T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

DÜŞÜK ETKİLİ KENTLEŞME YÖNTEMLERİ İLE YAĞMUR SUYU DRENAJ SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Selin Ece ALTUN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA

İstanbul – 2024

TEZ TANITIM FORMU

Yazar Adı Soyadı : Selin Ece ALTUN

Tezin Dili : Türkçe

Tezin Adı : Düşük Etkili Kentleşme Yöntemleri ile Yağmur Suyu Drenaj Sistemlerinin Modellenmesi

Enstitü : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tezin Türü : Yüksek lisans

Tezin Tarihi : 12.06.2024

Sayfa Sayısı : 97

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA

Dizin Terimleri : Düşük Etkili Kentleşme (DEK), Yeşil Çatı, Yağmur Bahçeleri, Geçirimli Kaldırım, Yağmur Varili ve Sürdürülebilirlik

Türkçe Özet : Bu tez çalışmasında, Zonguldak ili içerisinde, kentsel yerleşimin yoğun olduğu seçilen çalışma alanına, EPA SWMM programı ile yağmur suyu drenaj sisteminin modellenmesi ve oluşturulan modele Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamalarından; yeşil çatı, yağmur bahçeleri ve yağmur varili metotlarının entegre edilmesi ile 25, 50 ve 100 dönüş aralıklı yağışta, çıkış noktalarında oluşan pik debi değerlerindeki değişim incelenmiştir.

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

İmzası

Selin Ece ALTUN

T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

DÜŞÜK ETKİLİ KENTLEŞME YÖNTEMLERİ İLE YAĞMUR SUYU DRENAJ SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Selin Ece ALTUN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA

İstanbul – 2024

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.

Selin Ece ALTUN

…/…/2024

İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Selin Ece ALTUN' nun Düşük Etkili Kentleşme Yöntemleri ile Yağmur Suyu Drenaj Sistemlerinin Modellenmesi adlı tez çalışması, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği ana bilim dalı, İnşaat Mühendisliği bilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Ferruh MAHNAMFAR

İmza

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA

(Danışman)

İmza

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NURİ

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

… / … / 2024

İmzası

Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Nüfusun, göç vb. çevresel faktörler ile artışı, kentsel yapılaşmayı olumsuz etkilemektedir. Artan kentsel yapılaşma beraberinde, beton ve asfalt gibi geçirimsiz yüzeylerin geniş alanlara yayılmasına sebep olmaktadır. Meydana gelen söz konusu geçirimsiz tabakalar, yağmur sularında sızma kaybı oluşturmakta, yağmur suyunun yeraltına geçişini engellemektedir. Yeraltına aktarılamayan yağmur suları akış haline geçerek, kentlerde su baskınlarına, beraberinde can ve mal kaybı yaşanmasına sebebiyet vermektedir.

Yapılan bu çalışmada, Zonguldak ili içerisinde seçilen, kentleşmenin yoğun olduğu çalışma alanında, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Zonguldak Meteoroloji İstasyonundan alınan veriler ve tasarım kriterleri doğrultusunda, EPA SWMM programı kullanılarak, yağmur suyu drenaj sistemi modellenmiştir. Kurulan bu modele, SWMM programınca tanımlanmış, Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamaları entegre edilerek, bu metotların yüzeysel akış ve pik debi değeri üzerinde olan etkisi incelenmiştir. Kentlerde oluşan kontrolsüz yüzeysel akışa, sürdürülebilir çözümler getirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, EPA SWMM programınca tanımlanmış olan, Düşük Etkili Kentleşme (DEK) yöntemlerinden; yeşil çatı, yağmur bahçeleri ve yağmur varili metotlarının kullanıldığı senaryo oluşturularak tasarlanan model 25, 50 ve 100 yıllık dönüş aralıklı yağış durumu incelenmiştir. Geliştirilen bu senaryoda, modelde oluşturulan tahliye hatlarının çıkış noktalarındaki pik debi değerinde meydana gelen değişim gözlemlenmiştir. Debi miktarlarındaki değişim incelendiğinde;

25 yıllık dönüş aralıklı yağış durumu incelendiğinde, modelde tanımlanmış çıkış noktalarında oluşan debi miktarlarının, Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamalarının entegrasyonu sonucunda bu değerlerin; H1 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %21,12 azaldığı, H2-H3 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %26,15 azaldığı, H4-H5 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %24,32 azaldığı, H6 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %45,85 azaldığı, H7 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %25,30 azaldığı, H8 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %37,83 azaldığı belirlenmiştir.

50 yıllık dönüş aralıklı yağış durumu incelendiğinde, modelde tanımlanmış çıkış noktalarında oluşan debi miktarlarının, Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamalarının entegrasyonu sonucunda bu değerlerin; H1 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %21,90 azaldığı, H2-H3 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %25,86 azaldığı, H4-H5 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %24,27 azaldığı, H6 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %45,71 azaldığı, H7 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %25,18 azaldığı, H8 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %37,84 azaldığı belirlenmiştir.

100 yıllık dönüş aralıklı yağış durumu incelendiğinde, modelde tanımlanmış çıkış noktalarında oluşan debi miktarlarının, Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamalarının entegrasyonu sonucunda bu değerlerin; H1 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %22,01 azaldığı, H2-H3 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %25,40 azaldığı, H4-H5 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %24,20 azaldığı, H6 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %45,59azaldığı, H7 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %25,06 azaldığı, H8 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %37,88 azaldığı belirlenmiştir.

Düşük Etkili Kentleşme Metotlarının entegre edildiği haliyle modelde, tahliye hatlarının çıkış noktalarında oluşan pik debi değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Söz konusu metotların, akışın kontrol altına alınması hususunda çevreci bir yaklaşım olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: EPA SWMM, DEK (Düşük Etkili Kentleşme), Yeşil Çatı, Yağmur Bahçesi, Geçirimli Kaldırım, Yağmur Varili, Sürdürülebilirlik

SUMMARY

Increase in population, migration, etc. by environmental factors affects negatively the urban construction. Increasing urban construction causes impermeable surfaces such as concrete and asphalt to spread over large areas. These impermeable layers create infiltration loss in rainwater and prevent it from passing underground. The rainwater that cannot be transferred underground, causing floods in cities and loss of life and property.

In this study, in the selected study area within the Zonguldak province where urbanization is intense, the rainwater drainage system was modeled using the EPA SWMM program. LID are integrated to the this model, the effects of these methods on surface flow and peak flow rate were examined. Sustainable solutions have found to the uncontrolled surface runoff in cities.

In this study, Low Impact Development (LID) methods defined by the EPA SWMM program; The model designed by creating a scenario in which green roof, rain gardens and rain barrel methods were used, was examined in a 25, 50 and 100-year return interval rainfall situation. In this developed scenario, the change was observed in the peak flow value at the outfall points of the discharge lines created in the model. When the change in flow value is examined;

When the 25-year return interval rainfall situation is examined, it is seen that as a result of the integration of the flow values at the outfall points defined in the model and Low Impact Development (LID) methods, these values are; At the H1 outlet point, the maximum flow amount decreased by 21.12%, at the H2-H3 outlet point, the maximum flow amount decreased by 26.15%, at the H4-H5 outlet point, the maximum flow amount decreased by 24.32%, at the H6 outlet point, the maximum flow amount decreased by 45.85%. It was determined that the maximum flow value decreased by 25.30% at the H7 outlet point and the maximum flow value decreased by 37.83% at the H8 outlet point.

When the 50-year return interval rainfall situation is examined, it is seen that as a result of the integration of the flow values at the outfall points defined in the model and Low Impact Development (LID) methods, these values are; At the H1 outlet point,

the maximum flow amount decreased by 21.90%, at the H2-H3 outlet point, the maximum flow amount decreased by 25.86%, at the H4-H5 outlet point, the maximum flow amount decreased by 24.27%, at the H6 outlet point, the maximum flow amount decreased by 45.71%. It was determined that the maximum flow value decreased by 25.18% at the H7 outlet point, and the maximum flow value decreased by 37.84% at the H8 outlet point.

When the 100-year return interval rainfall situation is examined, it is seen that as a result of the integration of the flow values at the outfall points defined in the model and Low Impact Development (LID) methods, these values are; At the H1 outlet point, the maximum flow amount decreased by 22.01%, at the H2-H3 outlet point, the maximum flow amount decreased by 25.40%, at the H4-H5 outlet point, the maximum flow amount decreased by 24.20%, at the H6 outlet point, the maximum flow amount decreased by 45.59%. It was determined that the maximum flow value decreased by 25.06% at the H7 outlet point and the maximum flow value decreased by 37.88% at the H8 outlet point.

In the model where Low Impact Development Methods were integrated, it was observed that the peak flow value at the outfall points of the discharge lines decreased. This methods have an environmental friendly approach to controlling the flow.

Keywords: EPA SWMM, LID (Low Impact Development), Green Roof, Rain Garden, Permeable Pavement, Rain Barrel, Sustainability

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
SUMMARY ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
KISALTMALAR ..... **vii**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **viii**
GRAFİKLER LİSTESİ ..... **ix**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **x**
ÖNSÖZ ..... **xii**
GİRİŞ **1**

BİRİNCİ BÖLÜM
GENEL BİLGİLER

1.1. Tezin Amacı 3
1.2. Literatür Taraması 3
1.3. Hipotez 6

İKİNCİ BÖLÜM
MATERYAL VE METODOLOJİ

2.1. SWMM (Yağmur Suyu Yönetim Modeli) 7
2.1.1. Model Bileşenleri ve Kullanılacak Veriler 7
2.1.2. Hesaplama Metotları 9
2.1.2.1. Yüzey akımı 9
2.1.2.2. Sızma 10
2.2. Düşük Etkili Kentleşme (DEK) Uygulamaları 10
2.2.1. Yeşil Çatılar 10
2.2.2. Biyotutma 11
2.2.3. Geçirgen Yol 12
2.2.4. Sızdırma Hendeği 13
2.2.5. Bitkili Yağmur Hendeği 14
2.2.6. Yağmur Bahçesi 14

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
MODEL KURULUMU VE SENARYOLAR

3.1. Çalışma Alanı 16
3.2. Model Kurulumu 48
3.2.1. Düğüm Noktalarının (Junction) Oluşturulması 49
3.2.2. Alt Havzaların (Subcatchment) Oluşturulması 50
3.2.3. Boruların (Conduits) Yerleştirilmesi 52
3.2.4. Çıkış Noktalarının (Outfall) Oluşturulması 54
3.2.5. Depolama Ünitesinin (Storage Units) Oluşturulması 56
3.2.6. Pompa Sisteminin (Pumps) Oluşturulması 57

3.2.7. Yağış Ölçer (Rain Gage) Oluşturulması 59
3.3. DEK Metotlarının Modele Entegre Edilmesi.....61
3.4. Yeşil Çatıların Tanımlanması.....63
3.5. Yağmur Bahçeleri Tanımlanması.....63
3.6. Yağmur Varili Tanımlanması.....65

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
MODEL SONUÇLARI

4.1. Yirmi beş (25) Yıllık Dönüş Aralıklı Yağış.....66
4.2. Elli (50) Yıllık Dönüş Aralıklı Yağış 69
4.3. Yüz (100) Yıllık Dönüş Aralıklı Yağış.....71
SONUÇ VE ÖNERİLER 75
KAYNAKÇA.....77

KISALTMALAR

LID	**:**	Low Impact Development
DEK	**:**	Düşük Etkili Kentleşme
EPA	**:**	Environmental Protection Agency
SWMM	**:**	Storm Water Management Model
İSKİ	**:**	İstanbul Su ve Kanalizasyon İşleri
CN	**:**	Havza Yüzey Akış Eğri Numarası
MGM	**:**	Meteoroloji Genel Müdürlüğü

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. 1 numaralı tahliye hattı 1. başlangıç kolu 22
Tablo 2. 1 numaralı tahliye hattı 2. başlangıç kolu 23
Tablo 3. 1 numaralı tahliye hattı tali kolu 23
Tablo 4. 1 numaralı tahliye hattı ana kolu 24
Tablo 5. 2 numaralı tahliye hattı başlangıç kolu. 26
Tablo 6. 2 numaralı tahliye hattın 1. tali kolu 27
Tablo 7. 2 numaralı tahliye hattı 2. tali kolu 28
Tablo 8. 2 numaralı tahliye hattı 3. tali kolu 29
Tablo 9. 2 numaralı tahliye hattı 4. tali kolu 29
Tablo 10. 2 numaralı tahliye hattı 5. tali kolu 30
Tablo 11. 2 numaralı tahliye hattı ana kolu 31
Tablo 12. 3 numaralı tahliye hattı tali kolu 34
Tablo 13. 3 numaralı tahliye hattı ana kolu. 34
Tablo 14. 4 numaralı tahliye hattı başlangıç kolu. 37
Tablo 15. 4 numaralı tahliye hattı ana kolu. 38
Tablo 16. 5 numaralı tahliye hattı ana kolu. 41
Tablo 17. 6 numaralı tahliye hattı ana kolu 43
Tablo 18. 7 numaralı tahliye hattı tali kolu. 45
Tablo 19. 7 numaralı tahliye hattı ana kolu. 46
Tablo 20. 8 numaralı tahliye hattı ana kolu 48
Tablo 21. Zonguldak Meteoroloji İstasyonu Standard Sürelerde Gözlenen En Büyük Yağışlar. 59
Tablo 22. Zonguldak Meteoroloji İstasyonuna ait veriler. 60
Tablo 23. 25 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda DEK metodu uygulanmış ve uygulanmamış senaryoda debi miktarı. 68
Tablo 24. 50 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda DEK metodu uygulanmış ve uygulanmamış senaryoda debi miktarı. 71
Tablo 25. 100 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda DEK metodu uygulanmış ve uygulanmamış senaryoda debi miktarı. 74

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 1. 1 numaralı tahliye hattı 1. başlangıç kolu boy kesiti 22
Grafik 2. 1 numaralı tahliye hattı 2. başlangıç kolu boy kesiti 23
Grafik 3. 1 numaralı tahliye hattı tali kolun boy kesiti.....24
Grafik 4. 1 numaralı tahliye hattı ana kolu boy kesiti 25
Grafik 5. 2 numaralı tahliye hattı başlangıç kolu boy kesiti 27
Grafik 6. 2 numaralı tahliye hattı 1. tali kol boy kesiti.....28
Grafik 7. 2 numaralı tahliye hattı 2. tali kol boy kesiti.....28
Grafik 8. 2 numaralı tahliye hattı 3. tali kol boy kesiti.....29
Grafik 9. 2 numaralı tahliye hattı 4. tali kol boy kesiti.....30
Grafik 10. 2 numaralı tahliye hattı 5. tali kol boy kesiti.....30
Grafik 11. 2 numaralı tahliye hattı ana kol boy kesiti 32
Grafik 12. 3 numaralı tahliye hattı tali kol boy kesiti. 34
Grafik 13. 3 numaralı tahliye hattı ana kol boy kesiti 36
Grafik 14. 4 numaralı tahliye hattı başlangıç kolu boy kesiti. 38
Grafik 15. 4 numaralı tahliye hattı ana kol boy kesiti 39
Grafik 16. 5 numaralı tahliye hattı ana kol boy kesiti 41
Grafik 17. 6 numaralı tahliye hattı ana kol boy kesiti 44
Grafik 18. 7 numaralı tahliye hattı tali kol boy kesiti. 46
Grafik 19. 7 numaralı tahliye hattı ana kol boy kesiti 46
Grafik 20. 8 numaralı tahliye hattı ana kol boy kesiti. 48
Grafik 21. 25, 50 ve 100 yıllık dönüş aralıklar için oluşan hiyetografi (mm/dk).....60
Grafik 22. Zonguldak Meteoroloji İstasyonuna Ait Yağış Şiddet-Süre-Tekerrür Eğrileri. ..61
Grafik 23. 25 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda çıkış noktalarının debi değerleri. 68
Grafik 24. 50 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda çıkış noktalarının debi değerleri. 71
Grafik 25. 100 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda çıkış noktalarının debi değerleri. 74

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. SWMM modelinde yüzey akımının oluşumu (Nuri Balov, 2014) 9
Şekil 2. Şematik olarak yeşil çatı katmanları (Daryaei, 2019) 11
Şekil 3. Biyotutma uygulaması 12
Şekil 4. Geçirgen yol uygulaması (Kaya, 2021). 12
Şekil 5. Geçirgen yol uygulaması şematik sistem kesiti (Kaya,2021). 13
Şekil 6. Sızdırma hendeğinin şematik görünümü (Demirezen, 2019). 13
Şekil 7. Bitkili yağmur hendeği sistem kesiti 14
Şekil 8. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı yerleşkesi yağmur bahçesi uygulaması. 15
Şekil 9. Yağmur bahçelerinde su çevrimi (Demir, 2012). 15
Şekil 10. Çalışma alanı (Google Earth Pro). 16
Şekil 11. Çalışma alanı (Google Earth Pro). 16
Şekil 12. Çalışma alanı içerisinde yerleşim durumu ve ulaşım ağı 17
Şekil 13. Yağmur suyunun tahliye hattı (Google Earth Pro) 18
Şekil 14. Yağmur suyu tahliye hatları. 18
Şekil 15. Çalışma alanının topoğrafyası (Zonguldak Belediyesi). 19
Şekil 16. Tahliye hatları ve düğüm noktalarının yerleşimi 20
Şekil 17. 1 numaralı tahliye hattı 21
Şekil 18. 2 numaralı tahliye hattı 25
Şekil 19. 3 numaralı tahliye hattı 33
Şekil 20. 4 numaralı tahliye hattı 37
Şekil 21. 5 numaralı tahliye hattı 40
Şekil 22. 6 numaralı tahliye hattı 42
Şekil 23. 7 numaralı tahliye hattı 45
Şekil 24. 8 numaralı tahliye hattı 47
Şekil 25. Düğüm noktalarının (Junction) yerleşimi. 49
Şekil 26. I1 düğüm noktasına (Junction) ait bilgiler. 50
Şekil 27. Çalışma havzasında oluşturulan alt havzalar. 51
Şekil 28. S1 alt havzasına (Subcatchment) ait bilgiler. 52
Şekil 29. Boru sistemi. 53
Şekil 30. (I1-I2) düğüm noktaları arasındaki boruya ait bilgiler. 53
Şekil 31. Tahliye hatlarına ait çıkış noktalarının yerleşimi. 55
Şekil 32. 1 numaralı tahliye hattına ait bilgiler. 55
Şekil 33. Depolama haznesi. 56
Şekil 34. Depolama haznesine ait bilgiler. 57
Şekil 35. Pompa sisteminin yerleşimi. 58
Şekil 36. Pompa sistemine ait bilgiler. 58
Şekil 37. DEK metotlarının uygulandığı havzalar. 62
Şekil 38. Tahliye hatlarının çıkış noktaları (Outfalls). 62
Şekil 39. Yeşil çatı (Green Roof) metoduna ait bilgiler. 63

Şekil 40. Yağmur bahçeleri (Rain Garden) metoduna ait bilgiler.....64
Şekil 41. Yağmur bahçeleri (Rain Garden) metoduna ait bilgiler.....64
Şekil 42. SWMM programında yağmur varili özellikler.....65
Şekil 43. 25 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda DEK uygulanmamış senaryoda debi haritası. 66
Şekil 44. 25 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda DEK uygulanmış senaryoda debi haritası. 67
Şekil 45. 50 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda DEK uygulanmamış senaryoda debi haritası. 69
Şekil 46. 50 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda DEK uygulanmış senaryoda debi haritası. 70
Şekil 47. 100 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda DEK uygulanmamış senaryoda debi haritası. 72
Şekil 48. 100 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda DEK uygulanmış senaryoda debi haritası. 73

ÖNSÖZ

Zonguldak ili sınırları içerisinde seçilen, kentsel yapılaşmanın fazla olduğu ilgili çalışma alanında, yağmur suyu drenaj sistemi modellenmesi ve modele Düşük Etkili Kentleşme (DEK) yöntemleri uygulanarak, yağışın yüzeysel akışa geçişinin engellenmesi konusunda potansiyelinin belirlenmesi amacı ile hazırlanan bu çalışma İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak yazılmıştır.

Çalışmamda, bilgi ve deneyimleri ile yoluma ışık tutan, desteklerini esirgemeyen, beni bu süreçte daima yüreklendiren, öğrencisi olmaktan gurur duyduğum tez danışmanım, çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA'ya,

Akademi yolunda yürüme şevkini bana kazandıran, öğrencisi olmaktan gurur duyduğum çok değerli hocam Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN'e,

Yüksek Lisans sürecim boyunca daima yanımda olan, desteklerini esirgemeyen, çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NURİ'ye,

Çalışma sürecimde desteklerini esirgemeyen, çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORİ'ye,

Çalışmam için gerekli bilgi ve verilerin temini konusunda yardımlarını esirgemeyen Zonguldak Belediyesi'nde görevli Mimar Mehmet BALA'ya ve Harita Mühendisi Ahmet UZUNEL'e,

Tez sürecinde daima yanımda olan, çok değerli arkadaşım Yüksek İnşaat Mühendisi Kemal BOZNAR'a,

Hayatım boyunca beni destekleyen, daima yanımda olan ve her zaman yüreklendiren, haklarını asla ödeyemeyeceğim annem, babam ve kardeşime teşekkürlerimi sunarım.

Selin Ece ALTUN

İstanbul, 2024

GİRİŞ

Su; dünyanın oluşumundan bu yana, yaşamın esas ve değerli kaynaklarından biri olmuştur. Gezegenimizin de büyük bir kısmına kaplayan söz konusu bu değer; su sistemleri, karasal sistemler, atmosfer ve canlılar arasında dinamik bir çevrim oluşturmaktadır. En temel hali ile bu döngü; suyun buharlaşma yolu ile atmosfere yükselmesi, ardından yağış olarak yeryüzüne dönüşü olarak ifade edilebilir. Suyun farklı formlarda gerçekleştirdiği bu döngü, dünyadaki su kaynaklarının dengesi, ekosistemin sürekliliği, insan, bitki ve hayvanların hayatta kalması üzerinde büyük bir öneme sahiptir.

İnsanlık tarihinde söz konusu hidrolojik çevrime ilk müdahale tarım ile oluşmuştur. Başlarda sulama ihtiyacını akarsulardan elde ederken, zamanla bu ihtiyaç artarak, insanları yeni su kaynağı veya kaynakları bulmaya itmiştir. Kuyu yapıları ile yeraltı sularından faydalanmaya başlayan insanoğlu, yeraltı su seviyesini düşürerek su kaynaklarının potansiyelini zora sokmaya başlamıştır. Suyun bu hidrolojik çevrimine canlılarca yapılan müdahaleler; zaman, şartlar ve koşullar ile değişerek artmıştır (url-1).

Gelişen teknoloji, hızla artan nüfus ve beraberinde gözlemlenen yoğun kentleşme ile canlıların suya olan ihtiyacının artmış ve su kaynakları fazlaca kullanılmaya başlanmıştır. Bu durum, hidrolojik döngüde aksamalar meydana getirmiştir. Buna ek olarak, kentleşmenin artışı ve beraber geniş yüzeylere yayılan beton yapıları, yeryüzünde geçirimsiz tabakalar oluşturarak suyun yeraltına geçişini engellemiştir. Toprak tarafından emilemeyen ve yeraltına sızamayan su, yer yüzeyinde yüzeysel akış oluşturmuş ve taşkın, sel gibi afetlere sebebiyet vermiştir. Bu felaket sonucu can ve mal kaybının yaşanması, suyun hidrolojik çevrime verilen hasarı iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapılmasına olanak sağlamıştır. Yağmur suyu drenaj sistemi bu çalışmaların başında gelmektedir. Topraktan yeraltına sızamayan ve yüzeysel akışa geçen suyun kontrollü bir şekilde tahliyesi amacıyla geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, yağış süresince ve sonrasında yeraltına sızamayan suyun, yüzeysel akışı oluşturduğu halin iyileştirilmesi amacıyla tasarlanan yağmur suyu drenaj sistemi, EPA (Environmental Protection Agency) SWMM (Storm Water

Management Model) kullanılarak oluşturulmuştur. EPA SWMM, kentsel havzalarda hidrolojik modelin oluşturulması ve su kalitesinin modellemesinde kullanılan bir bilgisayar programıdır (Nuri, 2014).

EPA SWMM programınca tanımlanan Düşük Etkili Kentleşme yöntemleri, oluşturulan tahliye sistemine entegre edilerek de yağmur suyu drenaj sisteminin optimize edilmesini ve meydana gelen olumsuz etkilerin sürdürülebilir çerçevede çözümünü sağlamaktadır.

Söz konusu bu tez çalışması, Zonguldak ili sınırları içerisinde seçilen, kentsel yerleşimin sık görüldüğü çalışma alanı bünyesinde, yağmur suyu drenaj sisteminin modellenmesi ve modele Düşük Etkili Kentleşme metotları uygulanarak sistemin performansındaki değişimi gözlemlemeyi amaçlamaktadır.

BİRİNCİ BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Tezin Amacı

Söz konusu çalışma, EPA SWMM modeli kullanılarak, kentsel yerleşimin dolayısıyla geçirimsiz yüzeylerin fazla olduğu seçilen çalışma alanında;

1. EPA SWMM modeli ile çalışma alanı içerisinde yağmur suyu drenaj sistemi modellemek,
2. EPA SWMM programınca tanımlanmış, Düşük Etkili Kentleşme (DEK) yöntemlerinden birkaçı modele entegre ederek, sızma kaybını azaltmayı ve pik debi değerini düşürerek, drenaj sisteminin optimizasyonunu amaçlamaktadır.

1.2. Literatür Taraması

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

Ünal ve Akyüz (2017), yapmış oldukları çalışmada, kentsel yağmur suyu drenaj sisteminde, sürdürülebilir çözümlerden yağmur hendeklerini incelemişlerdir. Su kaynaklarının zaman içerisinde azaldığını ve kentsel drenaj sistemlerinde sürdürülebilir çözümlere gidilmesini vurguladıkları bu çalışmada, yağmur hendeklerinin, yeraltı suyunu beslemesinde ve suyun hidrolojik döngüsündeki verimin arttığını saptamıştır. Yağmur suyu drenaj sisteminde geleneksel çözümler ile Düşük Etkili Kentleşme metotlarından olan yağmur hendeklerinin karşılaştırılması yapılarak, avantaj, dezavantaj, sistem optimizasyonuna etkisi vurgulanmıştır. Çalışma sonucunda yapılan analizlerde, kentsel yerleşim alanlarında kuru tip, kırsal bölgelerde ıslak tipte yağmur hendeği uygulamasının sistem için daha verimli olduğu saptanmıştır.

Kaya (2021), yapmış olduğu çalışmasında, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Avcılar Kampüsü sınırları dahilinde, EPA SWMM programı ile, yağmur suyu drenaj sistemi modellemesi yaparak, modele yeşil yapı önerileri sunmuştur. Çevre parsellerden çalışma alanına gelebilecek yağmur suyu göz önüne alınarak, 2, 10 ve 50 yıllık tekerrür aralığında, olması muhtemel yağışlar için analiz yapmıştır. DEK

uygulamalarını da modele entegre ederek, sistemin pik debi üzerindeki etkilerini gözlemlemiştir. Bu yağış serileri ışığında, Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamalarından biyotutmanın pik debiyi azaltma konusunda verimliliğinin en az, yeşil çatı uygulamasının ise verimliliğinin en fazla olduğunu saptamıştır.

Toy (2011), yaptığı araştırmada, Antalya ili içerisinde, yağmur suyu drenaj sistemlerini, kentte sıkça taşkın tehdidi ile karşı karşıya kalması üzerine, siteminin kapasitesini iyileştirme konusunda önerilerde bulunmuştur. Yapılan çalışma sonucunda hali hazırda mevcut yağmur suyu drenaj sisteminin yetersiz olduğunu saptamıştır. Yetersizlik konusunda sistemin eksiklerini belirterek, bu durumun nasıl iyileştirilebileceği konusunda öneriler geliştirmiştir. İlgili çalışma alanında, yeşil çatı sistemleri, ana kolektörler, tünel ve depolama havuzları gibi öneriler geliştirilmiştir. Bekletme havuzlarının yapılan analizde bölge için en verimli yöntem olabileceği belirtilmiştir.

Sevimli (2021), yaptığı çalışmada, Bursa Uludağ Üniversitesi Görüklü Kampüsü içerisinde yapmış yağmur suyu yönetimi uygulamalarında, yağmur suyunun yeniden kullanılabilmesi ve sürdürülebilir bir sistem geliştirmiştir. Binalarda yeşil çatı gibi uygulamalarla suyun dönüşümü, yeniden değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Söz konusu çalışmasında, yağmur hasadı tekniği kullanarak, binalarda su tüketimini ciddi ölçüde azaltıldığını saptamıştır.

Şengün (2020), yaptığı çalışmada, Ege Üniversitesi kampüsü içerisinde belirlenen alanda, yağmur suyu drenaj sistemi modellenmesi ve modelin optimize edilmesi için öneriler geliştirmiştir. Modelleme SWMM programından faydalanmıştır. Taşkın tehdidi altında olan alanlar için modele Düşük Etkili Kentleşme yöntemleri entegre edilmiştir. Bu yöntemlerin yüzeysel akışa olan etkisi değerlendirilmiştir. Biyotutma, yeşil çatı, geçirgen kaldırım, sızdırma hendeği ve bitkili hendek uygulamaları gibi sürdürülebilir metotlar önerilmektedir.

Gülbaz vd. (2017), araştırmalarında, Düşük Kentleşme Uygulamalarından biyotutmayı ulusal literatüre eklemeyi amaç edinmişlerdir. Bu sürdürülebilir metodun amacı ve kullanım yerleri ile ilgili detaylı bir çalışma yapılmıştır.

İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsünde kurulan yağış- havza- biyotutma deney düzeneği oluşturarak, farklı senaryolar altında ayrıntılı incelemeler yapılmıştır.

Çalışmalar sonucunda, yağmur suyu drenajı ve kontrolsüz yüzeysel akışın meydana getirdiği taşkın ve sel gibi etkilerin azaltılmasında biyotutmanın kullanılabilir bir metot olduğunu ortaya koymuşlardır.

Gülbaz vd. (2018), yapılan çalışmada, İstanbul Üniversitesi Avcılar kampüsü içerisinde, EPA SWMM modelini kullanarak çalışma alanının hidrolik ve hidrolojik sistemini modelleyerek, oluşturulan sisteme DEK uygulamalarının eklenmesi sonucunda yüzeysel akış ve pik debi değerlerindeki değişimi gözlemlemeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda, entegre edilen DEK uygulamalarının yüzeysel akış ve pik debi değerlerini azalttığı belirlenmiştir.

Gülbaz (2010), yapılan çalışmada, Sazlı Dere Havzası'nnı EPA SWMM programını kullanarak, çalışma alanının hidrolojik modelini kurmuştur. İlgili çalışma alanında yapmış olduğu ölçümler ve program üzerinde oluşturduğu modeli değerlendirerek havzadaki su miktarı üzerinde tahmin çalışması yapmıştır. Bu çalışmanın yanında, çalışma alanı içerisinde mevcut durumda, SWMM programı kullanarak kirlilik taşınım modeli kurmuştur. Bu çalışma su kalitesi belirlenmesi hususunda literatüre katkıda bulunmuştur. Yapılan çalışma sonucunda, nüfus artış etkisiyle havza içerisinde biriken su miktarının arttığı, hali hazırda bulunan sistemin kesit boyutlarının yetersizliği ve meydana gelen taşkınlar ile birken su miktarında artış olduğu gözlemlenmiştir.

Sadeghınazhad (2019), İran'nın Semnan bölgesinde bulunan Bastam şehri üzerine yapmış olduğu çalışmada, SWMM kullanarak, bölgeyi alt havzalara ayırarak model oluşturmuş ve söz konusu havzalara belirli oranlarda DEK metotları uygulayarak 11 farklı senaryo kurmuştur. Bu senaryolarda aldığı sonuçlara göre DEK uygulamalarının pik debi üzerine olan etkisini saptamıştır. Bölge için en verimli sonuçları, sızdırma çukuru ve yağmur varillerinden aldığı gözlemlenmiştir.

Samouei (2019), yapmış olduğu çalışmada, İstanbul Teknik Üniversitesi Maslak kampüs alanı içerisinde, Düşük Etkili Kentleşme metotlarının farklı kombinasyonlarını entegre ederek modelde denemeler yapmıştır. 2009 ve 2011 yıllarında kampüsün güney bölgesinde, yağışın şiddetli olması sonucu kampüs alanı içerisinde su alan yapıların olması sebebiyle, Düşük Etkili Kentleşme metotlarını kullanarak farklı fırtına dönüş aralıklarında model oluşturup pik debi ve akış

hacmindeki değişimleri incelemiştir. Yeşil çatı, geçirgen zemin ve bio biriktirme bahçesi metotlarını farklı yüzdelik miktarlarda modele entegre ederek 3 farklı Düşük Etkili Kentleşme metodu üzerine deneme yapmıştır. Çalışma sonucunda pik debi ve akış hacminin 50 yıllık dönüş aralığı olarak kurulan fırtına senaryosunda değerin en fazla %38 azalması sonucunu kaydetmiştir.

1.3. Hipotez

Düşük Etkili Kalkınma yöntemleri zemin yüzeyinin geçirimliliğini artırarak akış katsayısını düşürmektedir. Bu etki şiddetli yağışların pik debisini ve drenaj sistemine gelen su miktarını ciddi bir şekilde azaltmaktadır.

İKİNCİ BÖLÜM

MATERYAL VE METODOLOJİ

Tez çalışmasının bu bölümünde, EPA SWMM programı ve bu programca tanımlanan Düşük Etkili Kentleşme uygulamaları ile modele entegre edilen; yeşil çatı, geçirgen kaldırım ve yağmur tankı uygulamaları detaylı biçimde açıklanmaktadır.

2.1. SWMM (Yağmur Suyu Yönetim Modeli)

1971 yılında geliştirilmeye başlanan, EPA (Amerikan Çevre Korunumu Ajansı) SWMM (Yağmur Suyu Yönetim Modeli) çoğunlukla uzun süreli (sürekli) ya da anlık (tek fırtına) yağış ile yüzeyde meydana gelen suyun dinamik simülasyonunu oluşturmayı sağlayan bir programdır (Rossman,2010; Huber ve Diekinson, 1988).

Sürekli ya da anlık yağış ile oluşturulan bu dinamik yağış- akış modeli, hidrolojik döngünün; yağış, sızma, buharlaşma, yeraltı suyu, yüzeysel akış vb. öğelerini göz önünde bulunduran, parametrik bir model olarak tanımlanmaktadır. (Huber ve Diekinson, 1988; Tsihrintzis ve Hamid, 1998).

EPA SWMM programınca, yağmur sularının havza üzerinde oluşturduğu yüzeysel akış halinin; miktarı, su kalitesi, boru ya da kanal içerisinde belirli kesitten geçen akımın miktarı (debi), derinliği ve hızı hesaplanabilmektedir. Yine söz konusu programda; alt havzalar, açık veya kapalı kanallar, giriş- birleşim – çıkış noktaları, yağmur ölçerler, pompa ve düzenleyiciler ile depolama hazneleri tanımlanarak, oluşturulan alt havzaların; eğimi, genişliği, tasarlanan kanalların uzunluk, en kesit alanı, giriş ve çıkış noktalarının kotları veri olarak elde edilmektedir. Ek olarak girilen uzun ya da kısa süreli yağış değerleri sonucunda; akışa geçen suyun debisi, hızı ve kanalda mevcut suyun yüksekliği gibi havzaya ait hidrodinamik değişkenler de veri olarak elde edilmektedir (Gülbaz, S., Kaya, Y.E., Kazezyılaz Alhan, M., 2018).

2.1.1. Model Bileşenleri ve Kullanılacak Veriler

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

Alt havzalar (Subcatchment) : Hidrolojik açıdan bir çıkışa sahip olan drenaj alanlarına yağmur havzaları ve aynı özelliğe sahip olan ve büyük havzaları oluşturan havzalara da alt havza denilir. Bu yapıların tanımlanmasında önemli argümanlar şöyledir;

- Havza alanı
- Ortalama eğim
- Ölçülen yağış girdileri
- Geçirimsiz yüzey oranı
- Genişlik
- Sızma modeli
- Geçirimli ve geçirimsiz yüzeylerin Manning pürüzlülük katsayısı
- Geçirimli ve geçirimsiz yüzeylerin depresyon depolaması

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

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

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

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

Boru hatları (Conduit) : Drenaj sisteminde iki düğüm noktası arasında bağlantı kurarak, akımı iletmektedir. Boru hattı ya da kanal biçiminde tasarlanabilmektedir. (Nuri Balov, 2014)

2.1.2. Hesaplama Metotları

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

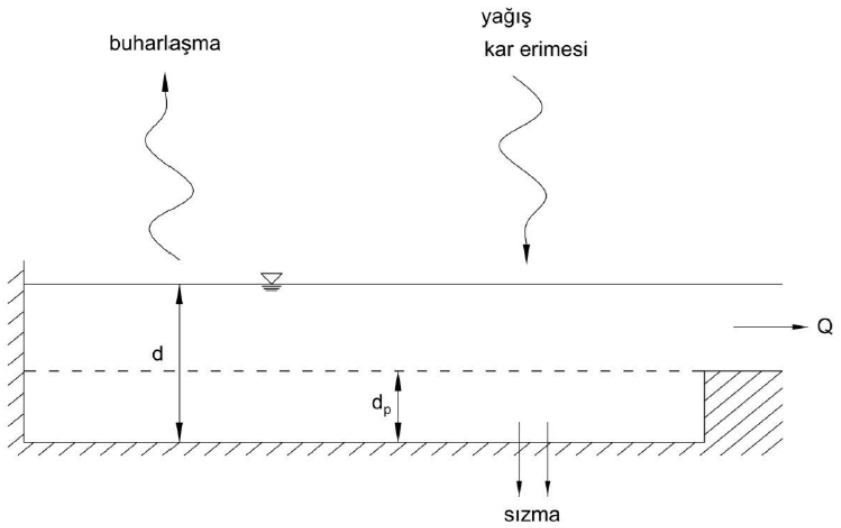
SWMM'de mevcut matematiksel hesaplama metotları aşağıdaki gibidir;

1. Yüzey akımı,
2. Sızma,
3. Yeraltı suyu,
4. Kar erimesi,
5. Akış ötelemesi,
6. Saint- Venant denklemleri.

Bu çalışmada kullanılacak olan hesaplama yöntemleri yüzey akımı ve sızmadır.

2.1.2.1. Yüzey akımı

Alt havzalardan her birinin yüzeyi non-lineer hazne gibi davranış sergilemektedir. Giren akım, model tasarımı gereği başka bir alt havzalardan ya da doğrudan yağıştan oluşabilir. Çıkış akımı ise, buharlaşma, sızma veya yüzeysel akım sonucu oluşabilir. Bu haznede, haznenin maksimum kapasitesi, depresyon depolama kapasitesinin de maksimumuna eşittir. Şekil 1'de SWMM modelinde yüzey akımı şematik olarak belirtilmiştir.



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

2.1.2.2. Sızma

EPA SWMM modelinde ; Horton denklemi, Green-Ampt modeli ve SCS eğri numarası yöntemi olmak üzere üç tip sızma hesaplama yöntemi bulunmaktadır (Nuri Balov, 2014).

Horton Denklemi: Yapılan deneyler sonucu sızmanın, herhangi bir (f_0) hızı ile başladığını ancak bu hızın eksponansiyel biçimde sabit bir hız değerine (f_c) ulaşana kadarki süreçte azaldığı saptanmıştır. Hızın zamanla değişimi aşağıda verilen formüllerce hesaplanmaktadır. Formülde kullanılan (k) değeri azalma sabitidir (Nuri Balov, 2014).

Green-Ampt Yöntemi: Yeşil ve ıslak bölgelerde sızma hesabı için seçilen bir hesaplama yöntemindir (Huber ve Dickinson, 1988; Alfars, 2011).

SCS Eğri Numarası Yöntemi: İlk olarak 1954'te geliştirilen bu hesaplama yöntemi, ikinci akışı öngörebilmek etmek için NRCS (SCS) Eğri Numarası Yöntemine bağlı olarak geliştirilmiştir. Bu yöntem, bir toprağın toplam sızma kapasitesini, çizelge biçimdeki eğri sayısından saptanabileceğini ileri sürmektedir (Samouei, 2019).

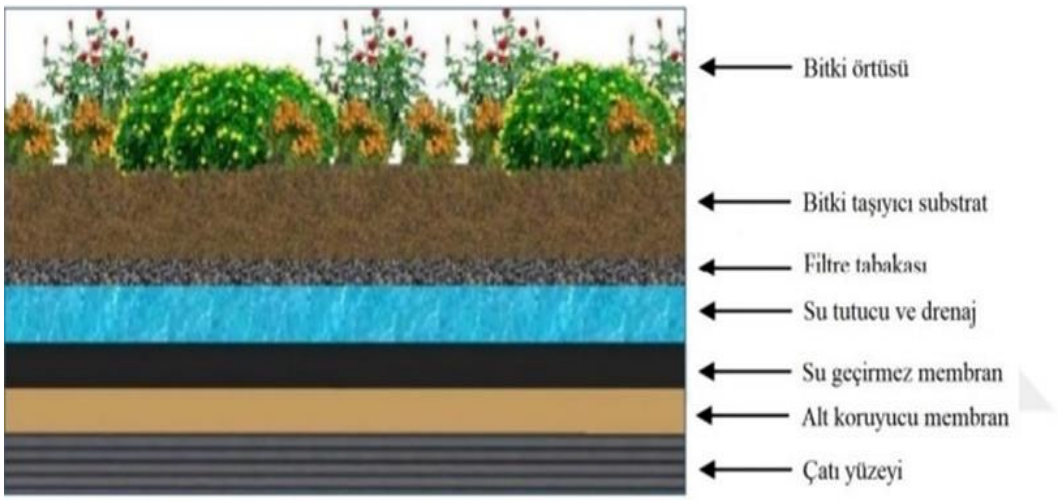
2.2. Düşük Etkili Kentleşme (DEK) Uygulamaları

Düşük Etkili Kentleşme (DEK) metotları, suyun hidrolojik çevrimini korumayı, yüzeysel akış miktarını azaltarak, sel ve taşkın gibi olumsuz etkilerini hafifletmeyi sağlayan su yönetim stratejisidir. Uygulamaların temel mantığı, kentleşme ile artan geçirimsiz yüzeylerin azaltılması, sızma kaybını düşürerek akışın sönümlenmesidir (Gülbaz, 2015).

2.2.1. Yeşil Çatılar

Yeşil çatı uygulamaları; suya geçirimsiz membran kaplı yüzey üzerinde, toprak ve bitki örtüsü katmanın bulunduğu yapı sistemidir. Bu toprak katmanı sayesinde üzerinde bitki yetişmesine imkan tanıyan bu sistem, kentsel yapılaşma yoğunluğu sonucunda yeşil yüzeylerin azalması ile oluşan iklim değişikliği, hava kirliliği vb. olumsuz etkislere çözüm sunmaktadır (Demirhan, 2021).

Çatı yüzeyine, su yalıtımı ile önlem alınarak ekilen bu bitki örtüsü tabakasının, kent ekolojisini ve havanın kaliitesini iyileştirmesi ile, yağmur suyunun meydana getirdiği sorunlara sürdürülebilir ve yenilik bir çözüm olduğu görülmektedir(**Şekil 2**).



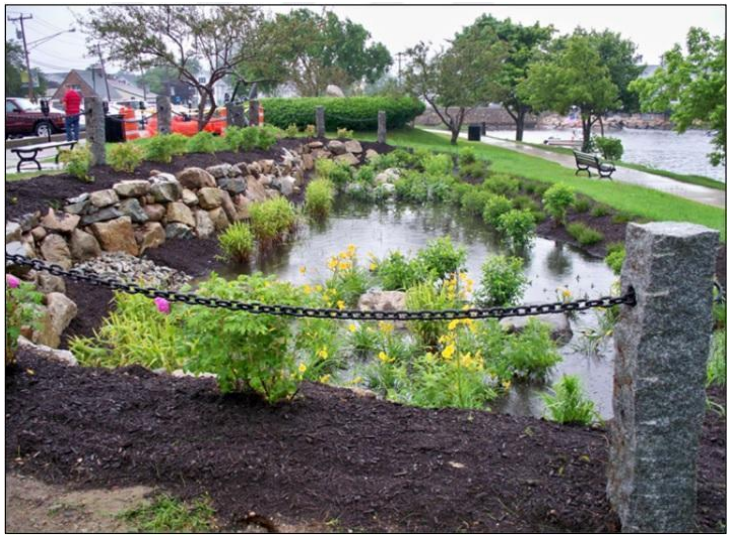
Şekil 2. Şematik olarak yeşil çatı katmanları (Daryaei, 2019)

Yeşil çatı çözümü, yalnız binaların çatılarına değil, otopark üstü kaplamalarda, binalar arası boş ve atıl alanlarda da kullanabilir (Şengün, 2020).

2.2.2. Biyotutma

Biyotutma sistemleri, yüzeyde ve yeraltında bir çeşit su filtrasyon görevi gören yapılardır. Kum filtresi gibi de tanımlanabilir. Kum filtresi; sistem içerisinde çeşitli arıtma mekanizmaları ile yağmur suyunun kumlu ortamdan geçişi esnasında, suyu kirleticilerden ayırarak kalitesinin de artmasını sağlamaktadır. Bunun yanında yağmur suyunun debisini, yani akış hacmini düşürmek gibi faydaları da bulunmaktadır. Yer üstü ve altı canlılar için de su ihtiyacını karşılamaktadır (Sadeghinazhad, 2019).

Suyun kalitesini arttırıp, su tutma özelliğiyle yüzeysel akışı dengeleyen ve bununla beraber görsel açıdan estetik bir görünüme sahip bu yapı sistemi son zamanlarda tercih edilir durumdadır. Biyotutma sistemi içerisinde biyolojik, kimyasal ve fiziksel filtrasyonlar bulundurmakla beraber, biyolojik çürüme, buharlaşma, terleme, sedimentasyon, sızma, iyon değişimi gibi olgular da içermektedir. Tüm bu çalışma prensipleri ile biyotutma, yağmur suyunun akışını dengelemek ve arıtmakta verimli bir sistemdir (Gülbaz, 2015). **Şekil 3**'te biyotutmaya örnek verilmiştir.



Şekil 3. Biyotutma uygulaması

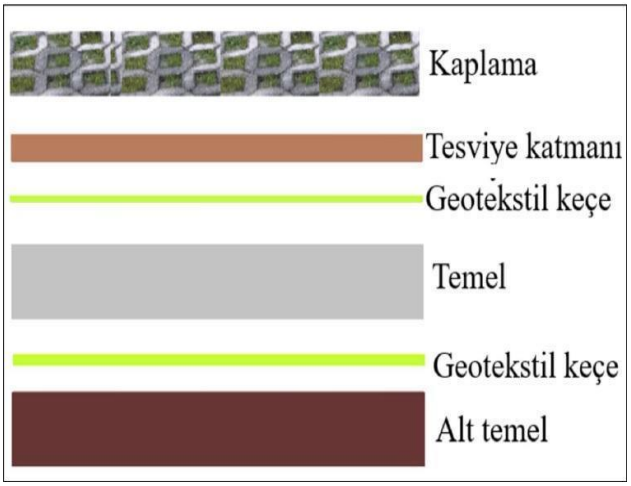
2.2.3. Geçirgen Yol

Geçirgen yol, yağmur suyunun yüzeysel akışa geçme halinde, suyu yer altına sızmasını sağlayan, böylelikle yüzeysel akışı azaltarak ve pik debiyi düşürerek, sel ve taşkın riskini minimize etmekte kullanılan sürdürülebilir bir yöntemdir(**Şekil 4**, **Şekil 5**). Suyun yer altına iletimi ile kentsel kirleticiler de yüzeyden arıtılmasına, yer altına suyuna da destek sağlamasına yardımcı olur (Levi, 2007).

Bu kaplama yapısı, gözenekli ve geçirgen olmak kaydıyla iki çeşittir. Gözenekli kaplamalar, çim veya çakıl gözenekli beton ya da asfalttan oluşmaktadır. Geçirgen kaplamalar ise beton bloklardan oluşmaktadır. Bu yapıların kullanımı ile azami akış debisinin %42 oranda azaldığı görülmüştür (Scholz ve Grabowiecki, 2007).



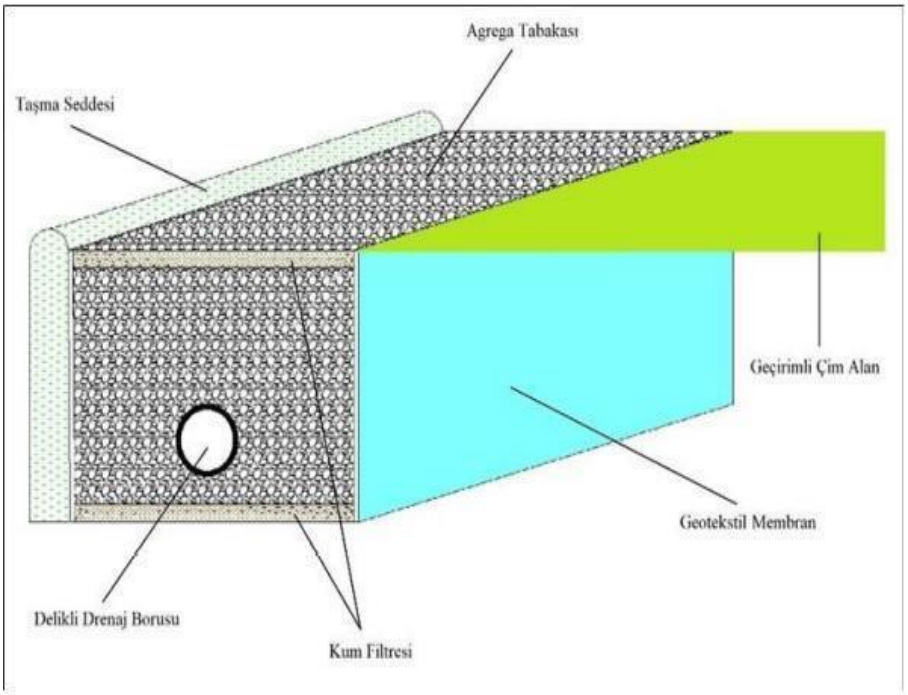
Şekil 4. Geçirgen yol uygulaması (Kaya, 2021).



Şekil 5. Geçirgen yol uygulaması şematik sistem kesiti (Kaya,2021).

2.2.4. Sızdırma Hendeği

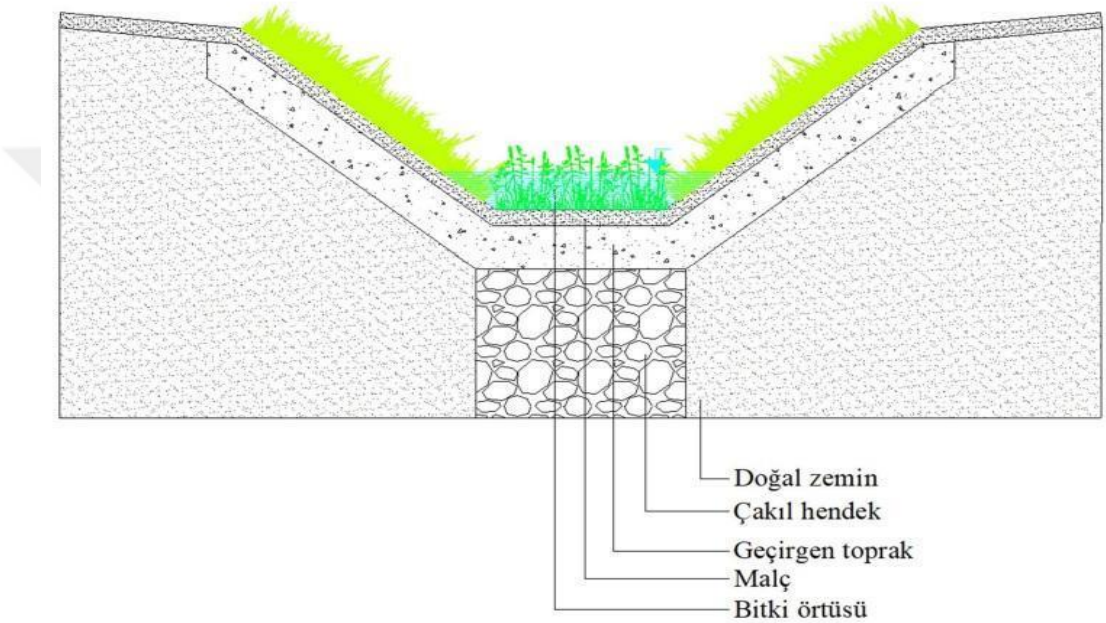
Sızdırma hendeği uygulaması çevresi geotekstil membran ile kaplanmış, yüzeyden dikdörtgen kesitli prizma biçiminde kazılmış ve kum zemin üzerine konumlandırılan, içinin yüksek poroziteye sahip çakılla dolu olduğu uzun ince bir çukur formunda olan bir Düşük Etkili Kentleşme yöntemidir. Geçirimsiz tabaka üzerinde oluşan yüzeysel akışı tutarak depolamak ve yeraltına sızmasını sağlamak üzerine kullanılan bir düzenektir. **Şekil 6**'da verilmiştir (Demirezen, 2019).



Şekil 6. Sızdırma hendeğinin şematik görünümü (Demirezen, 2019).

2.2.5. Bitkili Yağmur Hendeği

Bitkili yağmur hendeği yapısı çoğunlukla trapez bir kesitte kazılan, alt kısmında geçirimli bir zemin ve üzerinde bitki örtüsü bulunduran bir düzenektir(**Şekil 7**). Çalışma prensibi geçirimsiz yüzeyde meydana gelen yüzeysel akışı hendekte toplamak ve akabinde alt katmanda bulunan geçirimli yüzeye aktarmak olarak tanımlanabilir. Böylece yüzeysel akışı yavaşlatarak, pik debiyi düşürmeyi sağlamaktadır (Demirezen, 2019).



Şekil 7. Bitkili yağmur hendeği sistem kesiti

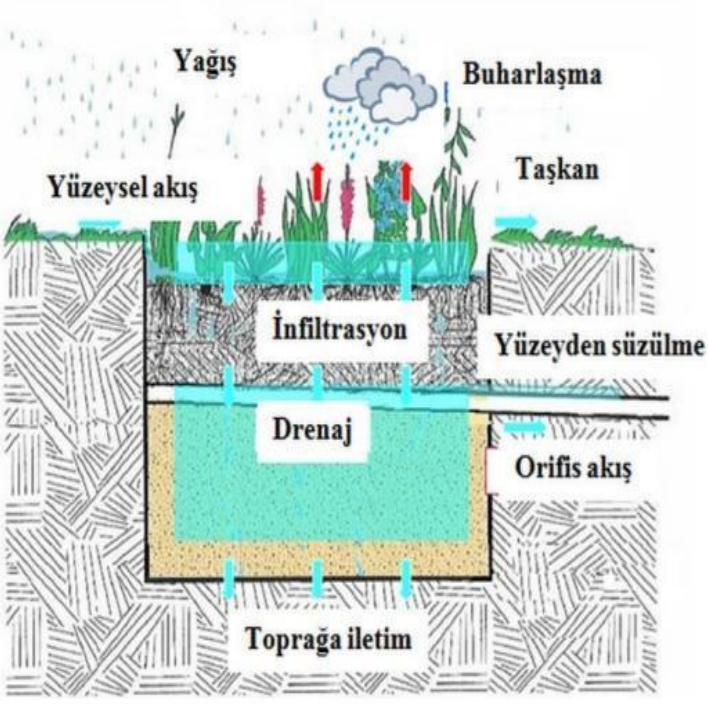
2.2.6. Yağmur Bahçesi

Yağmur bahçeleri sistemi, yağmur suyunu bünyesinde toplayarak yüzeysel akış haline geçmesini azaltarak kendi içinde sönümleyen bir yapıdır. Bu yapı diğer metotların aksine yüzeysel akış halinde olan suyu direkt olarak yer altında toplayarak azaltmakta ve dengelemektedir(**Şekil 8**). Yağmur bahçeleri farklı iklim koşulları olan bölgelere göre uygun toprak ile tasarlanabilir. Yer altına geçiş esnasında doğal katmanlardan vasıtasıyla filtrasyon etkisi göstererek suyun arıtılması ve kalitesinin artmasını sağlamaktadır. Bu metot ile nehirlere ulaşan suyun kirlilik oranında %30'a yakın azalma görülmüştür (Demir, 2012).



Şekil 8. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı yerleşkesi yağmur bahçesi uygulaması.

Şekil 9'da Yağmur bahçe sisteminde oluşan hidrolojik su çevrimi gösterilmektedir. Akış hali ile sisteme gelen yağmur suyu, sızma ile yer altı suyuna aktarılır. Bu sıra suyun fazlası yüzeyde ve yeraltında akış haline devam eder. Bahçe sisteminde bulunan su ise, bitkilerin solunumu ile atmosfere yeniden dönmektedir.



Şekil 9. Yağmur bahçelerinde su çevrimi (Demir, 2012).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MODEL KURULUMU VE SENARYOLAR

3.1. Çalışma Alanı

Tez çalışmasının bu bölümünde kentsel alt yapı yağmur suyu drenaj sistemi modellenecek çalışma alanı ve ilgili alanın topoğrafyası hakkında bilgiler verilmiştir. İş bu çalışma alanı, imar planlaması, yerleşim durumu ve topoğrafik yapısı ele alınarak, boy kesit grafikleri ile model kurulumunda nasıl bir yol izleneceği anlatılmıştır.

Bu tez çalışması için seçilen çalışma bölgesi, Zonguldak ilinin merkezi içerisinde, yapılaşmanın yoğun olduğu kentsel bir yerleşim alanıdır. Çalışma için belirlenmiş bölgenin alanı, 1 km²'dir. **Şekil 10.** ve **Şekil 11**'de çalışma alanı gösterilmiştir.

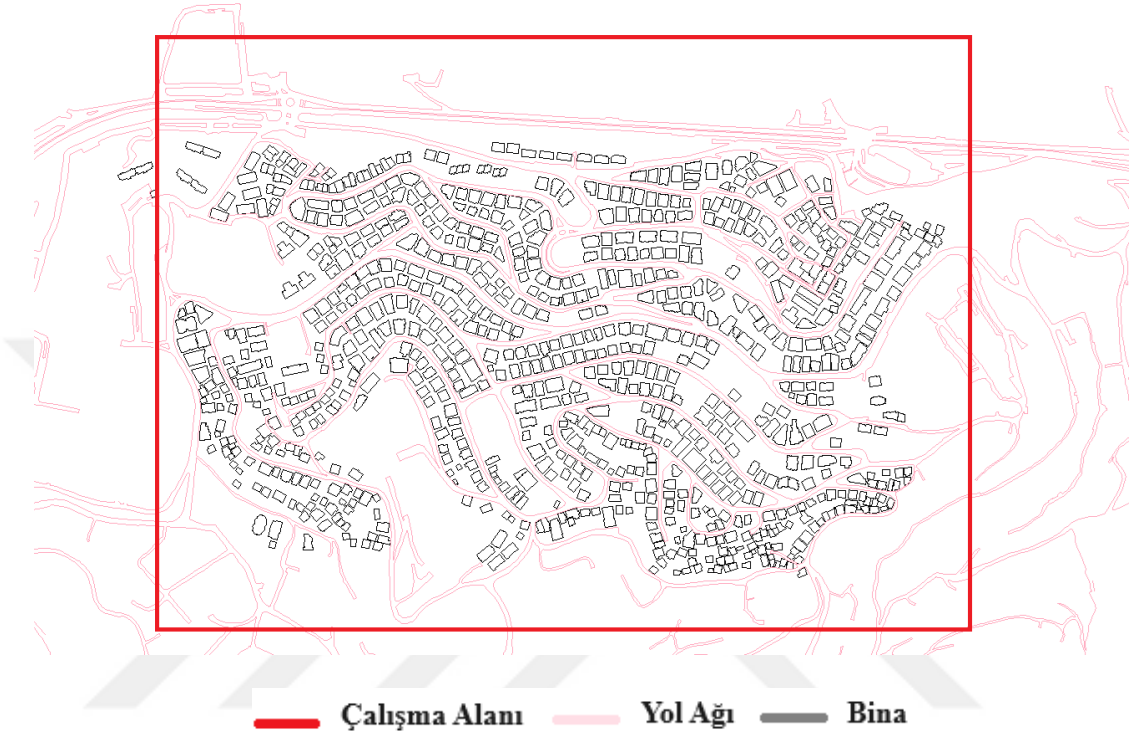


Şekil 10. Çalışma alanı (Google Earth Pro).



Şekil 11. Çalışma alanı (Google Earth Pro).

Model kurulumu öncesi tayin edilen çalışma alanı, ilgili belediyesince temin edilen imar planı ile yerleşim vaziyeti, kentsel yerleşimde doluluk ve boşluk durumu, yol ve ulaşım ağı açısından analiz edilmiştir. **Şekil 12**'de çalışma alanı içerisinde yapılaşma durumu ve yol ağı gösterilmektedir.



Şekil 12. Çalışma alanı içerisinde yerleşim durumu ve ulaşım ağı

Bu analizin amacı; yapılaşma durumu ile beton, yol ağı ile asfalt gibi geçirimsiz yüzeylerin, çalışma bölgesinde kapladığı alan miktarı, diğer bir deyişle yoğunluk durumunun tespiti ile tasarıma yön vermektedir. Bu tespitler; bölgenin alt havzalara ayrılması, alt havzalardan suyun yönlendirilmesi ve suyun tahliye edileceği hattın belirlenmesi, ayrıca hangi bölgelerde, ne tip Düşük Etkili Kentleşme Metotlarının kullanılacağı ve bu metotlardan hangisinin çevre ve model için en verimli çalışacağı konusunda tasarıma yön vermektedir. **Şekil 13'**te Google Earth görüntüsü üzerine ve **Şekil 14**'te ulaşım ağı üzerinde, yağış durumunda yağmur suyunun tahliye edileceği hatlar gösterilmektedir. Yağmur suyunun tahliye edileceği kollar; başlangıç, tali ve ana kol olmak üzere derecelendirilmiştir. Başlangıç kolu mavi, tali kol sarı ve ana kol hattı kırmızı renk ile gösterilmiştir. Yağış halinde su, bavşlangıçtan kolundan tali kola, tali koldan ana kola olacak şekilde akışın yönlendirilmesi planlanmıştır.

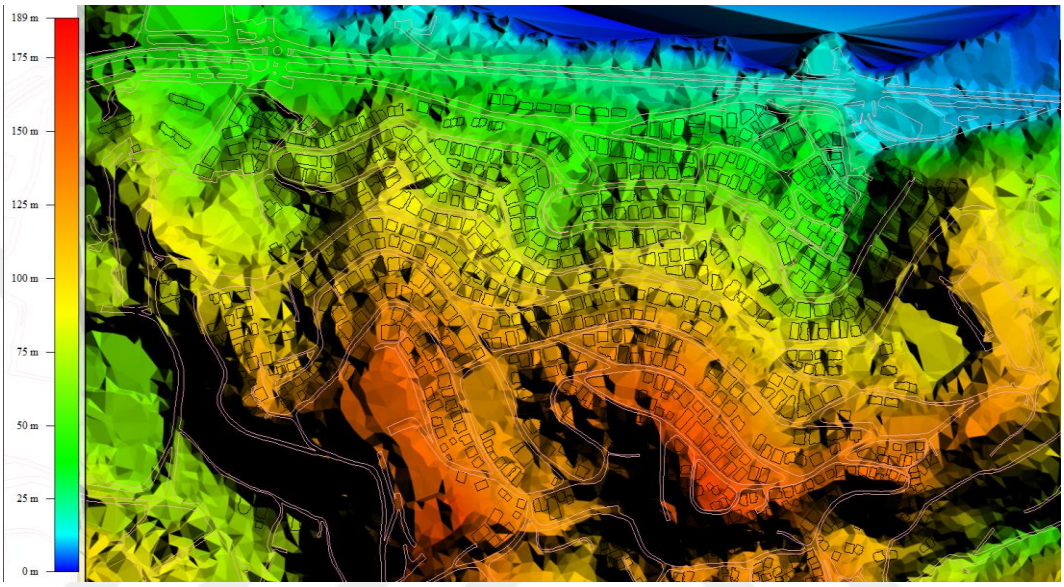


Şekil 13. Yağmur suyunun tahliye hattı (Google Earth Pro).



Şekil 14. Yağmur suyu tahliye hatları.

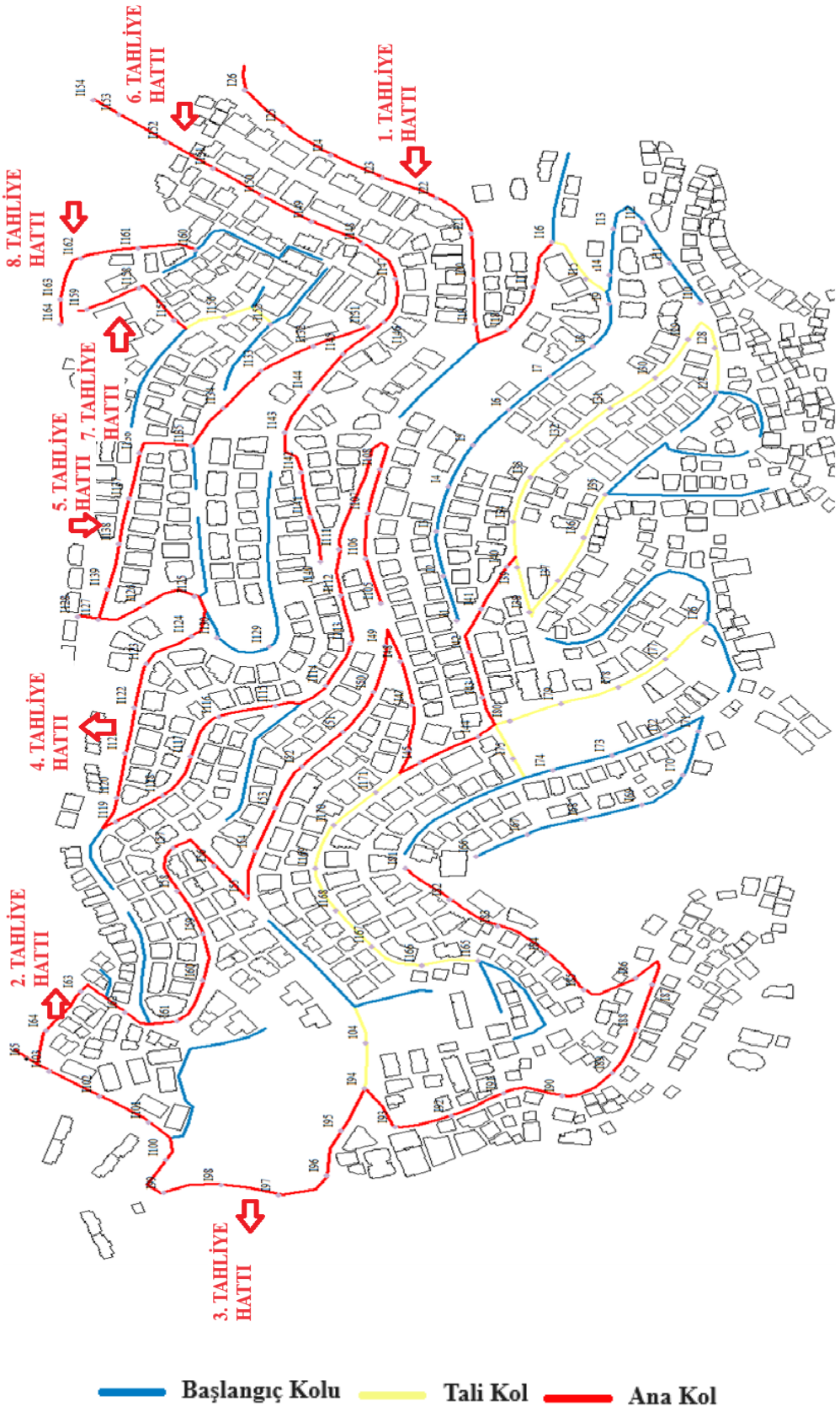
Modellemeye yön verecek önemli analizden bir diğeri, topoğrafik veriler ile yükseklik ölçümleridir. İlgili belediyesince temin edilen bu bilgiler doğrultusunda, çalışma alanı içerisindeki kot farklılıkları ve engebe durumu yapılan tasarıma yol göstermektedir. **Şekil 15**'te çalışma alanının topoğrafik yapısı gösterilmiştir. Şeklin sol kısmında bulunan cetvel, deniz seviyesinden kıyasla yaklaşık yüksekliği, renkler ile ifade etmektedir.



Şekil 15. Çalışma alanının topoğrafyası (Zonguldak Belediyesi).

Topoğrafyası incelendiğinde bölgenin oldukça engebeli ve kot farklılıklarının fazla olduğu gözlemlenmiştir. (**Şekil 15**) Bu durumda suyun, kontrollü bir şekilde tahliyesinin yapılması gerektiği ön görülmektedir. **Şekil 14**'te ifade edilen suyun tahliyesi için oluşturulmuş akış şemasının, başlangıç kolundan tali kola, tali koldan ana kola olacak şekilde planlamasında topoğrafik yapı ve eğim yönleri dikkate alınmıştır.

Çalışma alanına dair yapılan tüm bu analizler- kentleşme vaziyeti, ulaşım ağ ve aksları, topoğrafik yapı ve eğim- doğrultusunda **Şekil 16**'da yol aksları 8 farklı yağmur suyu tahliye hattına ayrılarak, hatlar üzerinde düğüm noktaları konumlandırılmıştır. Kot ve eğim bilgileri Excel Programına işlenerek, boy kesit grafiği oluşturulmuş, kazı, yol eğimi ve kanal eğimi belirlenmiştir. Çalışmanın bu kısmından sonra, bahsi geçen 8 hatta; yol eğimi, kanal eğimi, kazı miktarı, düğüm noktalarının yerleşimi ve düşme bacalarının konumu, grafik ve tablolar üzerinde açıklanmaktadır.



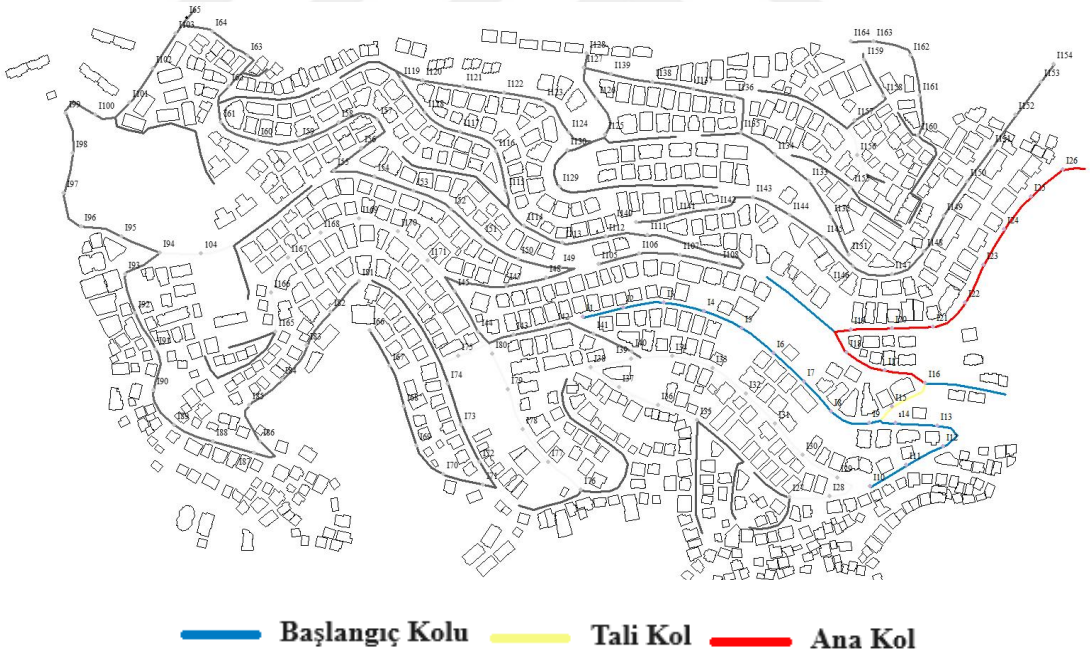
Şekil 16. Tahliye hatları ve düğüm noktalarının yerleşimi

Şekil 16'da belirtilen tahliye hatlarını oluşturan başlangıç- tali- ana kollara 50 metre ara ile düğüm noktaları yerleştirilmiştir. 200 metreden daha az uzunluğa sahip kolların, eğim durumu uygunsa suyun kendi cazibesi ile akması sorun teşkil etmemektedir. Bu sebeple, uzunluğu 200 metreden az kollarda düğüm noktası (junction) bulunmamaktadır.

Söz konusu tahliye hatları üzerinde toplamda 171 adet düğüm noktası konumlandırılmıştır. Düğüm noktaları 'I' ile ifade edilmiştir. I1'den I171'e kadar yerleştirilen tüm düğüm noktaları **Şekil 16**'da gösterilmektedir.

1. Tahliye Hattı [I1-I26] :

Bu hat üzerinde toplamda 26 adet düğüm noktası (junction) bulunmaktadır. 2 adet başlangıç kolu, 1 adet tali kol ve ana koldan oluşmaktadır. [I16-I26] düğüm noktaları arası ana kol, [I15-i16] arası tali kol, [I1-I15] birinci, [I10-I15] ikinci başlangıç koludur. Bu kollara ait, kot kazı ve eğim durumları aşağıda belirtilmiştir. Boy kesit grafikleri ile kanal yerleşimi ve eğime uygunluk görülmektedir.



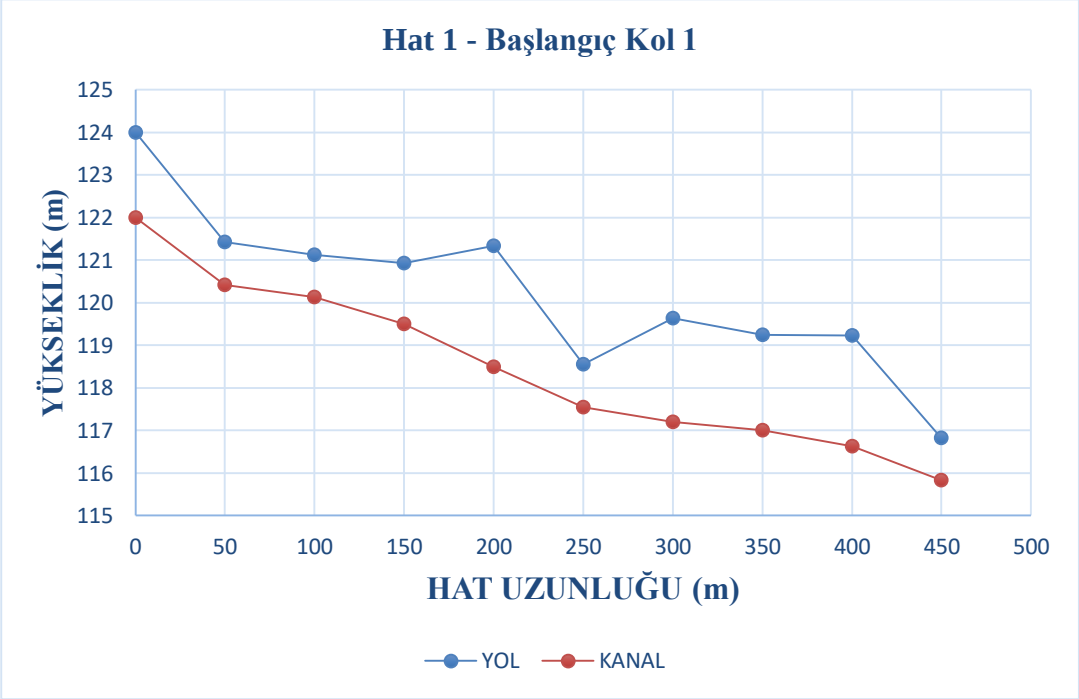
Şekil 17. 1 numaralı tahliye hattı

Tablo üzerinde, düğüm noktaları 50'şer metre ara ile konumlandırılmıştır ve mesafe sütununda ifade edilmiştir. Üst kotlar yol kotunu, alt kotlar, oluşturulan kanalın kotunu ifade etmektedir. İki kotun farkı kazı miktarıdır. Kazı derinliği; don seviyesi

ve yer altında geçen diğer hatların derinliğine göre değişiklik göstermektedir. En az 1 metre olarak tayin edilen kazı miktarı çalışma alanı için oldukça uygundur. Gri renk ile ifade edilen satırlar, düğüm noktaları arasında bağlantı kanalını, mavi renk ile ifade edilen satır, ilgili kolun bağlandığı son düğüm noktasını, sarı renk ile ifade edilen satırlar da ilgili düğüm noktasında düşme bacası olduğunu göstermektedir. Düşme bacalarında eğim oluşmaz.

Tablo 1. 1 numaralı tahliye hattı 1. başlangıç kolu

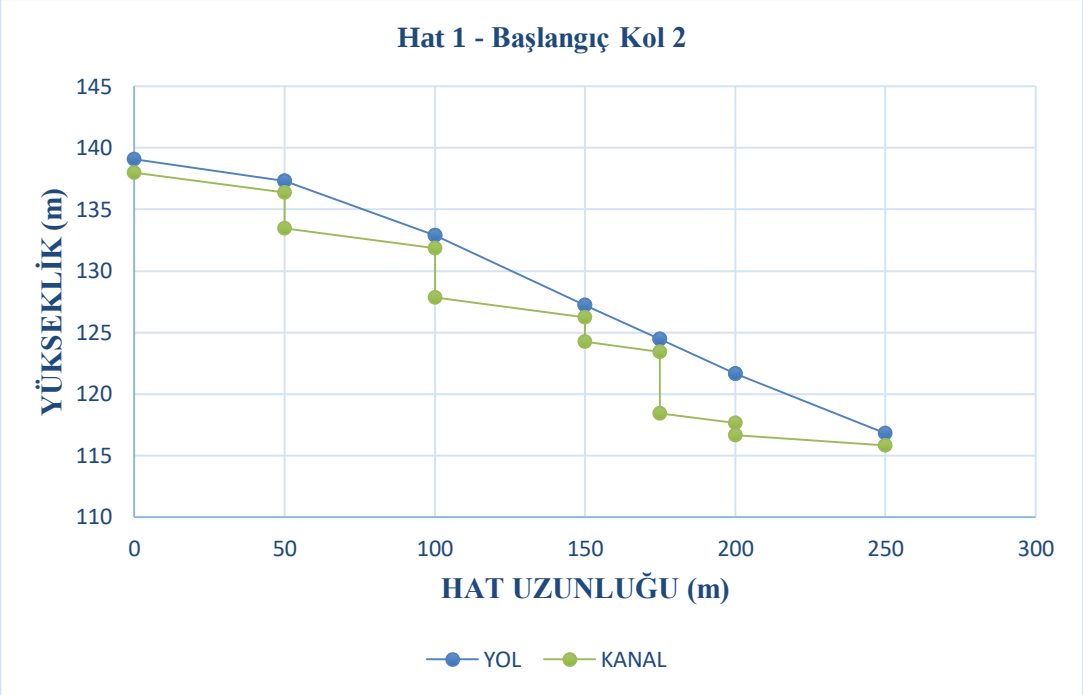
Mesafe (m)	Başlangıç Kolu 1	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol Eğimi (%)	Kanal Eğimi (%)
0	I1	124	122	2		
50	I2	121.42	120.42	1	5.16	3.16
100	I3	121.13	120.13	1	0.58	0.58
150	I4	120.93	119.5	1.43	0.4	1.26
200	I5	121.34	118.5	2.84	-0.82	2
250	I6	118.55	117.55	1	5.58	1.9
300	I7	119.63	117.2	2.43	-2.16	0.7
350	I8	119.25	117	2.25	0.76	0.4
400	I9	119.23	116.63	2.6	0.04	0.74
450	I15	116.83	115.83	1	4.8	1.6



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

Tablo 2. 1 numaralı tahliye hattı 2. başlangıç kolu

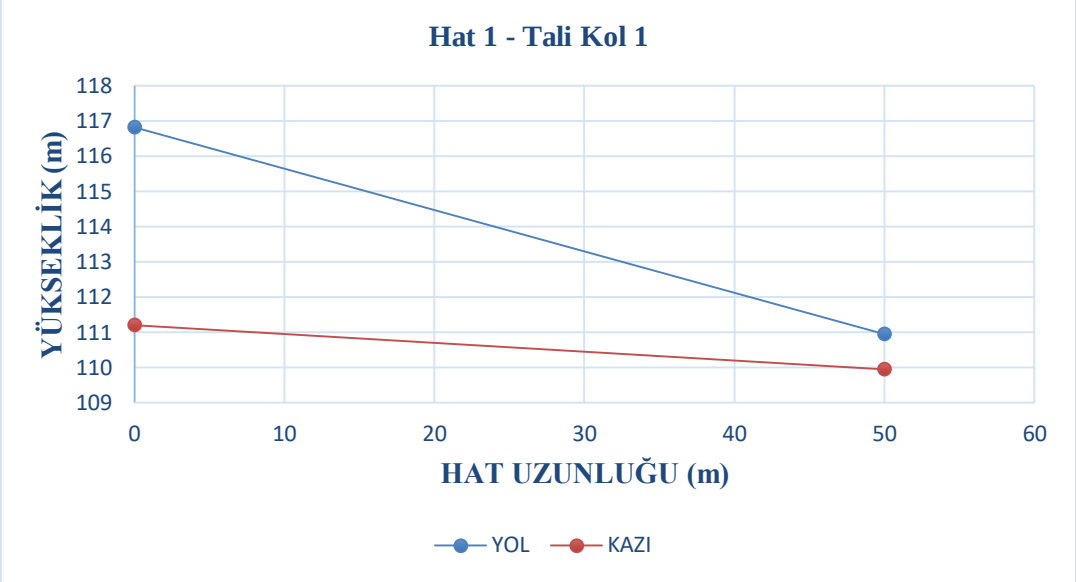
Mesafe (m)	Başlangıç Kolu 2	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol Eğimi (%)	Kanal Eğimi (%)
0	I10	139.08	138	1.08		
50	I11	137.29	136.4	0.89	3.58	3.2
50		137.29	133.47	3.82		
100	I12	132.87	131.87	1	8.84	3.2
100		132.87	127.84	5.03		
150	I13	127.24	126.24	1	11.26	3.2
150		127.24	124.24	3		
175	I13+	124.44	123.44	1	11.2	3.2
175		124.44	118.44	6		
200	I14	121.64	117.64	4	11.2	3.2
200		121.64	116.63	5.01		
250	I15	116.83	115.83	1	9.62	1.6



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

Tablo 3. 1 numaralı tahliye hattı tali kolu

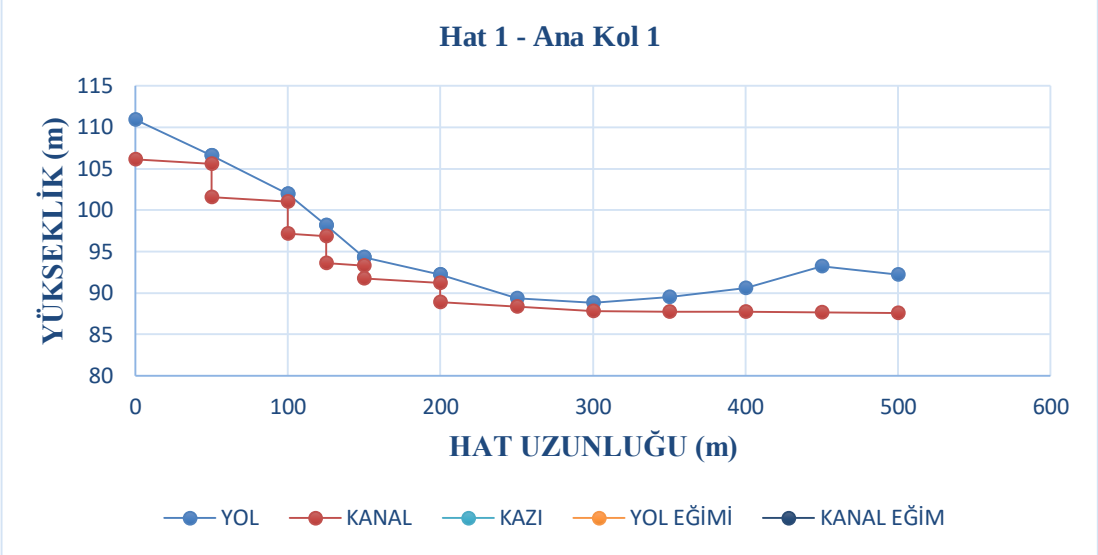
Mesafe (m)	Tali Kol 1	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol Eğimi (%)	Kanal Eğimi (%)
0	I15	116.83	111.2	5.63		
50	I16	110.95	109.95	1	11.76	2.5



Grafik 3. 1 numaralı tahliye hattı tali kolun boy kesiti

Tablo 4. 1 numaralı tahliye hattı ana kolu

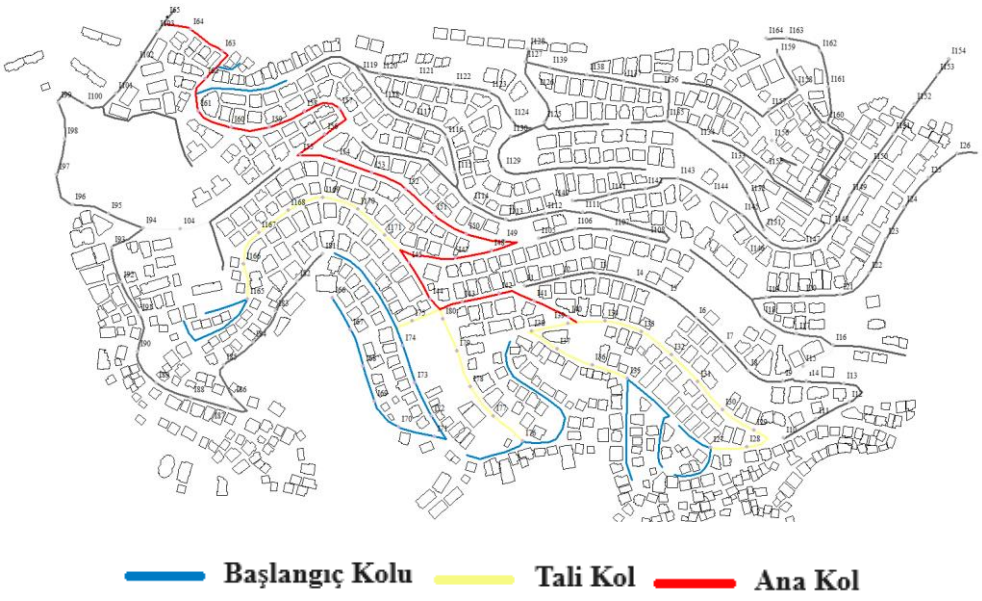
Mesafe (m)	Ana Kol	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol Eğimi (%)	Kanal Eğimi (%)
0	I16	110.95	106.12	4.83		
50	I17	106.57	105.57	1	8.76	1.1
50		106.57	101.54	5.03		
100	I18	101.99	100.99	1	9.16	1.1
100		101.99	97.165	4.825		
125	I18+	98.165	96.885	1.28	15.3	1.12
125		98.165	93.62	4.545		
150	I19	94.34	93.34	1	15.3	0.56
150		94.34	91.75	2.59		
200	I20	92.2	91.2	1	4.28	1.1
200		92.2	88.9	3.3		
250	I21	89.38	88.38	1	5.64	1.04
300	I22	88.81	87.81	1	1.14	1.14
350	I23	89.53	87.76	1.77	-1.44	0.1
400	I24	90.62	87.71	2.91	-2.18	0.1
450	I25	93.23	87.66	5.57	-5.22	0.1
500	I26	92.25	87.61	4.64	1.96	0.1



Grafik 4. 1 numaralı tahliye hattı ana kolu boy kesiti

2. Tahliye Hattı [I27-I80] ve [I165-I171] :

Bu hat üzerinde toplamda 60 adet düğüm noktası (junction) bulunmaktadır. 1 adet başlangıç kolu, 5 adet tali kol ve ana koldan oluşmaktadır. [I40-I65] düğüm noktaları arası ana kol, [I27-I40] arası 1. tali kol, [I35-I40] 2. tali kol, [I75-I44] 3. Tali kol, [I76-I44] arası 4. Tali kol ve [I165-I171] arası 5. Tali koldur. [I66-I74] başlangıç koludur. Bu kollara ait, kot kazı ve eğim durumları aşağıda belirtilmiştir. Boy kesit grafikleri ile kanal yerleşimi ve eğime uygunluk görülmektedir.

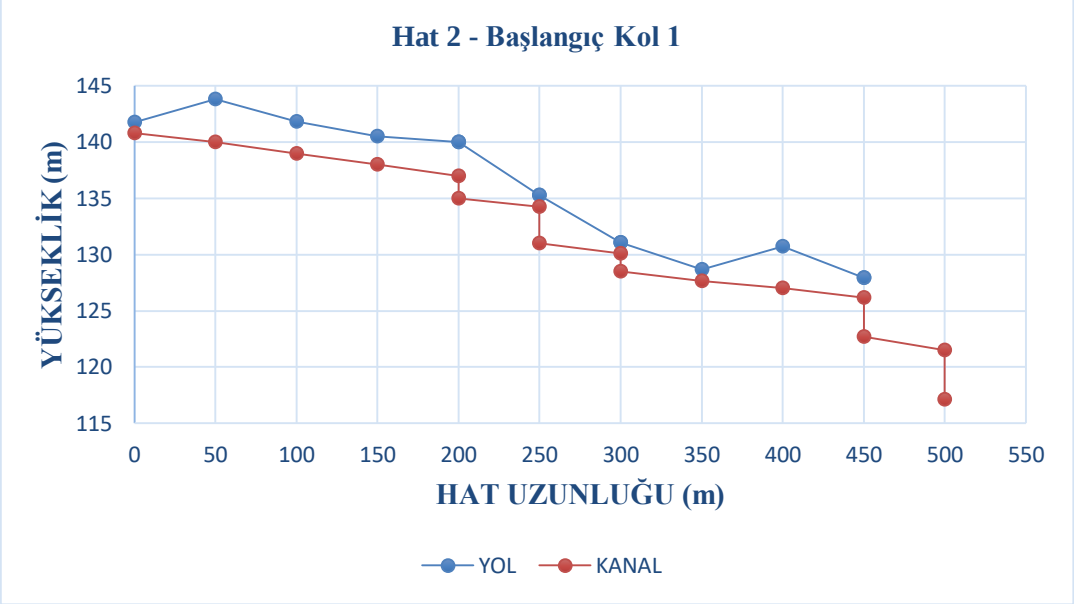


Şekil 18. 2 numaralı tahliye hattı

Tablo üzerinde, düğüm noktaları 50'şer metre ara ile konumlandırılmıştır ve mesafe sütununda ifade edilmiştir. Üst kotlar yol kotunu, alt kotlar oluşturulan kanalın kotunu ifade etmektedir. İki kotun farkı kazı miktarıdır. Kazı derinliği, don seviyesi ve yer altında geçen diğer hatların derinliğine göre değişiklik göstermektedir. En az 1 metre olarak tayin edilen kazı miktarı çalışma alanı için oldukça uygundur. Gri renk ile ifade edilen satırlar, düğüm noktaları arasında bağlantı kanalını, mavi renk ile ifade edilen satır, ilgili kolun bağlandığı son düğüm noktasını, sarı renk ile ifade edilen satırlar da ilgili düğüm noktasında düşme bacası olduğunu göstermektedir. Düşme bacalarında eğim oluşmaz.

Tablo 5. 2 numaralı tahliye hattı başlangıç kolu.

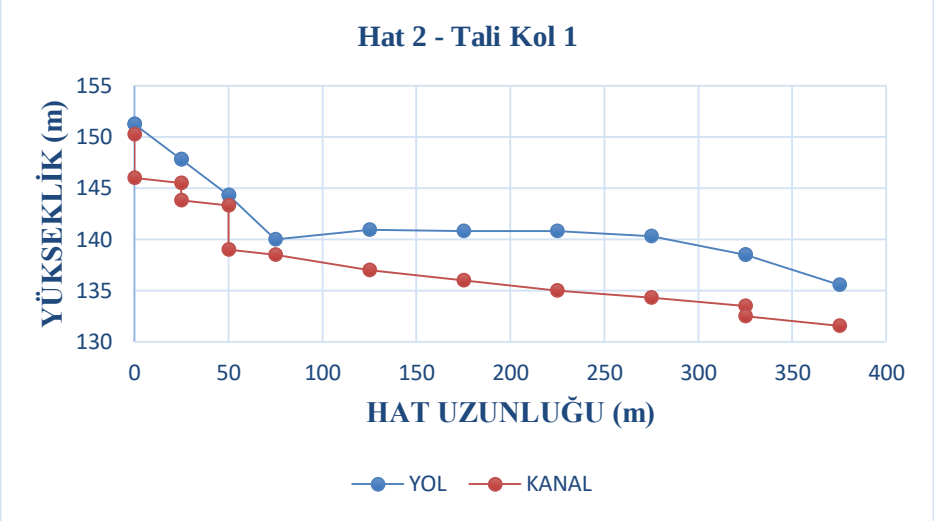
Mesafe (m)	Başlangıç Kol	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol Eğimi (%)	Kanal Eğimi (%)
0	I66	141.77	140.77	1		
50	I67	143.81	140	3.81	-4.08	1.54
100	I68	141.81	139	2.81	4	2
150	I69	140.54	138	2.54	2.54	2
200	I70	139.98	137	2.98	1.12	2
200		139.98	135	4.98		
250	I71	135.26	134.26	1	9.44	1.48
250		135.26	131	4.26		
300	I72	131.08	130.08	1	8.36	1.84
300		131.08	128.5	2.58		
350	I73	128.68	127.68	1	4.8	1.64
400	I74	130.7	127	3.7	-4.04	1.36
450	I75	127.96	126.2	1.76	5.48	1.6
450		127.96	122.7	5.26		
500	I44	123.1	121.5	1.6	9.72	2.4
500		123.1	117.1	6	9.72	2.4



Grafik 5. 2 numaralı tahliye hattı başlangıç kolu boy kesiti

Tablo 6. 2 numaralı tahliye hattın 1. tali kolu

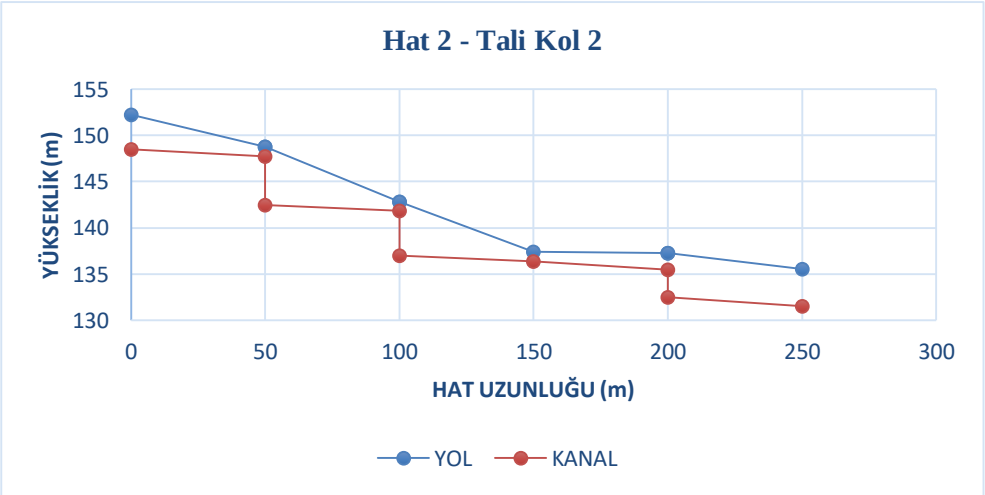
Mesafe (m)	Tali Kol 1	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol Eğimi (%)	Kanal Eğimi (%)
0	I27	151.27	150.27	1		
0		151.27	146	5.27		
25	I27+	147.805	145.5	2.305	14.43001	2
25		147.805	143.8	4.005		
50	I28	144.34	143.34	1	13.86	1.84
50		144.34	139	5.34		
100	I29	140.02	138	2.02	8.64	2
150	I30	140.95	137	3.95	-1.86	2
200	I31	140.83	136	4.83	0.24	2
250	I32	140.79	135	5.79	0.08	2
300	I33	140.31	134.31	6	0.96	1.38
350	I34	138.48	133.5	4.98	3.66	1.62
350		138.48	132.48	6		
400	I40	135.55	131.55	4	5.86	1.86



Grafik 6. 2 numaralı tahliye hattı 1. tali kol boy kesiti

Tablo 7. 2 numaralı tahliye hattı 2. tali kolu

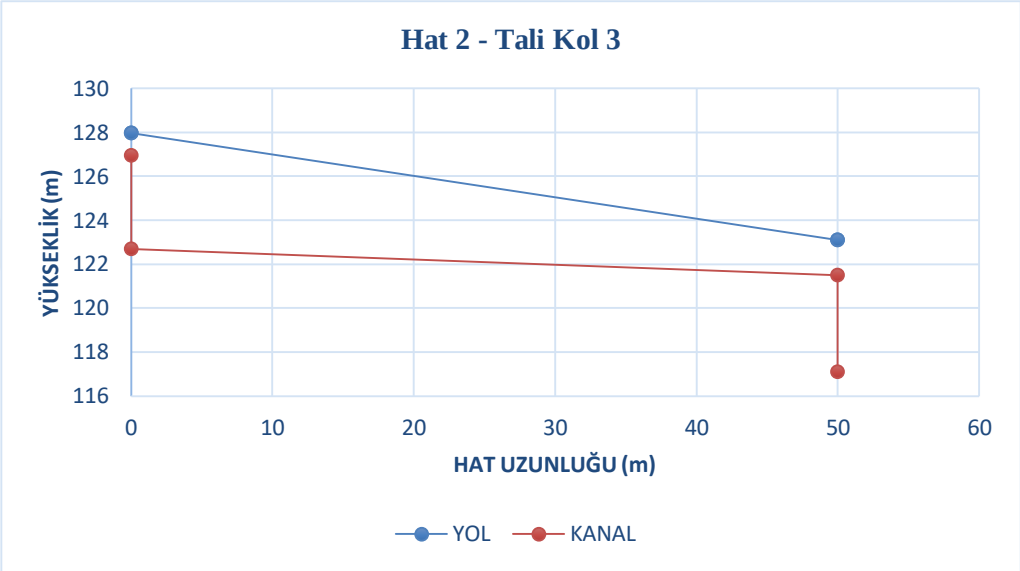
Mesafe (m)	Tali Kol 2	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol Eğimi (%)	Kanal Eğimi (%)
0	I35	152.24	148.5	3.74		
50	I36	148.74	147.74	1	7	1.52
50		148.74	142.5	6.24		
100	I37	142.84	141.84	1	11.8	1.32
100		142.84	137	5.84		
150	I38	137.39	136.39	1	10.9	1.22
200	I39	137.31	135.5	1.81	0.16	1.78
200		137.31	132.5	4.81		
250	I40	135.55	131.55	4	3.52	1.9



Grafik 7. 2 numaralı tahliye hattı 2. tali kolu boy kesiti

Tablo 8. 2 numaralı tahliye hattı 3. tali kolu

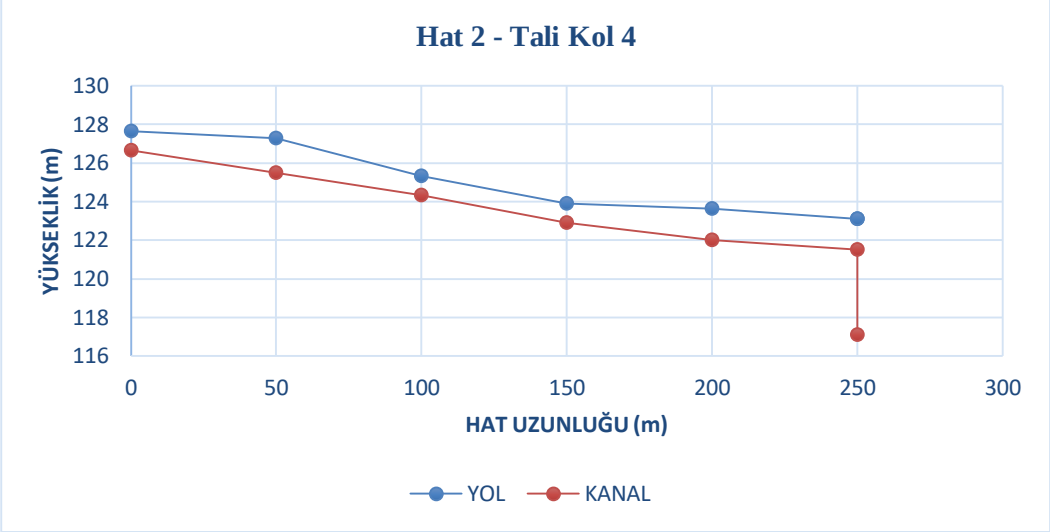
Mesafe (m)	Tali Kol 3	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol Eğimi (%)	Kanal Eğimi (%)
0	I75	127.96	126.96	1		
0		127.96	122.7	5.26		
50	I44	123.1	121.5	1.6	9.72	2.4
50		123.1	117.1	6	9.72	2.4



Grafik 8. 2 numaralı tahliye hattı 3. tali kol boy kesiti

Tablo 9. 2 numaralı tahliye hattı 4. tali kolu

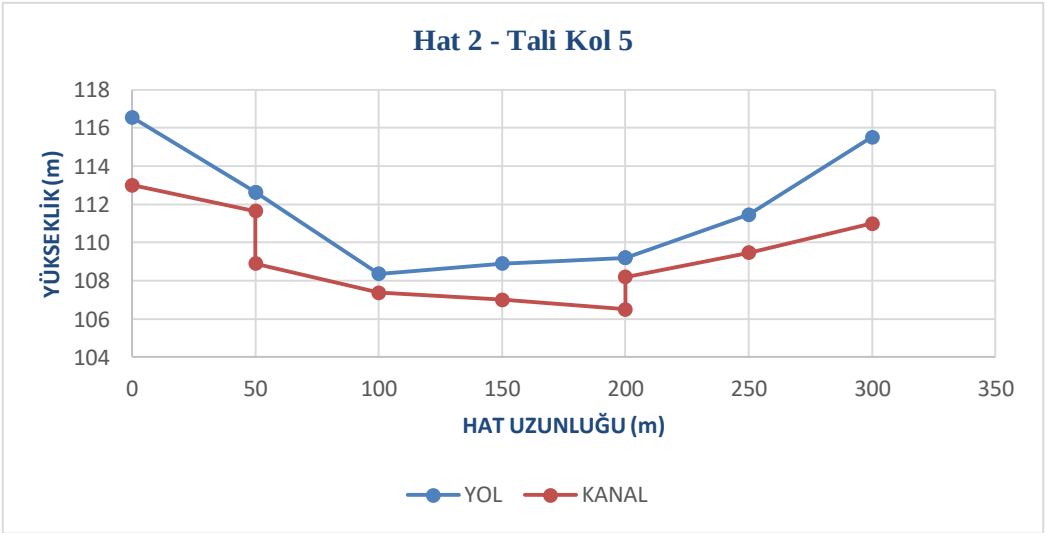
Mesafe (m)	Tali Kol 4	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol Eğimi (%)	Kanal Eğimi (%)
0	I76	127.66	126.66	1		
50	I77	127.29	125.5	1.79	0.74	2.32
100	I78	125.33	124.33	1	3.92	2.34
150	I79	123.89	122.89	1	2.88	2.88
200	I80	123.62	122	1.62	0.54	1.78
250	I44	123.1	121.5	1.6	0.79	1
250		123.1	117.1	6		



Grafik 9. 2 numaralı tahliye hattı 4. tali kol boy kesiti

Tablo 10. 2 numaralı tahliye hattı 5. tali kolu

Mesafe (m)	Tali Kol 5	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol Eğimi (%)	Kanal Eğimi (%)
0	I165	116.55	113	3.55		
50	I166	112.64	111.64	1	7.82	2.72
50		112.64	108.9	3.74		
100	I167	108.37	107.37	1	8.54	3.06
150	I168	108.9	107	1.9	-1.06	0.74
200	I169	109.2	106.5	2.7	-0.6	1
200	I169	109.2	108.2	1		
250	I170	111.47	109.47	2	-4.54	-2.54
300	I171	115.52	111	4.52		-3.06



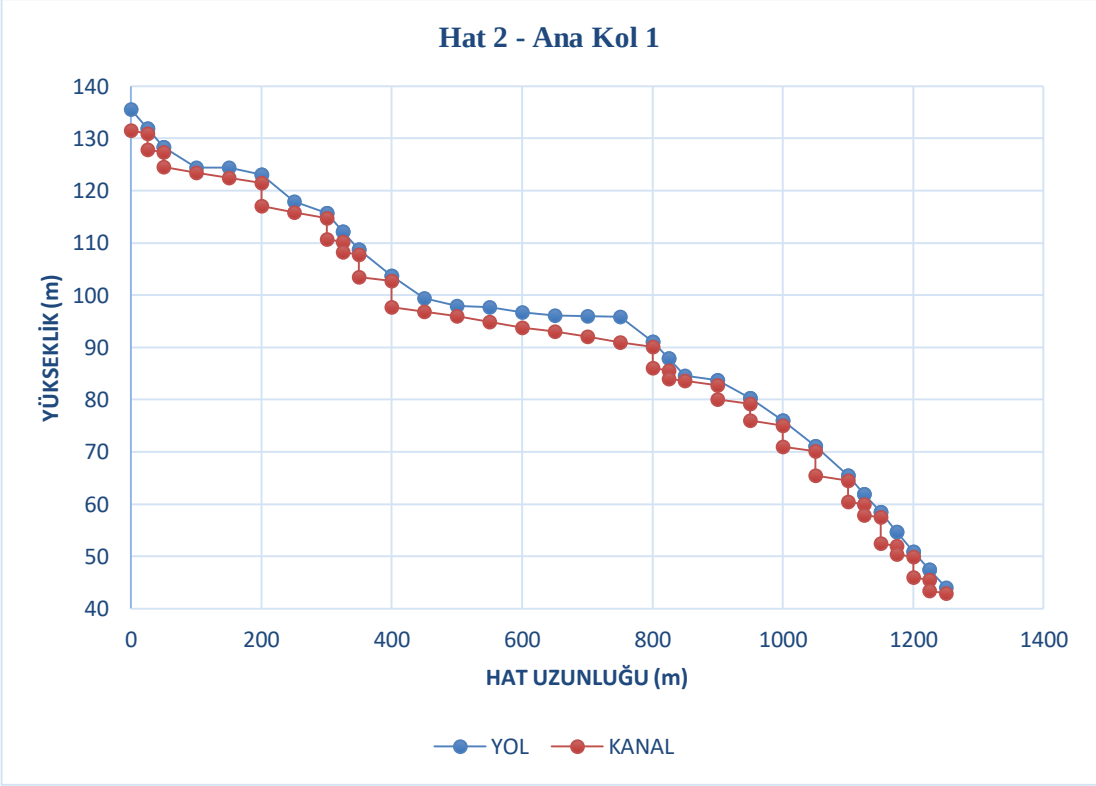
Grafik 10. 2 numaralı tahliye hattı 5. tali kol boy kesiti

Tablo 10'da gösterilen [I165-I171] aralığındaki 5. Tali kol, I169 düğüm noktasından sonra ters eğime geçtiği görülmektedir. Bu noktada SWMM programınca tanımlanan pompa sistemi uygulanacaktır. I171 düğüm noktasına dökülen su, eğimin I169'a doğru oluşu sebebiyle, I171'den I169'a doğru hareket edecek ve I169'a tanımlanan hazne içerisinde toplanıp, pompa sistemi ile tahliye yoluna döndürülecektir.

Tablo 11. 2 numaralı tahliye hattı ana kolu

Mesafe (m)	Ana Kol	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol Eğimi (%)	Kanal Eğimi (%)
0	I40	135.55	131.55	4		
25		131.955	130.955	1	16.55076	2.38
25		131.955	127.9	4.055		
50	I41	128.36	127.36	1	14.38	2.16
50		128.36	124.5	3.86		
100	I42	124.44	123.44	1	7.84	2.12
150	I43	124.37	122.5	1.87	0.14	1.88
200	I44	123.1	121.5	1.6	2.54	2
200		123.1	117.1	6		
250	I45	117.9	115.9	2	10.4	2.4
300	I46	115.68	114.68	1	4.44	2.44
300		115.68	110.68	5		
325		112.21	110.2	2.01	13.88	1.92
325		112.21	108.2	4.01		
350	I47	108.74	107.74	1	13.88	1.84
350		108.74	103.5	5.24		
400	I48	103.69	102.69	1	10.1	1.62
400		103.69	97.69	6		
450	I49	99.37	96.8	2.57	8.64	1.78
500	I50	97.99	95.99	2	2.76	1.62
550	I51	97.64	94.9	2.74	0.7	2.18
600	I52	96.7	93.8	2.9	1.88	2.2
650	I53	96.06	93	3.06	1.28	1.6
700	I54	95.99	92	3.99	0.14	2
750	I55	95.88	91	4.88	0.22	2
800	I56	91.07	90.07	1	9.62	1.86
800		91.07	86.07	5		
825	I56+	87.855	85.6	2.255	12.86	1.88
825		87.855	84	3.855		
850	I57	84.64	83.64	1	12.86	1.44
900	I58	83.75	82.75	1	1.78	1.78
900		83.75	80	3.75		

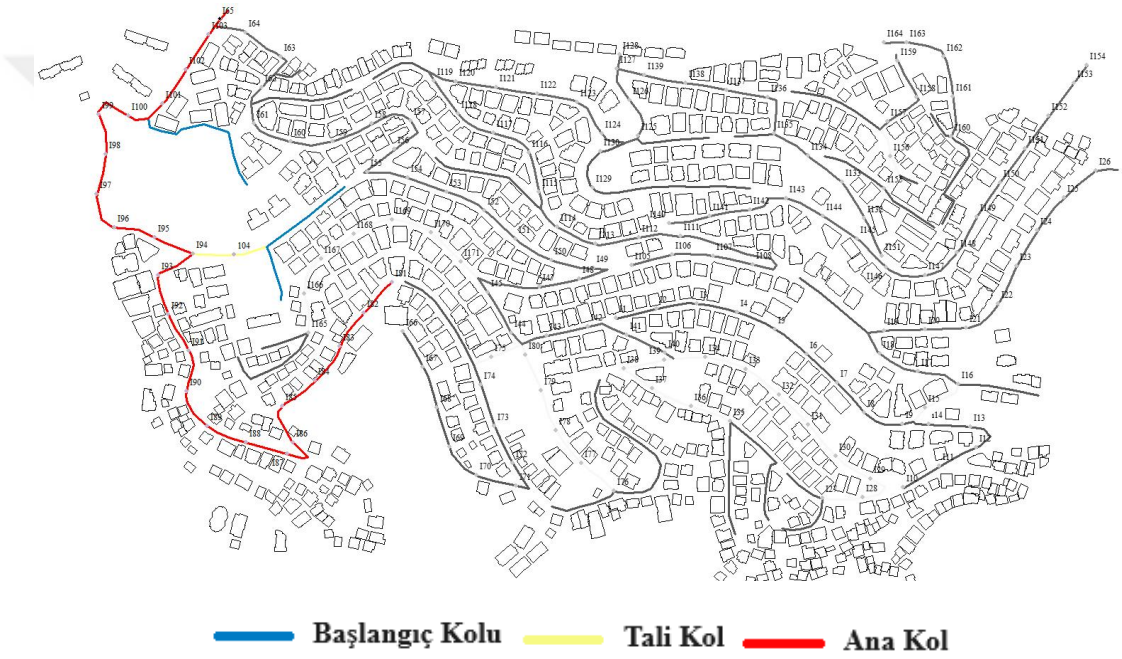
950	I59	80.24	79.24	1	7.02	1.52
950		80.24	76	4.24		
1000	I60	76.06	75.06	1	8.36	1.88
1000		76.06	71	5.06		
1050	I61	71.12	70.12	1	9.88	1.76
1050		71.12	65.4	5.72		
1100	I62	65.45	64.45	1	11.34	1.9
1100		65.45	60.45	5		
1125	I62+	61.965	60	1.965	13.94	1.8
1125		61.965	57.8	4.165		
1150	I63	58.48	57.48	1	13.94	1.28
1150		58.48	52.48	6		
1175	I63+	54.705	52	2.705	15.1	1.92
1175		54.705	50.4	4.305		
1200	I64	50.93	49.93	1	15.1	1.88
1200		50.93	45.93	5		
1225	I64+	47.445	45.5	1.945	13.94	1.72
1225		47.445	43.4	4.045		
1250	I65	43.96	42.96	1	13.94	1.76



Grafik 11. 2 numaralı tahliye hattı ana kol boy kesiti

3. Tahliye Hattı [I81-I104] :

Bu hat üzerinde toplamda 22 adet düğüm noktası (junction) bulunmaktadır. Başlangıç kollarının uzunluğu 200 metreden az olduğu için bu kollara düğüm noktası konumlandırılmamıştır. Eğim yönü, suyun tahliyesi açısından belirlenen hatta aksi bir durum oluşturmadığından, bu bölgelerde yağmur suyu kendi cazibesi ile akışa devam edecektir. Hat genel anlamda 1 adet tali kol ve ana koldan oluşmaktadır. [I83-I103] düğüm noktaları arası ana kol, [I104-I94] arası tali koldur. Bu kollara ait, kot kazı ve eğim durumları aşağıda belirtilmiştir. Boy kesit grafikleri ile kanal yerleşimi ve eğime uygunluk görülmektedir.

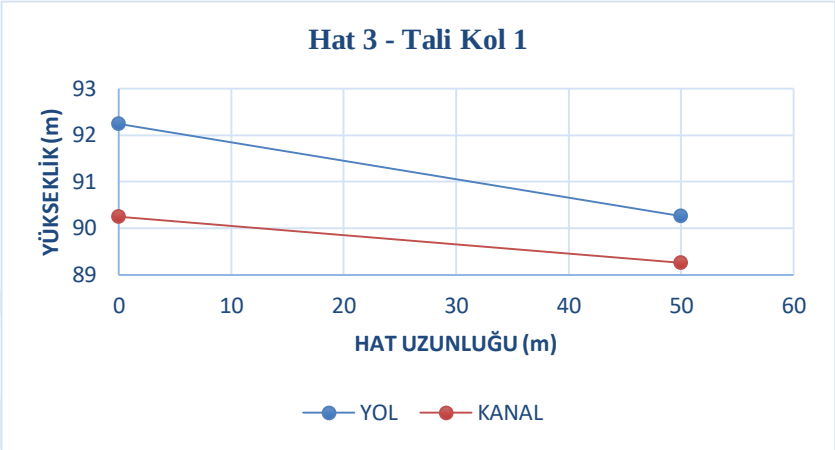


Şekil 19. 3 numaralı tahliye hattı

Tablo üzerinde, düğüm noktaları 50'şer metre ara ile konumlandırılmıştır ve mesafe sütunu 50 metre ara ile gösterilmiştir. Üst kotlar yol kotunu, alt kotlar, oluşturulan kanalın kotunu ifade etmektedir. İki kotun farkı kazı miktarını vermektedir. Kazı derinliği; don seviyesi, yer altında geçen diğer hatların derinliğine göre değişiklik göstermektedir. En az 1 metre olarak tayin edilen kazı miktarı çalışma alanı için oldukça uygundur. Gri renk ile ifade edilen satırlar, düğüm noktaları arasında bağlantı kanalını, mavi renk ile ifade edilen satır, ilgili kolun bağlandığı son düğüm noktasını, sarı renk ile ifade edilen satırlar da ilgili düğüm noktasında düşme bacası olduğunu göstermektedir. Düşme bacalarında eğim oluşmaz.

Tablo 12. 3 numaralı tahliye hattı tali kolu

Mesafe (m)	Tali Kol	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol Eğimi (%)	Kanal Eğimi (%)
0	I104	92.24	90.24	2		
50	I94	90.26	89.26	1	3.96	1.96

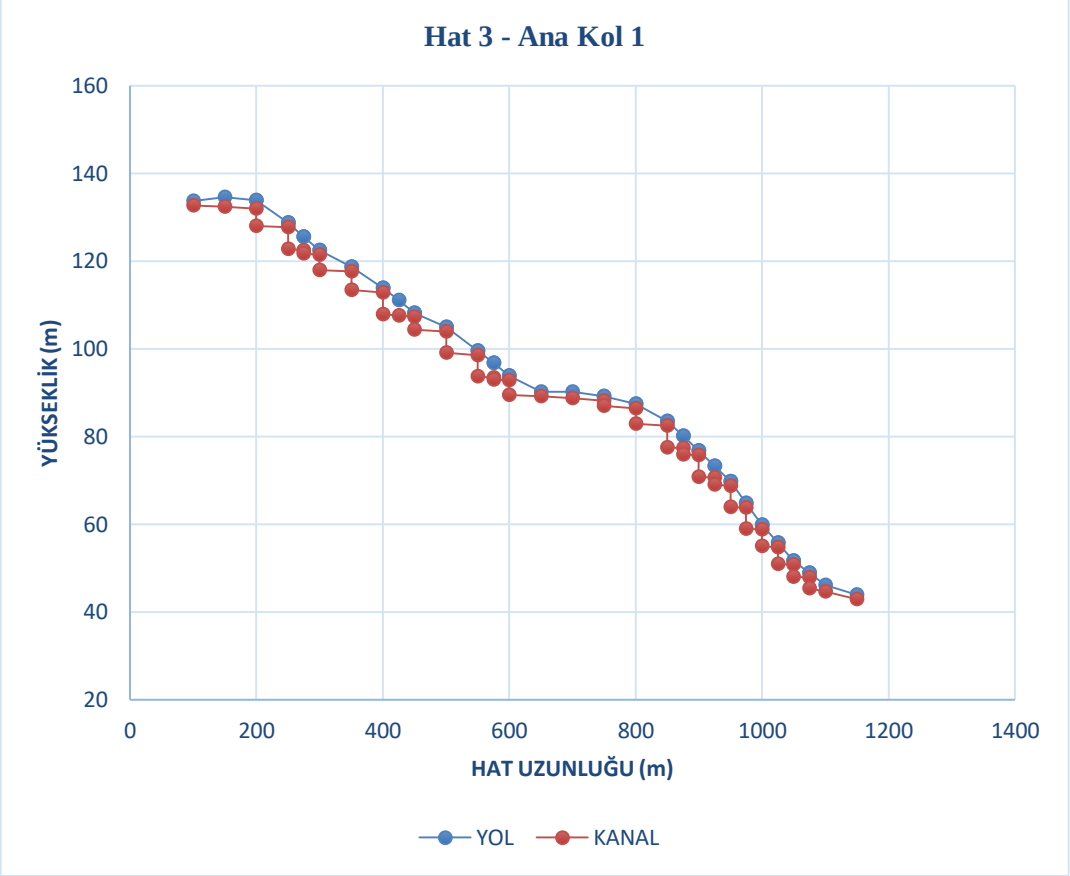


Grafik 12. 3 numaralı tahliye hattı tali kol boy kesiti.

Tablo 13. 3 numaralı tahliye hattı ana kolu.

Mesafe (m)	Ana Kol	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol Eğimi (%)	Kanal Eğimi (%)
100	I83	133.67	132.67	1		
150	I84	134.6	132.5	2.1	-1.86	0.34
200	I85	133.87	132	1.87	1.46	1
200		133.87	128	5.87		
250	I86	128.73	127.73	1	10.28	0.54
250		128.73	122.73	6		
275		125.625	122.5	3.125	12.42	0.92
275		125.625	121.8	3.825		
300	I87	122.52	121.52	1	12.42	1.12
300		122.52	118	4.52		
350	I88	118.72	117.72	1	7.6	0.56
350		118.72	113.4	5.32		
400	I89	113.83	112.83	1	9.78	1.14
400		113.83	107.83	6		
425		111.04	107.55	3.49	11.6	1.12
450	I90	108.25	107.25	1	11.16	1.2
450		108.25	104.4	3.85		
500	I91	104.91	103.91	1	6.68	0.98

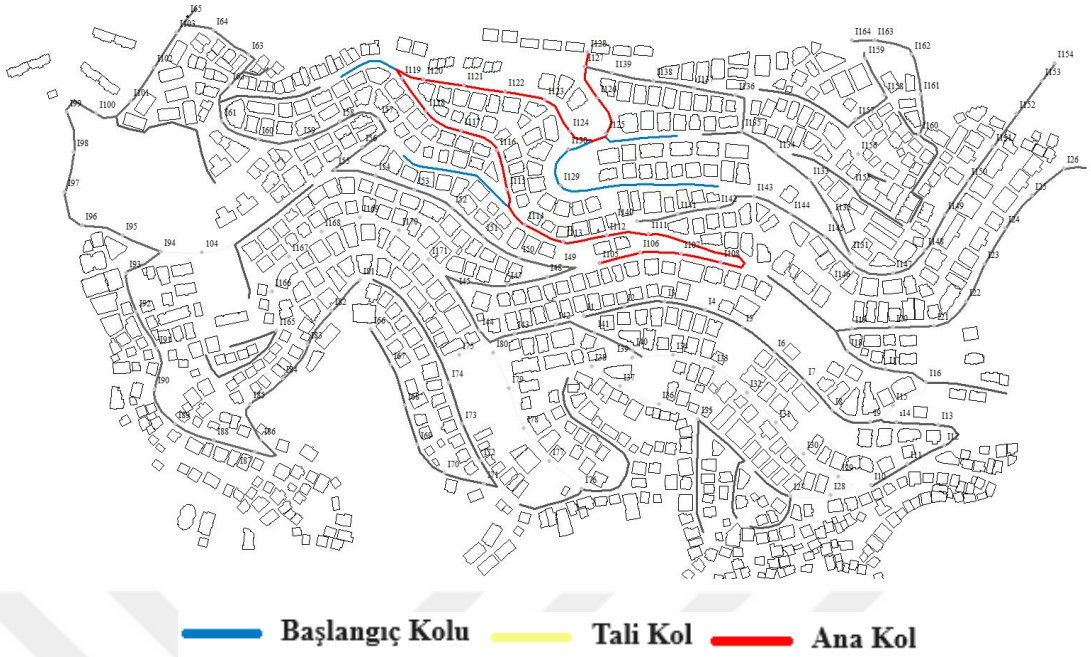
500		104.91	99.1	5.81		
550	I92	99.61	98.61	1	10.6	0.98
550		99.61	93.7	5.91		
575		96.745	93.5	3.245	11.46	0.8
575		96.745	93	3.745		
600	I93	93.88	92.88	1	11.46	0.48
600		93.88	89.5	4.38		
650	I94	90.26	89.26	1	7.24	0.48
700	I95	90.19	88.8	1	0.14	0.92
750	I96	89.26	88.26	1	1.86	1.08
750		89.26	87	2.26		
800	I97	87.43	86.43	1	3.66	1.14
800		87.43	83	4.43		
850	I98	83.52	82.52	1	7.82	0.96
850		83.52	77.52	6		
875		80.16	77.4	2.76	13.44	0.48
875		80.16	76	4.16		
900	I99	76.8	75.8	1	13.44	0.8
900		76.8	70.8	6		
925		73.275	70.6	2.675	14.1	0.8
925		73.275	69	4.275		
950	I100	69.75	68.75	1	14.1	1
950		69.75	64	5.75		
975		64.825	63.825	1	19.7	0.7
975		64.825	59	5.825		
1000	I101	59.9	58.9	1	19.7	0.4
1000		59.9	55	4.9		
1025		55.83	54.83	1	16.28	0.68
1025		55.83	51	4.83		
1050	I102	51.76	50.76	1	16.28	0.96
1050		51.76	48	3.76		
1075		48.955	47.955	1	11.22	0.18
1075		48.955	45.4	3.555		
1100	I103	46.15	45.15	1	11.22	1
1250	I65	43.96	42.96	1	3.9	1.46



Grafik 13. 3 numaralı tahliye hattı ana kol boy kesiti

4. Tahliye Hattı [I105-I130] :

Bu hat üzerinde toplamda 25 adet düğüm noktası (junction) bulunmaktadır. Başlangıç kollarından, uzunluğu 200 metreden az olan kollara düğüm noktası konumlandırılmamıştır. Eğim yönü, suyun tahliyesi açısından belirlenen hatta aksi bir durum oluşturmadığından, bu bölgelerde yağmur suyu kendi cazibesi ile akışa devam edecektir. Hat genel anlamda 1 adet başlangıç kolu ve ana koldan oluşmaktadır. [I129-I130] düğüm noktaları arası başlangıç kolu, [I105-I128] arası ana koldur. Bu kollara ait, kot kazı ve eğim durumları aşağıda belirtilmiştir. Boy kesit grafikleri ile kanal yerleşimi ve eğime uygunluk görülmektedir.

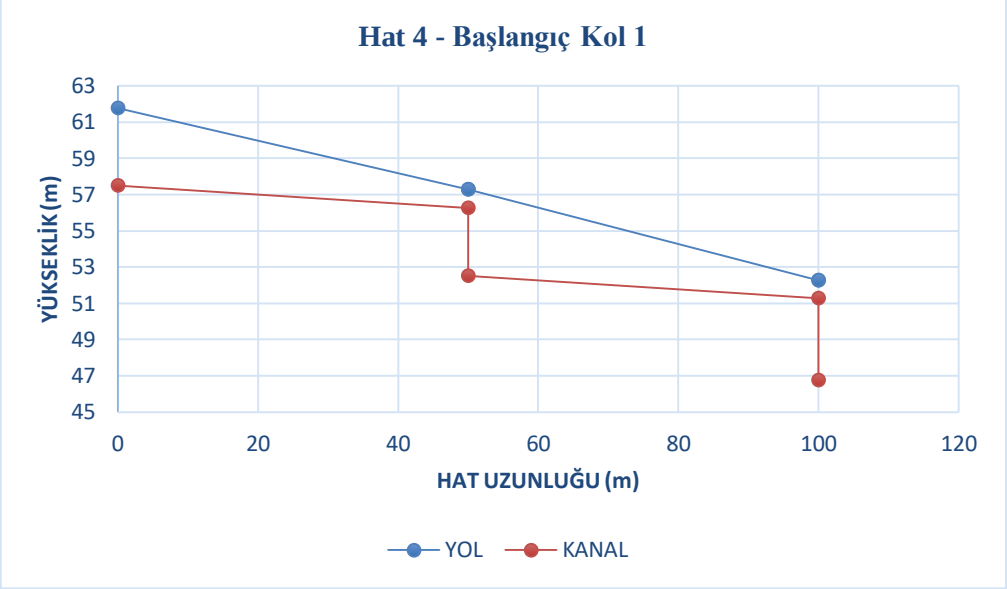


Şekil 20. 4 numaralı tahliye hattı

Tablo üzerinde, düğüm noktaları 50'şer metre ara ile konumlandırılmıştır ve mesafe sütunu 50 metre ara ile gösterilmiştir. Üst kotlar yol kotunu, alt kotlar, oluşturulan kanalın kotunu ifade etmektedir. İki kotun farkı kazı miktarını vermektedir. Kazı derinliği, don seviyesi, yer altında geçen diğer hatların derinliğine göre değişiklik göstermektedir. En az 1 metre olarak tayin edilen kazı miktarı çalışma alanı için oldukça uygundur. Gri renk ile ifade edilen satırlar, düğüm noktaları arasında bağlantı kanalını, mavi renk ile ifade edilen satır, ilgili kolun bağlandığı son düğüm noktasını, sarı renk ile ifade edilen satırlar da ilgili düğüm noktasında düşme bacası olduğunu göstermektedir. Düşme bacalarında eğim oluşmaz.

Tablo 14. 4 numaralı tahliye hattı başlangıç kolu.

Mesafe (m)	Başlangıç Kolu	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol Eğimi (%)	Kanal Eğimi (%)
0	I29	61.76	57.5	4.26		
50	I30	57.27	56.27	1	8.98	2.46
50		57.27	52.5	4.77		
100	I25	52.27	51.27	1.00	10	2.46
100		52.27	46.77	5.5		

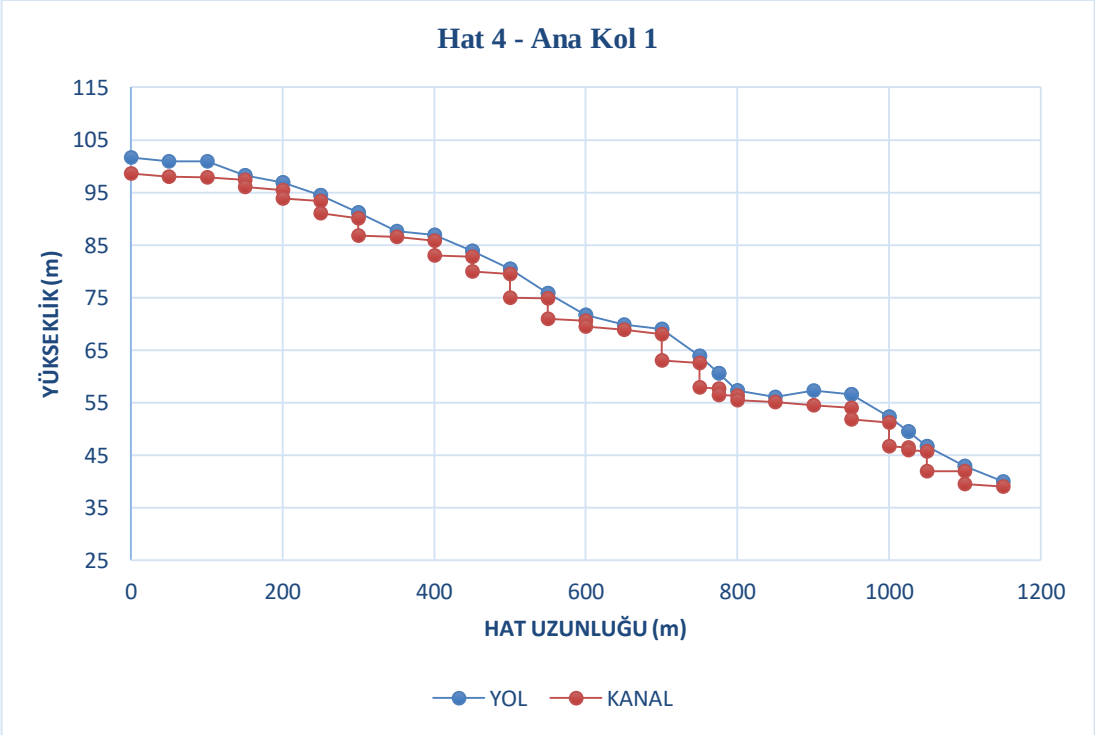


Grafik 14. 4 numaralı tahliye hattı başlangıç kolu boy kesiti.

Tablo 15. 4 numaralı tahliye hattı ana kolu.

Mesafe	Ana Kol	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı (m)	Y Eğim (%)	K Eğim (%)
0	I105	101.67	98.67	3.00		
50	I106	100.96	97.96	3.00	1.42	1.42
100	I107	100.97	97.9	3.07	-0.02	0.12
150	I108	98.28	97.4	0.88	5.38	1
150		98.28	96	2.28		
200	I109	96.95	95.5	1.45	2.66	1
200		96.95	93.9	3.05		
250	I110	94.42	93.4	1.02	5.06	1
250		94.42	91	3.42		
300	I111	91.14	90.14	1.00	6.56	1.72
300		91.14	86.8	4.34		
350	I112	87.66	86.5	1.16	6.96	0.6
400	I113	86.87	85.87	1.00	1.58	1.26
400		86.87	83	3.87		
450	I114	83.81	82.81	1.00	6.12	0.38
450		83.81	80	3.81		
500	I115	80.5	79.5	1.00	6.62	1
500		80.5	75	5.50		
550	I116	75.87	74.87	1.00	9.26	0.26
550		75.87	71	4.87		
600	I117	71.64	70.64	1.00	8.46	0.72
600		71.64	69.5	2.14		
650	I118	69.89	68.89	1.00	3.50	1.22

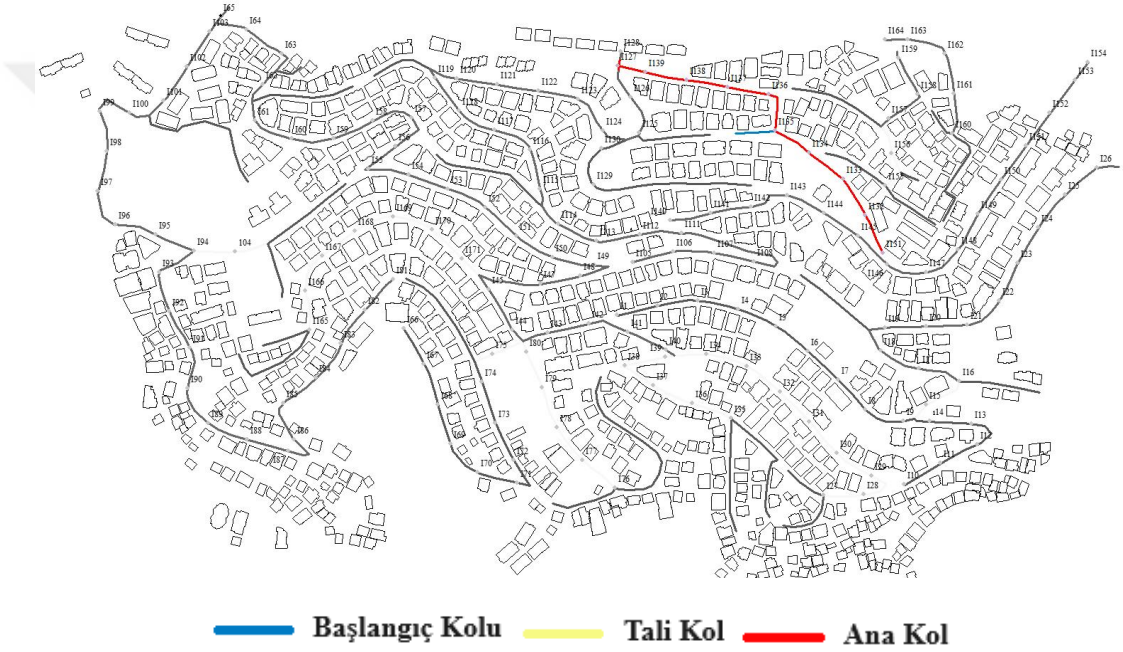
700	I119	69.02	68.02	1.00	1.74	1.74
700		69.02	63.02	6.00		
750	I120	63.93	62.5	1.43	10.18	1.04
750		63.93	57.93	6.00		
775		60.63	57.7	2.93	13.20	0.92
775		60.63	56.5	4.13		
800	I121	57.33	56.33	1.00	13.20	0.68
800		57.33	55.5	1.83		
850	I122	56.07	55.07	1.00	2.52	0.86
900	I123	57.25	54.5	2.75	-2.36	1.14
950	I124	56.56	54	2.56	1.38	1
950		56.56	51.8	4.76		
1000	I125	52.27	51.27	1.00	8.58	1.06
1000		52.27	46.77	5.5		
1025		49.49	46.5	2.99	11.12	1.08
1025		49.49	46	3.49		
1050	I126	46.71	45.71	1.00	11.12	1.16
1050		46.71	42	4.71		
1100	I127	42.91	41.91	1.00	7.60	0.18
1100		42.91	39.5	3.41		
1150	I128	40.01	39.01	1.00	5.80	0.98



Grafik 15. 4 numaralı tahliye hattı ana kol boy kesiti

5. Tahliye Hattı [I131-I139] :

Bu hat üzerinde toplamda 9 adet düğüm noktası (junction) bulunmaktadır. Başlangıç kollarından, uzunluğu 200 metreden az olan kollara düğüm noktası konumlandırılmamıştır. Eğim yönü, suyun tahliyesi açısından belirlenen hatta aksi bir durum oluşturmadığından, bu bölgelerde yağmur suyu kendi cazibesi ile akışa devam edecektir. Hat genel anlamda 1 adet ana koldan oluşmaktadır. [I131-I139] düğüm noktaları arası ana koldur. Bu kola ait, kot kazı ve eğim durumları aşağıda belirtilmiştir. Boy kesit grafikleri ile kanal yerleşimi ve eğime uygunluk görülmektedir.

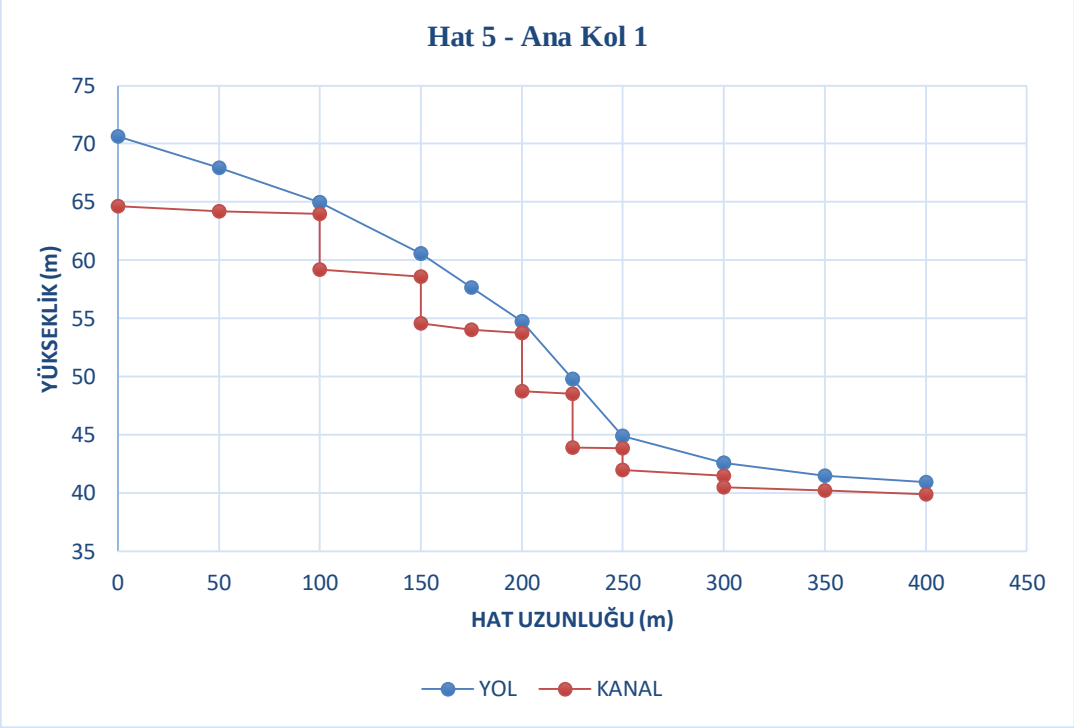


Şekil 21. 5 numaralı tahliye hattı

Tablo üzerinde, düğüm noktaları 50'şer metre ara ile konumlandırılmıştır ve mesafe sütunu 50 metre ara ile gösterilmiştir. Üst kotlar yol kotunu, alt kotlar, oluşturulan kanalın kotunu ifade etmektedir. İki kotun farkı kazı miktarını vermektedir. Kazı derinliği, don seviyesi, yer altında geçen diğer hatların derinliğine göre değişiklik göstermektedir. En az 1 metre olarak tayin edilen kazı miktarı çalışma alanı için oldukça uygundur. Gri renk ile ifade edilen satırlar, düğüm noktaları arasında bağlantı kanalını, mavi renk ile ifade edilen satır, ilgili kolun bağlandığı son düğüm noktasını, sarı renk ile ifade edilen satırlar da ilgili düğüm noktasında düşme bacası olduğunu göstermektedir. Düşme bacalarında eğim oluşmaz.

Tablo 16. 5 numaralı tahliye hattı ana kolu.

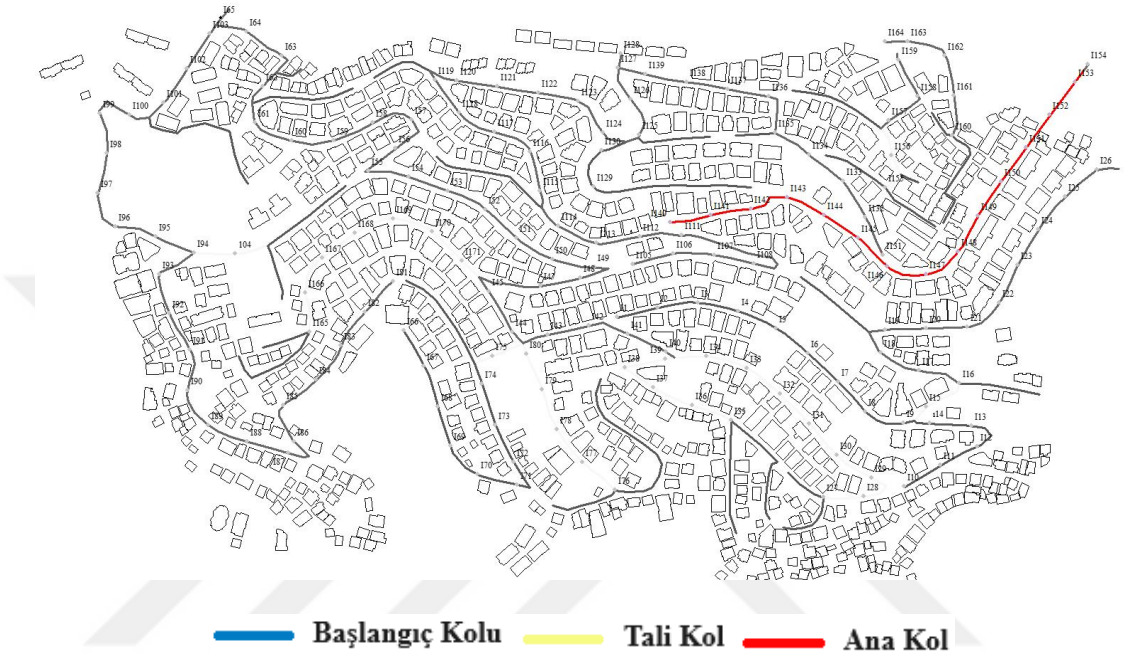
Mesafe (m)	Ana Kol	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol Eğimi (%)	Kanal Eğimi (%)
0	I131	70.65	64.65	6		
50	I132	67.92	64.2	3.72	5.46	0.9
100	I133	64.96	63.96	1	5.92	0.48
100		64.96	59.2	5.76		
150	I134	60.58	58.58	2	8.76	1.24
150		60.58	54.58	6		
175		57.655	54	3.655	11.7	
200	I135	54.73	53.73	1	11.7	1.08
200		54.73	48.73	6		
225		49.8	48.5	1.3	15.71	0.92
225		49.8	43.9	5.9		
250	I136	44.87	43.87	1	19.72	0.12
250		44.87	42	2.87		
300	I137	42.58	41.5	1.08	4.58	1
300		42.58	40.5	2.08		
350	I138	41.49	40.2	1.29	2.18	0.6
400	I139	40.91	39.91	1	1.16	0.58
450	I127	42.91	39.5	3.41		0.82



Grafik 16. 5 numaralı tahliye hattı ana kol boy kesiti

6. Tahliye Hattı [I140-I154] :

Bu hat üzerinde toplamda 15 adet düğüm noktası (junction) bulunmaktadır. Hat genel anlamda 1 adet ana koldan oluşmaktadır. [I140-I154] düğüm noktaları arası ana koldur. Bu kola ait, kot kazı ve eğim durumları aşağıda belirtilmiştir. Boy kesit grafikleri ile kanal yerleşimi ve eğime uygunluk görülmektedir.

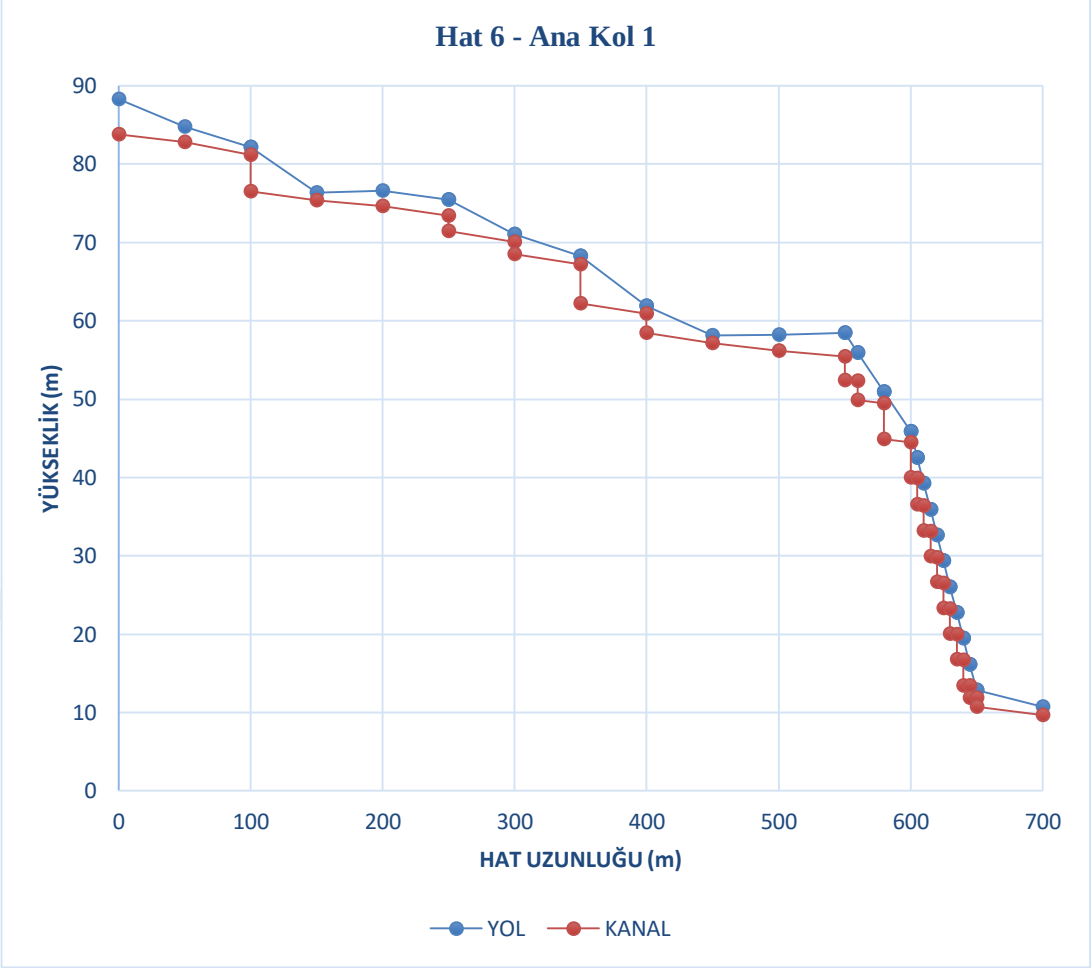


Şekil 22. 6 numaralı tahliye hattı

Tablo üzerinde, düğüm noktaları 50'şer metre ara ile konumlandırılmıştır ve mesafe sütunu 50 metre ara ile gösterilmiştir. Üst kotlar yol kotunu, alt kotlar, oluşturulan kanalın kotunu ifade etmektedir. İki kotun farkı kazı miktarını vermektedir. Kazı derinliği, don seviyesi, yer altında geçen diğer hatların derinliğine göre değişiklik göstermektedir. En az 1 metre olarak tayin edilen kazı miktarı çalışma alanı için oldukça uygundur. Gri renk ile ifade edilen satırlar, düğüm noktaları arasında bağlantı kanalını, mavi renk ile ifade edilen satır, ilgili kolun bağlandığı son düğüm noktasını, sarı renk ile ifade edilen satırlar da ilgili düğüm noktasında düşme bacası olduğunu göstermektedir. Düşme bacalarında eğim oluşmaz.

Tablo 17. 6 numaralı tahliye hattı ana kolu

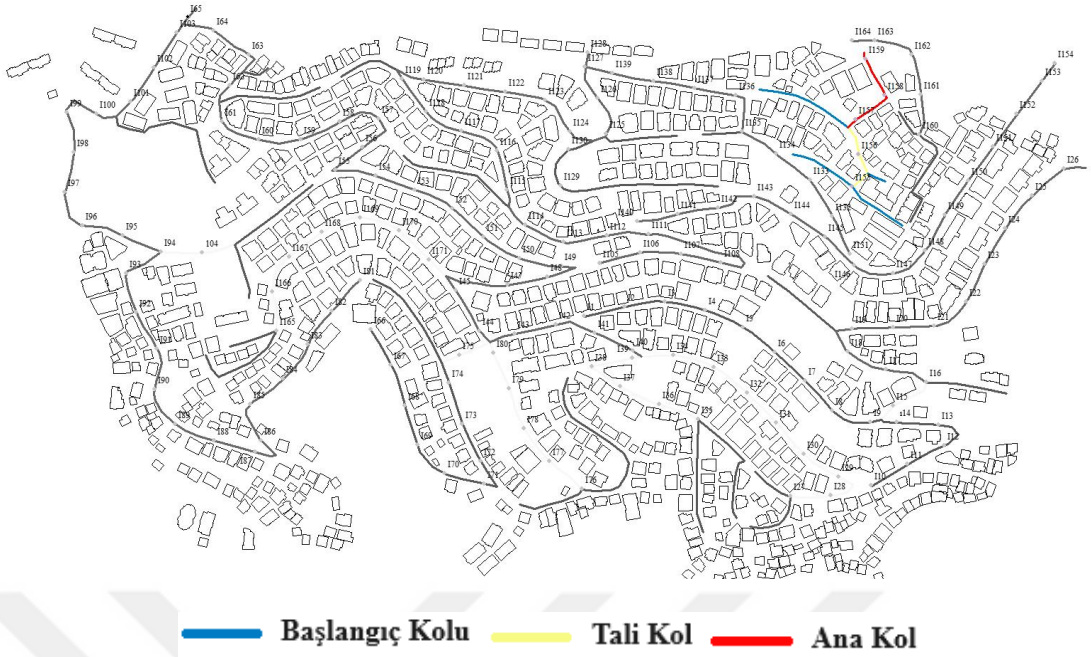
Mesafe (m)	Ana Kol	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol Eğimi (%)	Kanal Eğimi (%)
0	I140	88.29	83.79	4.5		
50	I141	84.79	82.79	2	7	2
100	I142	82.2	81.2	1	5.18	3.18
100		82.2	76.5	5.7		
150	I143	76.4	75.4	1	11.6	2.2
200	I144	76.64	74.64	2	-0.48	1.52
250	I145	75.45	73.45	2	2.38	2.38
250		75.45	71.5	3.95		
300	I146	71.03	70.03	1	8.84	2.94
300		71.03	68.5	2.53		
350	I147	68.24	67.24	1	5.58	2.52
350		68.24	62.24	6		
400	I148	61.93	60.93	1	12.62	2.62
400		61.93	58.5	3.43		
450	I149	58.17	57.17	1	7.52	2.66
500	I150	58.19	56.19	2	-0.04	1.96
550	I151	58.44	55.44	3	-0.5	1.5
550		58.44	52.44	6		
560	I151+10	55.9	52.3	3.6	25.4	1.4
560		55.9	49.9	6		
580	I152+30	50.92	49.5	1.42	24.9	2
580		50.92	44.92	6		
600	I152	45.84	44.5	1.34	25.2	2.1
600		45.84	40	5.84	25.2	
605	I152+5	42.541	39.9	2.641	29.68667	2
605		42.541	36.541	6		
610	I152+10	39.242	36.4	2.842	65.98	2.82
610		39.242	33.242	6		
615	I152+15	35.943	33.1	2.843	65.98	2.84
615		35.943	29.943	6		
620	I152+20	32.644	29.8	2.844	65.98	2.86
620		32.644	26.644	6		
625	I152+25	29.345	26.5	2.845	65.98	2.88
625		29.345	23.345	6		
630	I152+30	26.046	23.2	2.846	65.98	2.9
630		26.046	20.046	6		
635	I152+35	22.747	20	2.747	65.98	0.92
635		22.747	16.747	6		
640	I152+40	19.448	16.7	2.748	65.98	0.94
640		19.448	13.448	6		
645	I152+45	16.149	13.4	2.749	65.98	0.96
645		16.149	11.9	4.249		
650	I153	12.85	11.85	1	65.98	1
650		12.85	10.7	2.15		
700	I154	10.70	9.7	1	4.3	2



Grafik 17. 6 numaralı tahliye hattı ana kol boy kesiti

7. Tahliye Hattı [I155-I159] :

Bu hat üzerinde toplamda 5 adet düğüm noktası (junction) bulunmaktadır. Başlangıç kollarından, uzunluğu 200 metreden az olan kollara düğüm noktası konumlandırılmamıştır. Eğim yönü, suyun tahliyesi açısından belirlenen hatta aksi bir durum oluşturmadığından, bu bölgelerde yağmur suyu kendi cazibesi ile akışa devam edecektir. Hat genel anlamda 1 adet ana koldan oluşmaktadır. [I155-I156] düğüm noktaları arası tali kol, [I157-I159] düğüm noktaları ara ana koldur. Bu kollara ait, kot, kazı ve eğim durumları aşağıda belirtilmiştir. Boy kesit grafikleri ile kanal yerleşimi ve eğime uygunluk görülmektedir.

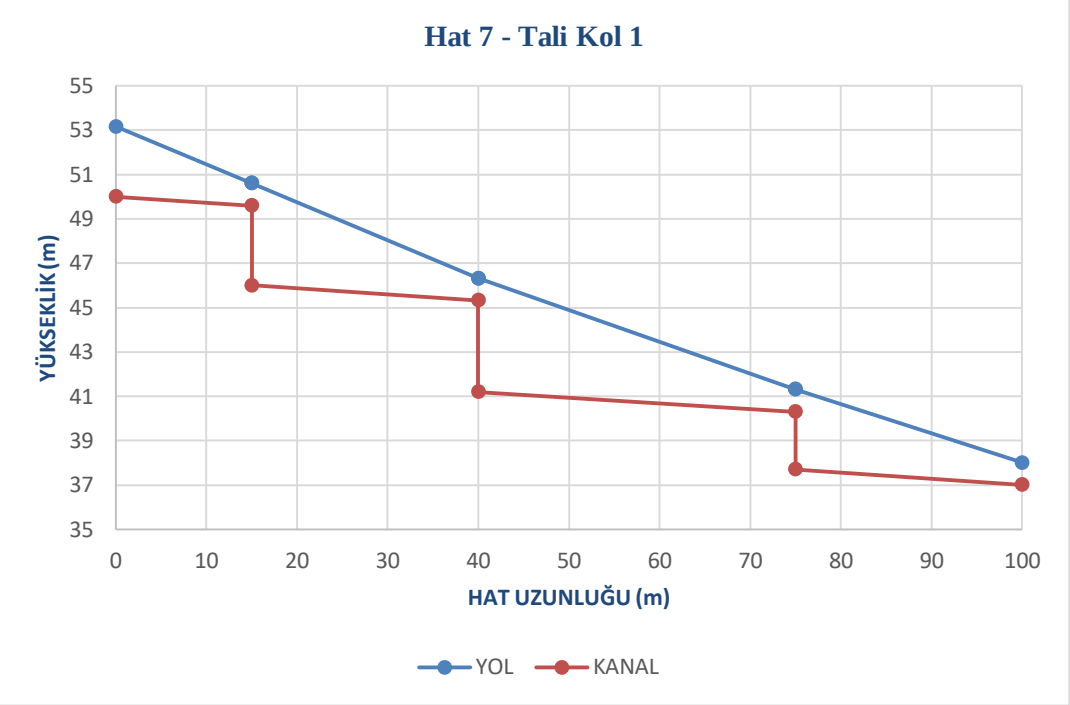


Şekil 23. 7 numaralı tahliye hattı

Tablo üzerinde, düğüm noktaları 50'şer metre ara ile konumlandırılmıştır ve mesafe sütunu 50 metre ara ile gösterilmiştir. Üst kotlar yol kotunu, alt kotlar, oluşturulan kanalın kotunu ifade etmektedir. İki kotun farkı kazı miktarını vermektedir. Kazı derinliği, don seviyesi, yer altında geçen diğer hatların derinliğine göre değişiklik göstermektedir. En az 1 metre olarak tayin edilen kazı miktarı çalışma alanı için oldukça uygundur. Gri renk ile ifade edilen satırlar, düğüm noktaları arasında bağlantı kanalını, mavi renk ile ifade edilen satır, ilgili kolun bağlandığı son düğüm noktasını, sarı renk ile ifade edilen satırlar da ilgili düğüm noktasında düşme bacası olduğunu göstermektedir. Düşme bacalarında eğim oluşmaz.

Tablo 18. 7 numaralı tahliye hattı tali kolu.

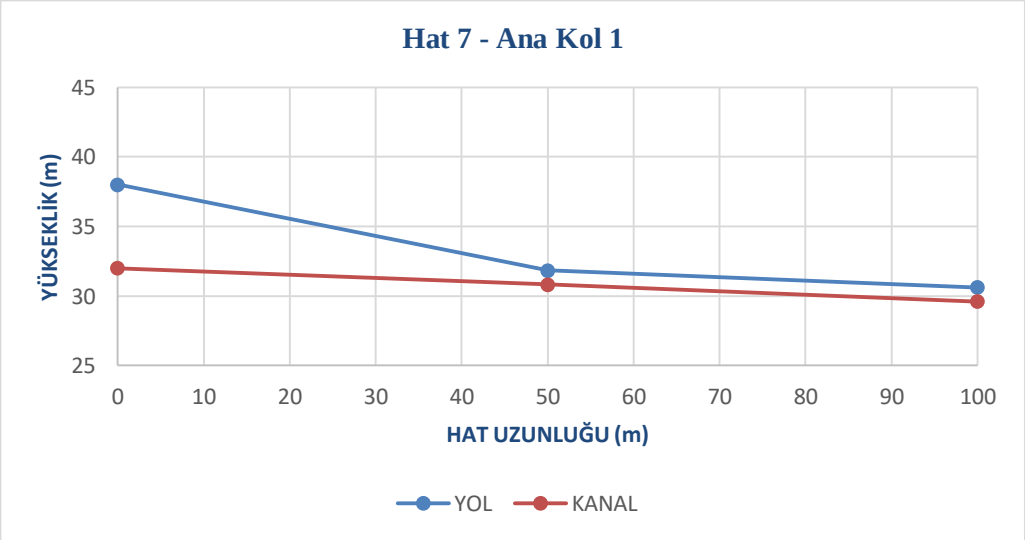
Mesafe (m)	Tali Kolu	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol Eğimi (%)	Kanal Eğimi (%)
0	I155	53.17	50	3.17		
15	I155+	50.61	49.6	1.01	17.06667	2.666667
15		50.61	46	4.61		
40	I156	46.33	45.33	1	17.12	2.68
40		46.33	41.2	5.13		
75	I156+	41.315	40.3	1.015	14.32857	2.571429
75		41.315	37.7	3.615		
100	I157	38.01	37.01	1	13.22	2.76



Grafik 18. 7 numaralı tahliye hattı tali kol boy kesiti.

Tablo 19. 7 numaralı tahliye hattı ana kolu.

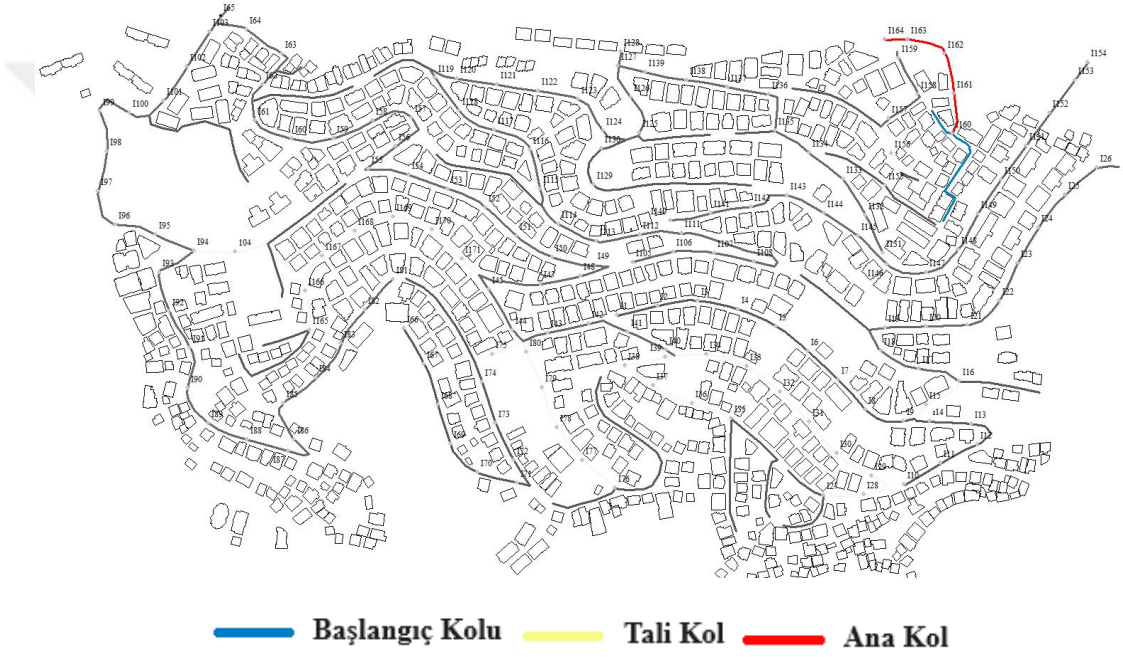
Mesafe (m)	Ana Kol	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol Eğimi (%)	Kanal Eğimi (%)
0	I157	38.01	32.01	6		
50	I158	31.83	30.83	1	12.36	2.36
100	I159	30.62	29.62	1	2.42	2.42



Grafik 19. 7 numaralı tahliye hattı ana kol boy kesiti

8. Tahliye Hattı [I160-I164] :

Bu hat üzerinde toplamda 5 adet düğüm noktası (junction) bulunmaktadır. Başlangıç kollarından, uzunluğu 200 metreden az olan kollara düğüm noktası konumlandırılmamıştır. Eğim yönü, suyun tahliyesi açısından belirlenen hatta aksi bir durum oluşturmadığından, bu bölgelerde yağmur suyu kendi cazibesi ile akışa devam edecektir. Hat genel anlamda 1 adet ana koldan oluşmaktadır. [I160-I164] düğüm noktaları arası ana koldur. Bu kola ait, kot, kazı ve eğim durumları aşağıda belirtilmiştir. Boy kesit grafikleri ile kanal yerleşimi ve eğime uygunluk görülmektedir.

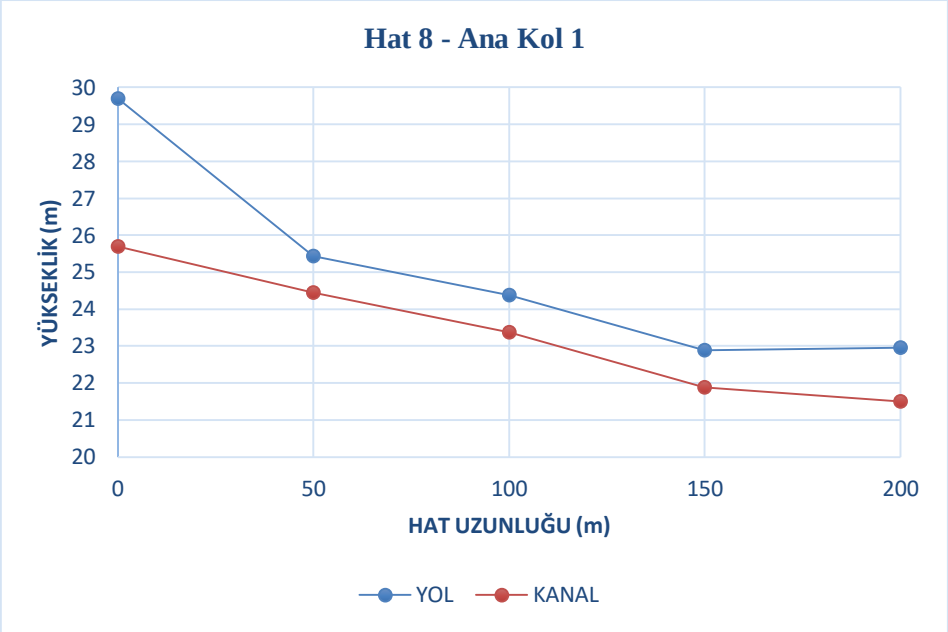


Şekil 24. 8 numaralı tahliye hattı

Tablo üzerinde, düğüm noktaları 50'şer metre ara ile konumlandırılmıştır ve mesafe sütunu 50 metre ara ile gösterilmiştir. Üst kotlar yol kotunu, alt kotlar, oluşturulan kanalın kotunu ifade etmektedir. İki kotun farkı kazı miktarını vermektedir. Kazı derinliği, don seviyesi, yer altında geçen diğer hatların derinliğine göre değişiklik göstermektedir. En az 1 metre olarak tayin edilen kazı miktarı çalışma alanı için oldukça uygundur. Gri renk ile ifade edilen satırlar, düğüm noktaları arasında bağlantı kanalını, mavi renk ile ifade edilen satır, ilgili kolun bağlandığı son düğüm noktasını, sarı renk ile ifade edilen satırlar da ilgili düğüm noktasında düşme bacası olduğunu göstermektedir. Düşme bacalarında eğim oluşmaz.

Tablo 20. 8 numaralı tahliye hattı ana kolu

Mesafe (m)	Ana Kol	Üst Kot (m)	Alt Kot (m)	Kazı Derinliği (m)	Yol Eğimi (%)	Kanal Eğimi (%)
0	I160	29.69	25.69	4		
50	I161	25.44	24.44	1	8.5	2.5
100	I162	24.37	23.37	1	2.14	2.14
150	I163	22.89	21.89	1	2.96	2.96
200	I164	22.96	21.76	1.2	-0.14	0.26



Grafik 20. 8 numaralı tahliye hattı ana kol boy kesiti.

Modele ön hazırlık amacıyla oluşturulan 8 farklı tahliye kolu boy kesitler ile anlatılmıştır. Minimum kazı, ideal eğim ile oluşturulan hatta ait, düğüm noktası, üst ve alt kotlar, kanal bağlantıları çalışmanın bundan sonraki kısmında modele işlenmiştir.

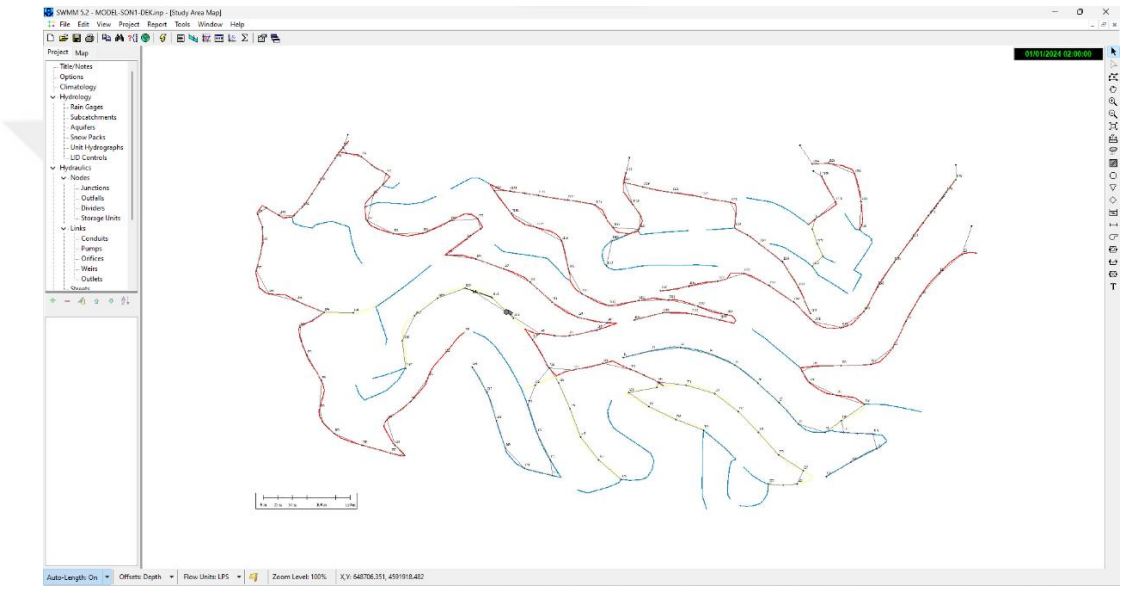
3.2. Model Kurulumu

Çalışmanın bu bölümünde, yağmur suyu drenaj sistemi modellenen çalışma bölgesinde, tezin modele hazırlık kısmında elde edilen veriler SWMM programına işlenmiştir. İlgili belediyece verilen koordinat bilgileri SWMM programına aktarılarak çalışma alanı programa getirilmiştir. Ön hazırlık kısmında oluşturulan tahliye hatları, hatlar üzerindeki düğüm noktaları ve borular modelde oluşturulmuştur. Modellenen alt yapı sistemine daha sonrasında, SWMM programınca tanımlanmış 3 adet DEK metodunun uygulandığı senaryo geliştirilmiştir. Oluşturulan senaryoda, modele

entegre edilen DEK (Low İmpact Development) metotlarının, 8 farklı tahliye hattının çıkış noktasındaki pik debi değerine ve sisteminin performansına olan etkisi incelenmiştir.

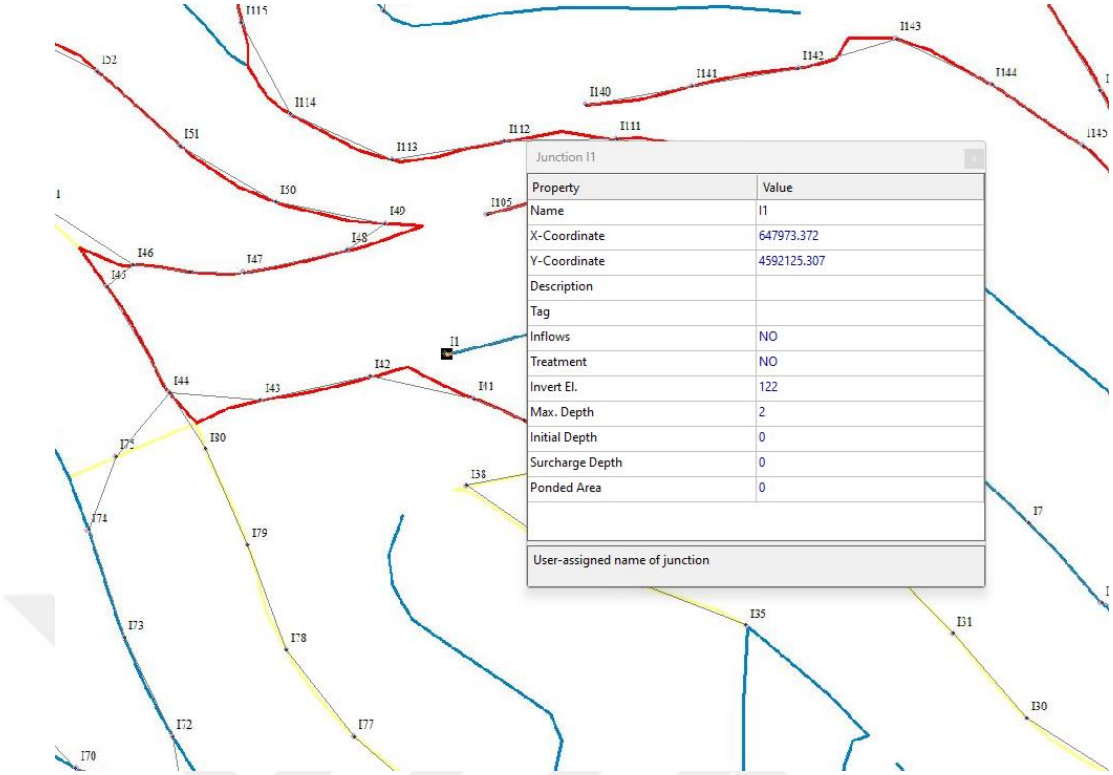
3.2.1. Düğüm Noktalarının (Junction) Oluşturulması

Çalışma alanı içerisinde oluşturulan tahliye hatları üzerinde, toplamda 171 adet düğüm noktası konumlandırılmıştır. 'I' ile ifade edilen bu düğüm noktaları 50'şer metre ara ile bölgenin topoğrafik yapısı ve eğim durumu göz önünde bulundurularak yerleştirilmiştir. **Şekil 25**'de çalışma alanının hepisine ait genel görüntü verilmiştir.



Şekil 25. Düğüm noktalarının (Junction) yerleşimi.

Model kurulumu öncesinde, çalışma alanının boy kesit grafikleri doğrultusunda, düğüm noktalarının kotları ve kazı miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen veriler ışığında bu kotlar ve kazı miktarları programa tasarımcı tarafından işlenmiştir. İlgili verilerin işlendiği bilgi paneli **Şekil 26**'da gösterilmektedir.



Şekil 26. I1 düğüm noktasına (Junction) ait bilgiler.

Koordinat bilgisi ilgili belediyesince temin edilen çalışma alanında, düğüm noktalarının koordinat bilgileri programa otomatik olarak işlenmiştir. Panel üzerinde belirtilen;

- 'İnvert Elevation' kanalın alt kotunu,
- 'Max. Depth' kazı miktarını,

ifade etmektedir.

Bu değerler, model kurulumu öncesi yapılan ön hesaplar doğrultusunda, boy kesit grafiklerinden elde edilerek, tasarımcı tarafından programa işlenmiştir.

3.2.2. Alt Havzaların (Subcatchment) Oluşturulması

Çalışma alanı, 1 km²'lik bir havzadır ve 190 adet alt havzadan oluşmaktadır. **Şekil.27**'de, belirlenen alt havzalar gösterilmiştir. 'S' ile belirtilen alt havzalara ait bilgiler, model kurulumu öncesinde yapılan ön çalışma ile belirlenmiştir. Yağış durumunda alt havzalardaki suyun yönlendirileceği düğüm noktaları, ön çalışmada eğim durumuna göre belirlenmiştir.



Şekil 27. Çalışma havzasında oluşturulan alt havzalar.

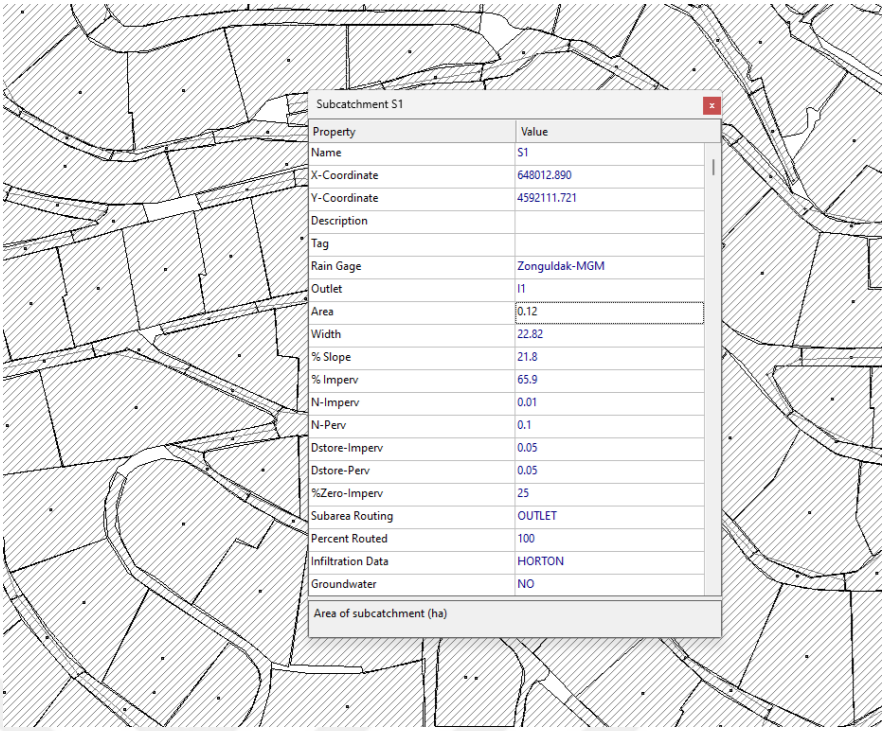
Şekil 27'de SWMM programında tanımlanan alt havzalardan, S1 numaralı alt havzaya ait özellikler gösterilmiştir.

Koordinat bilgisi ilgili belediyesince temin edilen çalışma alanında, alt havzaların koordinat bilgileri programa otomatik olarak işlenmiştir. Panelde ifade edilen;

- 'Outlet' ilgili havzaya dökülen yağmur suyunun yönlendirileceği düğüm noktasını,
- 'Area' ilgili alt havzanın alanını (ha),
- 'Width' alt havzanın en uzak iki noktası arasındaki mesafeyi, havza kolunu (m),
- 'Slope' alt havzanın eğimini (%),
- 'İmpervious' alt havza içerisinde bulunan geçirimsiz yüzeylerin, alt havzanın alanına oranını (%),

İfade etmektedir.

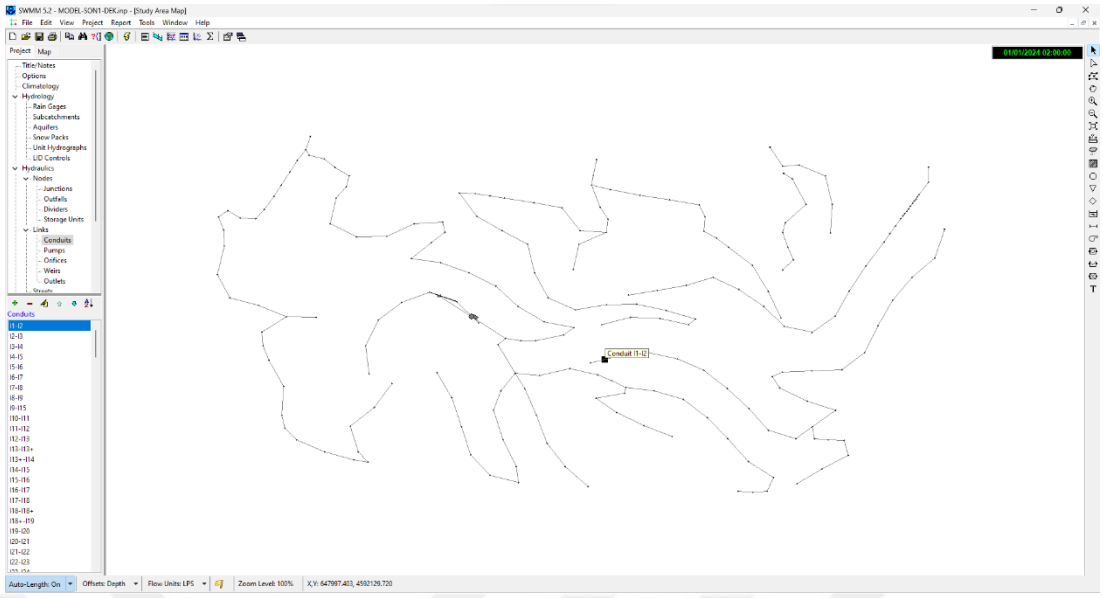
Yukarıda açıklanan tüm veriler, yapılan ön çalışma ile elde edilen bilgiler olup, tasarımcı tarafından programa işlenmiştir.



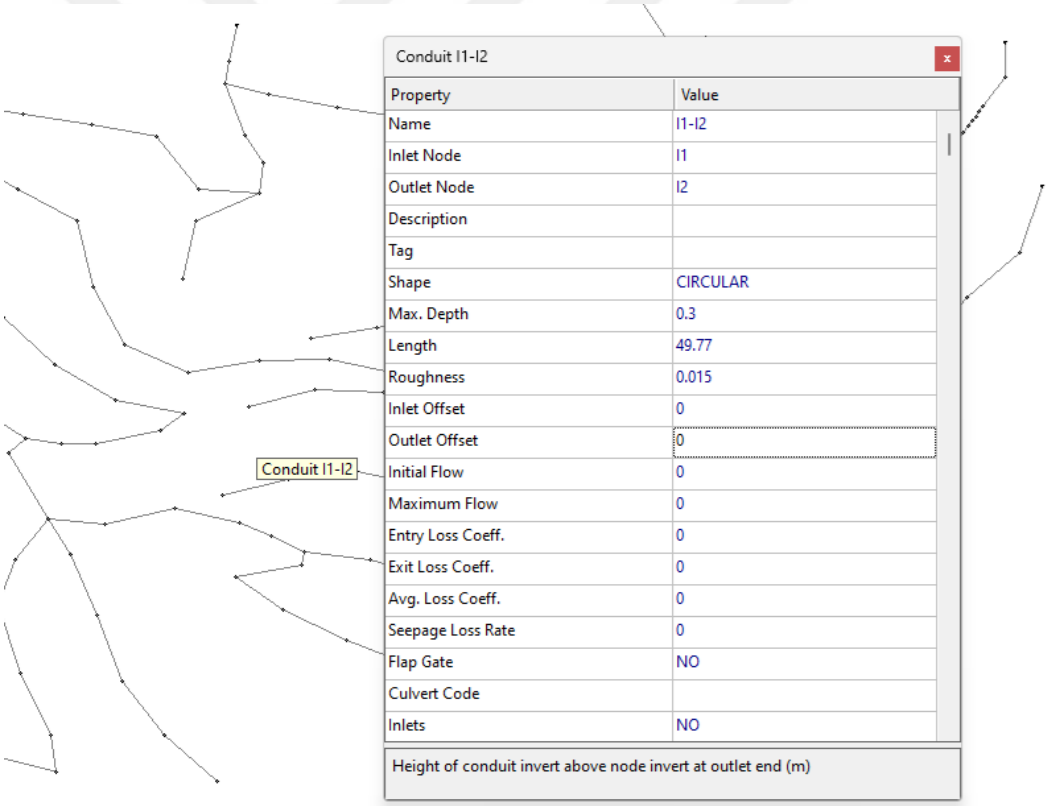
Şekil 28. S1 alt havzasına (Subcatchment) ait bilgiler.

3.2.3. Boruların (Conduits) Yerleştirilmesi

Yağış sırasında düğüm noktalarınca alt yapıya aktarılan suy, tayin edilen hat boyunca, borular (conduits) vasıtasıyla iletimi olmaktadır. Düğüm noktaları arasında iletim söz konusu boru yapısı ile sağlanmaktadır. Çalışma alanında toplamda 202 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. 0.3-0.6 m boru çapı aralığında, bulunduğu hatta olan uygunluğa göre tasarımcı tarafından tayin edilen bu değer, yine tasarımcı tarafından SWMM programına işlenmiştir. **Şekil 29**'da boru sistemi, **Şekil 30**'da (I1-I2) düğüm noktalarını bağlayan boruya ait ilgili verilerin girişi gösterilmektedir.



Şekil 29. Boru sistemi.



Şekil 30. (I1-I2) düğüm noktaları arasındaki boruya ait bilgiler.

Koordinat bilgisi ilgili belediyesince temin edilen çalışma alanında, düğüm noktaları arasında bağlantı görevi gören boruya ait panelde ifade edilen bilgilerden;

- 'Inlet Node' ilgili boru bağlantısının başlangıç noktasını,
- 'Outlet Node' ilgili boru bağlantısının son noktasını,
- 'Shape' borunun kesit tipini,
- 'Max. Depth' boru kesitinin çapını,
- 'Length' borunun uzuluğunu,
- 'Rounghness' boru cinsine göre pürüzlülük katsayısını,

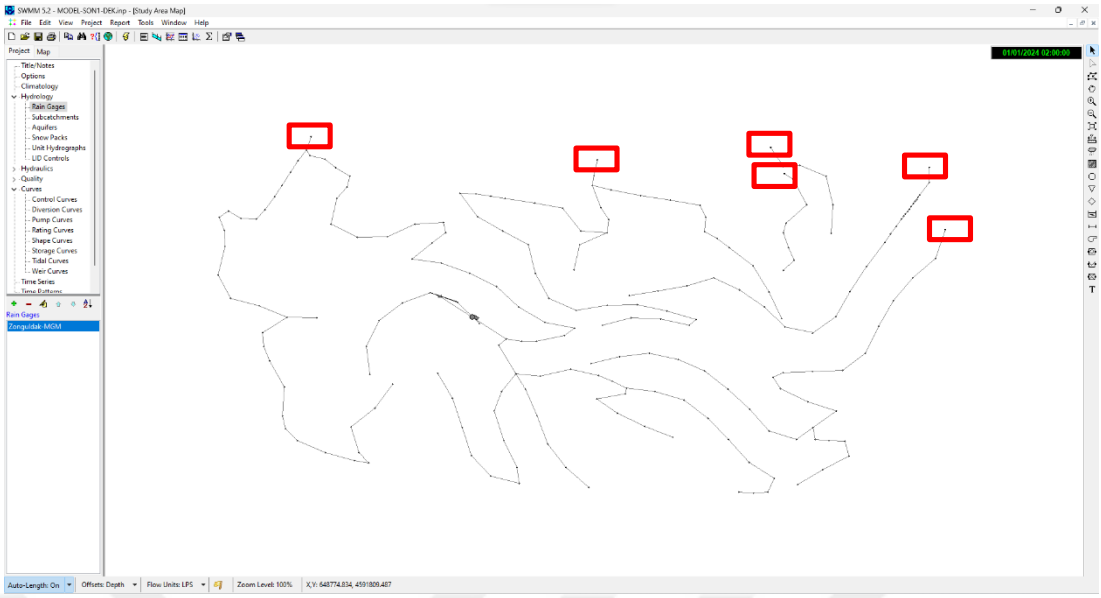
İfade etmektedir.

Boru çapı, yapının bulunduğu tahliye hattının, sokak veya cadde üzerinde oluşu, kolun uzunluğu ve bölgenin kapasitesine göre belirlenmiştir. Başlangıç ve tali kollarda hat mesafesinin kısa olması ve sokak üzerinden konumlanması sebebiyle 0.3m, ana kollar üzerinde bulunan boruların ise genellikler caddeler üzerinden konumlandırılmasından ve kapasitesinin fazla olması gereksinimi ile 0.6m olarak belirlenmiştir. Boru hattının yapı malzemesinin beton olarak kurgulandığı için, pürüzlülük kat sayısı 0.015 olarak belirlenmiştir.

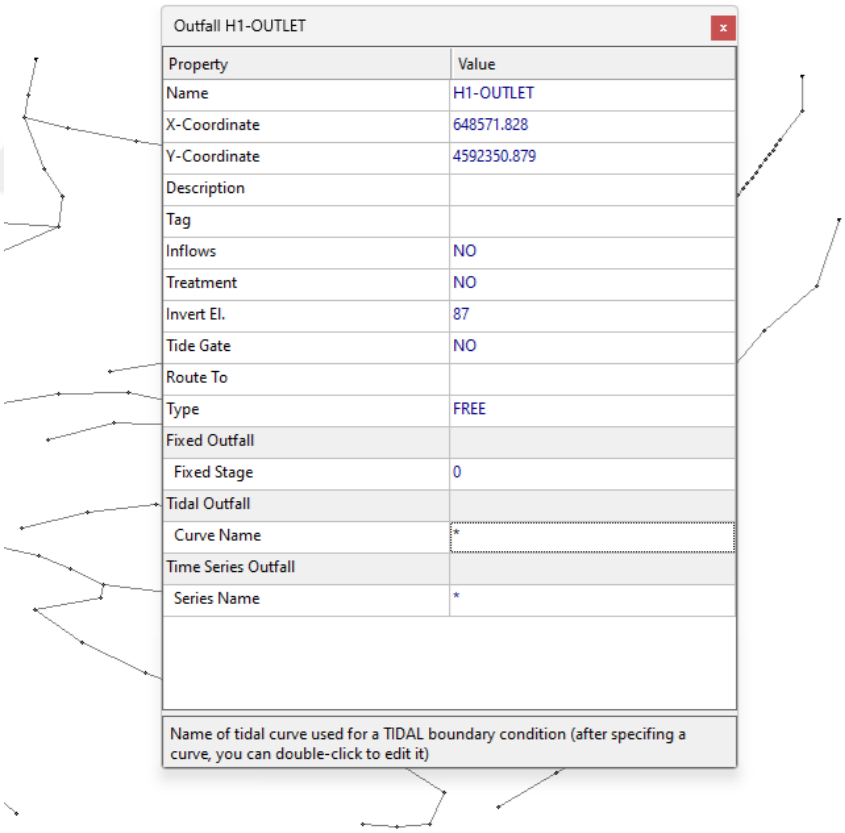
Yukarıda açıklanan tüm veriler, yapılan ön çalışma ile tasarımcı tarafından elde edilen bilgiler olup yine tasarımcı tarafından programa işlenmiştir.

3.2.4. Çıkış Noktalarının (Outfall) Oluşturulması

Çalışma bölgesi üzerinde oluşturulan tahliye hatlarında yol alan yağmur suyun ulaştığı son nokta, çıkış ağzı olarak ifade edilmektedir. Çalışma alanı içerisinde tahliye hatları için, toplamda 6 adet çıkış noktası tayin edilmiştir. 2. ve 3. tahliye hatları tek bir çıkış noktasına, benzer şekilde 4. ve 5. tahliye hatları da tek bir çıkış noktasına bağlanmıştır. 1, 6, 7 ve 8 numaralı tahliye hatlarının ise her birine ayrı ayrı çıkış noktaları tayin edilmiştir. Çıkış noktalarına ait bilgiler, tasarımcı tarafından programa işlenmiştir. **Şekil 31**'de çıkış noktalarının yerleşimi ve **Şekil 32**'de SWMM programına, ilgili model elemanı için girilen veri paneli gösterilmektedir.



Şekil 31. Tahliye hatlarına ait çıkış noktalarının yerleşimi.



Şekil 32. 1 numaralı tahliye hattına ait bilgiler.

Koordinat bilgisi ilgili belediyesince temin edilen çalışma alanında, tahliye hatlarına ait çıkış noktalarının koordinat bilgileri programa otomatik olarak işlenmiştir. Panel üzerinde belirtilen;

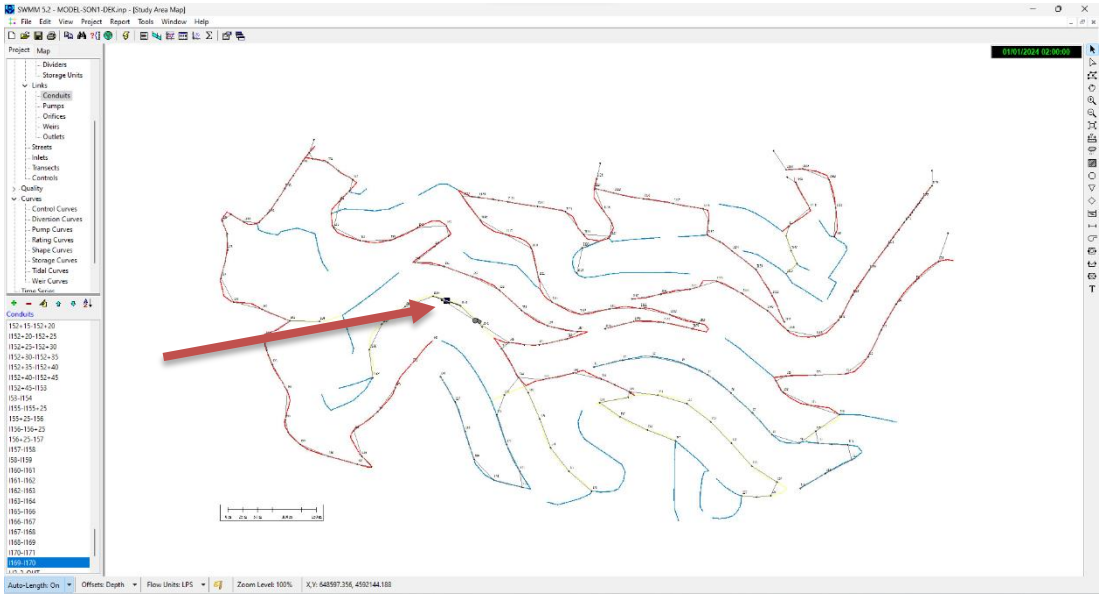
- 'İnvert Elevation' çıkış noktasının alt kotunu,

ifade etmektedir.

Bu değer, model kurulumu öncesi yapılan ön hesaplar doğrultusunda, boy kesit grafiklerinden elde edilerek, tasarımcı tarafından programa işlenmiştir.

3.2.5. Depolama Ünitesinin (Storage Units) Oluşturulması

Suyun fiziksel olarak depolandığı hazne olarak tanımlanan bu sistem elemanı, modelde 2. tahliye hattının 5. tali kolu üzerinde, I169-I170 düğüm noktaları arasına konumlandırılmıştır. (**Grafik 10**) Tahliye kolunun I169- I(170-171) düğüm noktaları arasındaki eğim yönünün, planlanan akış yönüne ters oluşu sebebiyle, yağış durumunda I169 isimli düğüm noktasına dökülen suyun, tanımlanan haznede toplanması ve sonrasında pompa elemanı ile planlanan akış doğrultusuna yönlendirilmesi sağlanmıştır. **Şekil 33**'de depolama haznesinin konumlandırılması ve **Şekil 34**'de hazneye ait bilgiler gösterilmiştir.



Şekil 33. Depolama haznesi.



Şekil 34. Depolama haznesine ait bilgiler.

Koordinat bilgisi ilgili belediyesince temin edilen çalışma alanında, I169-I170 düğüm noktaları arasında konumlandırılan depolama haznesine ait panelde ifade edilen bilgilerden;

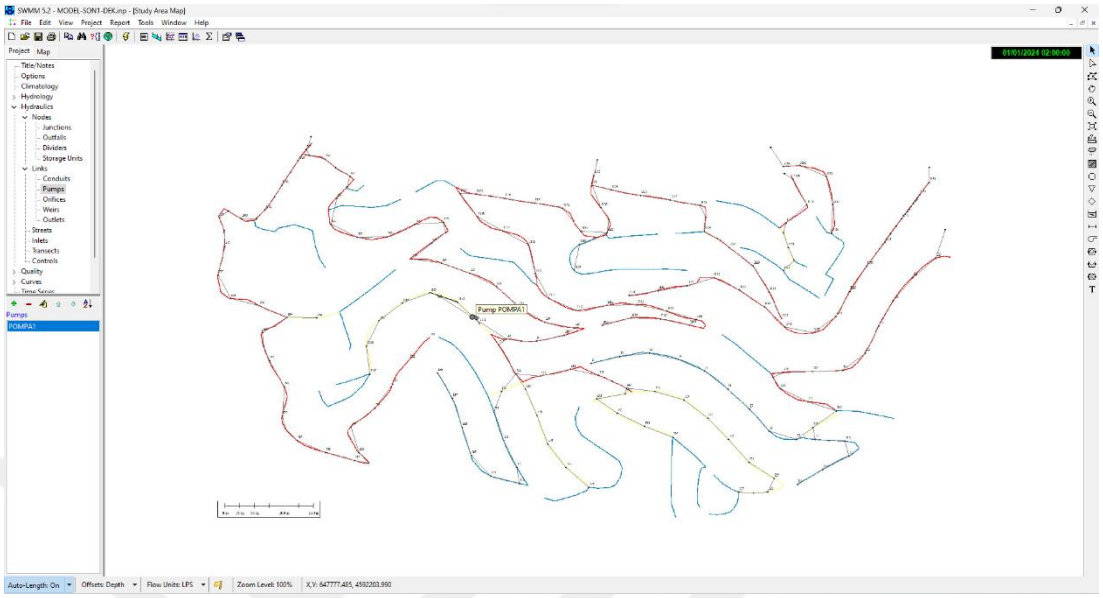
- 'Invert Elevation' haznenin alt kotu,
- 'Max. Depth' hazne derinliğini,

ifade etmektedir. Bahsi geçen veriler, yapılan ön çalışma ile tasarımcı tarafından elde edilen bilgiler olup yine tasarımcı tarafından programa işlenmiştir.

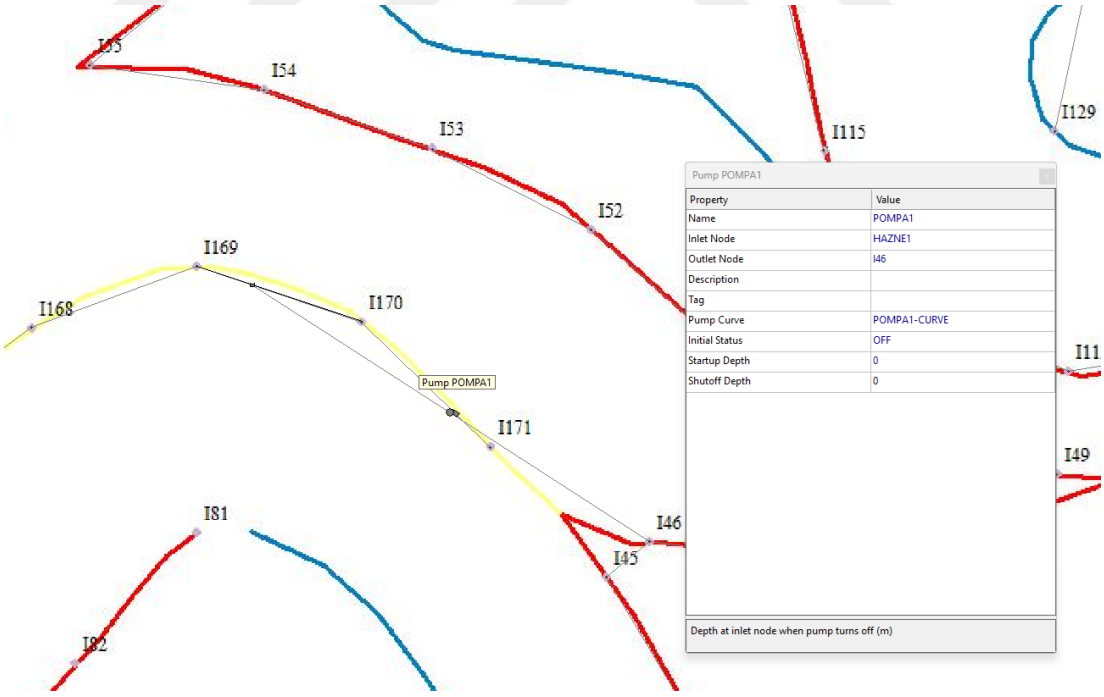
3.2.6. Pompa Sisteminin (Pumps) Oluşturulması

Yağış durumunda, düğüm noktasına dökülen suyun, belirli kanallara yönlendirilmesinde kullanılan sistem elemanı olarak tanımlanmaktadır. **Şekil 35**'de belirtilen bu yapı elemanı, **Grafik 10**'da belirtildiği üzere, 2. tahliye hattının 5. tali kolu üzerinde, I169- I(170-171) düğüm noktaları arasında ters eğim olması sebebiyle, I169- I170 düğüm noktaları arasına konumlandırılan haznede biriktirilen suyun, akış

doğrultusunu değiştirmek ve planlanan akış doğrultusuna yönlendirmek amacı ile modele yerleştirilmiştir. **Şekil 36**'de ilgili pompaya ait bilgiler gösterilmiştir.



Şekil 35. Pompa sisteminin yerleşimi.



Şekil 36. Pompa sistemine ait bilgiler.

Koordinat bilgisi ilgili belediyesince temin edilen çalışma alanında, I169-I170 düğüm noktaları arasına konumlandırılan depolama haznesi ve I46 düğüm noktası arasındaki hatta konumlandırılan pompaya ait panelde ifade edilen bilgilerden;

- 'Inlet Node' ilgili pompanın başlangıç noktasını,
- 'Outlet Node' ilgili pompanın suyu aktardığı son noktayı,
- 'Pumo Curve' sistem elemanına ait pompa eğrisini,

ifade etmektedir. Bahsi geçen veriler, yapılan ön çalışma ile tasarımcı tarafından elde edilen bilgiler olup yine tasarımcı tarafından programa işlenmiştir.

3.2.7. Yağış Ölçer (Rain Gage) Oluşturulması

MGM Zonguldak İstasyonundan alınan veriler ile modele yağmur ölçer tayin edilmiştir. Yağış istasyonundan alınan; 5, 10, 15, 30 dakika, 1 ve 2 saatlik periyotlarda meydana gelen maksimum yağış değerleri doğrultusunda, Yağış- Şiddet- Süre-Tekerrür değerlendirilmeleri yapılmıştır. Değerlendirme ve analizler doğrultusunda, Lop-Pearson 3 olasılık fonksiyonu ile 25, 50 ve 100 yıllık tekerrür aralığında oluşabilecek muhtemel yağış durumu hesaplanmış ve hiyetograf eğri grafiği oluşturulmuştur (Grafik 22).

Tablo 21. Zonguldak Meteoroloji İstasyonu Standard Sürelerde Gözlenen En Büyük Yağışlar.

METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

ZONGULDAK METEOROLOJİ İSTASYONU

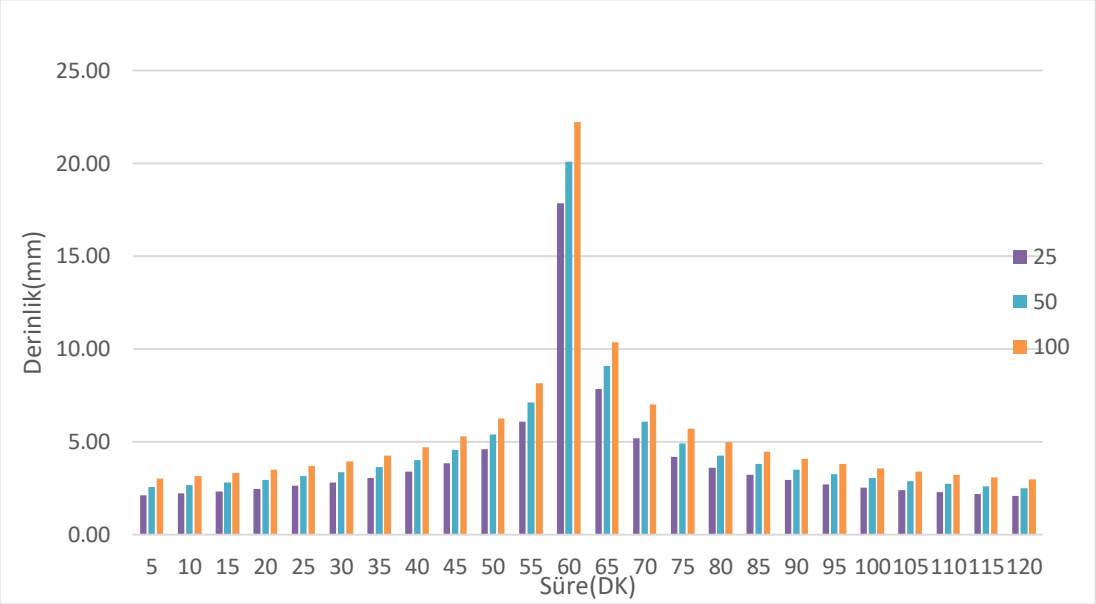
STANDART SÜRELERDE GÖZLENEN EN BÜYÜK YAĞIŞLAR (mm) VE TEKERRÜR ANALİZİ

GÖZLEM	DAKİKA				SAAT										
YILI	5	10	15	30	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24	*
2020	8.9	9.2	9.9	15.8	22.6	34.0	47.4	53.7	55.5	55.8	55.9	65.1	66.2	69.0	
2019	20.1	20.4	30.4	41.0	71.7	91.7	95.5	95.8	98.4	99.2	99.2	99.3	116.1	119.7	
2018	6.5	9.3	10.3	19.1	27.2	31.6	38.5	42.9	43.4	43.5	44.2	45.8	45.9	46.0	
2017	9.0	13.1	18.0	29.7	41.4	55.4	66.6	66.9	67.0	74.7	92.2	102.4	109.7	111.4	
2016	10.1	11.4	13.0	19.8	30.8	37.0	37.0	37.0	39.1	39.3	39.4	39.6	42.8	89.0	
2015	9.4	9.9	15.2	19.1	26.4	33.7	37.4	39.2	43.9	58.4	63.0	71.4	104.5	110.1	
2014	8.6	9.5	14.9	19.4	29.2	38.7	40.1	57.1	59.6	59.6	59.7	59.7	63.7	71.1	
2013	7.1	9.3	9.9	13.3	19.4	23.4	24.2	29.0	40.1	41.2	43.6	54.1	77.5	95.3	
2012	10.2	10.8	14.2	20.2	24.4	27.3	27.7	27.8	28.5	29.6	30.0	32.2	52.6	55.4	
2011	7.1	9.0	10.1	12.6	15.7	20.3	26.3	32.8	33.7	34.0	34.0	36.3	57.4	63.2	
2010	9.0	10.5	18.8	29.7	42.5	57.6	61.4	62.9	63.1	63.2	64.2	75.4	83.6	83.7	
2009	10.1	16.0	19.8	27.1	33.7	37.8	37.9	37.9	43.7	47.7	60.5	84.6	88.3	98.8	
2008	9.6	12.2	16.0	21.0	23.0	30.6	37.4	43.0	48.8	51.8	60.1	61.1	95.7	96.7	
2007	9.4	18.4	25.1	42.6	64.8	84.4	88.2	93.3	95.8	97.8	112.8	114.4	116.9	118.4	
2006	9.6	11.3	19.4	26.3	30.5	30.9	30.9	30.9	30.9	31.0	31.0	31.0	35.3	70.6	*
2005	9.4	14.5	17.4	27.3	33.3	35.7	35.7	36.9	37.4	38.4	49.6	52.5	53.7	74.3	
2004	9.9	18.1	20.6	36.2	46.0	47.9	48.0	50.9	53.3	53.7	53.8	62.5	65.2	78.6	
2003	11.3	12.8	14.4	22.7	30.1	32.3	36.8	42.8	42.8	42.8	42.9	55.4	58.4	58.5	
2002	10.5	18.8	21.2	27.5	31.4	33.3	37.5	38.7	45.2	50.4	57.3	60.0	61.0	66.4	
2001	8.6	13.0	16.7	29.6	35.4	54.6	61.0	66.0	67.8	70.1	71.0	76.1	82.3	92.4	
2000	9.4	15.1	20.6	30.2	37.2	44.0	47.7	47.8	57.2	75.1	76.8	84.7	88.5	117.4	

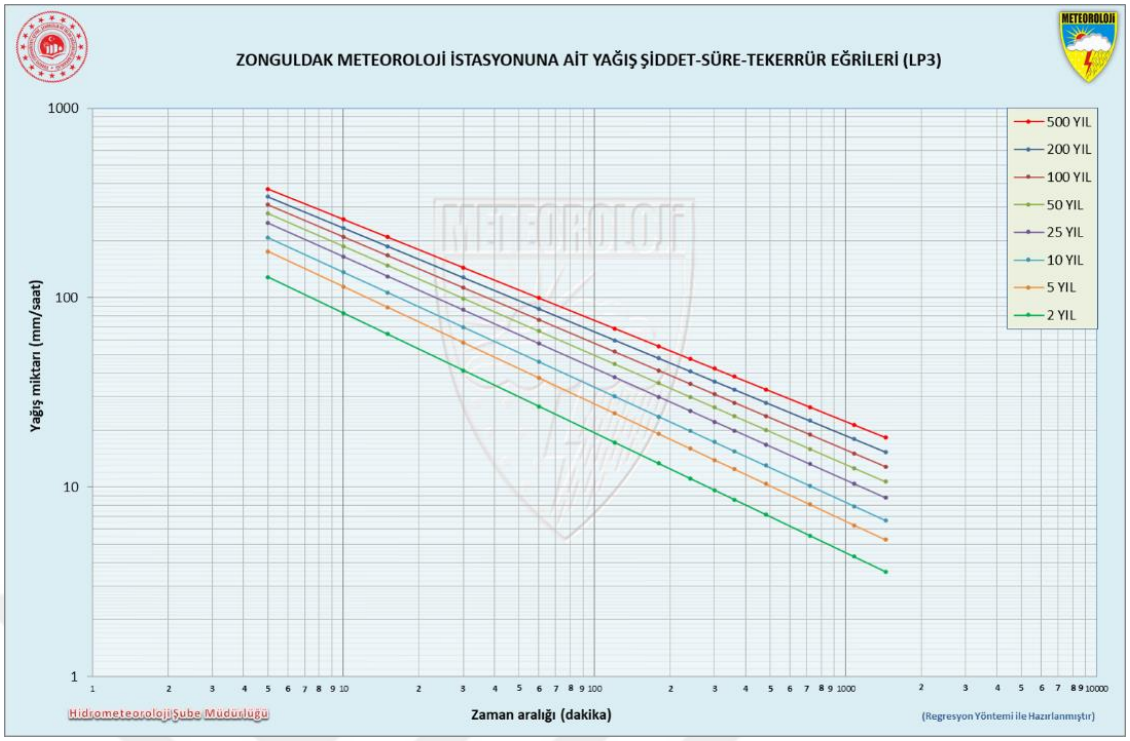
Tablo 22. Zonguldak Meteoroloji İstasyonuna ait veriler.

N	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
Y-ORT	9.59	14.36	17.90	25.58	34.14	42.33	47.29	51.73	54.92	58.76	65.05	74.16	84.43	92.22
Y-EB	22.00	36.40	45.60	58.80	84.60	145.20	167.70	180.10	181.60	226.20	284.50	317.40	413.10	438.80
Std.S	3.39	5.40	7.09	11.12	15.49	21.34	23.43	25.28	25.70	29.42	35.45	39.51	48.58	51.05
Car.K	1.56	1.42	1.17	0.99	1.12	2.20	2.47	2.33	2.17	2.92	3.62	3.55	4.60	4.62
UDF	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3	LP3
2 YIL	8.9	13.2	16.6	23.2	30.9	37.1	41.5	45.5	48.6	51.5	56.3	64.7	72.1	79.6
5 YIL	11.8	17.9	22.9	33.2	44.7	54.3	60.2	65.8	69.6	74.4	82.2	94.1	104.4	114.0
10 YIL	13.9	21.3	27.2	40.4	54.5	67.8	74.7	81.7	85.8	92.4	103.2	117.2	131.8	142.7
25 YIL	16.6	25.8	32.8	49.8	67.5	87.2	95.8	104.7	109.2	118.7	134.5	151.3	174.6	186.6
50 YIL	18.8	29.3	37.0	57.2	77.6	103.5	113.6	124.1	128.9	141.0	161.6	180.3	213.1	225.6
100 YIL	21.0	33.0	41.3	64.9	88.1	121.5	133.3	145.6	150.6	165.9	192.4	212.7	258.1	270.6
200 YIL	23.4	37.0	45.7	73.0	99.1	141.5	155.2	169.4	174.6	193.7	227.2	249.1	310.9	322.7
500 YIL	26.1	41.4	50.6	82.0	111.4	164.7	180.7	197.2	202.4	226.1	268.4	291.6	374.6	384.8
PLF	0.09	0.14	0.17	0.26	0.35	0.46	0.50	0.55	0.58	0.63	0.71	0.80	0.94	1.00
PLV	0.12	0.17	0.21	0.30	0.40	0.48	0.53	0.58	0.62	0.65	0.72	0.81	0.92	1.00

Tablo 21'de 5, 10, 15, 30, 60 ve 120 dakika sütunlarının, **Tablo 22** üzerinde, incelenecek olan 25, 50 ve 100 yıllık periyotlarda tekabül ettiği değerler kullanılarak oluşturulan, bu periyotlara ilişkin hiyetografı, **Grafik 21**'de gösterilmiştir.



Grafik 21. 25, 50 ve 100 yıllık dönüş aralıklar için oluşan hiyetografı (mm/dk)

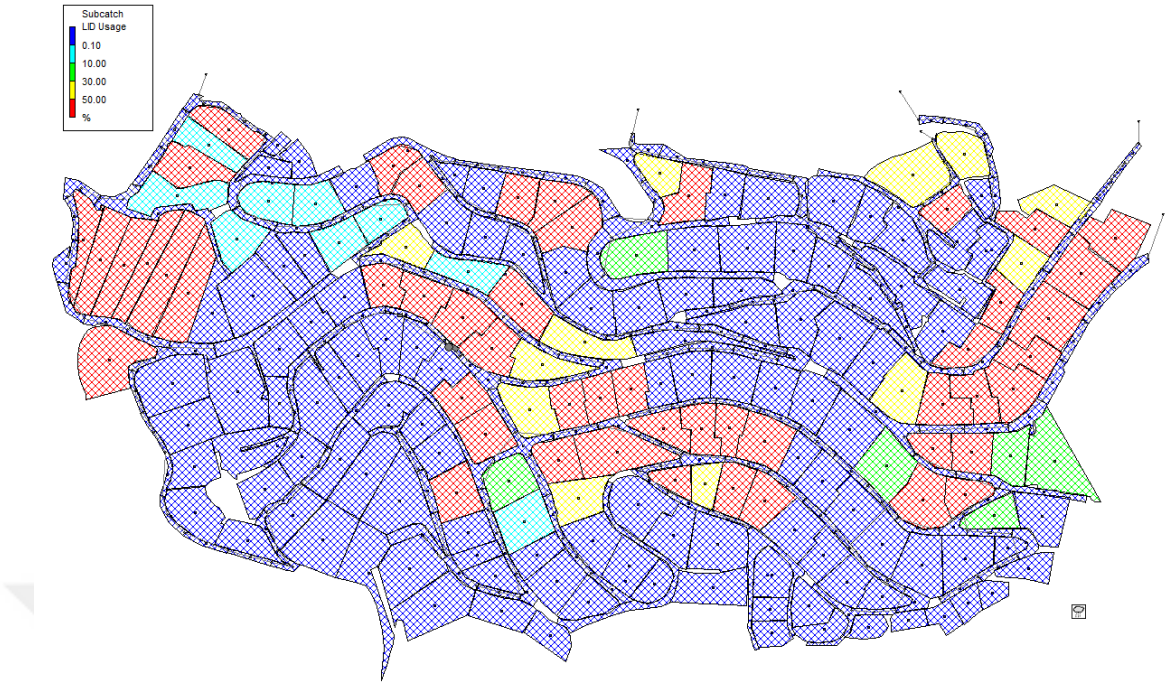


Grafik 22. Zonguldak Meteoroloji İstasyonuna Ait Yağış Şiddet-Süre-Tekerrür Eğrileri.

3.3. DEK Metotlarının Modele Entegre Edilmesi

Çalışma bölgesinde, oluşturulan havzaların geçirimsiz yüzeylerinin, havza alanına oranı ile sokak ve caddelerde yol ve kaldırım yapısının geçirimsiz olma durumlarına göre, bölgeye uygun olduğu düşünülen 3 farklı tip DEK metodu alt havzalara entegre edilmiştir. **Şekil 37**'de metotların uygulandığı alt havzalar gösterilmektedir. Çalışmanın bu bölümünde, modele entegre edilen; yeşil çatı, yağmur bahçeleri ve yağmur varilleri detaylı olarak açıklanmıştır ve modele entegrasyonu sırasında, metotlara ait veri girişleri anlatılmıştır.

Bu çalışma, alt havzalara 3 farklı tipte DEK metodunun uygulandığı bir senaryo üzerine kurulmuştur. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında, metotların uygulanmadan öncesinde ve sonrasında sistemin performansı ile tahliye hatlarının çıkış noktalarıda (outfall) oluşan mevcut debi değerinde meydana gelen değişim incelenmiştir. **Şekil 38**'de çıkış hatları gösterilmiştir.



Şekil 37. DEK metotlarının uygulandığı havzalar.

DEK metotlarının uygulandığı havzalar **Şekil 37**'de belirtildiği üzere, kullanım yüzdelerine göre renklendirilmiştir. Şekil üzerinde belirtilen cetvelde yoğunluk aralıkları yüzde olarak ifade edilmiştir.



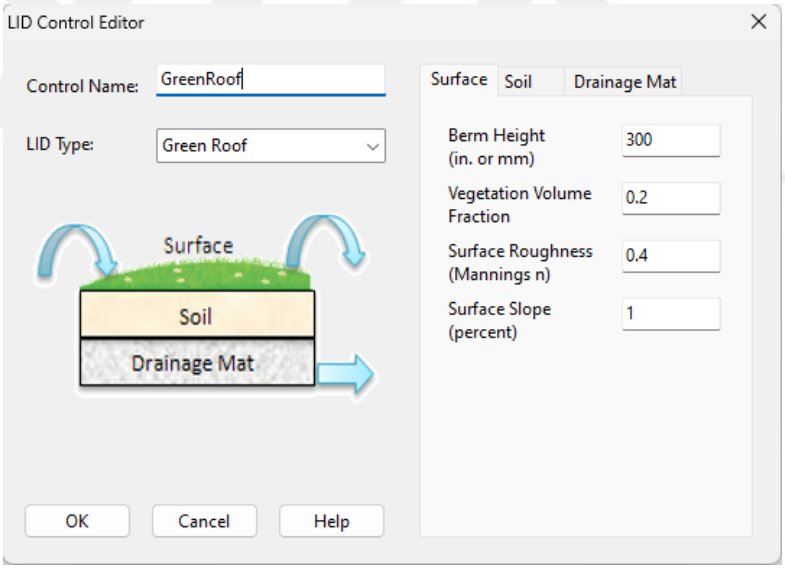
Şekil 38. Tahliye hatlarının çıkış noktaları (Outfalls).

3.4. Yeşil Çatıların Tanımlanması

Alt havzalar içerisinde yapılaşmanın yoğun olduğu dolayısıyla çatı yüzeylerin oranca fazla olduğu bölgelerde yeşil çatı metodu uygulanmıştır. DEK Controls paneli üzerinde, metoda ilişkin bilgilerin girilmesi ile tanımlanmıştır. Metot için tayin edilen bilgiler literatür araştırmaları sonucunda belirlenmiş ve modele entegre edilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda;

- Toplam yükseklik 300 mm,
- Yüzeyin eğimi %1,
- Yüzeyin pürüzlülük katsayısı (manning) n=0.4,
- Toprağın kalınlık değeri 150 mm,
- Drenaj pürüzlülük katsayısı (manning) n=0.1,
- Drenaj kalınlığı ise 25 mm,

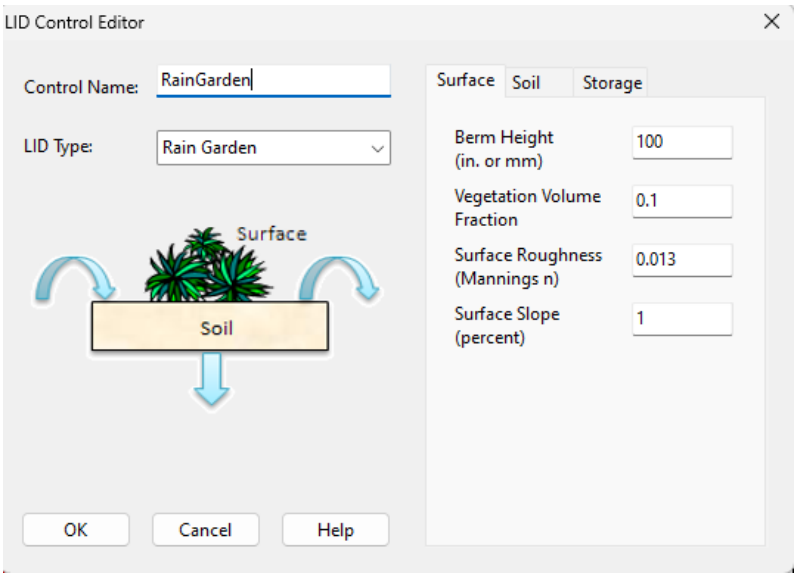
şeklinde programa işlenmiştir. **Şekil 39**'da bilgi paneli gösterilmiştir.



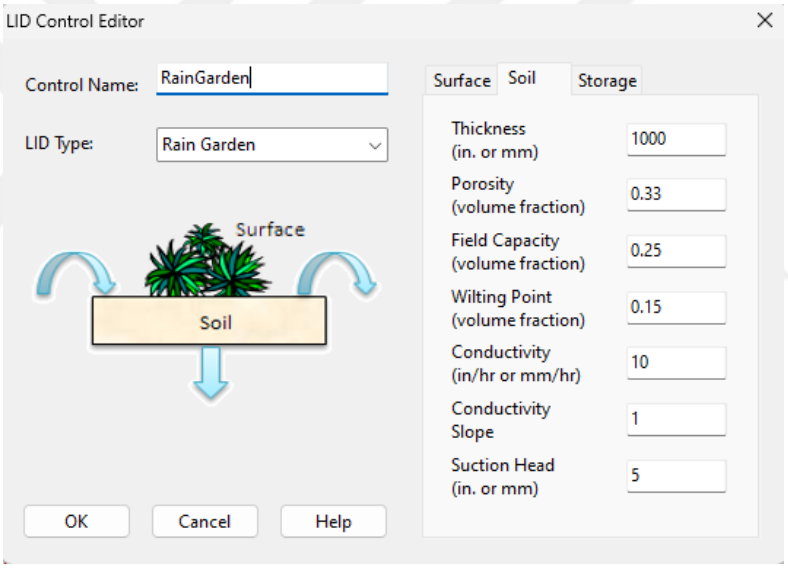
Şekil 39. Yeşil çatı (Green Roof) metoduna ait bilgiler.

3.5. Yağmur Bahçeleri Tanımlanması

Alt havzalar içerisinde geçirimli yüzeyler uygun görülen bölgelere yağmur bahçeleri metodu uygulanmıştır. DEK Controls paneli üzerinde, metoda ilişkin bilgilerin girilmesi ile tanımlanmıştır(Şekil 40, 41). Metot için tayin edilen bilgiler literatür araştırmaları sonucunda belirlenmiş ve modele entegre edilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda;



Şekil 40. Yağmur bahçeleri (Rain Garden) metoduna ait bilgiler.



Şekil 41. Yağmur bahçeleri (Rain Garden) metoduna ait bilgiler.

Yeşil çatılarda veri girişleri, yüzey işlemleri ve toprak işlemleri olmak üzere iki başlıkta incelenebilir. Yüzey işlemlerinde;

- Depolama derinliği (inç, ml)
- Bitkisel örtü franksiyonu
- Yüzey pürüzlülüğü
- Yüzey eğimi
- Toprak kalınlığı

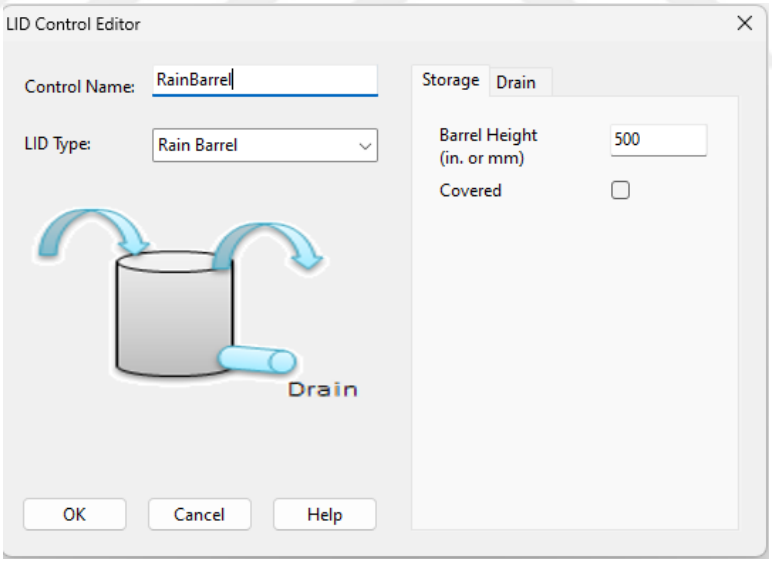
- Gözeneklilik
- Alan kapasitesi
- Solma noktası
- İletkenlik
- İletkenlik eğimi
- Emme yüksekliği

şeklinde ifade edilebilir

3.6. Yağmur Varili Tanımlanması

Yağmur varili metodu üzerinde literatür araştırması sonuçlarına ve uygulama örneklerine bakılarak, metodun sisteme tanımlanmıştır. Metoda dair bilgiler tasarımcı tarafından programa işlenmiştir (Şekil 42). DEK Controls paneli üzerinden girilen bilgiler;

- Yapı sisteminin toplam yüksekliği 1500 mm,
- Akış katsayısı (flow coefficient) c=2.64 olarak tayin edilmiştir.



Şekil 42. SWMM programında yağmur varili özellikler.

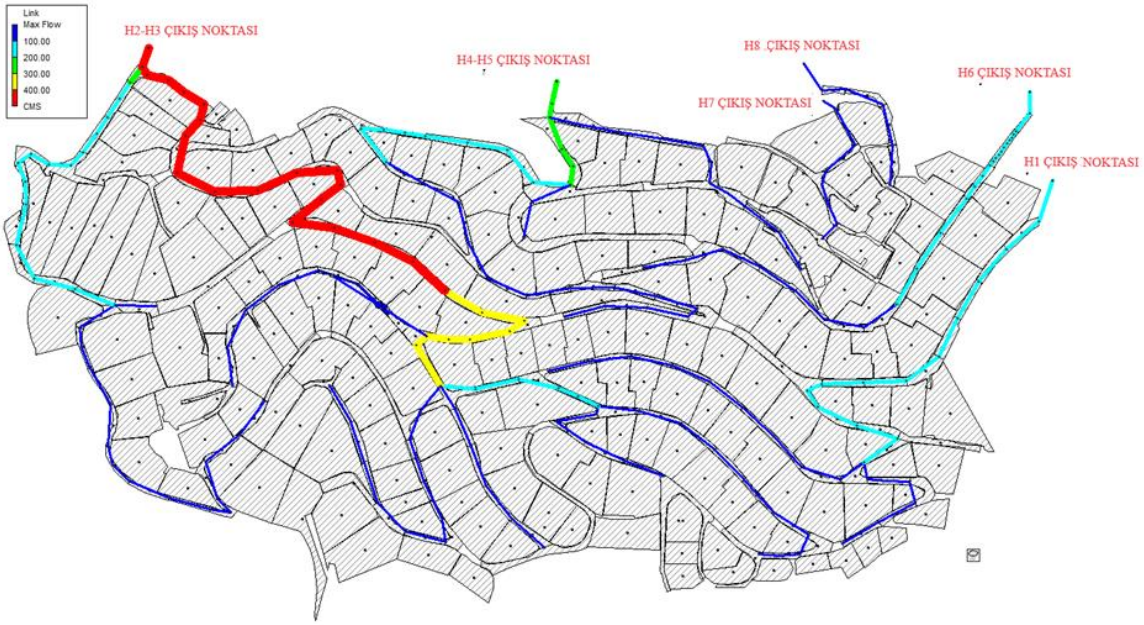
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

MODEL SONUÇLARI

Tezin bu bölümünde, yağmur suyunun tahliyesine yönelik, çalışma alanı içerisinde oluşturulan 8 farklı tahliye hattının, DEK metotları uygulanmadan önce 25, 50 ve 100 yıllık dönüş aralıklı yağış miktarının meydana getirdiği akış durumu ve hatların çıkış noktalarındaki debi değerleri açıklanmıştır. Daha sonra sisteme DEK metotlarından; yeşil çatı, yağmur bahçeleri ve yağmur varili olmak üzere 3 farklı metot entegre edilerek sistem incelenmiştir. DEK metotlarının entegre edildiği ve edilmediği olmak üzere, sistemin 2 farklı hali kıyaslanarak, DEK metotlarının sistem performansı üzerindeki etkisi açıklanmıştır.

4.1. Yirmi beş (25) Yıllık Dönüş Aralıklı Yağış

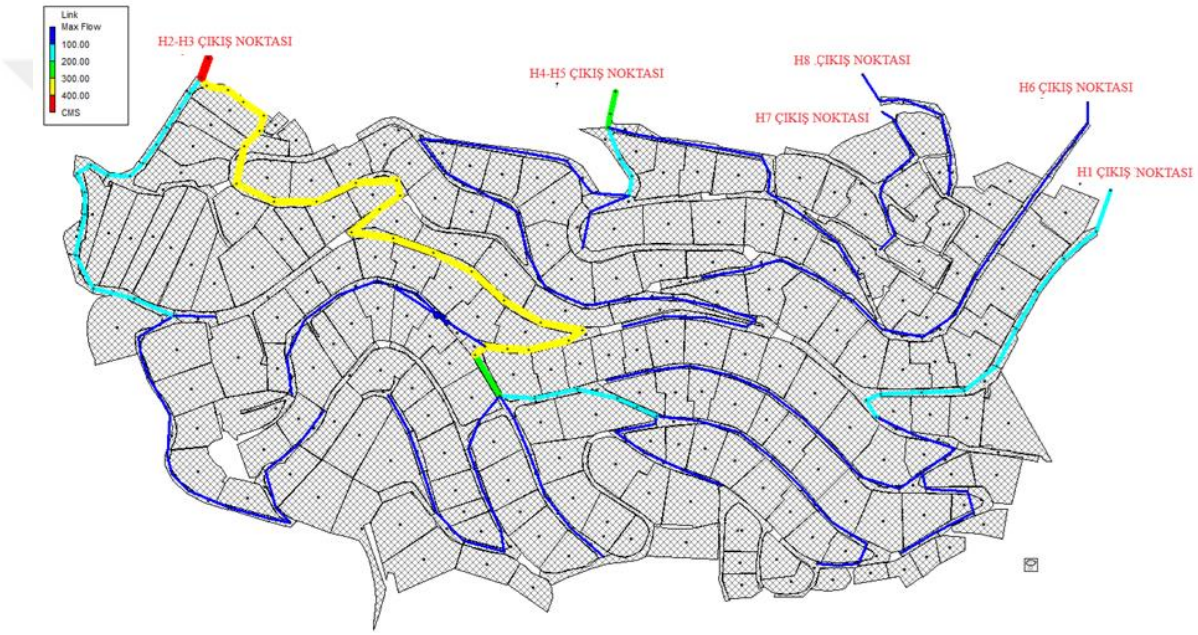
Çalışmanın bu bölümünde Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'den temin edilen Zonguldak İstasyonuna ait yağış verileri ile geliştirilmiş 25 yıllık dönüş aralıklı yağış, EPA SWMM programı ile analiz edilmiştir. Oluşturulan modelde DEK uygulamalarının etkilerini göstermek amaçlanmıştır.



Şekil 43. 25 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda DEK uygulanmamış senaryoda debi haritası.

Şekil 43'te modele DEK metotlarının entegre edilmemiş hali ile oluşan debi durumu gösterilmiştir. Şekil üzerinde bulunan lejantta, kollarda oluşan debi miktarı renkler ile ayrılarak, ifade edilmiştir. Bu harita, çalışma alanı içerisinde DEK metotlarının uygulanacağı alt havzaların tayin edilmesi konusunda senaryo oluşumuna ışık tutmaktadır.

DEK metotları söz konusu çalışma alanı içerisinde, debi miktarı fazla olan kollara dökülen alt havzalara entegre edilerek, bahsi geçen kolların debi miktarınca rahatlatılması ve kollardaki debi değerinin düşürülmesi amaçlanmıştır. **Şekil 37**'de DEK metotlarının entegre edildiği alt havzalar gösterilmiştir.



Şekil 44. 25 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda DEK uygulanmış senaryoda debi haritası.

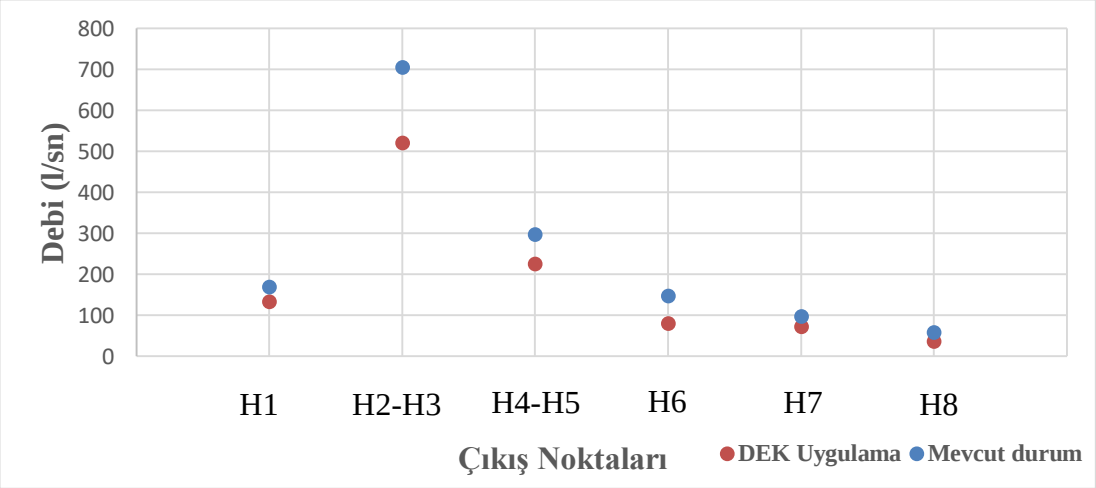
Şekil 43 ve **Şekil 44** mukayese edildiğinde, metotların uygulanması sonucu, tahliye hatları içerisinde yüksek debi değerine sahip kollarda, bahsi geçen değerin azaldığı harita üzerinde görülmektedir. Bu 2 senaryoya ait, tahliye hatlarının çıkış noktalarındaki debi miktarlarının değişimi **Tablo 23**'te sayısal değerler ile ifade edilmiştir. Ayrıca **Grafik 23**'te de bir arada sunulmuştur.

Tablo 23 incelendiğinde, modelde tanımlanmış çıkış noktalarında oluşan debi miktarlarının, Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamalarının entegrasyonu sonucunda bu değerlerin; H1 çıkış noktasında mevcut debi değeri 169,89 (l/sn), DEK

metotları uygulandıktan sonra debi değerinin 134 (l/sn) olarak ölçülmüş, maksimum debi miktarının %21,12 azaldığı, H2-H3 çıkış noktasında mevcut debi değeri 705,18 (l/sn), DEK metotları uygulandıktan sonra debi değeri 520,77 (l/sn) olarak ölçülmüş, maksimum debi miktarının %26,15 azaldığı, H4-H5 çıkış noktasında mevcut debi değeri 297,38 (l/sn), DEK metotları uygulandıktan sonra debi değeri 225,03 (l/sn) olarak ölçülmüş ve maksimum debi miktarının %24,32 azaldığı, H6 çıkış noktasında mevcut debi değeri 147,66 (l/sn), DEK metotları uygulandıktan sonra debi değeri 79,95 (l/sn) olarak ölçülmüş ve maksimum debi miktarının %45,85 azaldığı, H7 çıkış noktasında mevcut debi değeri 97,04 (l/sn), DEK metotları uygulandıktan sonra debi değeri 72,48 (l/sn) olarak ölçülmüş ve maksimum debi miktarının %25,30 azaldığı, H8 çıkış noktasında mevcut debi değeri 58,84 (l/sn), DEK metotları uygulandıktan sonra debi değeri 36,58 (l/sn) olarak ölçülmüş ve maksimum debi miktarının %37,83 azaldığı belirlenmiştir.

Tablo 23. 25 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda DEK metodu uygulanmış ve uygulanmamış senaryoda debi miktarı.

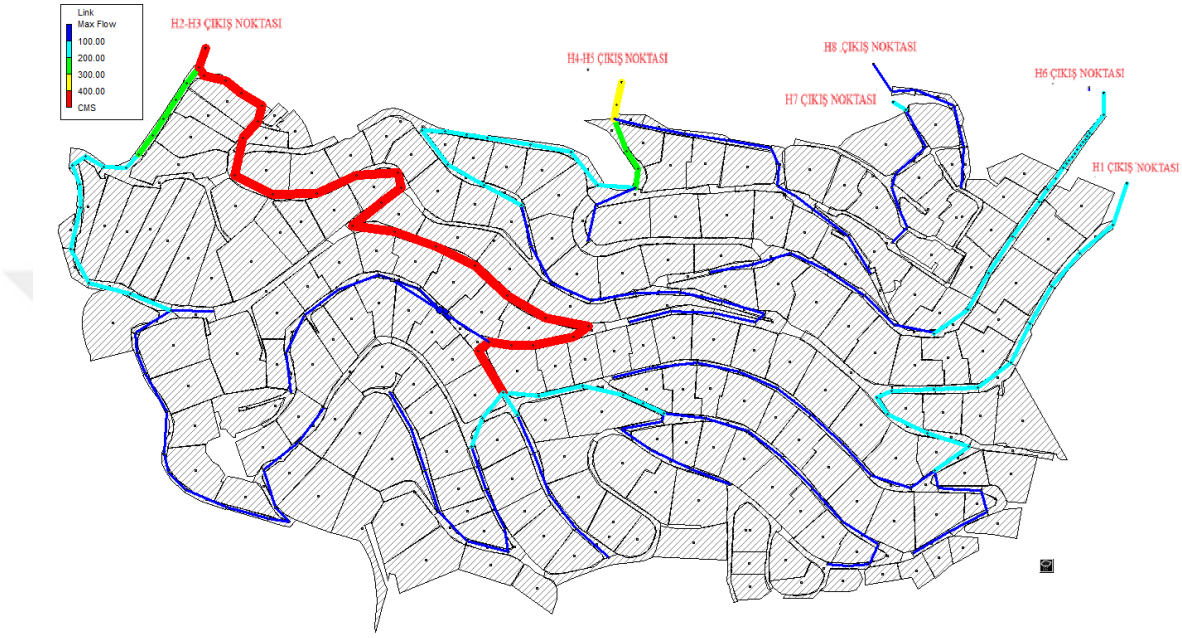
	Mevcut Durumdaki Debi (l/sn)	**DEK Uygulaması Sonrası Debi (l/sn)**	**Değişim (%)**
H1 Çıkış Noktası	169.89	134	21.13
H2-H3 Çıkış Noktası	705.18	520.77	26.15
H4-H5 Çıkış Noktası	297.38	225.03	24.33
H6 Çıkış Noktası	147.66	79.95	45.86
H7 Çıkış Noktası	97.04	72.48	25.31
H8 Çıkış Noktası	58.84	36.58	37.83



Grafik 23. 25 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda çıkış noktalarının debi değerleri.

4.2.Elli (50) Yıllık Dönüş Aralıklı Yağış

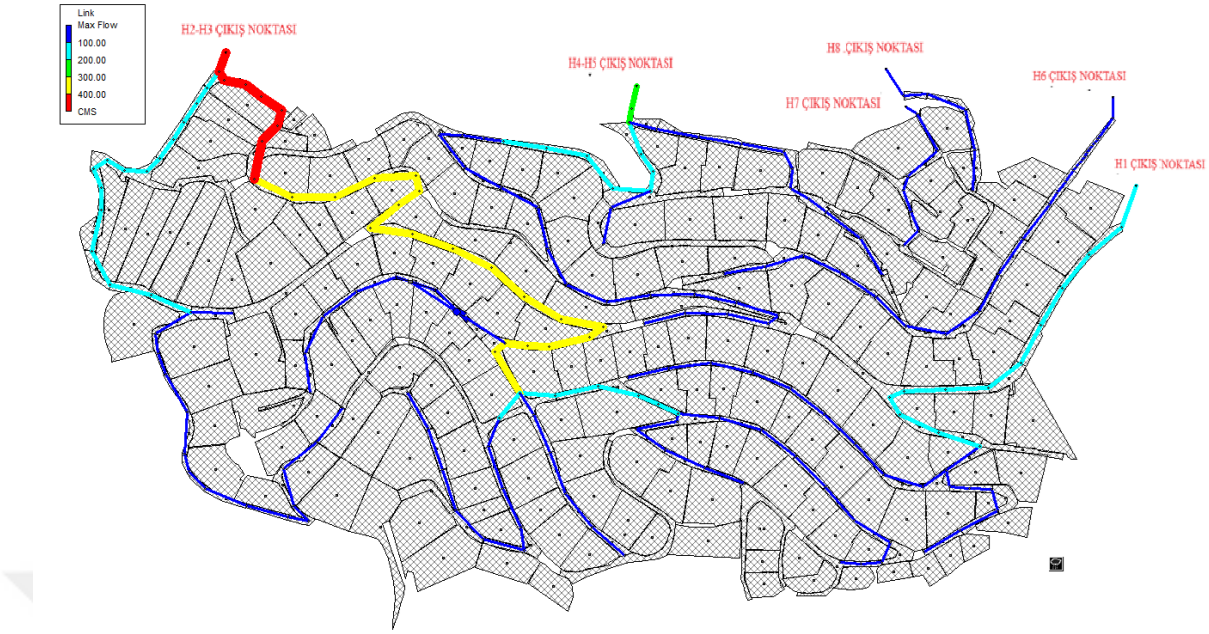
Çalışmanın bu bölümünde Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'den temin edilen Zonguldak İstasyonuna ait yağış verileri ile geliştirilmiş 50 yıllık dönüş aralıklı yağış, EPA SWMM programı ile analiz edilmiştir. Oluşturulan modelde DEK uygulamalarının etkilerini göstermek amaçlanmıştır.



Şekil 45. 50 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda DEK uygulanmamış senaryoda debi haritası.

Şekil 45'te modele DEK metotlarının entegre edilmemiş hali ile oluşan debi durumu gösterilmiştir. Şekil üzerinde bulunan lejantta, kollarda oluşan debi miktarı renkler ile ayrılarak, ifade edilmiştir. Bu harita, çalışma alanı içerisinde DEK metotlarının uygulanacağı alt havzaların tayin edilmesi konusunda senaryo oluşumuna ışık tutmaktadır.

DEK metotları söz konusu çalışma alanı içerisinde, debi miktarı fazla olan kollara dökülen alt havzalara entegre edilerek, bahsi geçen kolların debi miktarınca rahatlatılması ve kollardaki debi değerinin düşürülmesi amaçlanmıştır. **Şekil 37**'de DEK metotlarının entegre edildiği alt havzalar gösterilmiştir.



Şekil 46. 50 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda DEK uygulanmış senaryoda debi haritası.

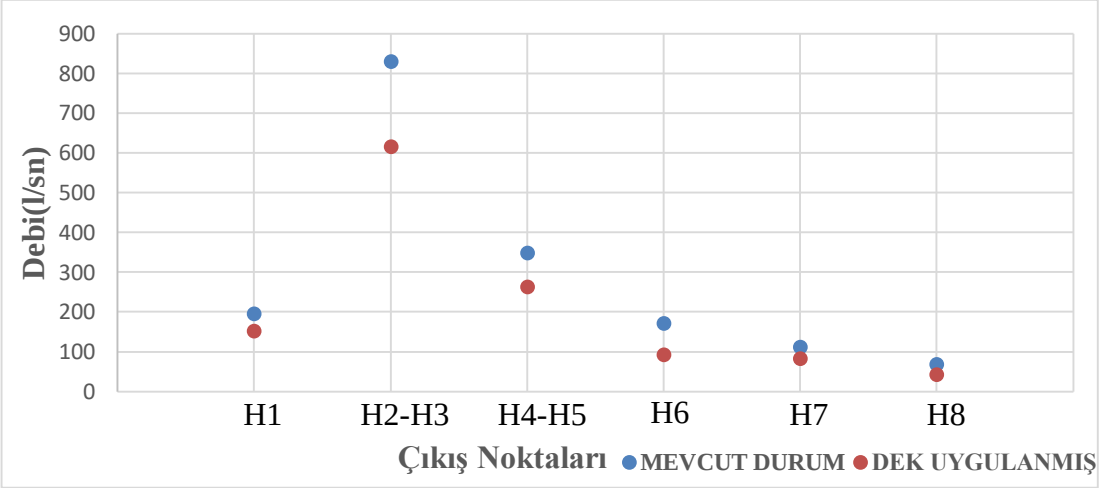
Şekil 45 ve **Şekil 46** mukayese edildiğinde, metotların uygulanması sonucu, tahliye hatları içerisinde yüksek debi değerine sahip kollarda, bahsi geçen değerin azaldığı harita üzerinde görülmektedir. Bu 2 senaryoya ait, tahliye hatlarının çıkış noktalarındaki debi miktarlarının değişimi **Tablo 24**'te sayısal değerler ile ifade edilmiştir ve **Grafik 24**'de ise karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 24 incelendiğinde, modelde tanımlanmış çıkış noktalarında oluşan debi miktarlarının, Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamalarının entegrasyonu sonucunda bu değerlerin; H1 çıkış noktasında mevcut debi değeri 195,93 (l/sn), DEK metotları uygulandıktan sonra debi değerinin 153,01 (l/sn) olarak ölçülmüş, maksimum debi miktarının %21,90 azaldığı, H2-H3 çıkış noktasında mevcut debi değeri 830,42 (l/sn), DEK metotları uygulandıktan sonra debi değeri 615,67 (l/sn) olarak ölçülmüş, maksimum debi miktarının %25,86 azaldığı, H4-H5 çıkış noktasında mevcut debi değeri 348,38 (l/sn), DEK metotları uygulandıktan sonra debi değeri 263,82 (l/sn) olarak ölçülmüş ve maksimum debi miktarının %24,27 azaldığı, H6 çıkış noktasında mevcut debi değeri 171,39 (l/sn), DEK metotları uygulandıktan sonra debi değeri 93,04 (l/sn) olarak ölçülmüş ve maksimum debi miktarının %45,71 azaldığı, H7 çıkış noktasında mevcut debi değeri 112 (l/sn), DEK metotları uygulandıktan sonra

debi değeri 83,79 (l/sn) olarak ölçülmüş ve maksimum debi miktarının %25,18 azaldığı, H8 çıkış noktasında mevcut debi değeri 67,88 (l/sn), DEK metotları uygulandıktan sonra debi değeri 42,19 (l/sn) olarak ölçülmüş ve maksimum debi miktarının %37,84 azaldığı belirlenmiştir.

Tablo 24. 50 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda DEK metodu uygulanmış ve uygulanmamış senaryoda debi miktarı.

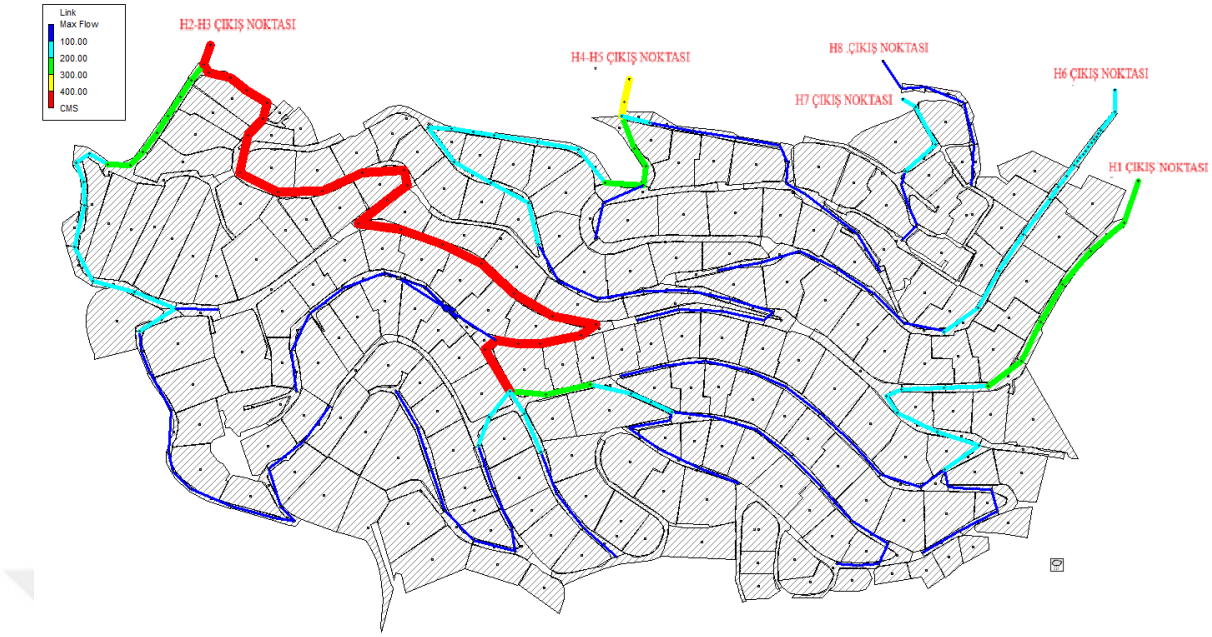
	Mevcut Durumdaki Debi (l/sn)	**DEK Uygulaması Sonrası Debi (l/sn)**	**Değişim (%)**
H1 Çıkış Noktası	195.93	153.01	21.91
H2-H3 Çıkış Noktası	830.42	615.67	25.86
H4-H5 Çıkış Noktası	348.38	263.82	24.27
H6 Çıkış Noktası	171.39	93.04	45.71
H7 Çıkış Noktası	112	83.79	25.19
H8 Çıkış Noktası	67.88	42.19	37.85



Grafik 24. 50 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda çıkış noktalarının debi değerleri.

4.3.Yüz (100) Yıllık Dönüş Aralıklı Yağış

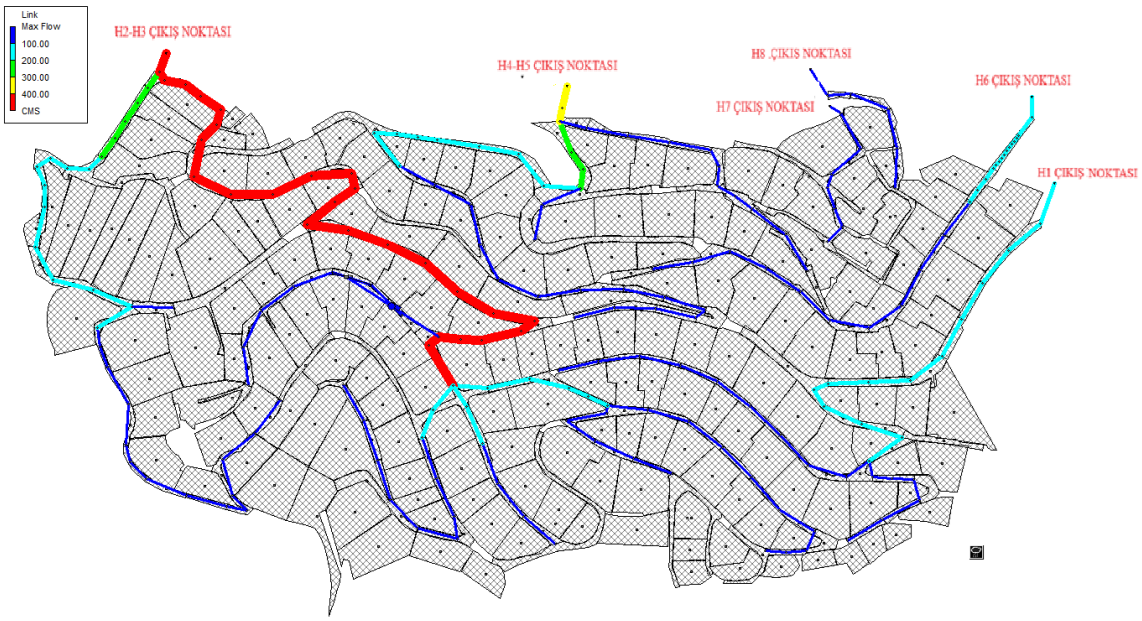
Çalışmanın bu bölümünde Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'den temin edilen Zonguldak İstasyonuna ait yağış verileri ile geliştirilmiş 100 yıllık dönüş aralıklı yağış, EPA SWMM programı ile analiz edilmiştir. Oluşturulan modelde DEK uygulamalarının etkilerini göstermek amaçlanmıştır.



Şekil 47. 100 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda DEK uygulanmamış senaryoda debi haritası.

Şekil 47'de modele DEK metotlarının entegre edilmemiş hali ile oluşan debi durumu gösterilmiştir. Şekil üzerinde bulunan lejantta, kollarda oluşan debi miktarı renkler ile ayrılarak, ifade edilmiştir. Bu harita, çalışma alanı içerisinde DEK metotlarının uygulanacağı alt havzaların tayin edilmesi konusunda senaryo oluşumuna ışık tutmaktadır.

DEK metotları söz konusu çalışma alanı içerisinde, debi miktarı fazla olan kollara dökülen alt havzalara entegre edilerek, bahsi geçen kolların debi miktarınca rahatlatılması ve kollardaki debi değerinin düşürülmesi amaçlanmıştır. **Şekil 37**'de DEK metotlarının entegre edildiği alt havzalar gösterilmiştir.



Şekil 48. 100 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda DEK uygulanmış senaryoda debi haritası.

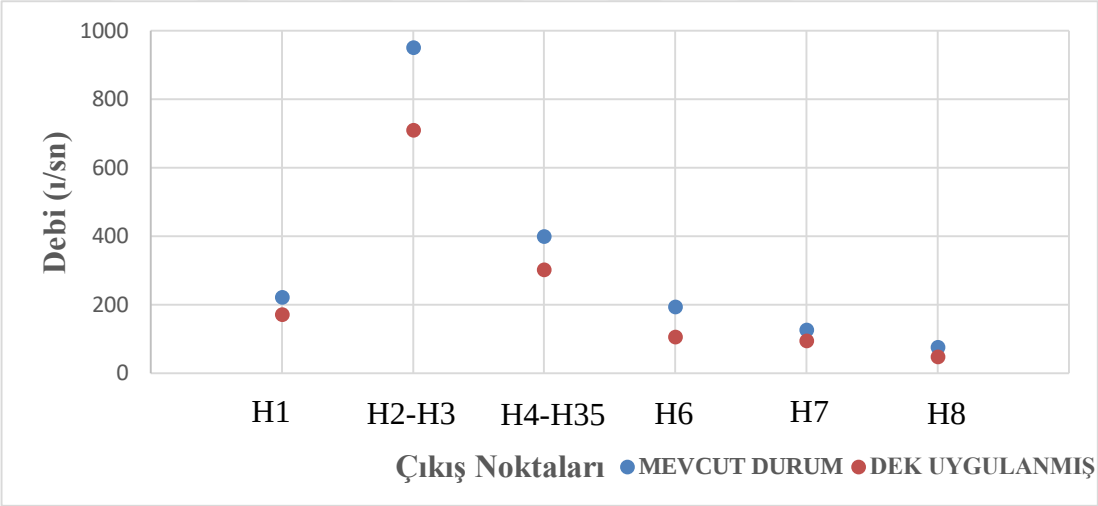
Şekil 47 ve **Şekil 48** mukayese edildiğinde, metotların uygulanması sonucu, tahliye hatları içerisinde yüksek debi değerine sahip kollarda, bahsi geçen değerin azaldığı harita üzerinde görülmektedir. Bu 2 senaryoya ait, tahliye hatlarının çıkış noktalarındaki debi miktarlarının değişimi **Tablo 25**'te sayısal değerler ile ifade edilmiştir. Bu tabloda sunulan değerler **Grafik 25**'te karşılaştırılmıştır.

Tablo 25 incelendiğinde, modelde tanımlanmış çıkış noktalarında oluşan debi miktarlarının, Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamalarının entegrasyonu sonucunda bu değerlerin; H1 çıkış noktasında mevcut debi değeri 221,12 (l/sn), DEK metotları uygulandıktan sonra debi değerinin 172,44 (l/sn) olarak ölçülmüş, maksimum debi miktarının %22,01 azaldığı, H2-H3 çıkış noktasında mevcut debi değeri 950,94 (l/sn), DEK metotları uygulandıktan sonra debi değeri 709,38 (l/sn) olarak ölçülmüş, maksimum debi miktarının %25,40 azaldığı, H4-H5 çıkış noktasında mevcut debi değeri 398,93 (l/sn), DEK metotları uygulandıktan sonra debi değeri 302,35 (l/sn) olarak ölçülmüş ve maksimum debi miktarının %24,20 azaldığı, H6 çıkış noktasında mevcut debi değeri 194,69 (l/sn), DEK metotları uygulandıktan sonra debi değeri 105,93 (l/sn) olarak ölçülmüş ve maksimum debi miktarının %45,59azaldığı, H7 çıkış noktasında mevcut debi değeri 126,58 (l/sn), DEK metotları uygulandıktan sonra debi değeri 94,85 (l/sn) olarak ölçülmüş ve maksimum debi miktarının %25,06

azaldığı, H8 çıkış noktasında mevcut debi değeri 76,75 (l/sn), DEK metotları uygulandıktan sonra debi değeri 47,67 (l/sn) olarak ölçülmüş ve maksimum debi miktarının %37,88 azaldığı belirlenmiştir.

Tablo 25 100 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda DEK (Düşük Etkili Kentleşme metodu uygulanmış ve uygulanmamış senaryoda debi miktarı.

	Mecvut Durumdaki Debi (l/sn)	**DEK Uygulaması Sonrası Debi (l/sn)**	**Değişim (%)**
H1 Çıkış Noktası	221.12	172.44	22.02
H2-H3 Çıkış Noktası	950.94	709.38	25.40
H4-H5 Çıkış Noktası	398.93	302.35	24.21
H6 Çıkış Noktası	194.69	105.93	45.59
H7 Çıkış Noktası	126.58	94.85	25.07
H8 Çıkış Noktası	76.75	47.67	37.89



Grafik 25. 100 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumda çıkış noktalarının debi değerleri.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında, kentsel yerleşimin sık olduğu görülen bir çalışma alanı seçilip, bu bölge için Düşük etkili kentleşme yöntemleri kullanılarak, yağmur suyu drenaj sistemi modelleme çalışması yapılmıştır. Literatür incelendiğinde, yağmur suyu drenaj sistemi üzerine çalışmalar yaygın olmasına rağmen, , kentsel yerleşim alanları için tasarlanan, Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamalarının da modele entegre edildiği çalışmalar oldukça azdır. Yapılan bu tez çalışmasında da, Zonguldak ilinin merkez sınırları içinde yer alan, yerleşimin ve yapılaşmanın sık, geçirimsiz yüzeylerin yaygın olduğu 1 km²'lik bir alan çalışma bölgesi olarak belirlenmiştir.

Seçilen çalışma havzası, 8 farklı tahliye hattına ve kendi içerisinde 191 adet alt havzaya ayrılarak, bölge içerisinde yapılaşma, yapıların konumu, eğim, geçirimsiz yüzey miktarlarına göre en uygun olabilecek DEK (Düşük Etkili Kentleşme metotlarından; yeşil çatı, yağmur bahçeleri ve yağmur varili yöntemleri modelde tanımlanan alt havzalara entegre edilmiştir. 25, 50 ve 100 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumu, DEK (Düşük Etkili Kentleşme metodu uygulanmadan ve uygulandıktan sonra, tahliye hatlarına tanımlanan çıkış noktalarındaki maksimum debi miktarında meydana delen değişim gözlemlenmiştir. Debi miktarlarındaki değişim incelendiğinde;

25 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumu incelendiğinde, modelde tanımlanmış çıkış noktalarında oluşan debi miktarlarının, Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamalarının entegrasyonu sonucunda bu değerlerin; H1 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %21,12 azaldığı, H2-H3 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %26,15 azaldığı, H4-H5 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %24,32 azaldığı, H6 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %45,85 azaldığı, H7 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %25,30 azaldığı, H8 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %37,83 azaldığı belirlenmiştir.

50 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumu incelendiğinde, modelde tanımlanmış çıkış noktalarında oluşan debi miktarlarının, Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamalarının entegrasyonu sonucunda bu değerlerin; H1 çıkış noktasında

maksimum debi miktarının %21,90 azaldığı, H2-H3 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %25,86 azaldığı,

H4-H5 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %24,27 azaldığı, H6 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %45,71 azaldığı, H7 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %25,18 azaldığı, H8 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %37,84 azaldığı belirlenmiştir.

100 yıllık dönüş aralıklı yağış olduğu durumu incelendiğinde, modelde tanımlanmış çıkış noktalarında oluşan debi miktarlarının, Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamalarının entegrasyonu sonucunda bu değerlerin; H1 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %22,01 azaldığı, H2-H3 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %25,40 azaldığı, H4-H5 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %24,20 azaldığı, H6 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %45,59azaldığı, H7 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %25,06 azaldığı, H8 çıkış noktasında maksimum debi miktarının %37,88 azaldığı belirlenmiştir.

Çalışma sonuçları genel olarak incelendiğinde, Zonguldak ili için modellenen yağmur suyu drenaj modelinde, geçirimsiz yüzeylerin yoğun olduğu alt havzalara, DEK metotlarının entegre edilmesi, pik debinin düşürülmesi ve yüzeysel akışın azaltılması konusunda oldukça etkili olduğu görülmektedir.

Yoğun yapılaşma ve kentleşme ile yerleşim alanlarında meydana gelen geçirimsiz yüzeylerde akış haline geçen yağmur suyunun sel ve taşkın gibi olumsuz etkilerini azaltmak ve kontrol altına almak konusunda DEK metotlarının önemi çalışma sonucunda sayısal değerler ile ifade edilmiştir. Bununla beraber, debi miktarlarındaki düşüş ile tasarlanan yağmur suyu drenaj sisteminin hizmet ömrünün uzayacağı aşikardır.

Çevresel sürdürülebilirlik ve hidrolojik çevrimin korunması konusunda etkili bir yağmur suyu yönetim uygulamaları olan DEK metotlarının, kent yönetimlerince benimsenmesi ve uygulamaların yaygınlaştırılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 arttırılmasına yönelik alternatif öneriler. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

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

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: www.muhendis.web.tr/madde-dongulerine-insan-etkisi. 8 Mayıs 2024.