13	İB/40.126.1 165	1400 mm Entegre Contalı Beton Boru ve İşçilik Bedeli	₺3.898,60	542	₺2.113.041,20
14	İB/40.126.1 166	1600 mm Entegre Contalı Beton Boru ve İşçilik Bedeli	₺5.236,00	589	₺3.084.004,00
15	İB/40.126.1 202	1800 mm Entegre Contalı Beton Boru ve İşçilik Bedeli	₺7.355,20	661	₺4.861.787,20
16	İB/40.126.1 203	2000 mm Entegre Contalı Beton Boru ve İşçilik Bedeli	₺9.005,20	634	₺5.709.296,80
17	İB/40.126.1 204	2200 mm Entegre Contalı Beton Boru ve İşçilik Bedeli	₺11.572,00	1.483	₺17.161.276,00
18	KASKİ	Ø1000-Ø2200 mm Çap Aralığında Yerinde Dökme Betonarme Muayene Bacası Yapımı	₺15.000,00	160	₺2.400.000,00
TOPLAM MALİYET:					₺60.524.588,66

Tablo 3.4. Yeşil alana deşarj sistemi yağmur suyu projesi maliyeti

YEŞİL ALANA DEŞARJ SİSTEMİ YAĞMUR SUYU YAKLAŞIK MALİYET HESAP TABLOSU					
S.NO	POZ NO	POZ ADI	BİRİM FİYAT	METRAJ (adet/m)	TOPLAM FİYAT
1	İB/43.527. 1003	300 mm Koruge Boru ve İşçilik Bedeli	₺318,74	12.700	₺4.047.998,00
2	İB/43.560. 1504	Çıkış çapı 300 mm Prefabrik muayene bacası	₺3.682,00	254	₺935.228,00
3	İB/43.527. 1004	400 mm Koruge Boru ve İşçilik Bedeli	₺469,41	293	₺137.537,13
4	İB/43.560. 1507	Çıkış çapı 400 mm Prefabrik muayene bacası	₺4.043,00	6	₺24.258,00
5	İB/43.527. 1005	500 mm Koruge Boru ve İşçilik Bedeli	₺682,78	140	₺95.589,20
6	İB/43.560. 1510	Çıkış çapı 500 mm Prefabrik muayene bacası	₺4.782,00	3	₺14.346,00
7	KASKİ	Deşarj Noktaları Yapımı	₺30.000,00	49	₺1.470.000,00
TOPLAM MALİYET:					₺6.724.956,33

Yukarıda ki tablolarda da görüldüğü üzere konvansiyonel sistem yağmur suyu projesinin yapım yaklaşık maliyeti (kazı dolgu hariç) toplam 60.524.588,66 TL olup, aynı şekilde hesaplanan yeşil alana deşarj (yağmur hasadı) sisteminin maliyeti 6.724.956,33 TL olarak hesaplanmıştır. Konvansiyonel sistem metrajı toplam 22.693 metre, sürdürülebilir sistem metrajı 13.133 metredir. Arada bulunan yaklaşık 9.000 metrelik fark, konvansiyonel sistemde tek deşarj olmasından kaynaklı kolektör hatları yapılması gerekliliğindendir.

4. BÖLÜM

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, konvansiyonel sistem yağmur suyu ve sürdürülebilir yağmur suyu yöntemlerinden yeşil alanlara deşarj (yağmur hasadı) sistemi projeleri yapılmış ve kıyaslanmıştır. Bu amaçla, Kayseri İli Kocasinan İlçesi Yakut Mahallesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Yakut Mahallesi'nin mevcut alt yapısı, imar planı, zemin özellikleri ve yağmur suyu projesi için gerekli deşarj noktaları incelenmiştir. Her iki proje için de 5 yıl ortalama tekerrür periyotlu 15 dakikalık yağmur verileri kullanılarak Rasyonel Yöntem ile bu yağmurdan oluşacak debi hesaplamaları yapılmıştır. Proje alternatifleri MsKanal paket programı yardımıyla çözülmüş ve sonuçlandırılmıştır.

Konvansiyonel sistem yağmur suyu projesi için Yakut Mahallesi kuzeyinde yer alan Sarımsaklı Deresi tercih edilmiş ve yağmur suyu hattı planlanan bütün cadde ve sokaklardan drene olan akımlar toplanıp tek noktadan Sarımsaklı Deresine deşarj edilerek projelendirilmiştir. Yeşil alana deşarj sistemi projesinde Yakut Mahallesi imar planı incelenerek yeşil alanlar belirlenmiş ve 49 adet deşarj noktası seçilmiştir. Seçilen deşarj noktalarına göre arazi kotları ve yüzeysel su akış çizgileri incelenerek deşarj noktasına yağmur suyunu ulaştıracak hatlar belirlenmiş ve proje çözümü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre her iki alternatif proje hidrolik ve boru karakteristiklerine göre karşılaştırılmış, maliyet analizleri yapılmıştır.

Konvansiyonel sistem yağmur suyu projemizin çözümü sonucu ortaya çıkan sonuçlara göre toplam 22.693 metre yağmur suyu hattına ihtiyaç duyulmakta, minimum Ø300 mm koruge boru ve maksimum Ø2200 mm entegre contalı beton boru ile çözüm sağlanmaktadır. Konvansiyonel sistemde yağmursuları toplanarak tek noktadan deşarj olacağından dolayı hem şebeke hem de kolektör hatları gerekmemekte olduğundan dolayı boru çapları bir hayli büyükmektedir. 3. Bölümdeki Şekil 3.9'da boru çap ve metraj dağılımı verilmiş olup yaklaşık maliyet hesabı bu şekilde çıkan sonuca göre boru ve işçilik maliyeti üzerinden yapılmıştır. Tablo 3.3'te görüldüğü üzere konvansiyonel sistem yağmur suyu projesi sonucu yapım maliyeti 60.524.588 Türk Lirası olarak hesaplanmıştır.

Aynı şekilde modern yağmur suyu sistemlerinden yeşil alana deşarj (yağmur hasadı) projesi çözümünde ortaya çıkan sonuçlarda toplam 13.133 metre minimum Ø300 mm ve maksimum Ø500 mm koruge borular ile yağmur suyu hattına ihtiyaç duyulmakta

ve 49 noktaya deşarj bacası yapımı gerekmektedir. Projemizin boru çap ve metraj dağılımı Şekil 3.19’da gösterilmekte olup yaklaşık maliyet hesabı Tablo 3.4’te gösterilmekte ve 6.724.956 Türk Lirası olarak hesaplanmaktadır.

Maliyet analizi açısından kıyaslandığında konvansiyonel sistem yağmur suyu yapımının, sürdürülebilir sisteme yağmur hasadı yapımına göre yaklaşık 10 katı bir fiyat farkı olduğu görülmektedir. Sürdürülebilir modern yağmur suyu sisteminin daha ekonomik olduğu aşıkardır. Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi (KASKİ) 2019 yılından itibaren bu sistemi yapmakta fakat tekil ızgara bazlı veya sadece cadde sokak bazında çalışmalar yapıldığı tespit edilmiştir. Bu yüksek lisans tezi mahalle linde proje alternatifi olarak hazırlanmıştır.

Ayrıca, deşarj noktaları bakımından kıyaslama yapılırsa konvansiyonel sistem yağmur suyu projeleri her zaman yakın bölgede bulunan dere yatağı, taşkın koruma kanalı gibi alanlara yapılması gerektiğinden yağmur esnasında ve sonrasında yağmursuları mevcut havzadan uzaklaştırılmakta, aynı zaman da yapılaşma fazla olduğundan dolayı havzada yağmur suyu kalmamakta ve yeraltı sularına beslenme azalmaktadır. Yeşil alanlara deşarj (yağmur hasadı) sisteminde ise yeşil alanlar ve yer altı direk deşarj noktası olarak kullanıldığından dolayı yağmursuları yağdığı havzayı ve yeraltı sularını besleme görevi yapmaktadır. Kullanılan deşarj bacaları içerisine konulacak olan kırmataş (mıcır) tabakaları ve yeraltı sularına kadar olan zemin katmanları yağmursularına filtre görevi de görerek, yollara damlamış olan araç motor yağları gibi maddeleri taşıyan yağmur suyunun kirliliğini azaltacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Haktanır, T.; Aydemir, A.; Çıtakoğlu, H. (2022) Kayseri Meteoroloji İstasyonunda Gözlenmiş Standart Süreli Yıllık Maksimum Yağmur Serilerinin Frekans ve Trend Analizleri. XI. Ulusal Hidroloji Kongresi, 13–15 Ekim 2022, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, Bildiriler Kitabı.
- [2] Diren D (2012) Konvansiyonel Yağmursuyu Yönetim Sistemleri İle Sürdürülebilir Yağmursuyu Yönetim Sistemlerinin Karşılaştırılması: İTÜ Ayazağa Yerleşkesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- [3] Avdan Z Y, Yıldız D, Çabuk A (2015) Yağmur Suyu Yönetimi Açısından Yeşil Altyapı Sistemlerinin Değerlendirilmesi. 2nd International Sustainable Buildings Symposium. 28-30 Mayıs 2015, Ankara.
- [4] Tanriverdi O (2018) Modern Kentsel Yağmursuyu Drenaj Uygulaması: Adana İli Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- [5] Shakouri N (2016) Kentlerde Yağmursuyu Yönetimi Kapsamında Yeşil Altyapı Peyzaj Planlama Ve Tasarım Yaklaşımı: Sakarya-Hendek Örneği. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Ankara.
- [6] Çırağ B (2021) Yağmursuyu Drenaj Sistemlerinin Taşkın Performansının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Malatya.
- [7] Solmaz S (2021) Su Duyarlı Kentsel Tasarıma Yönelik Yağmur Bahçeleri Modeli: Isparta Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Isparta.
- [8] Kadı O V (2022) Rainwater Harvesting System (Rhs) And Its Applications On Metu Campus. Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.
- [9] Bouwer H (2002) Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. Hydrogeology Journal (2002) 10:121–142. USA.
- [10] Jodar-Abellan (2017) Artificial Groundwater Recharge. Review Of The Current Knowledge Of The Technique. University of Alicante, University Institute of Water and Environmental Sciences, Spain.

- [11] Dereli C K ve ay R D (2020) Sürdürülebilir Yağmur suyu Yönetimi Kapsamında Yeşil Altyapı Sisteminin Değerlendirilmesi: Fırınlarsırtı TOKİ Konutları (Edirne) Yerleşimi İçin Bir Öneri. Journal of Urban Academy, 13(4), 668–687.
- [12] 670–680.Kurtoğlu M E (2021) İstanbul’da Sürdürülebilir Yağmursuyu Yönetimi -Yağmursuyu Izgara Modeli Önerisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- [13] Kiraz M (2018) Sustainable Water And Stormwater Management For Metu Campus. Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, evre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.
- [14] Tanık A (2017) Yağmur Suyu Toplama, Biriktirme ve Geri Kullanımı. Su Kaynakları ve Kentler Sağlıklı Kentler Birliği Kahramanmaraş Konfrenası Bildiriler Kitabı, 28–35.
- [15] KASKİ (2021-2022-2023) Kanalizasyon Dairesi Başkanlığı Birim içi çalışma raporları ve sunumları. Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi, Kayseri.
- [16] 29/6/2011 Tarihli ve 644 Sayılı evre Ve Şehircilik Bakanlığının Yağmursuyu Toplama, Depolama Ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmeliği, Ankara.