

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OSMAN TANRIVERDİ

**MODERN KENTSEL YAĞMURSUYU DRENAJ
UYGULAMASI: ADANA İLİ ÖRNEĞİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2018

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MODERN KENTSEL YAĞMURSUYU DRENAJ UYGULAMASI:
ADANA İLİ ÖRNEĞİ**

Osman TANRIVERDİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/
Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. M. Sami AKÖZ
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Recep YURTAL
ÜYE

.....
Dr. Öğr. Üyesi Oğuz ŞİMŞEK
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Bu çalışma Ç.Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklemiştir.

Proje No: FYL201810165

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge,
şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve
Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MODERN KENTSEL YAĞMURSUYU DRENAJ UYGULAMASI:
ADANA İLİ ÖRNEĞİ

Osman TANRIVERDİ

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. M. Sami AKÖZ
Yıl: 2018, Sayfa:127
Jüri : Prof. Dr. M. Sami AKÖZ
: Prof. Dr. Recep YURTAL
: Dr. Öğr. Üyesi Oğuz ŞİMŞEK

Bu çalışmada, Adana ili için 25 yıl tekerrürlü yağışın verileri kullanılarak 1 saatlik yağışın simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapılaşmanın yüksek olduğu ve geçmişte dere yatağı olan Çukurova ilçesi, Hayal Park havzasındaki 157 hektarlık alan, 122 su tutma alt havzasına ayrılarak çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Hesaplamalarda PCSWMM paket programı kullanılmıştır. Yağış modeli olarak kısa süreli yağışlarda etkili sonuçlar verdiği bilinen Kiefer & Chu (Chicago) Modeli kullanılmıştır. Mevcut yağmursuyu drenaj sistemi irdelenerek eksiklikler ve yeterlilikler tespit edilmiştir. Bununla ilgili yağış anında yaşanan taşmalar, borular ve muayene bacalarındaki piyozometrik kotlar, debi ve hızlar gibi hidrolik karakteristikler elde edilmiştir. Mevcut yağmursuyu drenaj sisteminin yeterli ve verimli hale gelmesi için klasik yöntem yağmursuyu sistemi kullanılarak boru çapları ve muayene bacaları yeniden hesaplanmış, bununla ilgili maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu sistemin alternatifi olarak sürdürülebilir modern yağmursuyu yönetim sisteminin tasarım ve uygulamalarından biri olan bekletme havuzları mevcut yağmursuyu altyapı sistemine entegre edilerek hesaplamalar yeniden yapılmıştır. Klasik ve modern yağmursuyu uygulamaları maliyet ve sürdürülebilirlik açısından karşılaştırılmış; bekletme havuzu kullanılmasının su taşmaları gibi yaşanan olumsuzlukları engellediği ve sistemin maliyetinde %15'lik tasarruf sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Bekletme havuzu, Kentsel drenaj, Modern yağmursuyu uygulamaları, PCSWMM, Rasyonel metot, Yağmursuyu.

ABSTRACT

MASTER THESIS

MODERN URBAN STORMWATER DRAINAGE APPLICATIONS: EXAMPLE OF ADANA PROVINCE

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. M. Sami AKÖZ
Year: 2018, Pages: 127
Jury : Prof. Dr. M. Sami AKÖZ
: Prof. Dr. Recep YURTAL
: Assist. Prof. Dr. Oğuz ŞİMŞEK

In this study, 1 hour rainfall simulation was performed by using the 25 years return period of rainfall data for Adana province. 157 hectares of land in the Hayal Park basin of Çukurova district, which has a high level of urbanization and which was a river stream in the past, was separated into 122 subcatchments and designated as working area. PCSWMM software was used in the calculations. Kiefer & Chu (Chicago) Model was used, which is known to give effective results in short-term precipitations. The existing stormwater drainage system was examined, deficiencies and competences were determined. The hydraulic characteristics such as piezometric elevations, flow rates and velocities in the overflow, pipes and manholes were obtained. In order to make the existing stormwater drainage system more sufficient and efficient, pipe diameters and manholes have been recalculated using the conventional method of stormwater system and the required cost was analysed. As an alternative to this system, one of the design and applications of the sustainable modern stormwater management system which is detention ponds has been integrated into the existing stormwater infrastructure system and the calculations have been made again. Conventional and modern stormwater applications were compared in terms of cost and sustainability; It has been seen that the use of the retention ponds prevents the negativities like water overflows and saves 15% of the cost of the system.

Keywords: Detention Ponds, Urban drainage, Modern stormwater applications, PCSWMM, Rational method, Stormwater.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Hızlı ve düzensiz kentleşme ile birlikte şehirlerin altyapısı ile ilgili problemler de artış göstermiştir. Küresel ısınma ve iklimsel değişimler kırsal yerleşim yerlerinin yanında büyük kent ve metropollerde de yağışlarla ilgili felaketlerin yaşanmasına maddi ve manevi büyük kayıplara sebep olmaktadır. Altyapı ile ilgili problemlerin giderilmesi için modern yağmursuyu yönetim teknikleriyle ilgili çalışmalar yapılmakta ve elde edilen bulgular doğrultusunda kaydedilen gelişmelerle ilgili dünyanın birçok yerinde uygulamalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada, modern yağmursuyu yönetimi uygulamalarından olan bekletme havuzunun yağmursuyu drenaj hattı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Adana ili, Çukurova ilçesi, Hayal Park bölgesi çalışma alanı olarak tespit edilmiştir. Adana ilinin ve seçilen çalışma alanının yağmursuyu drenaj şebekesi ve hattı ile ilgili durum tespiti yapılmış, şehrin ve bölgenin yağmursuyu drenaj hattı envanteri çıkarılmıştır. 25 yıllık tekerrür süresine sahip yağışlarla ilgili veriler kullanılarak Hayal Park bölgesindeki mevcut yağmursuyu drenaj sisteminin kapasitesi klasik yöntem kullanılarak test edilmiştir. Yağmursuyu drenaj hattı ile ilgili hesaplamalar Rasyonel Yöntemle PCSWMM kullanarak yapılmıştır. Hesaplamalarda yağış dağılım modeli olarak Kiefer&Chu (Chicago) Modeli kullanılmıştır. Elde edilen bulgulardan mevcut yağmursuyu drenaj sisteminin yetersiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. PCSWMM programı kullanılarak borularla ilgili elde edilen verilerden 25 yıllık tekerrür süreli yağış sularını problemsiz olarak bölgeden uzaklaştırmak için mevcut sistem üzerinde ortalama %111'lik çap artışı yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Bu da boruların birim uzunluğu için yaklaşık olarak 3935,29 TL; tüm sistem için 24.829.672,91TL maliyeti beraberinde getirmektedir. Hayal Park bölgesi mevcut yağmursuyu drenaj sistemi 7 bekletme havuzu kullanılarak yeniden tasarlanmış ve hesaplamalar 25 yıl tekerrürlü yağışlar için gerçekleştirilmiştir.

Modern ve sürdürülebilir yağmursuyu yönetim uygulamalarından bekletme havuzu kullanılması halinde havuzsuz sisteme göre boru çapında ortalama %62'lik bir azalma sağlamıştır. Bunun sonucunda maliyet açısından tüm sistemde yaklaşık olarak %15 oranında bir tasarruf gerçekleşmiştir. Aynı zamanda sistemin toplam boru uzunluğunda da 303 m kısalma meydana gelmiştir. Havuzlu sistemde boruların birim uzunluğu yaklaşık olarak 3480 TL; tüm sistemin maliyeti 20,905,264.38 TL olarak hesap edilmiştir. Bekletme havuzunun kullanılması biriktirilen suyun sulama ve diğer amaçlar için yeniden kullanıma sunulmasında, deşarj noktalarında, kollektörlerde ve Hayal Park bölgesi dışındaki yağmursuyu iletim hatlarında çapsal ve yapısal boyutların azaltılmasında fayda sağlamıştır.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim boyunca derin bilgi birikimi, deneyimleri ve desteğiyle, özellikle büyük bir sabırlailmek ilmek ortaya çıkarılan bu tez çalışmasının her aşamasında çok büyük paya sahip olan saygı değer danışmanım Prof. Dr. M. Sami AKÖZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca bana en büyük manevi desteği veren ve daima yanımda olan çok değerli eşim hayat arkadaşım Elif Asena TANRIVERDİ'ye, uyku düzeni ve akıllılığıyla bana iyi bir çalışma ortamı sağlayan, yaşama sevincim canım kızım Zeynep Bilge'ye, hayatım boyunca gölgelerini eksik hissetmediğim babam Nail TANRIVERDİ ve annem Şenda TANRIVERDİ'ye, varlığıyla bana her zaman güç veren kardeşim Nedime TANRIVERDİ ŞENGÜN'e, her zaman bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım bilim insanları Oğuz ŞİMŞEK ve Nazire Göksu SOYDAN hocalarıma, bu çalışmaya arşivlerini ve kaynaklarını açarak büyük destek veren Adana Büyükşehir Belediyesi ve Adana Su ve Kanalizasyon İdaresi yöneticileri ve çalışanlarına, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 6. Bölge Müdürlüğü'ne ve meteorolojik verilerin incelenmesi konusunda yardımcı olan Sayın Hakan DOĞAN'a, PCSWMM paket programının yapımında emeği geçen CHI şirket çalışanlarına ve bu paket programı çalışmamda kullanabilmem için bana yardımcı olan Hydropraxis şirketine ve özellikle Sayın Nelly PEYRON'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
SİMGELER VE KISALTMALAR	XIV
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. YAĞMURSUYU YÖNETİM SİSTEMLERİ VE HESAP PARAMETRELERİ .7	
3.1. Hidrolojik Çevrim	7
3.2. Yağış Analizleri.....	8
3.2.1. Yağış Şiddeti	8
3.2.2. Yağışın Şiddeti ve Periyodu	10
3.2.3. Yağış Şiddet-Süre-Frekans Bağlantısı ve Eğrisi	12
3.3. Arazi Yapısı.....	16
3.3.1. Yağmursuyu Havza Karakteristiği	16
3.3.2. Arazi Örtüsü ve Sızma	20
3.4. Yüzeysel Akış.....	23
3.4.1 Yüzeysel Akış Katsayısı.....	23
3.4.2 Yağış Toplanma Süresi	25
3.4.3 Yağış Giriş Süresi.....	26
3.4.4. Yağış Akış Süreleri	29
3.5. Rasyonel Yöntem	29
3.6. Yağmursuyu Drenaj Sisteminin Hidrolik Tasarımı.....	31
3.6.1. Açık Kanal Akımlarının Hidrolik Hesabı	31

3.6.1.1. Manning Formülü.....	33
3.6.1.2. Coolbroke-White Denklemi	34
3.6.1.3. Chezy Denklemi (Kutter Sayısı)	35
3.7. Yağmursuyu Yapı Elemanları ve Proje Standartları	35
3.7.1. Borular.....	35
3.7.1.1. Doluluk Oranı	35
3.7.1.2. Eğimler	36
3.7.1.3. Boru Çapları	37
3.7.1.4. Boru Cinsi.....	37
3.7.2. Muayene Bacaları.....	38
3.7.3 Cadde Ağızlıkları	39
3.8. Yağmursuyu Geciktirme, Depolama ve İnfiltrasyon Yapıları	40
3.8.1. Bekletme (Geciktirme) Havuzları	42
3.8.2. Depolama Havuzları ve Hazneleri	48
4. ADANA İLİ MEVCUT YAĞMURSUYU DRENAJ HATLARI	51
4.1 Adana İli Yağmursuyu Envanteri.....	51
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	63
5.1. Çalışma Sahası Olarak Seçilen Kuzey Adana Hayal Park Bölgesi.....	63
5.2. Bölgenin Yağış Verileri.....	68
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	121
KAYNAKLAR.....	123
ÖZGEÇMİŞ.....	127

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. Tekerrür süreleri ve aşılma olasılıkları	11
Çizelge 3.2. Yerleşim yerlerine göre hesap yağmur tekerrürleri	12
Çizelge 3.3. Arazi kullanımına (yerleşim türüne) göre çeşitli yüzeysel akış katsayıları	24
Çizelge 3.4. Yüzeysel akış katsayılarına göre yüzeysel akış katsayıları	24
Çizelge 3.5. Nüfus yoğunluğuna göre yüzeysel akış katsayıları	25
Çizelge 3.6. Rasyonel formülle birlikte kullanılan “Yağış Faktörü”	25
Çizelge 3.7. Kerby denklemine göre gecikme pürüzlülük katsayısı (R)	27
Çizelge 3.8. Yüzeysel eğimine göre giriş süreleri	28
Çizelge 3.9. Prizmatik açık kanalların kesit özellikleri	32
Çizelge 3.10. Farklı malzeme tipine göre Manning “n” pürüzlülük katsayısı değerleri	34
Çizelge 3.11. Farklı boru çaplarında beton borulara verilebilecek eğim sınırları değerleri	37
Çizelge 3.12. Sürdürülebilir yağmursuyu drenaj sistemlerinde teknik düzenlemeler	42
Çizelge 3.13. Trapez kesitli depolama havuzunun hacmi ile ilgili örnek	49
Çizelge 5.1. Adana İli Standart Zamanlarda Gözlenen En Büyük Yağış Değerleri	69
Çizelge 5.2. Değişik istasyonlar için yağışla ilgili meteorolojik veriler	76
Çizelge 5.3. Mevcut ve önerilen yağmursuyu sisteminin hidrolik özellikleri ve boru karakteristikleri	95
Çizelge 5.4. Önerilen yeni yağmursuyu sistemi için birim fiyat analizi	103
Çizelge 5.5. Bekletme havuzlarıyla ilgili hacimsel ve topoğrafik veriler	105
Çizelge 5.6. Bekletme havuzları kullanılarak tasarlanan mevcut yağmursuyu sisteminin yeni hidrolik özellikleri ve boru karakteristikleri	109

Çizelge 5.7. BH1 Betonarme yağmursuyu bekletme havuzunun yaklaşık maliyeti.....	119
---	-----

ŞEKİLLER DİZİNİ SAYFA

Şekil 3.1. Hidrolojik Çevrim (Chow ve ark. 1988)	8
Şekil 3.2. Şiddet–Süre–Tekerrür eğrisi örneği.....	13
Şekil 3.3. Tasarımı seçilen dağılımların hiyetografları (Marsalek,1984).....	14
Şekil 3.4. Çıkış kesiti ve havza sınırlarının yer aldığı Dijital Yükseklik Modeli (DEM) gösterimi	19
Şekil 3.5. Su havzalarının tanımlanması için gerekli hidrolojik gridler	20
Şekil 3.6. Sızma eğrisi.....	21
Şekil 3.7. Yüzeysel akış süresinin belirlenmesiyle ilgili nomogram	28
Şekil 3.8. Farklı enkesitler için geometrik parametreler	32
Şekil 3.9. Muayene bacası aksesuarları.....	39
Şekil 3.10. Cadde ağızlığı çeşitleri	40
Şekil 3.11. Sürdürülebilir yağmursuyu drenajı için uygulama basamakları.....	41
Şekil 3.12. Bekletme havuzu	43
Şekil 3.13. Bekletme havuzunun plan gösterimi ve hidrografi	43
Şekil 3.14. Bekletme havuzu hacminin zamanla değişimi	45
Şekil 3.15. Serbest ve batmış orifis	48
Şekil 3.16. Modüler sistem depolama havuzu örneği, a) Kesit görünüş, b) Üst görünüş.....	50
Şekil 4.1. Adana ili genel görünüm.....	51
Şekil 4.2. Adana ilinin yağmursuyu drenaj sistemi.....	53
Şekil 4.3. Adana merkezinde bulunan ilçeler ve nüfus yoğunlukları.....	54
Şekil 4.4. Kuzey Adana yağmursuyu drenaj sistemi.....	55
Şekil 4.5. Kenan Evren- İller Bankası- Bülent Angın Bulvarı yağmursuyu drenaj hattı.....	56
Şekil 4.6. Valilik Kuzeyi- Uçak Caddesi yağmursuyu drenaj sistemi	57
Şekil 4.7. Ziyapaşa-Gazipaşa-Atatürk Caddesi yağmursuyu drenaj hattı.....	58

Şekil 4.8. Güney Kuşak Bulvarı- Barbaros Caddesi yağmursuyu drenaj sistemi	.59
Şekil 4.9. Yüreğir güney yağmursuyu drenaj sistemi	.....60
Şekil 4.10. Yüreğir ilçesi kuzey yağmursuyu drenaj sistemi	.....61
Şekil 4.11. Sarıçam ilçesi yağmursuyu drenaj sistemi	.....62
Şekil 5.1. Çalışma alanı olarak seçilen Hayal Park bölgesi	.....63
Şekil 5.2. Hayal Park havzası arazi kotları	.....65
Şekil 5.3. Hayal Park havzası yağmursuyu tutma alanları	.....66
Şekil 5.4. Adana–Gaziantep Otoyolu Mavi Bulvar girişindeki a) Bekletme havuzu, b) Bekletme havuzunun konumu	.....67
Şekil 5.5. Adana İli Yağış Şiddet–Süre–Tekerrür Eğrileri	.....74
Şekil 5.6. PCSWMM bilgisayar programında Adana ili için yağış dağılım seçimi	.....75
Şekil 5.7. En yüksek yağış şiddetinin yaşandığı gün,yağış süresi ve dağılımı	.....76
Şekil 5.8. Hayal Park havzasındaki profiller	.....77
Şekil 5.9. Profil 1	.....78
Şekil 5.10. Profil 1’in boykesiti, ilk taşma yeri ve zamanı	.....79
Şekil 5.11. Maksimum doluluk anındaki Profil 1 hattı	.....79
Şekil 5.12. Profil 2	.....81
Şekil 5.13. Profil 2’nin boykesiti, ilk taşma yeri ve zamanı	.....82
Şekil 5.14. Maksimum doluluk anındaki Profil 2 hattı	.....82
Şekil 5.15. Profil 3	.....83
Şekil 5.16. Profil 3’ün boykesiti, ilk taşma yeri ve zamanı	.....84
Şekil 5.17. Maksimum doluluk anındaki Profil 3 hattı	.....84
Şekil 5.18. Profil 4	.....85
Şekil 5.19. Maksimum doluluk anındaki Profil 4 hattı	.....86
Şekil 5.20. Profil 5	.....87
Şekil 5.21. Profil 5’in boykesiti, ilk taşma yeri ve zamanı	.....88
Şekil 5.22. Maksimum doluluk anındaki Profil 5 hattı	.....88

Şekil 5.23. Profil 6	89
Şekil 5.24. Maksimum doluluk anındaki Profil 6 hattı.....	90
Şekil 5.25. Profil 7	91
Şekil 5.26. Profil 7'nin boykesiti, ilk taşma yeri ve zamanı	92
Şekil 5.27. Maksimum doluluk anındaki Profil 7 hattı.....	92
Şekil 5.28. Profil 8	93
Şekil 5.29. Maksimum doluluk anındaki Profil 8 hattı.....	94
Şekil 5.30. Bekletme havuzları kullanılarak tasarlanan yeni yağmursuyu şebeke hattı.....	104
Şekil 5.31. BH1 bekletme havuzu ve bu havuza deşarj olan yağmursuyu hattı....	106
Şekil 5.32. Maksimum doluluk anında yağmursuyu hattı ve BH1 bekletme havuzu	107
Şekil 5.33. Yağış bitiminde BH1 bekletme havuzu ve yağmursuyu hattı	107

SİMGELER VE KISALTMALAR

i	: Yağış şiddeti
d	: Yağış süresi
T	: Yağış tekerrür süresi
I	: Yağış verimi
p	: Aşılma olasılığı
T_0	: Rasat süresi
n_h	: Hesap yağmuru tekerrürü
f	: Yağış frekansı
ŞST	: Şiddet–Süre–Tekerrür
r	: Rölatif pik şiddeti
A	: Havza alanı
L	: Meca uzunluğu
P	: Çevre uzunluğu
DEM	: Dijital yükseklik modeli
CBS	: Coğrafi bilgi sistemi
K_s	: Hidrolik kondaktivite
$f(t)$	: Sızma kapasitesi
f_c	: Sızma kapasitesinin limit değeri
f_0	: Başlangıçtaki sızma kapasitesi
k	: Azaltma katsayısı
t_0	: Sızmanın başladığı zaman
ψ	: Kılcal Emme
θ_s	: Doymuş koşullar altında hacimsel nem doygunluğu
θ_i	: Başlangıç koşulları altında hacimsel nem doygunluğu
C	: Yüzeysel akış katsayısı
t_t	: Toplanma süresi

t_g	: Giriş süresi
t_a	: Akış süresi
S	: Eğim
r_k	: Boyutsuz gecikme pürüzlülük katsayısı
V	: Boru içindeki suyun akış hızı
Q	: Akış debisi
P	: Yağış yüksekliği
P	: Islak çevre
R	: Hidrolik yarıçap (“International Union of Pure and Applied Chemistry”)
T	: Kanal üst genişlik
D_h	: Hidrolik derinlik
ϕ	: Boru merkez açısı
n	: Manning pürüzlülük katsayısı
g	: Yerçekimi ivmesi
k	: Coolbroke–White boru pürüzlülük katsayısı
D	: Boru çapı
ν	: Yağmursuyunun kinematik vizkozitesi
C_c	: Chezy pürüzlülük katsayısı
n_k	: Kutter sayısı
k_k	: SI birim sistemine göre 1,811 alınan bir sabit
V_h	: Havuzun depolama hacmi
t	: Süre
Q_g	: Havuza giren debi
$Q_ç$	: Havuzdan çıkan debi
Q_{g1}	: Havuza ilk andaki giriş debisi
Q_{g2}	: Havuza son andaki giriş debisi
Δt	: Toplam geçen süre

V_{h1}	: İlk andaki bekletme havuzu hacmi
V_{h2}	: Son andaki bekletme havuzu hacmi
$Q_{\zeta 1}$	: İlk andaki çıkış debisi
$Q_{\zeta 2}$	: Son andaki çıkış debisi
Q_{ζ}	: Havuzdan çıkış debisi
C_v	: Hız katsayısı
A_o	: Orifis çıkış kanal enkesit alanı
h	: Yükseklik
ΔV_d	: Hacim miktarındaki değişim
h_1	: İlk durumdaki su yüksekliği
h_2	: Son durumdaki su yüksekliği
A_1	: h_1 seviyesindeki su yüzü alanı
A_2	: h_2 seviyesindeki su yüzü alanı
BH	: Bekletme havuzu
GB	: Giriş muayene bacası
ÇB	: Çıkış muayene bacası
MBCÇ	: Mevcut boru çapı
ÖBÇ	: Önerilen boru çapı
BHÖÇ	: Bekletme havuzu için önerilen çapı
BU	: Boru uzunluğu
Q_{maks}	: Maksimum debi
t_{maks}	: Maksimum debinin görüldüğü zamanı
V_{maks}	: Borudaki maksimum hızı

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki hızlı artış ile birlikte insanlar daha fazla iş imkanına kavuşmak, gelir düzeylerini arttırmak ve buna bağlı olarak da rahat bir yaşam sürmek amacıyla sanayi ve teknolojinin geliştiği bölgelere, kentlere ve metropollere göç etmektedir. Yıllar yılı kontrol edilemeyen düzensiz şehirleşme birtakım problemleri de beraberinde getirmiştir. Doğanın insan eliyle tahribatı, iklim değişiklikleri ve küresel ısınma ile birlikte birçok doğal felaket yaşanmaktadır. Yağışlar ve bununla beraber gelen sel felaketleri de insan yaşamını tehdit eden doğal afetlerin başında gelmektedir. Bu tür felaketlerin yaşanması özellikle şehirlerde yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilemekte, maddi ve manevi büyük kayıplara sebep olmaktadır. Bu kayıpların önüne geçmenin bir yolu da kentsel alanlarda yağmursuyu drenajının yeterli ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmesidir.

Şehirler büyüdükçe geçirimsiz yüzeylerin artması, doğal su döngüsündeki süreçte ara elemanların bu sürece dahil olması farklı parametreleri ortaya çıkarmaktadır. Yağıştan kaynaklanan sel felaketlerinin önlenmesi için sürecin doğru ve sürdürülebilir yönetilmesi, bugün dünyada en çok tartışılan ve araştırılan konuların başında gelmektedir. Dünyada, özellikle modern şehirlerde yağmursuyu yönetim planlarının hazırlanarak yol haritası çizilmekte ve mevcut durumun sürdürülebilir hale getirilmesine özen gösterilmektedir. Yağmur suyunu drene etme ve yönetimi noktasında günümüz dünyasında klasik (konvansiyonel) ve sürdürülebilir yöntemler kullanılarak yaşanan olumsuzlukların önüne geçilmeye çalışılmaktadır.

Ülkemizde 2016 yılında hasar ve can kaybına yol açan afet türleri göz önüne alındığında, sel ve su baskınları %25'le ilk sırayı alırken, yaşanan sel felaketinde 24 vatandaşımız hayatını kaybetmiştir. İklim değişiklikleri ile birlikte çarpık kentleşme ve alt yapı eksikleri can ve mal kayıplarını arttıracak yönünde endişe oluşturmaktadır. Adana ilinde son yıllarda en büyük sel felaketi 21 Eylül

2015 tarihinde gerçekleşmiş, bu felakette herhangi bir can kaybı yaşanmamakla birlikte büyük ölçüde maddi kayıplar söz konusu olmuştur.

Bu çalışmada, Adana ili için mevcut yağmursuyu drenaj sistemi irdelenerek sistemin genel envanteri çıkarılmıştır. Yağışlarla ilgili 100 yıllık meteorolojik veriler yardımıyla konvansiyonel sistem kullanılarak seçilen bir bölgedeki yağmursuyu altyapısının kapasitesi test edilmiştir. Aynı bölge için mevcut sistem korunarak sürdürülebilir yağmursuyu drenaj sistemi bağlamında modern çözüm teknikleri denenmiş ve önerilmiştir. Bu çalışmadaki tüm hesaplamalarda PCSWMM paket programı kullanılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kentsel alanlarda meydana gelen yağışların drenajının sağlanması, oluşturabileceği zararları ortadan kaldırılması ve sürdürülebilir verimli kaynaklar haline getirilebilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmış, bu çalışmalarla ilgili bilgiler aşağıda sunulmuştur.

Öner (1997), kentsel yağmur suyu yönetimi ve su drenajı ile ilgili matematiksel modelleri incelemiş, örnek olarak almış olduğu bir bölge üzerinde SWMM (Storm Water Management Model) bilgisayar programının özelliklerini ve performansını test etmiştir. Elde ettiği sonuçlardan, modele uygun ve yeterli veri toplanması koşuluyla sözü edilen bilgisayar programının Ülkemiz için de kullanabileceğini rapor etmiştir.

Kabak (2001), Adana ilinin kuzeybatısında yer alan kentsel dönüşüm alanında yüzeysel akışa geçen yağmursuyu ile ilgili kimyasal araştırmalarda bulunmuştur. Çökeltim deneyleri neticesinde yağmursularının alıcı ortama verilmeden önce mutlaka ön çökeltimden geçirilmesi gerektiği, ihtiyaç duyulması halinde tarımsal sulamada kullanılabileceği sonucuna ulaşmıştır. Toplanan yağmursuyunun stabilizasyon havuzlarına veya doğal ve yapay sulak alanlara deşarjının sağlanabileceği yönünde öneride bulunmuştur.

Åstebøl ve ark. (2004), çevresel düzenlemeler ve ekolojik faktörlerin yağmursuyu yönetiminde etkinliğini, fayda maliyet açısından incelemişler, sürdürülebilir yağmursuyu yönetimi için önerilerde bulunmuşlardır. Norveç-Farnebu'da ele aldıkları bir yerleşim yeri üzerinde konvansiyonel sistem ile geliştirmiş oldukları alternatif sistemi yatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri açısından karşılaştırmışlar ve konvansiyonele göre önerilen sistemin %30 daha az maliyetli olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Alternatif sistemde, drenaj boruları yerine arklar, yol kenar şevleri, sulak alanlar ile doğal toplama, depolama alanları ve göletler yer almaktadır.

Efe (2006), modeli oluşturulan altyapı sistemlerinin varsayımlardan ve basitleştirmelerden kurtararak tüm detaylarıyla ele almış; hidrolik ve hidrolojik tahkiklerde kullanılan modelleme programlarının bazıları hakkında önemli bilgiler sunmuştur. Atıksu ve yağmursuyu toplama sistemlerinde modeli oluşturan çeşitli yaklaşımlar incelenmiş ve programlar model yaklaşımlarına göre değerlendirilmiştir. Bursa ilinde 10 Şubat 2006'da meydana gelen bir yağış olayı sonrası meydana gelen atıksu taşkınının nedeni InfoWorks CS modelleme programı kullanılarak araştırılmış ve çözüm önerileri sunulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda deşarj hattı imalatı ile savak yapıları revizyonu veya sadece geciktirme havuzu planlanmasının gözlenen taşkını önleyeceği ve gelecekte de önlemede etkili olacağı tespit edilmiştir. Yerel veya ulusal ölçekte altyapı işlerinden sorumlu kuruluşlarda veri toplamaya dönük çalışmalara ihtiyaç duyulduğu belirtmiştir. Modelleme programlarının planlama çalışmalarına ışık tuttuğu aynı zamanda mevcut sistemin yetersizliklerinin tespitine dönük çalışmalarla yaşanması muhtemel taşkınların önlenmesi ve olumsuzlukların en aza indirilmesinde etkili olduğu kanısına varmıştır.

Şahin (2006), FHWA (Federal Highway Administration) tarafından yapılan deneysel çalışmadan elde edilen bulguları kullanarak, yağmur ızgaralarının altı farklı boyuna eğim durumu için iki boyutsuz sayı elde etmiş ve bütün ızgara tiplerinde bunların birbirleriyle değişimlerini incelemiştir. Bu boyutsuz sayılardan birincisi ızgara genişliğinin arktaki suyun yayılmasına oranı (W/T), ikincisi ise giriş yerinin tuttuğu debinin arktaki toplam debiye oranıdır (Q_i/Q). Ayrıca yağmursuyu ızgaralarının hidrolik verimlilikleri tahmin etmek için formüller türetmiş; çubukları akım yönüne paralel olan ızgaraların akım yönüne dik olan ızgaralara göre hidrolik performanslarının daha iyi olduğunu saptamıştır.

Levi (2007), kentsel gelişimin sel baskınlarına ve su kirliliğine etkilerini azaltmak için kullanılabilecek sürdürülebilir çözümlerin araştırılmasına yönelik yaptığı çalışmada, İsveç Kristianstad Üniversitesi yerleşkesi üzerinde bir yağmursuyu yönetim sistemi ortaya koymuştur. Mevcut sistemin değerlendirilmesi

konvansiyonel sisteme göre yapılmış, yeşillendirilmiş çatılar, su arkları ve oluşturulan yeni sulak alanlar gibi modern teknikler kullanılarak sürdürülebilir drenaj sistemlerinin uygulanabilirliği ortaya konmuştur.

Mirhan (2009), İstanbul ili yağış verilerini değerlendirerek yağmur suyu uzaklaştırma sistemi için uygun boru kesitlerinin tayini konusunda çalışma yapmıştır. Örnek olarak ele alınan hat üzerindeki yapı elemanlarının hidrolik karakteristiklerini hesaplayarak bunlarla ilgili detaylı uygulama standartları sunmuştur. Yağış debisinin belirlenmesinde yağış şiddeti, süre-tekerrür eğrileri, bölgesel yağış miktarları, yağış alanı ve izokronlar ile bölgenin topoğrafik verilerinin doğru değerlendirilmesinin önemini vurgulamıştır.

Toy (2011), meydana gelen yağışlar sonucunda sıklıkla taşkına maruz kalan Antalya kentinin mevcut yağmur suyu drenaj sistemini incelemiştir. Modern çözüm tekniği olarak belli bir yüzölçümüne sahip bekletme havuzunu sisteme entegre ederek fayda-maliyet analizi gerçekleştirmiştir. Önermiş olduğu havuzun pik debiyi belli bir süre ötelediği, buna bağlı olarak taşkın riskini azalttığı ve mevcut sistemin boru çaplarını küçülterek yaklaşık olarak %24 oranında tasarruf sağladığını rapor etmiştir.

Demir (2012), İTÜ Ayazağa yerleşkesindeki bir alan örneği üzerinden konvansiyonel ve sürdürülebilir yağmur suyu drenaj sistemlerini projelendirmiş, bu sistemleri çeşitli açılardan karşılaştırmış ve sürdürülebilir yağmur suyu sisteminin kurulum aşamasında %33 daha düşük maliyet sağladığını ortaya koymuştur. Ayrıca, sürdürülebilir drenaj politikalarının su kaynaklarının korunması, sel ve taşkın risklerinin azaltılması hususundaki etkilerini araştırmıştır.

Zawilski ve ark. (2014), Polonya'nın Lodz şehrinde birleşik sistem çalışan altyapı sisteminde özellikle yağışlı günlerde meydana gelen yoğunluğun teknik ve teknolojiler aracılığıyla azaltılması amaçlanmıştır. Birleşik sistemle birlikte birçok kirleticinin bakteri çeşitliliğini arttırdığı ve bu suyla birlikte taşındığı gözlemlenmiştir. Yağmursuyu yönetiminin bağımsız bir şehir otoritesi tarafından yapılması gerektiği, nitel ve nicel gözlemler neticesinde yağışların doğru analiz

edilerek modellenmesi gerektiği, aynı zamanda da bekletme havuzları gibi ekolojik çözümlerin geniş ölçekli ele alınması gerektiğini rapor etmiştir.

Neupane (2018), şehirleşme ve iklim değişikliği ile meydana gelen yüzeysel akıştaki artışın azaltılması amacıyla Low Impact Development (LID) adı verilen küçük ama genele bakınca etkili uygulamalar ile PCSWMM bilgisayar programı kullanılarak hesaplar yapılmıştır. Şehirleşmede meydana gelen artış ile yüzeysel akış arasında bağıntılar oluşturmuştur. Yağmur bahçesi ve evlerin bahçelerinde kullanılacak yağmursuyu fiçileri ile küçük ama etkili uygulamalar ile yüzeysel akışta azalmalar olduğunu saptamıştır. Model oluşturulurken mevcut bölgenin yağış verilerini kullanarak 2050 yılında meydana gelebilecek şehirleşme tahmininde bulunularak senaryo oluşturmuş, iklim değişikliği ve şehirleşmenin artışı ile birlikte en iyi LID uygulamaların kombinasyon halinde uygulanması halinde başarılı bir yağmursuyu yönetimini öngörmüştür.

3. YAĞMURSUYU YÖNETİM SİSTEMLERİ VE HESAP PARAMETRELERİ

Bu bölümde yağmursuyu drenaj sistemlerinin hesabında kullanılan parametreler ve bunları etkileyen faktörlerle ilgili tanımlara ve açıklamalara yer verilmiştir.

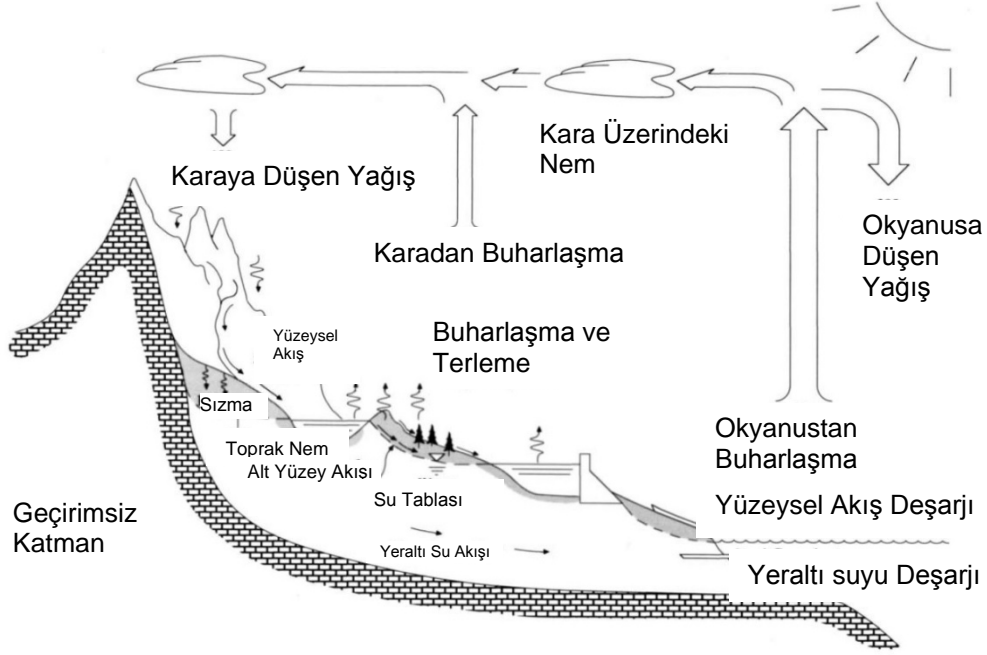
3.1. Hidrolojik Çevrim

Su, tabiatta çeşitli yerlerde ve çeşitli hallerde (sıvı, katı, gaz) bulunmakta ve yerkürenin çeşitli kısımları arasında devir daim yapmaktadır. Suyun tabiatta dönüp durduğu yolların tümüne birden hidrolojik çevrim denir.

Karalar üzerine düşen suyun büyük bir kısmı (%60-75 kadarı) zeminden ve su yüzeylerinden buharlaşma ve bitkilerden terleme yoluyla denizlere erişmeden atmosfere geri döner, bir kısmı bitkiler tarafından alıkonur (tutma), bir kısmı zeminden süzülerek yeraltına geçer (sızma). Geriye kalan su ise yerçekimi etkisiyle hareket ederek akarsulara ve onlar yoluyla denizlere ulaşır (yüzeysel akış). Yeraltına sızan su ise yeraltı akışı yoluyla sonunda yeryüzüne çıkarak yüzeysel akışa katılır. Denizlere ulaşan su da buharlaşarak atmosfere geri döner. Bu çevrim için gerekli enerji güneşten ve yerçekiminden sağlanır (Bayazıt,2003).

Atmosferdeki biriktirme sisteminden yüzeysel biriktirme sistemine düşen yağışın bir kısmı sızma yoluyla zemin nemi biriktirme sistemine, oradan da perkolasyon yoluyla yer altı biriktirme sistemine geçmektedir. Her üç sistemin de buharlaşma ve terleme yoluyla atmosferle ilişkileri bulunduğu gibi yüzeysel biriktirme sistemi yüzeysel akış, zemin nemi biriktirme sistemi yüzey altı akışı ve yer altı biriktirme sistemi de yeraltı akışı şeklinde sularının bir kısmını akarsu biriktirme sistemine göndermektedir. Bunlara akarsu biriktirme sistemine düşen yağış eklenip buharlaşma kayıpları çıktıktan sonra geriye kalan su akarsularda akış

şeklinde denizlere veya göllere ulaşmakta, oradan buharlaşma ile atmosfere geri dönmektedir (Bayazıt, 2003).



Şekil 3.1. Hidrolojik Çevrim (Chow ve ark. 1988)

3.2. Yağış Analizleri

3.2.1. Yağış Şiddeti

Yağmursuyu drenaj sisteminin temel önceliği, çalışma yapılacak bölgeye düşen yağış kayıtlarının tutulması ve bu yağış verilerinin doğru değerlendirilebilmesidir. Bir bölgenin yağış özelliklerinin belirlenmesi için üç temel unsur vardır. Bunlar, yağış şiddeti, yağış tekerrür süresi ve şiddet-süre-tekerrür eğrileridir. Şiddetli yağışların görülme sıklığı az olduğundan, meydana gelme sıklığı veya frekansı da o derece az olur. Ayrıca şiddetli yağışlar genellikle kısa süreli olurlar (Bayazıt, 2003).

Birim zamanda düşen yağış miktarına veya yüksekliğine yağış şiddeti denir. Yağış şiddeti, yağışın meydana geldiği herhangi bir anda, toplam yağış eğrisine çizilen teğetin eğimine karşılık gelir (Muslu,1993).

Yağış şiddetini ifade etmekte kullanılan dört temel formda denklem vardır.

Bunlar;

Talbot denklemi:

$$i = \frac{a}{d + b} \quad (3.1)$$

Bernard denklemi:

$$i = \frac{a}{d^e} \quad (3.2)$$

Kimijima denklemi:

$$i = \frac{a}{d^e + b} \quad (3.3)$$

Sherman denklemi:

$$i = \frac{a}{(d + b)^e} \quad (3.4)$$

Yukardaki denklemlerde, i yağış şiddeti (mm/saat); d yağış süresi (dakika); a , b ve e meteorolojik koşullarla ilişkili katsayılardır.

Yağış şiddeti, yağış süresi ve tekerrür eğrisi (ŞST), yağış şiddeti (ortalama şiddet, mm/h), yağışın toplanma zamanı (dakika) ve olayın tekerrür süresi arasında ilişkiyi göstermektedir (Şekil 3.2). Olayın tekerrür süresi (burada yağış şiddeti ve derinliği) ne oranda/ne şiddette olduğunu göstermekte ve yıllık aşılma olasılığının tersi olarak tanımlanmaktadır. i yağış şiddeti (mm/h), d yağış süresi (dakika), T tekerrür süresi (yıl) olarak ifade edilir. ŞST grafiğindeki yağış şiddeti, T ve d değişkenlerinin fonksiyonudur:

$$i = f(T, d) \quad (3.5)$$

Koutsoyiannis ve ark, (1998), ŞST eğrisindeki yağış şiddeti i 'nin elde edilmesinde aşağıdaki ampirik yaklaşımı sunmuşlardır:

$$i = \frac{a}{(d^v + b)^e} \quad (3.6)$$

Burada d yağış süresini, a , b , e ve v ise negatif olmayan katsayıları göstermektedir. 3.6 denkleminde $v=1$ ve $e=1$ alınrsa Talbot denklemi; $v=1$ ve $b=0$ alınrsa Bernard denklemi; $e=1$ alınrsa Kimijama denklemi ve $v=1$ Sherman denklemi elde edilmektedir. Sayısal çalışmalar, $v=1$ alınarak elde edilen aşağıdaki denklemin kullanılması halinde oluşması muhtemel hataların azaldığını göstermiştir (Nhat ve ark., 2006):

$$i = \frac{a}{(d + b)^e} \quad (3.7)$$

Yağmurun birim zamanda birim alana bıraktığı su hacmine yağmur verimi denir. Yağış şiddeti (i) (mm/dakika) olmak üzere I yağış verimi (lt/sn/ha);

$$I = 166,7 \times i \quad (3.8)$$

şeklinde hesap edilir.

3.2.2. Yağışın Şiddeti ve Periyodu

Aşılma olasılığı, belirli bir derinlik ve süreye sahip bir olayın aşılma ihtimalini gösterir. Tekerrür süresi ise aynı derinliğe ve süreye sahip yağışlar

arasındaki ortalama süre uzunluğudur. Aşılma olasılığı (p) ve tekerrür süresi (T) arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir:

$$p = \frac{1}{T} \quad (3.9)$$

ŞST eğrilerinde genel olarak verilen tekerrür süresi ile ilgili bilgiler kullanılarak aşılma olasılığı ve frekans değerleri aşağıdaki tabloda gösterildiği gibi hesaplanabilir.

Çizelge 3.1. Tekerrür süreleri ve aşılma olasılıkları

Tekerrür Süresi T (yıl)	Aşılma Olasılığı p
2	0.5
5	0.2
10	0.10
25	0.04
50	0.02
100	0.01
500	0.002

Örneğin, belirli bir süre ve yükseklikte yağışın %1 oranında meydana gelme ihtimali varsa herhangi bir yılda 0.01 aşılma olasılığına ve 100 yıllık bir tekerrür süresine sahiptir. Yağış olayı rastgele bir olaydır ve 100 yıllık bir olayın meydana gelebileceği sonlu olasılık vardır. Tekerrür süresi 100 yıl olan yağış olayı üst üste iki yıl da meydana gelebilir veya 500 yıllık periyotta da hiç oluşmayabilir.

Verilen bir T_0 rasat süresinde, şiddeti verilen bir değere eşit veya ondan daha büyük olan yağışlar n defa gözleniyorsa, ortalama her T senede bir bu yağışa eşit veya daha büyük şiddette bir yağış meydana gelecek demektir. n_h yağış

tekerrürü olmak üzere yağışın tekerrür periyodu T aşağıdaki gibi hesap edilir (Muslu,1993):

$$T = \frac{T_0}{n_h} \quad (3.10)$$

Yağışın frekansı ise aşağıdaki gibi bulunur:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{n_h}{T_0} \quad (3.11)$$

Örneğin bir istasyonda, 40 yıllık yağış kayıtlarında şiddeti 1 mm/dk'ya eşit veya daha büyük olan bir yağış 8 defa gözlemlenmiş ise, bu yağışın ortalama tekerrür periyodu T=5 yıl ve frekansı f= 0,2 yıl⁻¹ olacaktır.

Tekerrür süresi yerleşim yerinin özelliğine bağlı olarak Çizelge 3.2'de sunulmuştur (Şekerdağ,2014):

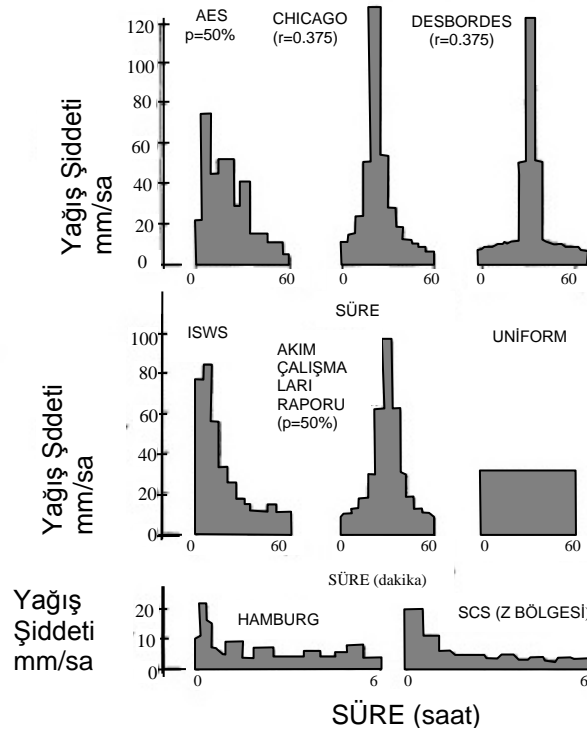
Çizelge 3.2. Yerleşim yerlerine göre hesap yağmur tekerrürleri

Yerleşim yeri	Hesap yağmuru tekerrürü, n _h
Küçük kasaba ve kırsal yerlerde	2
Kasabalarda	1-0,5
Şehirlerde	0,5-0,2
Büyük şehir merkezlerinde	0,2-0,05

3.2.3. Yağış Şiddet-Süre-Frekans Bağıntısı ve Eğrisi

Bir yağış şiddet, süre ve tekerrür eğrisi (ŞST) çeşitli süreler için belirli yağış yineleme aralığına karşılık gelen yağış şiddetini gösterir (Şekil 3.2). Genellikle bu tür grafiklerde, 2-5-10-25-50 ve 100 yıllık tekerrür sürelerine ait

- 4- Keifer&Chu Modeli (Chicago Metodu)
- 5- Pilgrim-Cordery Dağılımı
- 6- SCS Dağılımı (Toprak Koruma Servisi) Modeli
- 7- Huff's Quartile Dağılım Modelleri
- 8- NOAA (Ulusal Okyanus ve Havacılık Yönetimi) Modeli
- 9- Üniform Model



Şekil 3.3. Tasarımı seçilen dağılımların hietografları (Marsalek,1984)

Bu çalışmada 0-3 saatlik yağışlar için en iyi sonucu veren Keifer&Chu (Chicago Metodu) yağış dağılımı kullanılmıştır.

3.2.5. Kiefer&Chu (Chicago Metodu)

Bir sentetik hidrograf ile şiddet, süre ve tekerrür eğrisi arasında ampirik bir ilişkinin kurulmasını sağlayan Chicago Metodu yağış süresi 0-3 saat arasında değişen yağışlar için uygundur (McKelvie 1982).

Chicago Metodu; (i) birbirinden farklı sürelerde meydana gelen en yüksek yağışı, (ii) pik yağış şiddetini oluşturan ortalama yağış miktarını ve (iii) rölatif pik şiddetin zamanını hesaplamalarda dikkate alır. Rölatif pik şiddeti şeklinde hesap edilir. Burada t_d ölçülen en büyük yağış şiddetini ifade etmektedir. r değeri, geçmişte yaşanan birbirinden farklı fırtınalar ve tasarım hiyetografi için kullanılan i 'nin ortalama değerleri kullanılarak aşağıdaki gibi belirlenmektedir:

$$\begin{aligned} \tau = t_p - t \text{ ve } p = r & \quad t \leq t_p \quad \text{için} \quad (3.12) \\ \tau = t - t_p \text{ ve } p = 1 - r & \quad t > t_p \quad \text{için} \end{aligned}$$

Tasarım hiyetografi için kullanılan yağış şiddetinin ortalama değeri de aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$i = \frac{a \left[(1-b)(\tau/p)^b + c \right]}{\left[(\tau/p)^b + c \right]^2} \quad (3.13)$$

t zamanlı i ortalama yağış şiddetinin hesabındaki a , b ve c sabitleri ŞST eğrisine uygun olacak şekilde belirlenmektedir (Marsalek,1984). Rölatif pik şiddeti r , ele alınan bölgeye göre 0.294-0.480 arasında değişmektedir. Bu çalışmada Chicago yönteminde varsayılan değer olarak kullanılan $r=0.375$ değeri esas alınmıştır.

3.3. Arazi Yapısı

3.3.1. Yağmursuyu Havza Karakteristiği

Tasarımı etkileyen faktörlerin bölgeden bölgeye değişmesinden dolayı hidrolojik tasarımlar birbirinden farklıdır. Bu yüzden tasarımı etkileyen bölgesel faktörlerin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Hidrolojik çevrimi karakterize eden bu faktörler problemin belirlenmesi ve çözülmesi noktasında önemlidir. Buna ilave olarak havzanın büyüklüğü, havzanın eğimi, havzanın kullanılma biçimi, depolama kapasitesi, havzanın bitki örtüsü ve ana mecranın uzunluğu da tasarım açısından önemlidir. Havza hidrolik tasarım yöntemlerine girdi olarak kullanılan özellikler arasında drenaj alanı, havza veya kanal uzunluğu gibi doğrusal ölçümler, havza şekli havza veya kanalın eğimi, drenaj modeli, kanal pürüzlülüğü ve kesitsel özellikler, akış parametrelerinin zamanı ve arazi örtüsü bulunmaktadır (McCuen, 1998).

Coğrafi birim olan akarsu havzası (su toplama havzası, drenaj havzası) yağışların meydana getirmiş olduğu akışını bir akarsu üzerinde alınan bir çıkış noktasına gönderen yüzey olarak tanımlanır. Havzayı, üzerine düşen yağışı çıkış noktasındaki akış haline dönüştüren bir sistem şeklinde de tanımlanabilir. Bir havzayı komşu havzalardan ayıran su ayırma çizgisinin topoğrafik ayırma çizgileriyle çakıştığı, yani çıkış noktasından başlayarak arazideki en yüksek noktalardan geçtiği kabul edilebilir. Bu tanımlama yeraltı akışı için de her zaman doğru olmayabilir. Karstik bölgelerde ve basınçlı akiferlerde yeraltı suyu ile beslenen bölge yüzeysel akış ile beslenme bölgesinden farklı olabilir. Bununla birlikte birçok havzada yüzeysel akış ve yeraltı akışı açısından havzanın sınırlarının aynı olduğu kabul edilebilir (Bayazit,1991).

Akarsu havzalarını birbirlerinden ayıran havza karakteristikleri mevcuttur. Havza üzerine düşen yağışın çıkış noktasındaki akışa dönüştürülmesi havza karakteristiklerine bağlıdır. Bu nedenle bir havzanın jeomorfolojik özellikleriyle hidrolojik özellikleri arasında yakın bir ilişki söz konusudur. Havza karakteristikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

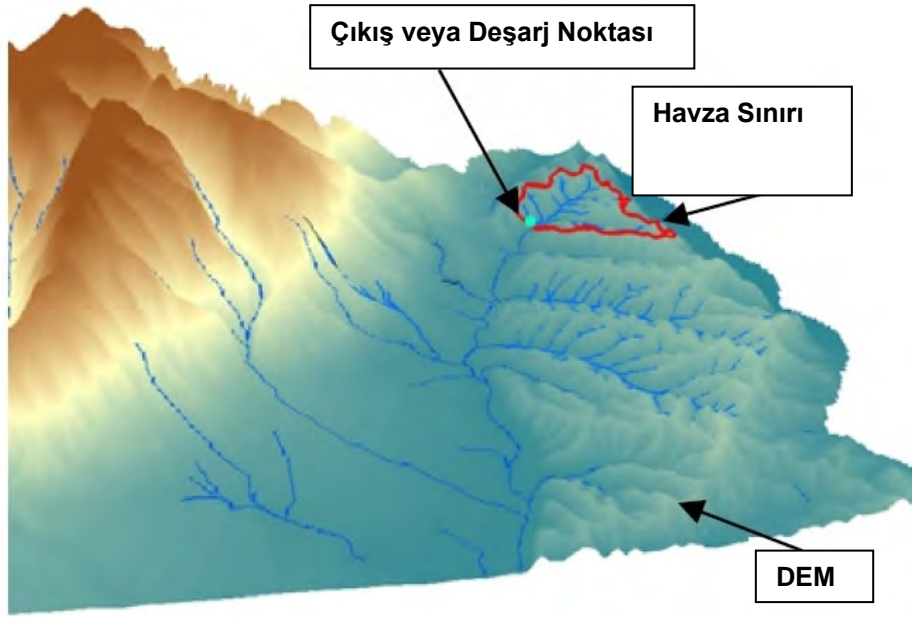
1. **Zemin cinsi ve jeolojik yapı:** Havzanın jeolojisi ve zemin cinsi havzanın morfolojik özelliklerini belirlediği gibi yüzeysel akışın zemine sızmasını ve aynı zamanda yeraltı akışını da etkiler.
2. **Bitki örtüsü:** Terleme ve tutma kayıplarını belirlediği gibi havza yüzeyindeki akışın miktarını ve akışın hızını etkiler. Buna ilave olarak sızma kapasitesini de değiştirebilir.
3. **Havzanın büyüklüğü:** Havzanın alanı ile ifade edilir. Küçük havzaların birim alanından gelen maksimum debi büyük havzalara göre rölatif olarak daha büyük olur. Küçük havzalarda akışın yıl içinde dağılımı daha düzensizdir. Havza büyüdükçe geçiş süresi de büyür.
4. **Havzanın biçimi:** Akarsu havzaları çeşitli biçimlerde olabilirler. Havzanın biçimi hidrografın şeklini ve pik debisini etkilediği için önemlidir. Havzanın biçimini belirlemek için aşağıda sunulan çeşitli boyutsuz büyüklükler kullanılabilir:
 - a) **Biçim katsayısı:** L^2/A şeklinde tanımlanan boyutsuz bir katsayıdır. Burada A havza alanını, L mecra uzunluğunu (yatağın en derin noktalarını birleştiren çizgi) göstermektedir. Biçim katsayısının büyük olması havzanın uzun ve dar olduğunu gösterir. Genellikle büyük havzalarda bu katsayı daha büyük değerler alır.
 - b) **Gravelius katsayısı:** Havzanın çevre uzunluğunun havza ile aynı alana sahip dairenin çevre uzunluğuna oranı şeklinde tanımlanmaktadır: $P/2\sqrt{\pi A}$ Burada P çevre uzunluğu, A havza alanıdır.
 - c) **Schumm katsayısı:** Havza ile aynı alanda bir dairenin çapının L akarsu uzunluğuna oranıdır: $2\sqrt{A\pi}/L$. Bu katsayının değeri 0,6–1 aralığında değişir.
 - d) **Eşdeğer dikdörtgenin boyutları:** Havza ile alanı ve çevre uzunluğu aynı olan bir dikdörtgenin kenar uzunluklarıdır.

- e) Havzanın alanının, çevre uzunluğu havzanın çevresi ile aynı olan bir dairenin alanına oranı da havzanın biçimini ifade eder.
5. **Havzanın eğimi:** Havzanın memba-mansap arasındaki kot farkının havza uzunluğuna oranı şeklinde tanımlanır. Topoğrafik haritadan tesviye çizgileri yardımıyla hesaplanır. Havzanın eğimi arttıkça, akışın yıl içinde dağılımının düzensizleştiği, geçiş süresinin küçüldüğü, birim alandan gelen maksimum debinin arttığı görülür.
6. **Havza alanının çıkış noktasından olan uzaklığa göre dağılımı:** Bir yağıştan sonra çıkış noktasında görülen akışın zaman içinde dağılımını (hidrografın şeklini) etkilemesi bakımından önemlidir.
7. **Havzanın ortalama kotu:** Hipsometrik eğrilerden havzanın ortalama kotu hesaplanabilir. Bu kot özellikle havzadaki yağış miktarını ve sıcaklık derecesini etkiler. Aynı zamanda bitki ve kar örtüsü de havzanın ortalama kotuyla ilişkilidir (Bayazıt, 1991).

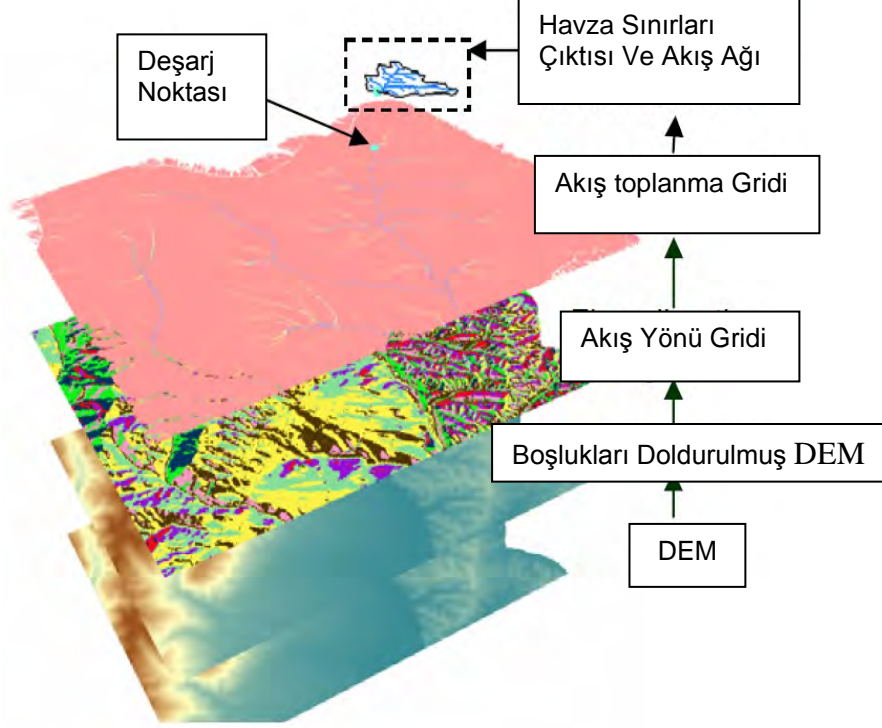
Havza drenajı veya kentsel yağış sularının uzaklaştırılması modellerinde olduğu gibi havza alanının ve alt toplama alanlarının doğru bir şekilde belirlenmesi çok önemlidir. Gelişen bilgisayar teknolojisi ile birlikte bu alanların doğru bir şekilde belirlenmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Dünyadaki birçok bölge için yükseklik verileri, kontur haritaları (tesviye eğrileri) şeklinde analog formda bulunmaktadır. Bu kontur haritaları, çeşitli programlar kullanılarak dijital eş düzey eğrilerine dönüştürülür. Noktasal interpolasyon yöntemi uygulanarak tesviye eğrileri geçmiş noktalar eşit aralıklarla oluşturulmuş gridler yardımıyla belirlenir (Clarke ve ark. , 1982). Böylelikle Dijital Yükseklik Modeli (DEM) ismi verilen uygun yükseklikte düşey ve yatay yönlerde eşit aralıklı noktaların matrisi elde edilir (Venkatachalam ve ark., 2001).

Coğrafi Bilgi Sisteminde (CBS) süreç topoğrafik grid gösterimi (DEM) ile başlamaktadır (Şekil 3.4.). DEM datalarından coğrafyanın çeşitli hidrolojik özelliklerini temsil eden bir dizi ek grid üretilmektedir (Şekil 3.5). Tüm bu

hidrolojik gridlerden, bir Coğrafi Bilgi Sistemi DEM'in içindeki memba ve mansap noktalarını içeren tüm lokasyonların belirleyerek havzanın sınırlarını ortaya çıkarabilir (Chinnayakanahalli ve ark, 2006).



Şekil 3.4. Çıkış kesiti ve havza sınırlarının yer aldığı Dijital Yükseklik Modeli (DEM) gösterimi (Chinnayakanahalli ve ark., 2006)



Şekil 3.5. Su havzalarının tanımlanması için gerekli hidrolojik gridler (Chinnayakanahalli ve ark, 2006)

CBS'nin olmadığı durumlarda klasik olarak elde edilmiş eş yükselti eğrilerinin yer aldığı haritalar yardımıyla planimetre kullanılarak elle de havzanın drenaj sınırları ve drenaj alanı belirlenebilmektedir. Su akış yolunun havza boyunca deşarj noktasına kadar ölçülen mesafesi, L havza uzunluğunu verir. Başlangıç noktası ile deşarj noktası arasındaki kot farkının L 'ye bölünmesiyle havzanın eğimi elde edilir.

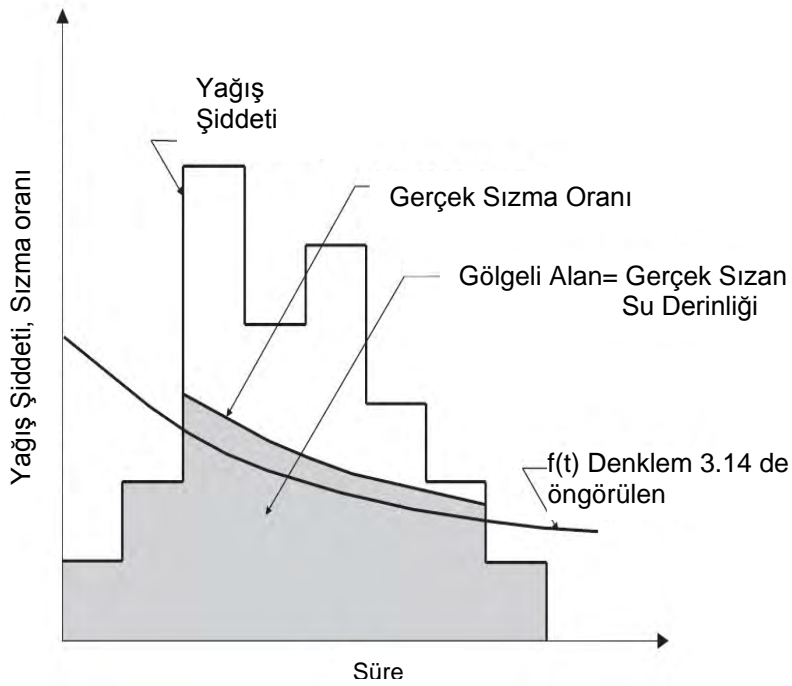
3.3.2. Arazi Örtüsü ve Sızma

Yağmursuyu modellemesinde toprak bilgisi en önemli faktörlerden bir tanesidir. Yağışın yüzeysel akışa geçebilmesi toprağın doymuş hidrolik kondaktivitesi, K_s 'ye bağlıdır. K_s , Green-Ampt yöntemi gibi yöntemlerde sızmayı

hesaplamak için kullanılmaktadır. Yüksek K_s katsayısına sahip kuru bir toprak şiddetli yağışlarda bile çok az ya da hiç yüzeysel akış oluşturmayabilir. Bunun aksine gevşek olmayan nemli toprak neredeyse tüm yağışı yüzeysel akışa çevirebilir (Durrans, 2003).

Sızma, hem yüzeysel akış miktarını bir kayıp şeklinde etkilemesi hem de zemin nemini meydana getirmesi ve yer altı suyunun en önemli kaynağı olması bakımlarından önem taşır. Bu nedenle bir yağış sırasında zemine sızacak su miktarının belirlenmesi gerekir (Bayazit, 1982).

Sızma kapasitesinin belirlenmesi için en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden Horton ve Green-Ampt yöntemlerine ait denklemler aşağıda verilmiştir:



Şekil 3.6. Sızma eğrisi (Durrans, 2003)

Horton Denklemi:

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c)e^{-k(t-t_0)} \quad (3.14)$$

$f(t)$ = Sızma kapasitesi (mm/saat) t zamanda (dakika veya saat)

f_c = Denge durumunda sızma kapasitesinin limit değeri (mm/saat)

f_0 = Başlangıçtaki sızma kapasitesi (mm/saat)

k = Azalma katsayısı (1/dakika veya 1/saat)

t_0 = Sızmanın başladığı zaman (dakika veya sa)

Ampirik olarak geliştirilen Horton Denklemine aksine, Green-Ampt metodu Darcy Kanununun teorik bir uygulamasına (akış hızını toprağın geçirgenliğine bağlar) ve kütlenin korunumuna dayanmaktadır. Elde edilen denklem sızma oranı (f) ile toplam birikmiş sızmayı (F) ters olarak ilişkilendirmektedir (Chow ve ark., 1988).

$$f = K_s \left(\frac{\psi(\theta_s - \theta_i)}{F} + 1 \right) \quad (3.15)$$

Burada;

f = Sızma kapasitesi (cm/saat)

K_s = Doymuş Hidrolik Kondaktivite (Permabilite) (cm/saat)

ψ = Kılcal Emme (cm)

θ_s = Doymuş Koşullar Altında Hacimsel Nem Doygunluğu

θ_i = Başlangıç Koşulları Altında Hacimsel Nem Doygunluğu

F = Toplam Birikmiş Sızma

3.4. Yüzeysel Akış

3.4.1 Yüzeysel Akış Katsayısı

Yağışlardan sonra meydana gelen yüzeysel akış buharlaşma, yer yüzeyindeki çukurlarda toplanma ve zemine sızma gibi nedenlerden dolayı azalır. Yağışın yüzeysel olarak akışa geçen kısmı alanın su verme karakteristiği veya akış katsayısı şeklinde tanımlanır. Uygulamada genellikle yüzeysel akış katsayısı bir drenaj alanı için sabit alınmaktadır. Yağış katsayısının kayıplar ve mevsimsel değişimlere bağlı olmasından dolayı yağış katsayısının daha doğru bir şekilde belirlenebilmesi için bitki örtüsü, alanın jeolojik, hidrojeolojik ve jeomorfolojik özellikleri ile diğer hidrolojik parametrelerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Hall, 1984).

Rasyonel Yöntem 1-1.5 km²'ye kadar iyi sonuç vermekte birlikte 5 km²'ye kadar olan drenaj havzalarında da kullanılabilir. Rasyonel Yöntemin kullanılabilmesi yağışın en az toplanma süresi (geçiş süresi) kadar devam etmesi gerekir. Büyük havzalarda yağışın, geçiş süresi kadar sürmesi ve bütün havza üzerine üniform dağılıma olasılığı azaldığından bu metot kullanılmaz. Su toplama alanı 500 ha' dan büyükse SCS, Common veya Williams boyutsuz hidrograf yöntemler, veya Mockus, Sneyder sentetik birim hidrograf yöntemleri kullanılabilir. Ülkemizde bu metotların seçiminde havza alanı, havza eğimi, bitki örtüsü, zemin yapısı ve benzeri havzanın hidrolojik özellikleri göz önüne alınarak uygulamayı denetleyen idarenin görüşü alınmaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017).

Rasyonel yöntemde kullanılan yüzeysel akış katsayısı arazi kullanımı, yüzey kaplaması ve nüfus yoğunluğuna göre sırasıyla Çizelge 3.3, Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Arazi kullanımına (yerleşim türüne) göre çeşitli yüzeysel akış katsayıları (ASCE,1992)

Tanımlanan Alan	Yüzeysel Akış Katsayısı, C
İşyeri	
Merkezi	0,70-0,95
Civarı	0,50-0,70
Konut	
Tek Aile	0,30-0,50
Çok Katlı- Ayrık	0,40-0,60
Çok Katlı- Bitişik	0,60-0,75
Kenar kent (Gecekondu)	0,25-0,40
Endüstriyel	
Hafif	0,50-0,80
Ağır	0,60-0,90
Park ve Mezarlıklar	0,10-0,25
Çocuk Parkı	0,20-0,35
Demiryolu Sahası	0,20-0,35
İyileştirilmemiş (Toprak)	0,10-0,35

Çizelge 3.4. Yüzeysel kaplamasına göre yüzeysel akış katsayıları (ASCE,1992)

Kaplama Türü	Akış Katsayısı, C
Yüzeysel Kaplaması	
Yol Kaplaması	
Asfalt ve Beton	0,70-0,95
Tuğla	0,70-0,85
Çatılar	0,75-0,95
Çimenlik, Kumlu Topraklar	
Düz, %2	0,05-0,10
Orta, %2-7	0,10-0,15
Dik, > %7	0,15-0,20
Çimenlik, Ağır Toprak	
Düz, %2	0,13-0,17
Orta, %2-7	0,18-0,22
Dik, > %7	0,25-0,35

Çizelge 3.5. Nüfus yoğunluğuna göre yüzeysel akış katsayıları (Butler, 2004)

Alanın Tanımı	Nüfus Yoğunluğu (kişi/ha)	Yüzeysel Akış, C Katsayı Aralığı
Apartmanlar	500-1000	0,80-0,90
	250-1000	0,70-0,80
	150-250	0,60-0,70
Bitişik Evler	50-150	0,50-0,60
Müstakil Evler	20-50	0,30-0,40
Yerleşilmemiş Alanlar, Parklar, Mezarlıklar vs.	20'den az	0,10-0,30
Yüksek değerli iş ve ticaret alanları	20'den az	0,80-0,90
Yönetim ve İdare alanları	20'den az	0,80-0,90
Sanayi Alanları		0,50-0,80
Havaalanları da dahil olmak üzere diğer özel alanlar		0,50-0,60

Yukarıdaki çizelgelerde verilen C akış katsayısı değerleri 2 ila 10 yıllık yağış tekerrürlerine göre sunulmaktadır. Daha yüksek yağış tekerrürlerinde “yağış faktörü” kullanılmaktadır. Bu düzeltme değerleri Çizelge 3.6’da sunulmuştur.

Çizelge 3.6. Rasyonel formülle birlikte kullanılan “Yağış Faktörü” (İSKİ Şartnamesi)

Tekerrür Yılı	Yağış Faktörü
2-10	1,00
25	1,10
50	1,20
100	1,25

3.4.2 Yağış Toplanma Süresi

Yağışın toplanma süresi, sürekli bir yağış esnasında havza alanına düşen yağış ile meydana gelen akışın denge haline gelene kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Toplanma süresi, yağış şiddetinin belirlenmesinde en önemli parametrelerden biridir. Bu sürenin belirlenmesinde çok sayıda ampirik formül

geliştirilmiştir. Bu ampirik formüller havza eğimi, havza genişliği, yüzey pürüzlülüğü ve yağış şiddeti ile ilintilidir.

Toplanma süresi (t_t), giriş süresi (t_g) ve akış süresinin (t_a) toplamından meydana gelmektedir.

3.4.3 Yağış Giriş Süresi

Yüzeysel akışa geçen yağmur suyunun eğim doğrultusunda en yakın su alma yapısına ulaşana kadar geçirdiği süre t_g giriş süresi olarak ifade edilmektedir. Meskun mahallerde yağışın cadde ağızlıklarına (ızgara) ulaşana kadar geçen bu sürenin hesabında 4ha alandan ve 0.01 eğimden küçük havzalarda yaygın olarak Hathaway ve Kerby denklemi kullanılmaktadır.

$$t_g = 1,44 \left(\frac{L \times r_k}{S^{1/2}} \right)^{0,467} \quad (3.16)$$

t_g : Yüzeysel akış süresi (dakika)

L: Yüzeysel akış uzunluğu (m)

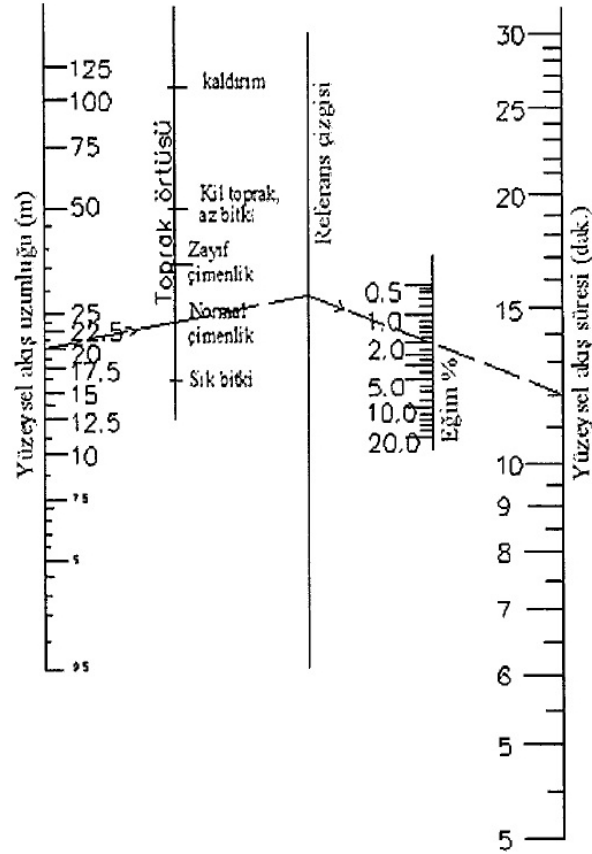
r_k : Boyutsuz gecikme katsayısı, (0,02-0,60)

S: Arazi eğimi

Çizelge 3.7. Kerby denkleminde göre gecikme pürüzlülük katsayısı (R) (Pazwash, 2016)

Yüzey	R
Pürüzsüz Kaplama	0.02
Asfalt/Beton	0.05-0.15
Taşsız Pürüzsüz Toprak	0.10
Hafif Çim	0.20
Orta Dereceli Sert Zemin Üzerine Sert Çimen	0.20
Ortalama Çimen	0.40
Yoğun Çim	0.17-0.80
Yoğun Çimen	0.17-0.30
Bermuda grass	0.30-0.48
Yaprak Döken Ormanlık Arazi	0.60
İğne yapraklı Ormanlık Arazi, Yoğun Çimen	0.60

t_g süresi Şekil 3.7'de verilen nomogram yardımıyla da elde edilebilir.



Şekil 3.7. Yüzeysel akış süresinin belirlenmesiyle ilgili nomogram (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017)

Yüzey eğimine giriş süreleri Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Yüzey eğimine göre giriş süreleri (İSKİ Şartname)

Arazi Türü	Giriş Süresi (dakika)
Dik eğimli meskun alanlar $S > 1/20$	5
Normal meskun alanlar $1/20 > S > 1/50$	10
Düz meskun alanlar $1/50 > S$	15

3.4.4. Yağış Akış Süreleri

Yağış akış süresi, cadde ağızlıklarına giriş yapan yağış sularının kanal içerisinden geçerek deşarj noktasına ulaşana kadar geçirdiği süreyi ifade etmektedir. Genel olarak hesaplamalarda aşağıda gösterilen “Hız Metodu” kullanılmaktadır.

$$t_a = \frac{L}{60 \times V} \quad (3.17)$$

t_a : Akış süresi (dakika)

L : Yağmursuyu şebeke uzunluğu (m)

V : Boru içindeki suyun akış hızı (m/sn)

Yapılan çalışmalarda hızın bilinmediği bölgeler için aşağıda gösterilen Kirpich denklemi kullanılmaktadır (Pazwash, 2016).

$$t_a = \frac{0,21 \times L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (3.18)$$

t_a : Akış süresi (dakika)

L : Yağmursuyu şebeke uzunluğu (m)

S : Kanal eğimi (m/m)

3.5. Rasyonel Yöntem

Lloyd-Davies metodu olarak da anılan Rasyonel Yöntem 1851 yılında Birleşik Krallıkta Mulvaney tarafından geliştirilmiştir. Bir yağış olayı için öngörülen pik akış değeri için yağış şiddeti verileri ve havza karakteristiği kullanılarak tahmin edilen pik akışın dengeli yaklaşımına dayanmaktadır. Bu

yöntem aslında hidrolojik literatüre Kuichling (1889) tarafından sunulmuş ve o tarihten sonra da Amerikan hidrolojisine esas oluşturmuştur. Rasyonel yöntem basitliği nedeniyle ve deşarjı için gerekli pik değerler gerektiğinden yağmursuyu şebekelerinin tasarımında özellikle popülerdir. En temel düzeyde rasyonel yöntem havzaya giren su debisi ile çıkan su debisi arasında bir dengenin (kararlı hal) olduğunu varsayar (Durrans,2003). Düz ve geçirimsiz A yüzey alanına sahip bir havzaya düşen yağış yüksekliği P ile gösterilirse bu durumda suyun hacmi havza alanı ile yağış yüksekliğinin çarpımına eşit olacaktır. Bir yağmursuyu hattının giriş noktasına kadar ilerleyen yüzeysel akışın kararlı durumunu koruması için aynı debide devam etmesi beklenir. Yağmursuyu altyapısı bu yağışın hacmini kararlı duruma sabit bir t zamanında taşıyacaktır (Buttler,2004). Böyle bir durumda Q akış debisi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Q = \frac{P \times A}{t} \quad (3.19)$$

yağmur şiddeti $i=P/t$ olmak üzere denklem aşağıdaki gibi de ifade edilebilir:

$$Q = i \times A \quad (3.20)$$

Yukardaki debi denklemi geçirimsiz yüzeyler için çıkarılmış denklemdir. Havzalar tamamen geçirimsiz olmadığından yağışın başlangıcı ve sonrasında meydana gelen kayıplar yüzeysel akış katsayısı C ile temsil edilmektedir. Bu durumda debi;

$$Q = C \times i \times A \quad (3.21)$$

şeklinde hesap edilir. Burada;

Q = Akışa geçen debi (lt/s)

i = Yağış şiddeti (mm/saat)

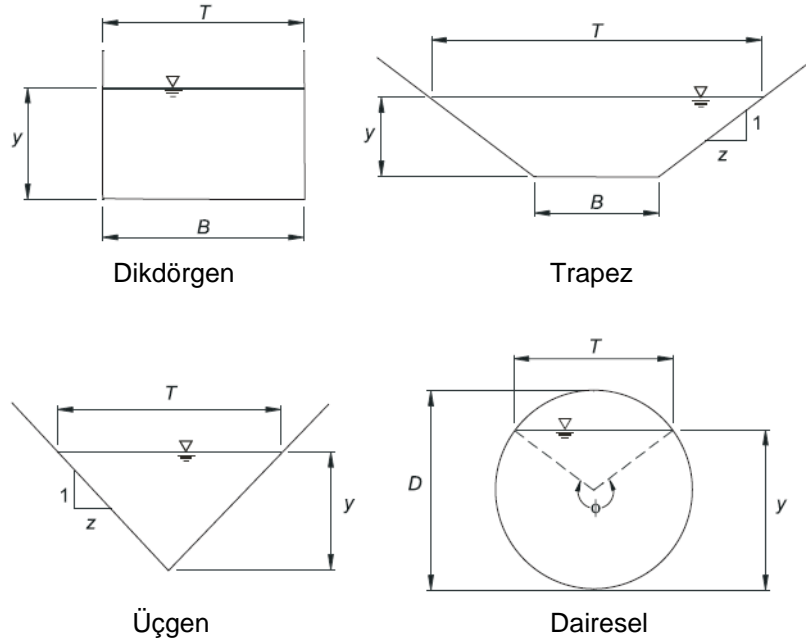
A = Havza alanı (ha)

3.6. Yağmursuyu Drenaj Sisteminin Hidrolik Tasarımı

Akışa geçen maksimum debinin hesaplanması ile yağmursuyu borularının çap, eğim, uygun boru kaplama materyali ve doluluk oranlarına karar verilmektedir. Hidrolik tasarım yaparken toplam enerji denklemi esas alınmaktadır. Kentsel yağmursuyu drenaj sisteminin hidrolik tasarımında genellikle akışın kararlı ve üniform olduğu kabul edilir. Bu nedenle boru boyunca su derinliğinin ve deşarj noktasındaki hızın zamanla değişmediği kabul edilir (Pazwash,2016). Taşkın riski olan kırsal bölgelerde yağmursuyu drenaj kanalları genelde açık kanal olarak projelendirilirken nüfus yoğunluğu yüksek kentsel bölgelerde yağmursuyu şebekesi ise yeraltında kapalı kesit drenaj borularıyla teşkil edilmektedir.

3.6.1. Açık Kanal Akımlarının Hidrolik Hesabı

Serbest yüzeyli akımlar olarak da adlandırılan açı kanal akımları, akım ıslak kesitinin katı sınırlarla tümüyle çevrelenmediği ve atmosfer basıncına maruz serbest yüzey gösteren akımlardır. Bu akımlar, doğal ortamlardaki akarsu ve deniz akımları ile sulama, arazi drenajı, su temini ve kanalizasyon sistemlerinde kullanılan her türlü yapay kesitli kaplamalı veya kaplamasız kanallardaki akımları kapsar (Kırkgöz, 2013). Drenaj sistemlerinin tasarımı yapılırken yağıştan akışa geçen yağmursularının yol kenarlarında taşınmasını sağlayan arklarda veya farklı geometrilere inşa edilen açık drenaj kanallarının tamamı bu kapsamda incelenebilmektedir. Şekil 3.8’de verilen farklı en kesitlere sahip prizmatik kanallar için alan, ıslak çeper, hidrolik yarıçap ve hidrolik derinliğin hesabı ile ilgili formüller Çizelge 3.9’da sunulmuştur.



Şekil 3.8. Farklı enkesitler için geometrik parametreler

Çizelge 3.9. Prizmatik açık kanalların kesit özellikleri

Kanal Şekli	Alan (A)	Islak Çevre (P)	Hidrolik Yarıçap (R)	Üst Genişlik (T)	Hidrolik Derinlik (D_h)
Dikdörtgen	By	$B + 2y$	$\frac{By}{B + 2y}$	B	y
Trapez	$By + zy^2$	$B + 2y$	$B + 2y\sqrt{1+z^2}$	$B + 2zy$	$\frac{By + zy^2}{B + 2zy}$
Üçgen	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$	$\frac{y}{2}$
Dairesel ^a	$\frac{D^2(\phi - \sin \phi)}{8}$	$\frac{D\phi}{2}$	$\frac{D}{4} \left(1 - \frac{\sin \phi}{\phi}\right)$	$D \sin\left(\frac{\phi}{2}\right)$	$\frac{D}{8} \left(\frac{\phi - \sin \phi}{\sin(\phi/2)}\right)$

a. ϕ açısı radyan olarak gösterilmiştir. 1 radyan yaklaşık 57 derecedir.

Açık kanallardaki düzenli üniform akım, su ağırlığının hareket yönündeki bileşeni ile sürtünme kuvvetinin denge halinde olduğu akımdır. Akımda ivmelenme olmadığından kanalda kesit şartları ve taban eğimi değişmediği sürece akım ortalama hızı ve derinlik akım boyunca sabittir ve enerji çizgisi eğimi, su yüzü eğimi ve taban eğimi birbirine eşittir. Serbest yüzeyli akımların hidrolik hesabı için aşağıda verilen formüller kullanılmaktadır:

3.6.1.1. Manning Formülü

Drenaj kanalları ve boru kesitinin belirlenmesinde kullanılan Manning Formülü aşağıdaki gibidir:

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right)AR^{2/3}S^{1/2} \quad (3.22)$$

Burada;

Q : Debi (boyutu:L³/T)

n : Manning pürüzlülük katsayısı (boyutu:TL^{-1/3})

R : Hidrolik yarıçapı (boyutu:L)

S : Enerji çizgisinin eğimi (boyutu:L/L)

A : Kesit alanı (boyutu:L²)

Çizelge 3.10. Farklı malzeme tipine göre Manning “n” pürüzlülük katsayı değerleri (Durans,2003)

Kanal Malzemesi	n
Beton Boru	0.011-0.013
Plastik (koruge)	0.022-0.025
Çelik	0.009-0.012
Beton (yerinde döküm)	0.012-0.017
Döküm Demir	0.012-0.014
Tuğla	0.014-0.017
Kil	0.014-0.017
Koruge Metal	0.019-0.032
Plastik (Pürüzsüz)	0.011-0.015

3.6.1.2. Coolbroke-White Denklemi

Tam dolu akışlar için dairesel kesitli borulardaki akım Coolbroke–White Denklemine göre aşağıdaki gibi hesap edilir:

$$V = -2\sqrt{2gDS} \log_{10} \left(\frac{k}{3,71D} + \frac{2,51v}{D\sqrt{2gDS}} \right) \quad (3.23)$$

Burada;

V : Akış kesitindeki ortalama hız

g : Yerçekimi ivmesi

D : Borunun çapı

S: Enerji çizgisinin eğimi

k : Boru pürüzlülüğü

v: Yağmursuyunun kinematik vizkozitesi

Coolbroke–White Denklemi dairesel olmayan kesitlere sahip borular için de uygulanabilir bu durumda borunun çapı D yerine hidrolik yarıçap R kullanılır.

3.6.1.3. Chezy Denklemi (Kutter Sayısı)

Chezy tarafından 1775 yılında akım parçasına uygulanan statik denge denkleminde çıkarılmış akım hızının hesabı ile ilgili denklem aşağıdaki gibidir:

$$V = C_c \sqrt{RS_f} \quad (3.24)$$

Burada C_c , Chezy'nin pürüzlülük katsayısını ifade eder.

C_c pürüzlülük katsayısını bulabilmek için Ganguillet and Kutter (1869) tarafından aşağıdaki ifade önerilmiştir:

$$C_c = \frac{41,65 + \frac{0,00281}{S} + \frac{1,811}{n}}{k_k + \left(41,65 + \frac{0,00281}{S}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad (3.25)$$

S :Enerji çizgisinin eğimi

n_k : Kutter sayısı

k_k : SI birim sistemine göre 1,811 alınan bir sabit.

3.7. Yağmursuyu Yapı Elemanları ve Proje Standartları**3.7.1. Borular**

Yağmursuyu cadde ağızlıklarından deşarj noktasına kadar iletimini sağlayan borular kullanılan malzeme, doluluk oranı, eğim ve çaplarına göre farklı standartlarda projelendirilmektedir.

3.7.1.1. Doluluk Oranı

Yağmursuyu drenaj sisteminde kullanılan boruların doluluk oranları ülkemizde farklı kurumlarda farklı standartlarda tanımlanmaktadır. Bursa Su Ve

Kanalizasyon İdaresi %85, Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi %90, İlbank %85 olarak belirlerken İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi %80, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ise %90'a kadar olan doluluğu uygun görmektedir. Adana Su ve Kanalizasyon İdaresi ise %85-100 değişen oranlarında projelendirmektedir.

3.7.1.2. Eğimler

Yağmursularının boru içerisinde cazibeyle taşınabilmesi için borulara akım yönünde eğim verilerek akımın enerjisi idealize edilmeye çalışılır. Borular, suyla taşınan katı maddenin içinde birikmemesi için yüksek eğim; akım hızının aşındırma etkisinden korunmak için de düşük eğimli olarak projelendirilir. Boru eğimleri akımın hızına ve arazi eğimine göre değişkenlik gösterir ve genellikle borular, akım hızı minimum 0,5 m/s, maksimum 5 m/s olacak şekilde projelendirilir. Farklı boru çapları için minimum ve maksimum boru değerleri aşağıda sunulmuştur:

Çizelge 3.11. Farklı boru çaplarında beton borulara verilebilecek eğim sınır değerleri

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

3.7.1.3. Boru Çapları

Yağmursuyu drenaj sistemlerinde kullanılan boruların çapları hidrolik tahkikler sonucunda belirlenmektedir. Yağmursuyu şebekeleri için kullanılan minimum boru çapı 300 mm'dir. Şebeke için 300-600 mm beton borular kullanılırken kollektörler için ise 700-3600 mm çaplı betonarme borular kullanılmaktadır. Cadde ağızlıkları ile şebeke (menhol) arasında döşenen borular genellikle 200-300 mm olmaktadır.

3.7.1.4. Boru Cinsi

Ülkemizde yaygın olarak yağmursuyu drenaj sistemlerinde, boru malzemesi olarak beton veya yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) oluklu (koruge) borular kullanılmaktadır. Çelik borular ise genellikle yol ve köprü geçişlerinde kullanılmaktadır. Beton borular dayanım olarak uzun yıllar kullanabilmesi ve ülkemiz özvarlıklarından üretildiği için ön yatırım maliyeti

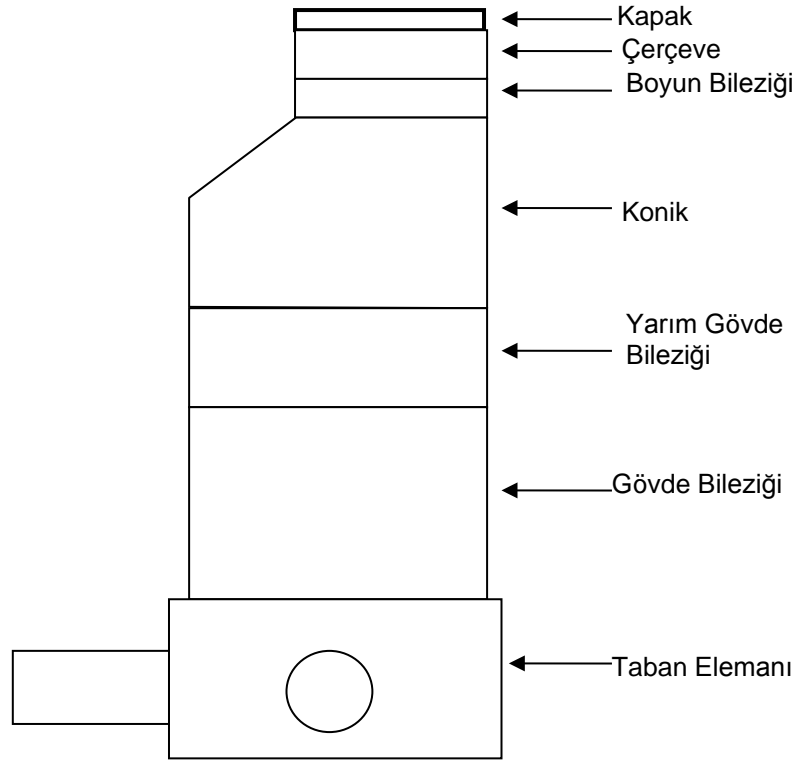
açısından avantajlıdır. Ayrıca beton borular ile cadde ağızlıklarından gelen ek bağlantıların şebeke hattına istenilen noktadan bağlanması kolaydır. Genellikle beton borular fabrikalarda 1,5 m (bir boy) uzunluğunda muflu imal edilmektedir. Koruge borular ise sızdırmazlık, taşınma kolaylığı, hendek dışında birleşiminin yapılabilmesi ve su ile taşınan kimyasal maddelerin yaratacağı korozyona karşı dayanıklı olması avantajına karşın petrokimyevi malzemelerden üretildiği için ön yatırım maliyeti yüksektir. İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, deprem riskinin fazla olduğu bölgelerde, dolgu alanlarında, beton boru için uygun zemin koşullarının olmadığı durumlarda HDPE koruge boru ve cam elyaf takviyeli plastik (CTP) borular kullanılmaktadır. Diğer bölgelerde ise 600 mm çapa kadar boruya kadar beton boru, daha büyük çaplarda ise betonarme boru kullanılmaktadır.

3.7.2. Muayene Bacaları

Yağmursuyu drenaj sistemi projelendirilirken boru çaplarının değişim gösterdiği, farklı yönlerden gelen boru bağlantılarının yapılması gerektiği veya hat yönünün değiştirildiği noktalarda özellikle de cadde ve sokakların birleşim yerlerinde muayene bacası inşaa edilmektedir. Muayene bacaları arasındaki maksimum mesafeler boru çapına göre değişiklik göstermektedir. Muayene bacaları arasındaki mesafe, 1200 mm çapa kadar 50-70 m olurken 1200 mm den yüksek borular için işletme sırasında bakım, onarım ve temizlik yapacak kurumun imkanları doğrultusunda 100 m aralıklarla yapılması tavsiye edilmektedir. Arazi eğimlerinin yüksek olduğu yerlerde hızı kontrol altında tutmak amacıyla boru eğimleri için verilen standartlara uymak için baca tabanının yukarisından giriş sağlamak üzere “Şütlü Bacalar” inşaa edilmektedir.

Beton muayene bacalarının yerinde uygulanmasında kazı derinliğine göre ölçülendirilen, Şekil 3.9’da da gösterilen taban elemanı, bilezik, yarım bilezik, konik, boyun bileziği, çerçeve ve kapaktan oluşan elemanlar kullanılmaktadır. Muayene bacalarında giriş sayısına göre 1 giriş 1 çıkış; 2 giriş 1 çıkış; 3 giriş 1 çıkış olmak üzere farklı taban elemanları bulunmaktadır. Uygulamada 800 mm

çapa kadar boruların girişlerine göre prefabrike olarak imal edilen taban elemanı yaygın olarak kullanılmakta ve bunlar hazır olarak bulunabilmektedir. Daha büyük çaplı boruların bağlantılarında ise taban elemanı olarak yerinde betonarme veya ön gerilmeli prekastlar yardımıyla odalar oluşturulmakta ve böylelikle muayene bacası teşkil edilmektedir.

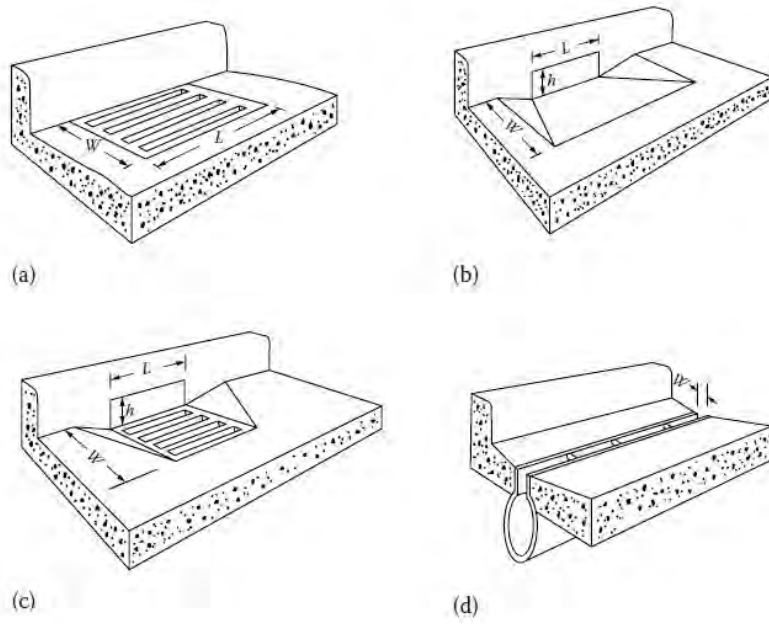


Şekil 3.9. Muayene bacası aksesuarları

3.7.3 Cadde Ağzlıkları

Cadde ağzlıkları, yüzeysel akışa geçen yağmur suyunun giriş yaptığı drenaj hattının en önemli ara elemanlarından birisidir (Şekil 3.10). Cadde ağzlıklarının projede yerleştirilmesi, planlanan bölgede yüzey akışının enine ve boyuna eğimi (caddenin enine ve boyuna eğimi) ile arkın eğimi ve arktaki akım

miktarına göre belirlenmelidir. Cadde ağızlıkları yerleşim yerlerinde küçük çocuklar ve ince tekerlekli araçlar için güvenli olmalıdır. Etkili bir drenaj için yağmur sularının araç ve yaya trafiğine en az zarar verecek biçimde uzaklaştırılması gerekir. Bu amaçla cadde ağızlıkları araç ve yaya trafiğinin güvenli bir şekilde yapılmasına imkan sağlayacak konumda, sayıda ve kapasitede olmalıdır. Temelde dört farklı tip cadde ağızlığı kullanılmaktadır: (a) Bordür kenarlarında yapılan ızgaralı cadde ağızlığı, (b) Bordürlerde açılan bordür girişli cadde ağızlığı, (c) Birleşik girişli cadde ağızlığı, (d) Boyuna doğrultuda yerleştirilen ızgaralarla oluklu girişe sahip cadde ağızlığı (Şekil 3.10).

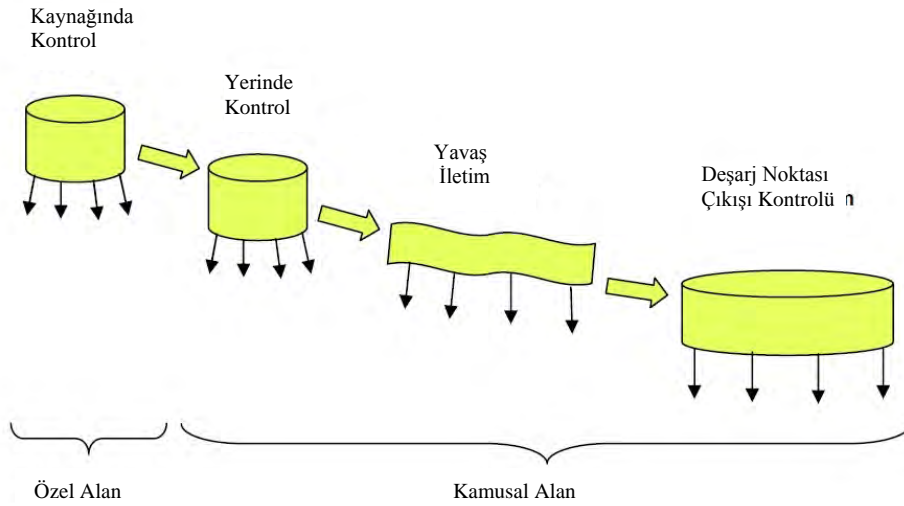


Şekil 3.10. Cadde ağızlığı çeşitleri (Pazwash, 2016)

3.8. Yağmursuyu Geciktirme, Depolama ve İnfiltrasyon Yapıları

Son yıllarda yağmursuyunun kentsel bölgelerden uzaklaştırılmasında klasik yöntemin dışında modern yağmursuyu yönetim sistemleri adı verilen yöntemler (BMPs, LEED, LID, SUDS, WSUD) de kullanılmaktadır. Bu modern yöntemler

şehirlere yaşanabilecek sel felaketlerini minimize ederek şehirlerin altyapıları için en pratik, ekonomik ve uygulanabilir çözümleri hedeflemektedir. Geleneksel yağmursuyu yönetim sistemleri, tüm şehirdeki yağmur suyunu cadde ağızlıkları yardımıyla alarak akım boyunca çap arttırmak suretiyle deşarj noktasına iletmeyi amaçlamaktadır. Klasik sistem küçük yerleşim yerleri için genellikle uygun bir yöntem olmakla birlikte büyük şehirlerde yağmur suyu drenaj sistemini oluşturan borular alanın büyük olmasından dolayı kilometrelerce uzamakta, mansaba doğru gidildikçe çaplar büyümekte buna bağlı olarak hendek genişlikleri artmakta dolayısıyla da ekonomik ve uygulanabilir olmaktan çıkmaktadır. Modern yağmursuyu yönetim sistemi, yağış analizlerinin doğru yapılması, arazi kotlarının belirlenmesi, yağmur suyunun kaynağında infiltre edilmesi, geciktirme ve depolama havuzları gibi bölgesel çözümler üretmesi ile daha sürdürülebilir bir yağmur suyu drenaj şebeke tasarımı anlayışını benimsemektedir. Sürdürülebilir modern bir yağmursuyu yönetim sisteminde yaklaşım Şekil 3.11’teki gibi sıralanarak kategorize edilmektedir:



Şekil 3.11. Sürdürülebilir yağmursuyu drenajı için uygulama basamakları (Stahre, 2005)

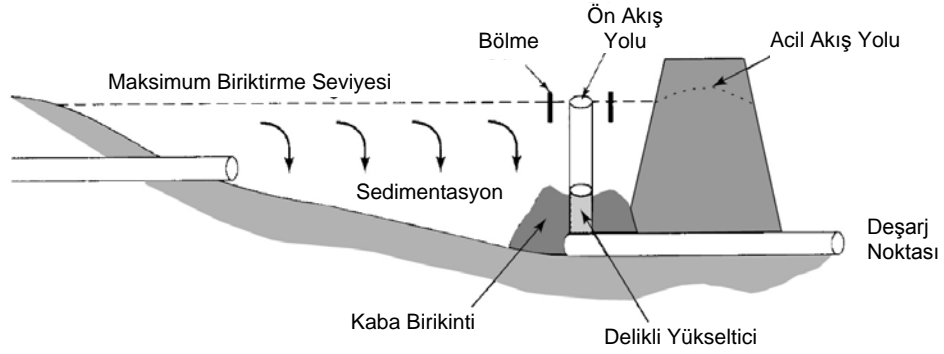
Sürdürülebilir yağmursuyu drenaj sistemlerindeki her bir basamak için teknik olarak yapılabilecek düzenlemeler Çizelge 3.12’de sunulmuştur.

Çizelge 3.12. Sürdürülebilir yağmursuyu drenaj sistemlerinde teknik düzenlemeler

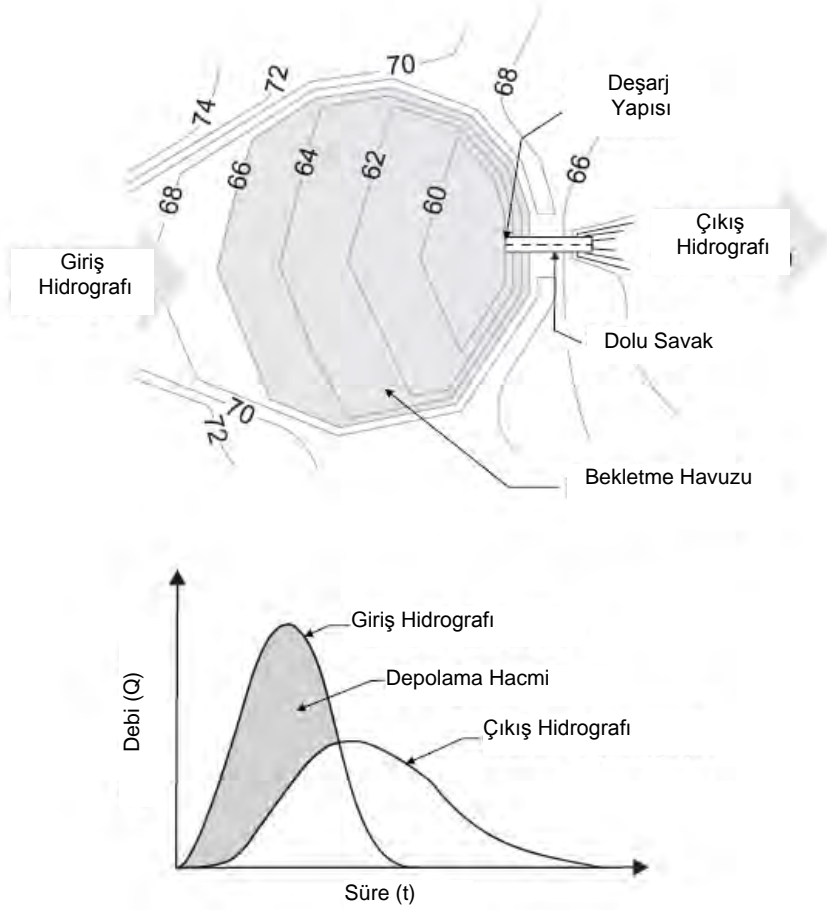
Basamaklar	Örnek Teknik Düzenlemeler
Kaynağında Kontrol (Özel Alan)	Yeşil Çatılar Çimlerde Sızma Taş dolgularda sızma Hendekler Yeniden kullanım için tanklarda yağmur suyu toplanması
Yerinde Kontrol (Kamusal Alan)	Küçük “Kuru Havuzlar” Küçük “Sulak Havuzlar” Taş dolgularda sızma
Yavaş İletim (Kamusal Alan)	Hendekler Beton Kanallar Dereler
Deşarj Noktası Çıkışı Kontrolü (Kamusal Alan)	Sulak Alanlar Havuzlar Göller

3.8.1. Bekletme (Geciktirme) Havuzları

Bekletme havuzları fırtına, sel veya yoğun yağışlarda su akışını tutan, geciktiren ve çıkış noktasında suyu tedrici olarak tahliye eden depolama alanlarıdır. Bekletme havuzları, kamuya açık park alanlarında Şekil 3.12’de gösterildiği gibi yeraltında farklı malzemeler ve geometrilerde inşaa edilebilmektedir.

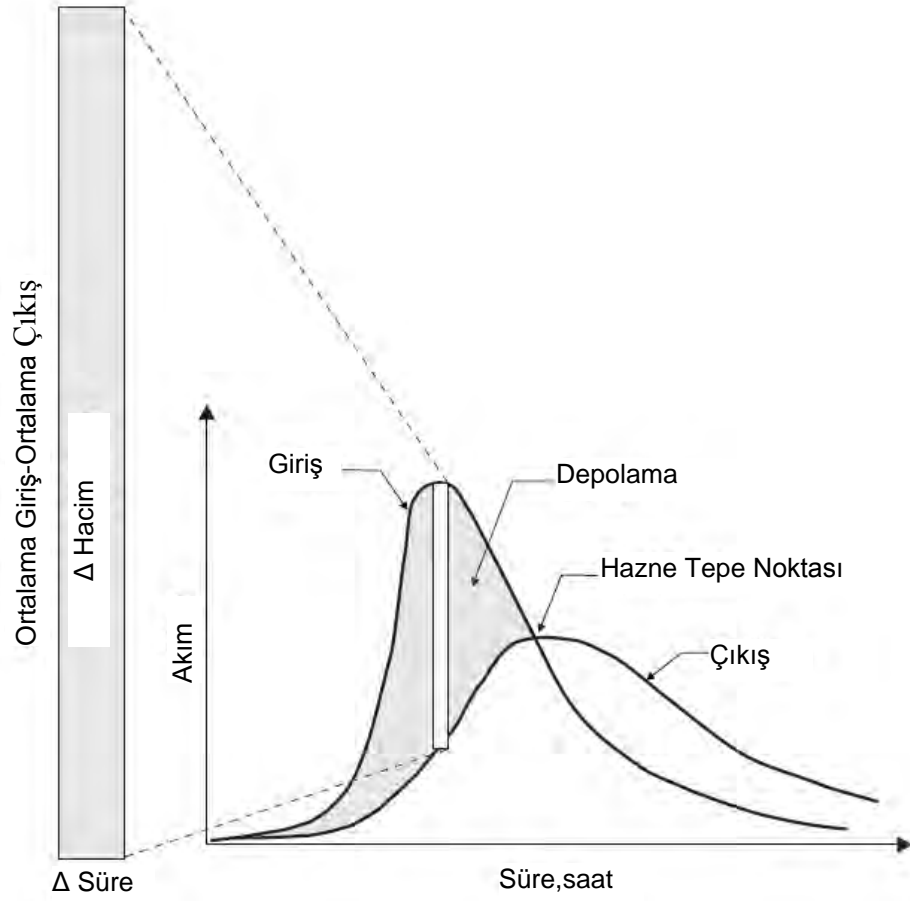


Şekil 3.12. Bekletme havuzu (Mays,2001)



Şekil 3.13. Bekletme havuzunun plan gösterimi ve hidrografi (Durrans,2003)

Yağmursuyu yönetiminde bekletme havuzu tasarımı yapılırken temel hedef girişte pik akış debisini geciktirerek aynı zamanda debi değerini düşürmektir. Öncelikle tasarım aşamasında, diğer kısımları dışında, gerekli akım hidrografının sadece pik deşarj değeri tahmini gerekmektedir. Bekletme havuzu tasarımı yapılırken beklenen çıkış debisi ile giriş debisi arasında bir depolama hacmi tasarımı gerçekleştirilmektedir. Bunun için çıkış (deşarj) noktası sayısına ve geometrisine göre farklı yöntemler kullanılmaktadır. (a) Currey ve Akan yöntemi (1998), (b) Wycoff ve Singh yöntemi (1976), (c) Aron ve Kibler yöntemi (1990) (d) SCS yöntemi (1986), (e) Abt ve Grigg (1978), (f) Baker yöntemi (1979), (g) Kessler ve Diskin yöntemi (1991), (h) McEnroe (1992) (Mays,2001).



Şekil 3.14. Bekletme havuzu hacminin zamanla değişimi (Durrans,2003)

Giriş debisi için farklı tekerrür sürelerine göre farklı hacimler tasarlanmaktadır. Genel olarak ifade edilen Şekil 3.16'da sunulan depolama hacminin hesabı aşağıda verilen kütle korunumu denklemine göre gerçekleştirilmektedir:

$$\frac{dV_h}{dt} = Q_g - Q_c \quad (3.26)$$

Burada;

V_h : Havuzun Depolama Hacmi

t : Süre

Q_g : Havuza giren debi

$Q_ç$: Havuzdan çıkan debi

Şekil 3.14'te gösterildiği üzere depolama hacminin en yüksek değeri giren ve çıkan debilerin birbirlerine eşit olduğu zamanı ifade etmektedir. Aynı zamanda bu nokta su seviyesinin azalmaya başladığı anı göstermedir. Sonlu bir süre için 3.26 denklemi tekrar aşağıdaki gibi düzenlenebilir:

$$(Q_{g1} + Q_{g2}) + \left(\frac{2V_{h1}}{\Delta t} - Q_{ç1}\right) = \left(\frac{2V_{h2}}{\Delta t} + Q_{ç2}\right) \quad (3.27)$$

Q_{g1} : İlk andaki giriş debisi

Q_{g2} : Son andaki giriş debisi

Δt : Toplam geçen süre

V_{h1} : İlk andaki bekletme havuzu hacmi

V_{h2} : Son andaki bekletme havuzu hacmi

$Q_{ç1}$: İlk andaki çıkış debisi

$Q_{ç2}$: Son andaki çıkış debisi

Parabolik eğriler lineerleştirilerek doğrusal hale getirilirse oluşacak üçgenden elde edilecek hacim depolama hacmini verir. Bu hacim yağış sularının meydana getirmiş olduğu debi ile çarpılarak depolama hacmi belirlenir.

Bekletme havuzundaki çıkış kesimi üç şekilde düzenlenmektedir: (a) Orifis tipi, (b) Savak tipi, ve (c) Kuyu tipi çıkış kesiti (Mays, 2001).

Yağmursuyu drenaj sistem tasarımına en uygun dairesel kesitli boru çıkışı için orifis tipi çıkış kesiti olması nedeniyle aşağıda bu tip kesitten çıkan debinin hesabı ile ilgili formüller sunulmuştur.

Orifis tipi çıkışlı bekletme havuzlarında çıkış debisi;

$$Q_{\dot{c}} = C_v A_o \sqrt{2gh} \quad (3.28)$$

$Q_{\dot{c}}$: Havuzdan Çıkış debisi

C_v : Hız katsayısı

A_o : Orifis çıkış kanal enkesit alanı

g : Yerçekimi ivmesi

h : Hazne su seviyesi ile kanal eksen kotu arasındaki fark yüksekliği

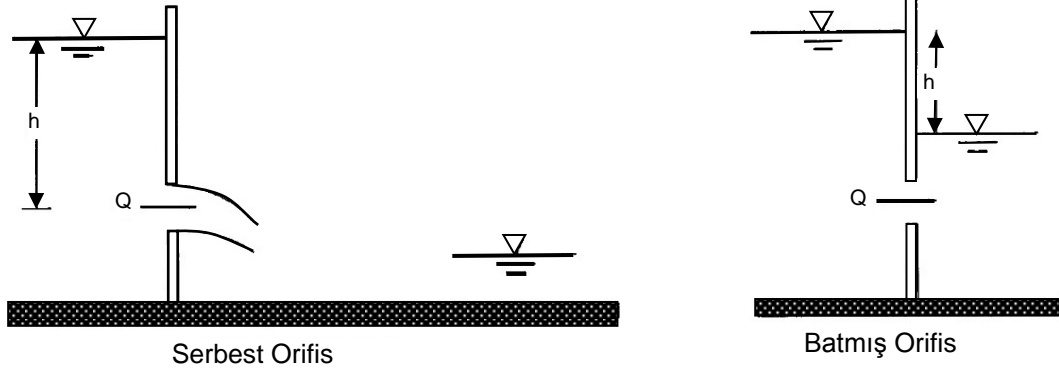
Eğer orifis dairesel çaplı bir boru ise

$$A_o = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3.29)$$

Dikdörtgen kesitli ise;

$$A_o = bc \quad (3.30)$$

b ve c dikdörtgenin kenarlar ölçülerini ifade etmektedir.



Şekil 3.15 Serbest ve batmış orifis

3.8.2. Depolama Havuzları ve Hazneleri

Modern yağmursuyu yönetiminde yağış sularının depolanması öncelikle kaynağında gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Bu yöntem, zemin yüzeyinde ve çatılarda toplanan suların yeraltına ve yerüstüne yerleştirilecek minimal ölçekteki depolama tesislerinde suyun biriktirilmesi esasına dayanmaktadır. Minimal depoların dolması durumunda gerektiğinde depolanan suların otopark veya park alanlarının altına yapılacak depolama havuzlarına aktarılması gerçekleştirilerek yeniden kullanılması da söz konusu olabilir.

Şekil 3.16'da gösterildiği gibi yağmursuyu depolama havuzları, betonarme veya plastik modüler bloklar ile yerinde inşa edilebilirken hazır depoların yerine konulması şeklinde de yapılabilmektedir.

Depolama havuzlarının hacmi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\Delta V_d = \frac{A_1 + A_2}{2} (h_2 - h_1) \quad 3.40$$

ΔV_d : Hacim miktarındaki değişim

h_1 : İlk durumdaki su yüksekliği

h_2 :Son durumdaki su yüksekliği ($h_2 > h_1$)

A_1 : h_1 seviyesindeki su yüzü alanı

A_2 : h_2 seviyesindeki su yüzü alanı

Yukarıda verilen denklem tablo halinde yazılmak istenirse bize belirli su yüksekliğindeki depo hacmini vermektedir. Aşağıda örnek olması amacıyla trapez kesitli bir depolama havuzunun hacmi ile ilgili hesaplar Çizelge 3.13'de sunulmuştur.

Çizelge 3.13. Trapez kesitli depolama havuzunun hacmi ile ilgili örnek

Seviye (m)	Alan (m ²)	$A_n + A_{n-1}$ (m ²)	$h_n - h_{n-1}$ (m)	ΔV_d (m ³)	Kümülatif V_d (m ³)
84.75	0	0	0	0	0
88.75	90	90	4	180	180
95.75	120	210	3	315	495
104.75	150	270	2	330	825
110.75	200	350	6	1050	1875



Şekil 3.16. Modüler sistem depolama havuzu örneği, a) Kesit görünüşü, b) Üst görünüşü (<https://pascoe-ltd.co.uk>)

4. ADANA İLİ MEVCUT YAĞMURSUYU DRENAJ HATLARI

Bu bölümde Adana ili merkezindeki mevcut yağmursuyu drenaj şebeke ve hatları ile ilgili bilgiler sunulmuştur

4.1 Adana İli Yağmursuyu Envanteri

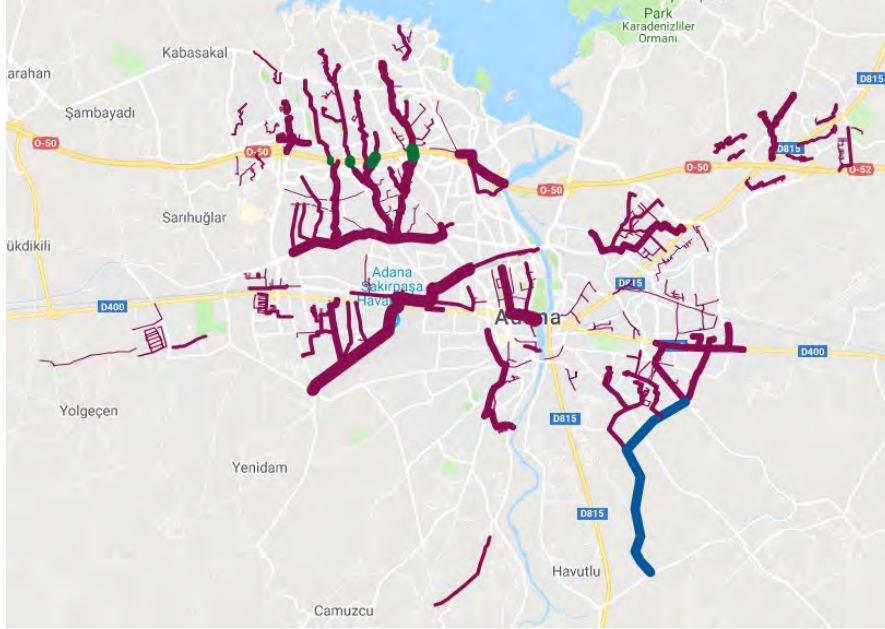
Adana ilini coğrafi olarak ele aldığımızda 35-38 enlemleri ile 34-46 doğu boylamları arasında ve Akdeniz Bölgesi'nde yer almaktadır. Tipik Akdeniz ikliminin özelliklerini taşır; yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. İlde meydana gelen yağışlar, genellikle yamaç yağışları ve gezici hava kütlelerinin karşılaşması ile oluşur. Ortalama yağış miktarı 636 mm'dir. Yılın ortalama 74 günü yağışlı geçer. Yağışların %51'i kış, %26'sı ilkbahar, %18'i sonbahar ve %5'i yaz mevsiminde düşer. Kar yağışı merkezde hemen hemen hiç gerçekleşmemektedir. Adana yüzölçümünün %38'si tarım alanı, % 40 orman alanı, %3 çayır-mera alanı ve %19'u yerleşime açık alanlardan oluşmaktadır (ASKİ 2015-2019 Strateji Raporu). Adana İlının genel görünümü Şekil 4.1.'de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Adana ili genel görünüm

Adana'da ilk kanalizasyon ve yağmursuyu drenaj çalışmaları 1908 yılında şehrin güneyindeki en eski yerleşim alanlarında başlamış olup hendek ve kanallar şeklinde inşaa edilmiştir. 1957-1960 yılları arasında ana kanalizasyon sistemindeki büz ve açık isale kanalları kapalı betonarme elemanlarla değiştirilmiştir. Adana'nın Büyükşehir statüsü kazanması ile birlikte 1987 yılında Adana Su ve Kanalizasyon İdaresi kurularak alt yapı hizmetleri daha teknik ve sistemli bir şekilde ilerlemiştir. Uzunca bir süre yağmursuyu ve kanalizasyon birlikte birleşik sistem olarak çalıştırılmıştır. Adana merkezinde Seyhan ve Yüreğir'de olmak üzere iki adet atık su arıtma tesisi bulunmaktadır. Artan nüfusla birlikte kanalizasyon sisteminin doluluk oranları artmakta ve yağmursuyu ile birlikte çalıştığında hem boru kapasitesini hem de atık su arıtma tesis kapasitesini zorlamaktadır. Bu durum ayrık sistem düzenlemesini zorunlu hale getirmiştir. Şekil 4.2.'de mevcut yağmursuyu drenaj sistemi gösterilmiştir. Şekil üzerindeki hatların (Mor renkli çizgiler) kalınlıkları boru çaplarıyla orantılı olarak sunulmuştur. Şehrin kotu yüksek olan noktalardan daha düşük olan noktalara (kuzeyden güneye) ulaşımı sağlayan bazı artelerde yağmursuyu drenaj sistemi ile ilgili eksiklikler olduğu görülmektedir.

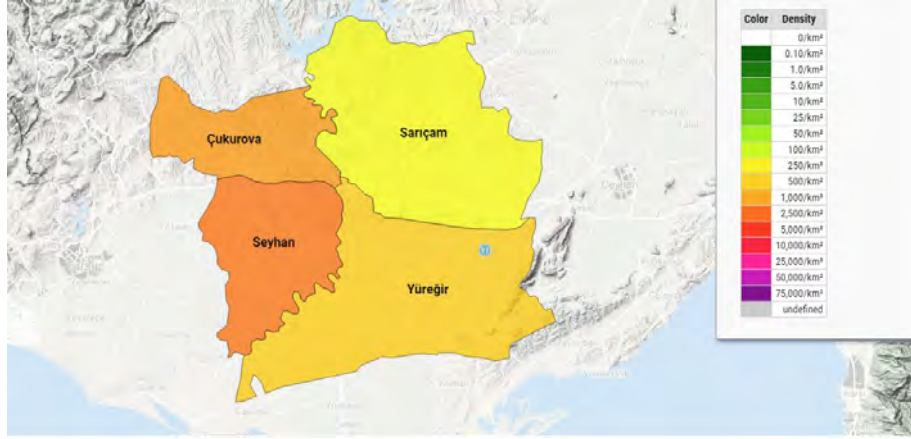
Bununla birlikte 2014 yılı ve sonrası Adana'nın birçok bölgesinde yağmursuyu ve kanalizasyon hatlarının ayrılması konusunda projeler hayata geçirilmiş, 2018 yılında da Turgut Özal Bulvarı üzerinde yapımı devam etmekte olan mikro tünel projesi ile bu konudaki eksikliklerin giderilmesi noktasında çalışmalar sürdürülmektedir.



Şekil 4.2. Adana ilinin yağmursuyu drenaj sistemi

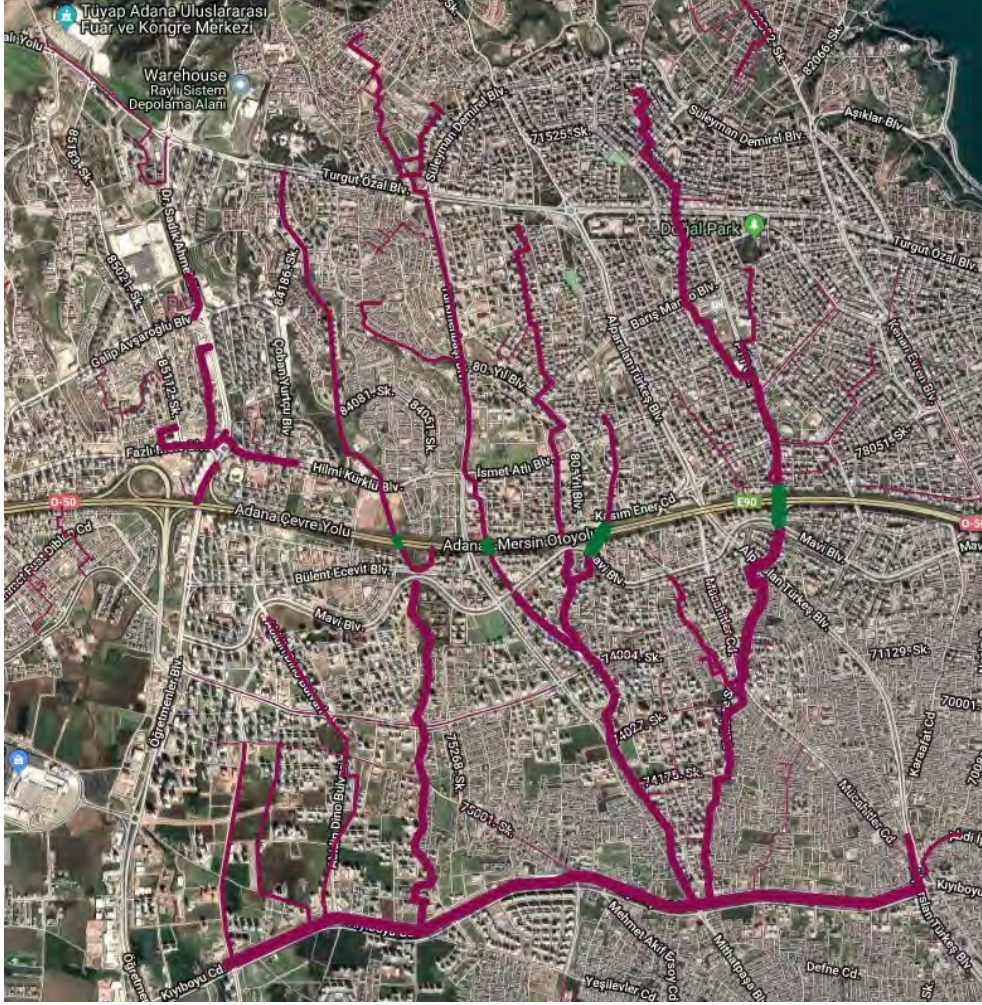
Adana merkezinde yapılaşmanın yoğun olduğu dolayısıyla yüzeysel akışın fazla olduğu bölgeler Seyhan ve Çukurova ilçelerinde yer almaktadır (Şekil 4.3). Yüreğir ve Sarıçam ilçeleri ise rölatif olarak yapı yoğunluğunun daha az olduğu buna bağlı olarak sızmanın fazla, yüzeysel akışın az olduğu bölgeleri barındırmaktadır. Seyhan ve Çukurova ilçelerinde yağmursuyu problemleri daha çok altyapı planlama eksikleri ve geçirimsiz tabakaların fazla olması nedeniyle yaşanmaktadır. Yüreğir ve Sarıçam ilçelerinde ise daha çok birleşik sistemin olması ve düzensiz dar sokakların varlığı projenin uygulama noktasında problemlerinin sebebini oluşturmaktadır. Genel anlamda Şehrin kuzeyinden güneyine doğru yağmursuyu boru çapları artarak devam etmekte buna bağlı olarak Adana'nın güney bölgelerinde büyük boru çapları kullanılmaya zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Boru çaplarının büyümesi ve uzun bir hat boyunca suyun taşınması hasarların ve sızmaların artması yanında uygulama ile ilgili problemlere de neden olmaktadır. Bu problemler, şehrin güney bölgelerinde yolların dar olması ve bu

yollardan geçen telekomünikasyon, doğalgaz, elektrik, içme suyu, kanalizasyon gibi birçok altyapı tesisi için yeterli alanının kalmamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.3. Adana merkezinde bulunan ilçeler ve nüfus yoğunlukları

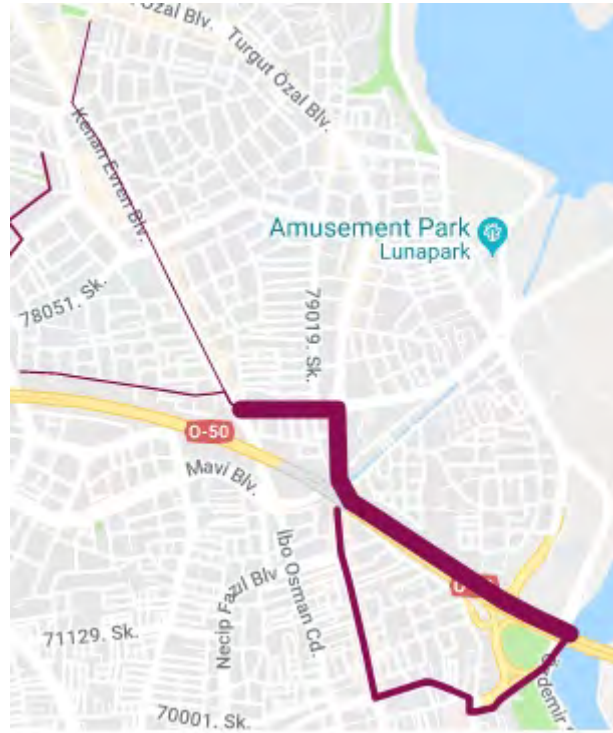
Şehrin yapılaşma açısından daha yoğun olduğu Çukurova İlçesine düşen yağmur suyunun uzaklaştırılması için kuzey-güney doğrultusunda birbirine paralel dört ana hat mevcuttur (Şekil 4.4). Bu hatlar yardımıyla toplanan yağış suları “Kıyı Boyu” olarak adlandırılan DSİ (TD-8) sulama kanalının kuzeyinde yer alan ve bu kanala paralel doğu-batı aksında devam eden dikdörtgen kesitli betonarme kutu menfez ile Yaşar Bayboğan Caddesi batısındaki dereye deşarj edilmektedir.



Şekil 4.4. Kuzey Adana yağmursuyu drenaj sistemi

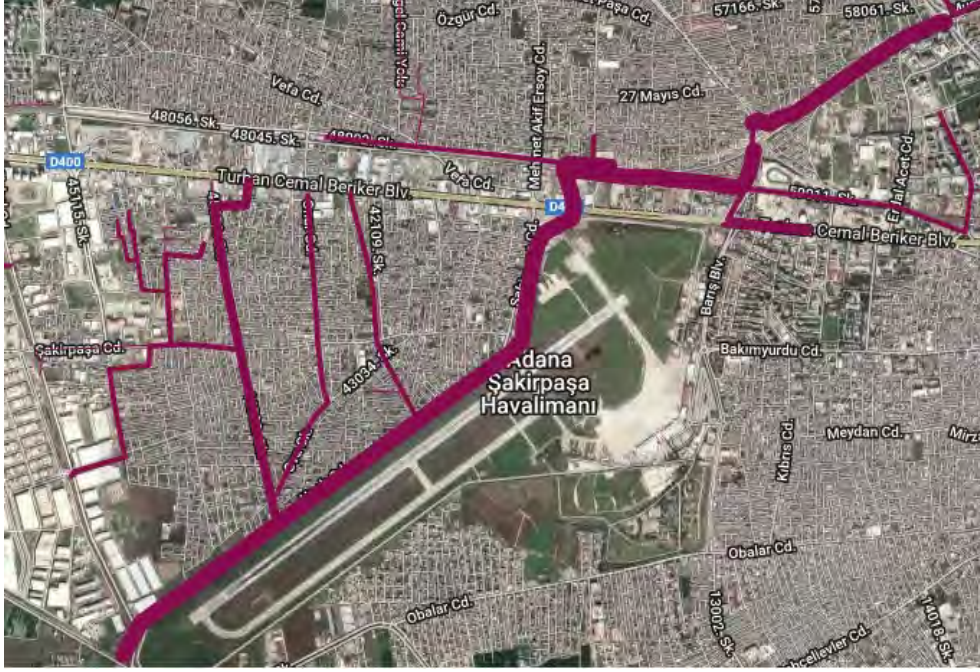
Kenan Evren Bulvarında yağmur suları uzaklaştırma hattı kuzey-güney aksında düzenlenmiştir. Bu hat, yağış sularını Adnan Kahveci bulvarı- İller bankası kavşağı-Bülent Angın bulvarı güzergahı ile otoyol kuzeyinden geçen batı-doğu aksındaki betonarme kutu menfezlere iletmekte ve buradan da Özdemiş Sabancı bulvarı üzerinden Seyhan nehrine deşarj etmektedir (Şekil 4.5). Ayrıca otoyolun güneyinde yer alan bölgeye düşen yağış sularının uzaklaştırılması, Bulent Angın Bulvarından Altun Caddesine doğru devam eden ve yine Özdemiş Sabancı

Bulvarından Seyhan Nehrine deşarjı sağlayan bir hatla gerçekleştirilmektedir (şekil 4.5).



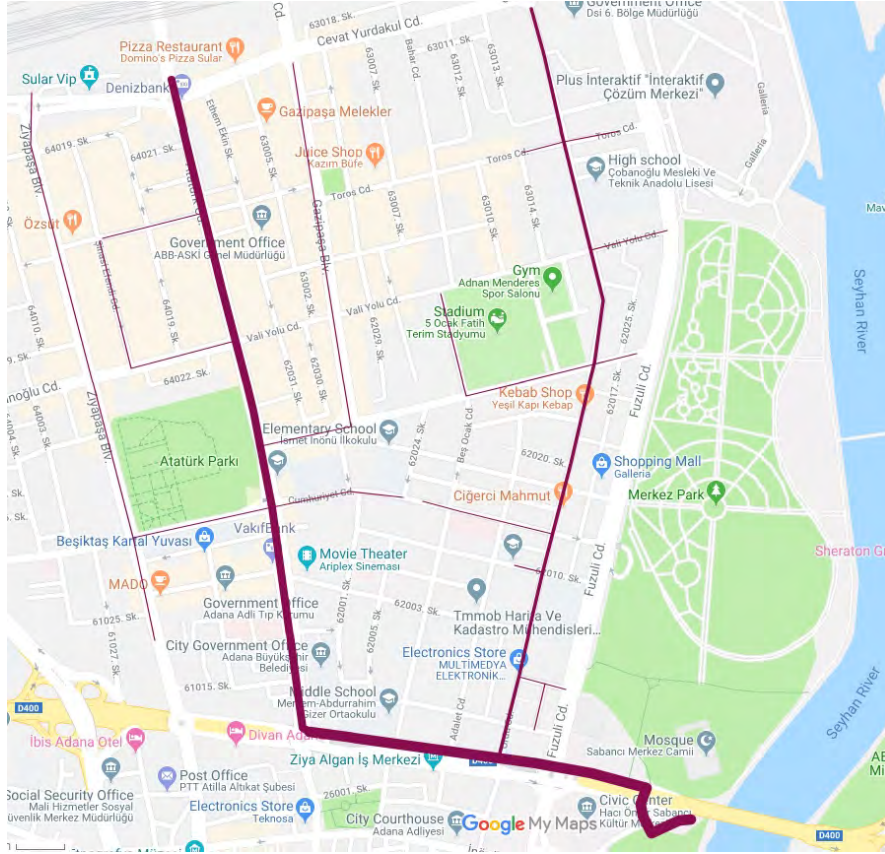
şekil 4.5. Kenan Evren- İller Bankası- Bülent Angın Bulvarı yağmursuyu drenaj hattı

Adana Merkezinde ise Yağmur suyunun uzaklaştırılması, Valilik yerleşkesinin kuzeyinden demiryolu hattına paralel doğu-batı aksında devam eden ve demiryolunun güneyine yatay delgilerle geçirilen hatla sağlanmaktadır. Bu hat, kutu kesitli betonarme menfez yardımıyla Adana Havalimanı'nın batısında bulunan Uçak caddesi ile Tekel caddesinin birleştiği bölgedeki dereye deşarjı sağlanmaktadır.



Şekil 4.6. Valilik Kuzeyi- Uçak Caddesi yağmursuyu drenaj sistemi

Ziyapaşa caddesi, Atatürk caddesi ve ordu caddesinin bulunduğu şehir merkez bölgesinde toplanan yağmursuyu Şekil 4.7’de gösterildiği gibi Hacı Ömer Sabancı Kültür merkezi doğusundan Seyhan nehrine deşarj edilmektedir.



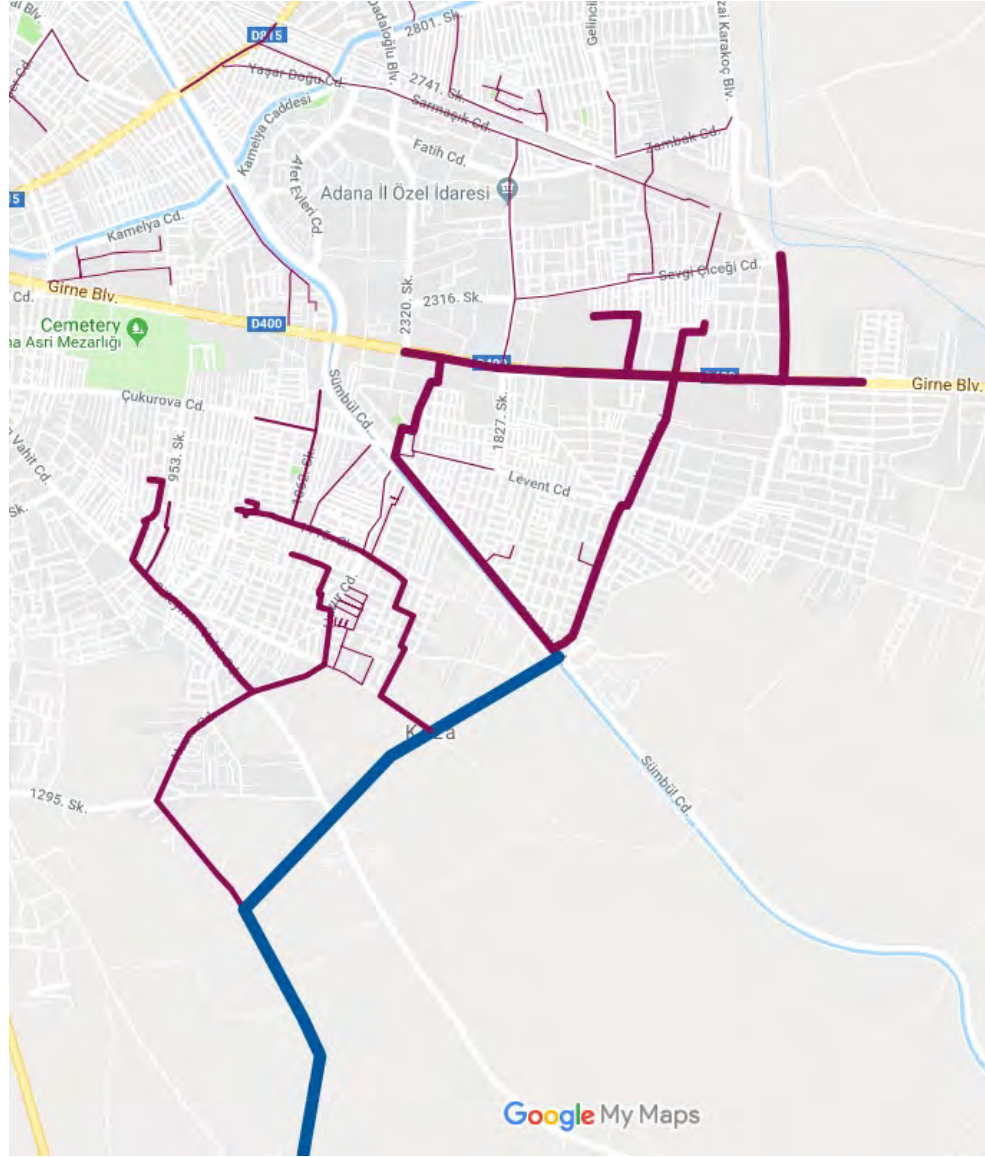
Şekil 4.7. Ziyapaşa-Gazipaşa-Atatürk Caddesi yağmursuyu drenaj hattı

Şehrin güney kesiminde ise en önemli yağmursuyu uzaklaştırma hattı Güney Kuşak Bulvarından Şehit Astğm. Kemal Yüzgeç bulvarına uzanan ve Şekil 4.8'de de gösterildiği gibi Barbaros caddesinden geçerek Seyhan nehrine deşarj olan hattır.



Şekil 4.8. Güney Kuşak Bulvarı- Barbaros Caddesi yağmursuyu drenaj sistemi

Adana'nın doğu yakasında yer alan Yüreğir ilçesinde yağmursuyu drenaj hattı akış yönü olarak kuzey güney aksındadır. Bu hat topladığı yağmursularını Girne Bulvarı üzerinden doğu-batı hattı doğrultusunda devam ederek Koza mahallesinde bulunan DSİ drenaj kanalına deşarj etmektedir (Şekil 4.9).



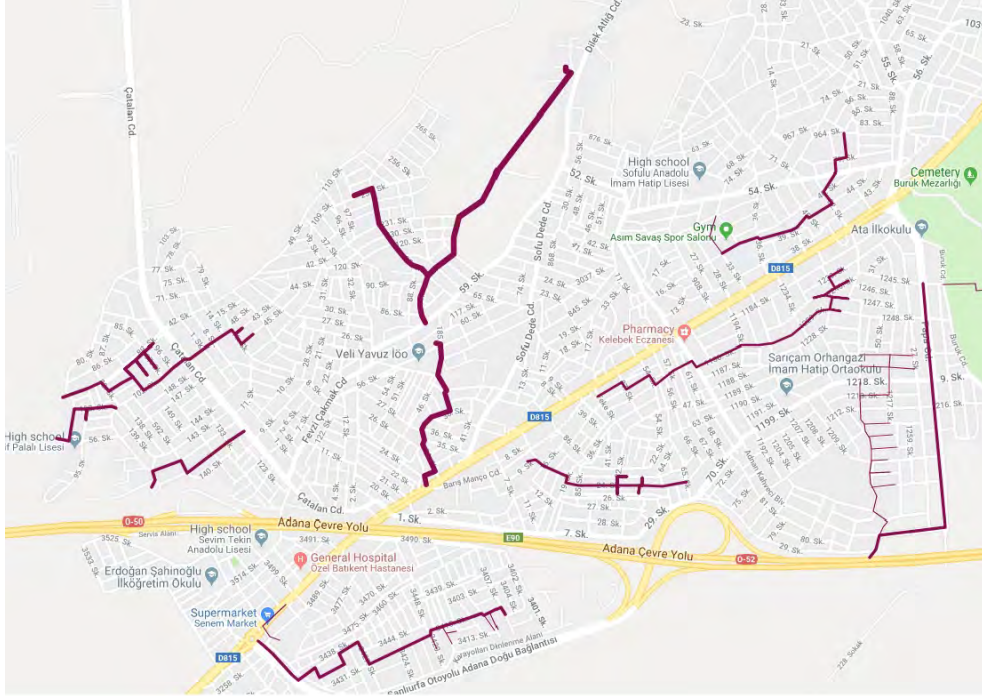
Şekil 4.9. Yüreğir güney yağmursuyu drenaj sistemi

Yüreğir İlçesi'nin kuzey bölgesinde ise yağmursuyu drenaj sistemi, Yeşil Bulvardan başlayarak Selahaddin Eyyübi ve Karacaoğlan mahallelerinin de yağmur suyunu toplayarak Mustafa Kemal Paşa Bulvarından Ege Bagatur Bulvarından kanala deşarj edilmektedir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Üreğir ilçesi kuzey yağmursuyu drenaj sistemi

Son yıllarda yeni yapılaşma alanlarının oluşturulduğu Sarıçam ilçesinde yağmursuyu drenajı ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmalar ilçe merkezinde yapılan ve yapımı devam eden derelerin ıslah ve drenaj çalışmalarını kapsamaktadır. Mevcutta yapılmış olan drenaj hatları ise genellikle bölgede yer alan dere ve drenaj kanallarına yağmur suyunu boşaltmaktadır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Sarıçam ilçesi yağmursuyu drenaj sistemi

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, klasik yöntemle tasarımı yapılmış mevcut yağmursuyu şebekesinin modern yağmursuyu yönetim tekniğiyle karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Adana İli Çukurova İlçesi Hayal Park havzası çalışma sahası olarak belirlenmiştir. Adana ili için mevcut yağmursuyu drenaj sistemi irdelenerek sistemin genel envanteri çıkarılmıştır. Çalışma sahası olarak belirlenen Hayal Park havzası yağmursuyu drenaj şebekesi güncel meteorolojik veriler kullanılarak konvansiyonel yöntemle yeniden çözülmüş, mevcut sistemin eksikleri tespit edilerek çözüm önerileri sunulmuştur. Daha sonra, modern yağmursuyu yönetim tekniğine dayalı yapısal çözümler ortaya konmuştur. Hesaplamalarda PCSWMM hazır paket programı kullanılmıştır.

5.1. Çalışma Sahası Olarak Seçilen Kuzey Adana Hayal Park Bölgesi

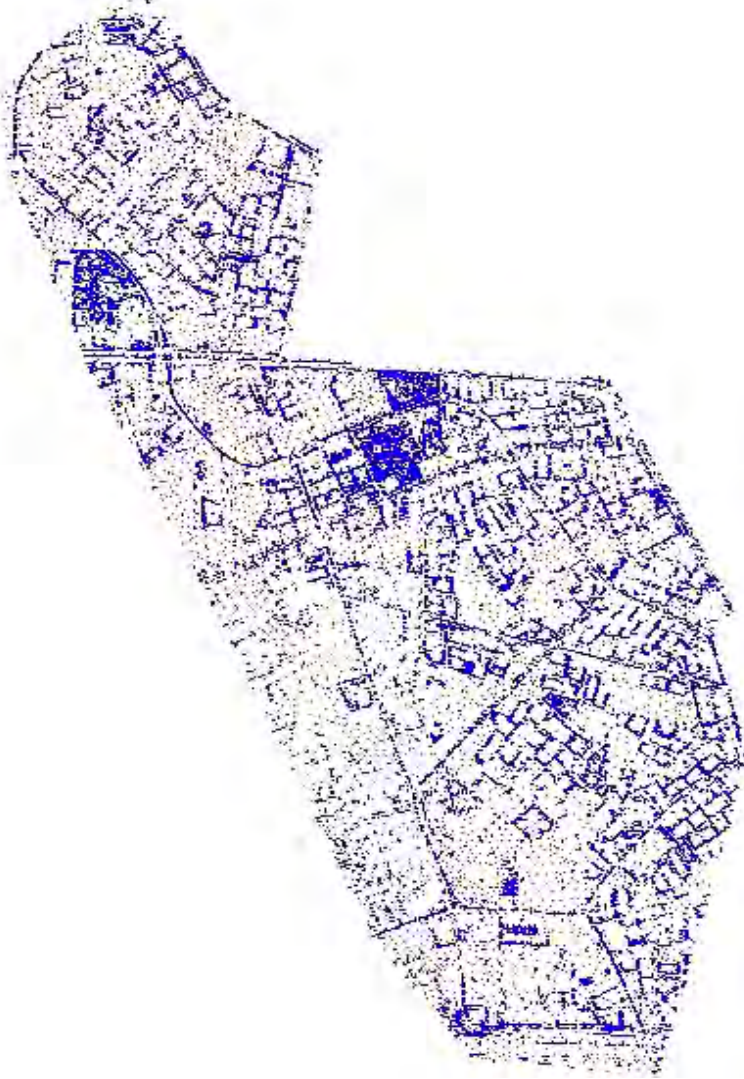
Bu çalışmada; nüfus, yapılaşma yoğunluğu ve geçmiş yıllarda yağışlı günlerde yaşanan olaylar göz önünde bulundurularak, oldukça geniş bir havza olan Çukurova İlçesi Hayal Park Bölgesi (Şekil 5.1.) çalışma alanı olarak seçilmiştir.



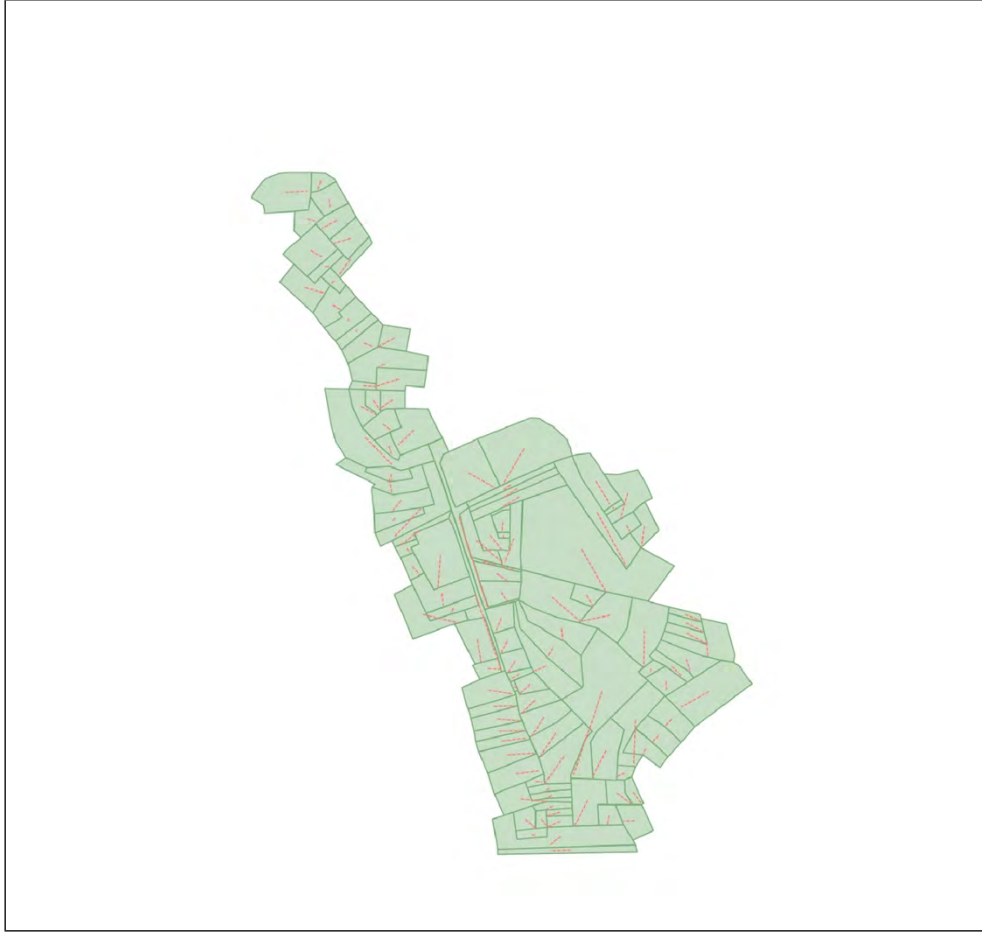
Şekil 5.1. Çalışma alanı olarak seçilen Hayal Park bölgesi

Çalışma alanı olarak belirlenen Hayalpark bölgesinin mevcut yağmursuyu verileri (boru akar kotları, çapları, muayene baca alt ve üst kotları, deşarj noktaları) incelenerek tüm sistem bu çalışmada kullanılan PCSWMM programına işlenmiştir. Sistemin verimliliğini değerlendirebilmek için öncelikle arazi üzerinde cadde ağızlıklarının etki alanları incelenerek Şekil 5.2’de sunulan arazi kotları yardımıyla yağmursuyu tutma alanları oluşturulmuştur. Şekil 5.3’te de gösterildiği gibi toplam 122 alt yağmursuyu toplama alanı belirlenmiştir. Bu alanların toplam yüzölçümü 157,1156 ha, ortalama eğimi ise %2,948 olarak hesaplanmıştır. Bölgenin güney kesiminde yer alan deşarj noktasına ulaşan yağmursuları otoyolun altından geçen kutu menfezler yardımıyla, Adana-Gaziantep otoyolunun Mavi Bulvar girişindeki Şekil 5.4’te de gösterilen taş tahkimatlı açık bekletme havuzuna iletilmektedir. Bu havuzda biriken yağmursuları 1400 mm çapındaki borularla alınmakta ve Kıyı

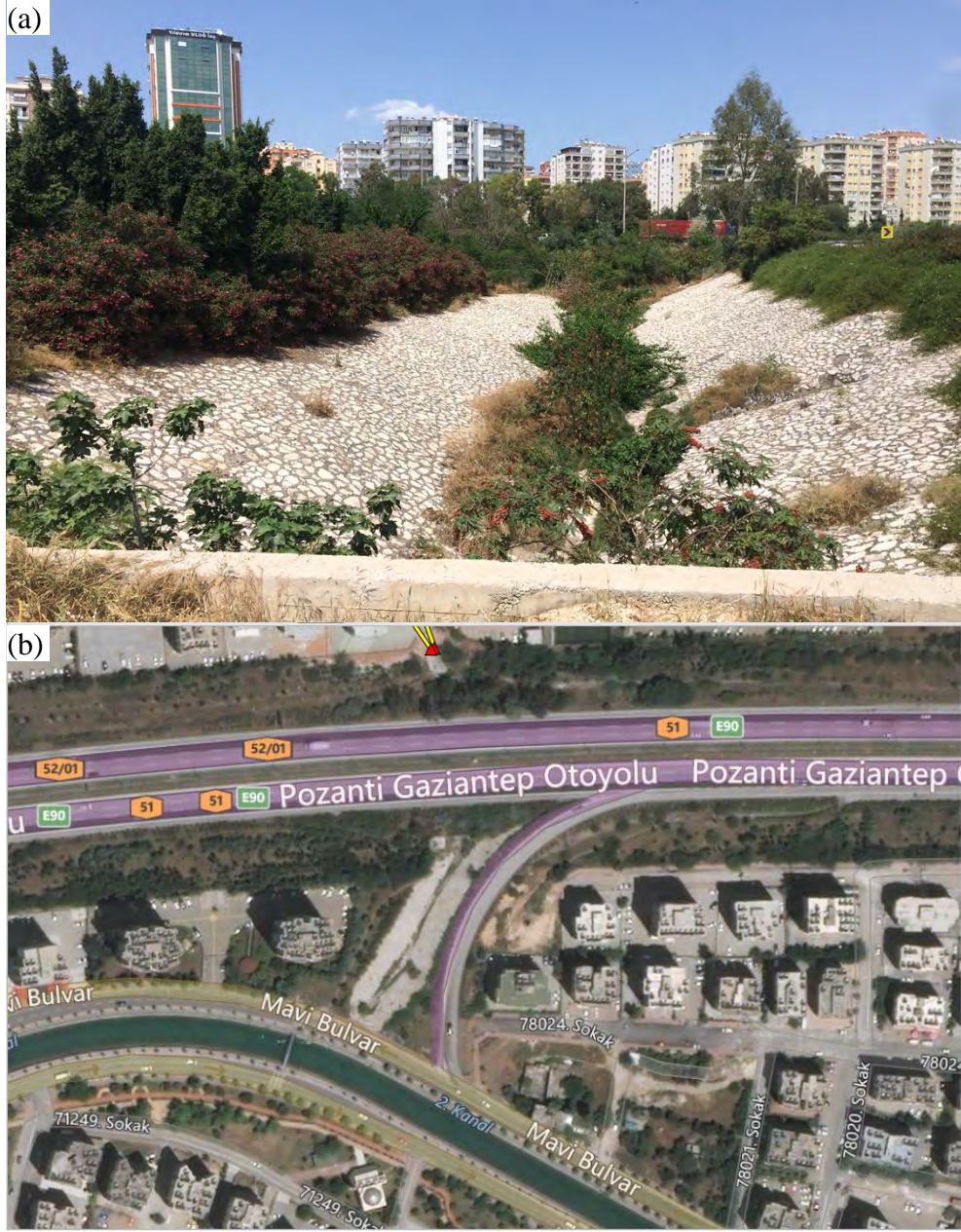
boyu mevkiinde bulunan betonarme kutu menfezlere güzergâh boyunca artan boru çaplarıyla iletilmektedir.



Şekil 5.2. Hayal Park havzası arazi kotları



Şekil 5.3. Hayal Park havzası yağmursuyu tutma alanları



Şekil 5.4. Adana–Gaziantep Otoyolu Mavi Bulvar girişindeki a) Bekletme havuzu, b) Bekletme havuzunun konumu

5.2. Bölgenin Yağış Verileri

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan ve Çizelge 5.1’de sunulan Adana Meteoroloji İstasyonunda gözlenen en büyük yağış değerleri PCSWMM programında giriş verileri olarak kullanılmıştır. Program yardımıyla bu verileri kullanarak Şekil 5.5’de gösterilen Şiddet–Süre–Tekerrür eğrisi elde edilmiştir.

Çizelge 5.1. Adana İli Standart Zamanlarda Gözlenen En Büyük Yağış Değerleri

METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ ADANA METEOROLOJİ İSTASYONUNDA STANDART ZAMANLARDA GÖZLENEN EN BÜYÜK YAĞIŞ DEĞERLERİ (mm)															
GÖZLEM YILI	DAKİKA				S A A T										
	5	10	15	30	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24	24 +
2015	10,0	18,1	27,4	49,7	92,6	126,3	128,8	128,8	128,9	128,9	128,9	128,9	129,0	129,0	
2014	7,9	12,6	17,0	27,1	45,1	45,4	45,4	45,5	45,5	45,5	47,8	53,3	53,3	62,6	
2013	4,2	7,8	10,1	15,7	20,5	25,1	28,7	31,9	36,7	38,3	39,7	40,8	40,9	48,6	
2012	5,7	9,2	10,9	13,8	19,3	26,2	28,3	29,1	32,2	39,1	45,8	54,8	69,9	85,2	
2011	9,4	17,0	26,4	38,8	45,5	48,1	68,8	70,5	73,7	73,8	73,8	73,8	73,8	73,8	
2010	7,6	9,9	15,1	23,0	35,5	44,9	46,8	47,6	54,7	55,8	59,2	69,3	74,9	79,5	
2009	6,3	7,8	10,1	15,0	20,4	24,3	31,1	31,5	31,8	32,0	34,2	42,5	47,5	52,3	
2008	2,9	4,8	6,6	8,8	9,8	11,5	12,4	13,5	13,5	14,3	17,0	17,0	21,3	26,1	
2007	9,8	19,5	29,4	56,1	71,3	82,7	85,4	96,3	97,5	98,5	100,3	100,3	100,4	100,4	
2006	9,6	18,0	19,7	29,0	45,6	78,9	87,3	87,5	88,0	88,4	90,2	90,2	90,2	90,3	
2005	7,0	10,0	15,3	22,5	24,3	24,3	34,0	37,7	39,3	40,2	42,1	44,8	45,0	58,0	
2004	2,6	4,8	7,2	11,4	15,3	22,9	29,7	37,4	43,2	45,5	51,1	60,5	66,7	66,9	
2003	2,3	4,6	6,6	11,4	16,3	22,4	22,5	23,2	28,7	31,0	33,2	36,6	46,3	60,8	
2002	1,9	3,2	4,8	8,8	8,8	11,4	13,8	16,8	18,2	19,8	23,9	33,3	44,2	46,3	
2001	9,7	12,4	14,2	19,4	23,0	26,7	29,6	32,7	39,0	45,4	51,7	51,9	52,6	59,0	
2000	9,1	15,2	17,0	21,7	31,3	46,7	48,3	48,3	51,1	52,2	53,0	53,0	60,6	60,7	
1999	10,1	16,2	19,8	27,2	40,9	47,9	48,2	48,6	49,5	50,1	50,5	50,5	50,5	50,5	

Çizelge 5.1 (Devamı)

1998	9,4	13,4	19,0	30,6	34,1	34,3	34,3	34,3	34,3	34,3	35,3	37,5	41,1	43,3	
1997	8,2	13,2	17,1	25,5	29,9	40,2	43,2	44,3	50,0	51,5	53,6	54,1	56,1	58,2	
1996	6,6	13,0	16,6	22,7	24,0	24,3	24,8	25,0	25,0	27,9	35,3	44,2	51,9	58,6	
1995	10,4	16,6	21,4	28,6	29,2	29,2	37,3	38,1	43,4	54,5	60,9	74,0	85,8	118,9	
1994	8,0	12,4	15,6	19,2	27,0	46,9	59,6	68,9	75,4	79,0	92,7	101,1	110,7	136,8	
1993	8,5	10,5	11,6	15,7	20,6	21,7	22,5	23,1	23,1	24,8	25,5	30,2	31,0	44,4	
1992	12,9	19,1	22,3	26,6	45,5	59,0	61,2	78,4	82,4	91,2	98,8	101,7	101,7	101,7	
1991	8,5	10,3	14,3	23,1	43,2	52,9	61,6	63,1	63,8	67,8	80,6	95,9	103,2	129,8	
1990	8,8	10,0	10,8	16,1	24,7	29,8	29,2	31,3	38,9	46,1	46,1	46,1	46,8	61,4	
1989	12,0	16,5	20,0	21,7	23,7	34,7	52,2	55,5	70,0	72,7	72,7	75,4	79,4	86,5	
1988	11,0	16,0	19,7	23,6	24,4	24,5	27,1	27,1	28,0	35,0	38,0	38,1	38,1	49,9	
1987	7,6	13,6	18,0	28,8	29,4	30,1	30,1	38,6	38,6	41,6	52,3	71,6	97,8	114,0	
1986	5,1	8,1	11,8	17,2	26,9	28,6	28,7	28,7	28,7	28,7	28,7	28,7	32,5	42,6	
1985	15,3	21,8	24,8	26,8	28,2	33,1	35,4	37,0	44,7	48,8	52,1	68,7	77,4	78,5	
1984	9,1	11,3	11,4	11,4	18,7	29,2	35,0	40,6	42,6	43,5	43,5	48,3	77,6	84,3	
1983	9,6	19,2	25,3	40,0	56,2	71,9	78,4	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5	78,8	78,8	
1982	9,0	28,2	36,6	39,3	39,6	39,7	39,7	39,7	39,7	39,7	39,7	45,0	50,8	50,8	
1981	14,9	28,5	33,0	59,2	100,8	103,3	103,3	103,3	105,2	105,2	105,3	105,7	105,7	106,2	
1980	7,1	8,5	11,7	21,3	25,9	27,9	28,8	28,8	42,3	43,6	46,2	53,9	55,0	58,5	
1979	6,7	10,3	11,8	17,1	21,7	23,4	29,8	32,2	35,9	37,1	44,0	58,9	72,0	72,4	
1978	8,0	8,5	8,8	11,2	14,4	16,3	26,2	27,6	27,6	30,9	33,3	34,3	40,6	41,8	
1977	5,3	10,0	11,6	18,7	29,6	37,3	38,1	46,3	46,3	47,0	56,6	72,7	120,4	135,6	

Çizelge 5.1 (Devamı)

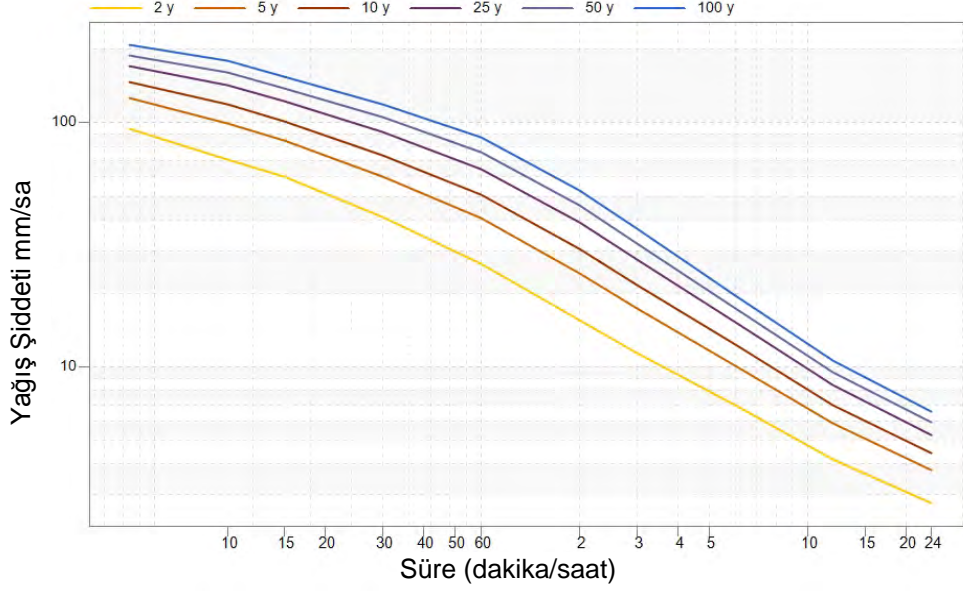
1976	18,5	26,6	33,7	42,0	42,7	50,8	51,0	51,0	51,0	51,0	56,0	67,4	73,3	76,0	
1975	10,5	21,0	29,4	43,9	44,6	45,9	46,3	46,4	46,4	46,4	46,4	48,4	48,5	48,5	
1974	8,4	14,1	19,5	24,2	46,0	49,2	49,2	49,2	49,2	49,3	49,3	49,4	86,1	123,2	
1973	10,7	20,4	27,0	42,0	49,3	49,3	49,6	49,6	49,6	49,8	49,8	49,9	49,9	49,9	
1972	4,0	6,0	7,5	11,0	12,0	13,1	13,7	13,7	15,0	17,0	20,3	22,7	23,5	24,2	
1971	6,9	10,1	11,1	13,6	13,8	15,2	15,8	15,8	18,5	21,1	24,3	26,9	37,7	39,4	
1970	9,8	13,0	16,0	19,6	25,9	25,9	27,3	28,1	30,7	33,1	33,7	37,2	37,3	37,3	
1969	9,0	10,9	19,9	24,9	24,9	25,1	26,9	26,9	26,9	26,9	29,9	32,3	54,3	59,5	
1968	14,2	22,0	26,8	30,0	30,0	30,0	31,1	31,1	31,1	31,1	33,0	38,9	59,8	120,5	*
1967	13,6	16,6	23,9	31,6	37,0	38,9	38,9	40,5	40,7	40,7	40,7	40,7	74,8	120,4	*
1966	13,0	21,7	24,0	38,2	38,6	46,6	49,0	57,3	62,4	65,0	74,6	82,6	86,9	91,1	
1965	6,2	10,4	11,7	16,5	23,6	31,8	33,4	33,7	50,9	57,4	63,6	64,0	68,4	78,9	
1964	7,0	7,7	9,5	12,2	19,9	25,5	27,8	35,2	38,4	39,2	40,8	42,7	53,3	61,9	
1963	7,6	8,3	13,2	14,7	17,2	19,7	22,9	23,6	23,9	23,9	27,6	28,7	104,9	110,0	
1962	6,5	11,4	12,4	12,8	17,5	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	28,7	36,6	81,6	96,1	
1961	9,0	14,5	17,5	19,5	24,3	35,0	47,6	50,1	52,4	58,5	64,2	64,2	80,2	103,7	
1960	11,0	11,3	15,5	21,0	25,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	37,4	60,3	62,5	
1959	9,3	13,0	19,0	22,0	24,0	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6	61,8	
1958	9,0	12,0	16,0	24,0	27,5	28,0	28,0	33,2	38,5	43,2	44,9	58,2	58,2	91,3	
1957	10,0	16,0	18,2	21,2	27,2	28,8	29,4	30,6	33,6	38,2	51,1	64,9	91,5	102,5	
1956	6,4	6,4	6,4	6,4	9,8	15,0	15,0	15,8	20,7	22,5	26,4	29,9	32,9	47,4	
1955	9,8	11,2	13,2	13,4	32,7	43,9	45,3	45,3	45,3	45,3	45,3	45,3	45,3	46,1	

Çizelge 5.1 (Devamı)

1954	7,0	11,0	14,0	16,8	18,6	18,6	21,4	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	33,8	56,5	*
1953	7,2	11,0	11,6	12,9	19,2	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	28,1	30,6	35,2	42,4	
1952	8,8	11,8	12,4	18,2	20,3	20,3	25,2	33,2	38,5	43,2	44,6	47,3	73,2	79,0	
1951	10,0	14,4	18,2	20,2	36,0	43,7	43,7	43,7	43,7	43,7	43,7	43,7	51,2	64,3	
1950	5,8	7,6	11,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,6	25,8	27,1	30,3	35,0	41,7	
1949	9,2	12,5	15,8	18,8	27,6	27,6	34,5	42,2	42,3	42,3	50,6	68,3	69,5	69,5	
1948	9,6	14,2	18,2	27,4	36,9	38,2	39,5	43,7	49,8	55,5	63,6	65,1	70,7	73,3	
1947	9,7	10,8	10,8	17,7	20,4	23,1	33,2	39,8	43,4	45,5	54,7	61,1	74,8	76,4	
1946	4,6	9,2	9,2	18,0	18,1	18,1	18,1	20,5	26,7	33,7	45,0	56,1	56,1	56,1	
1945	5,6	7,6	9,8	10,6	35,8	38,2	39,5	40,1	40,6	41,0	41,2	41,2	41,2	59,3	
1944	7,0	9,0	16,0	19,6	20,8	20,8	20,8	20,8	26,2	26,2	28,5	28,5	38,4	45,0	
1943															
1942															
1941															
1940															
1939															
1938															
N	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	72
Y-ORT	8,4	12,8	16,3	22,8	30,2	35,7	38,8	41,1	44,0	46,1	49,8	54,5	63,4	71,3	71,9
Y-EB	18,5	28,5	36,6	59,2	100,8	126,3	128,8	128,8	128,9	128,9	128,9	128,9	129,0	136,8	136,8
Std.S	2,91	5,35	6,95	11,03	16,48	20,20	20,92	21,53	21,60	21,62	21,89	22,56	24,60	27,19	28,66
Car.K	0,45	0,94	0,88	1,35	2,19	2,21	1,98	1,79	1,61	1,50	1,35	0,99	0,59	0,73	0,57

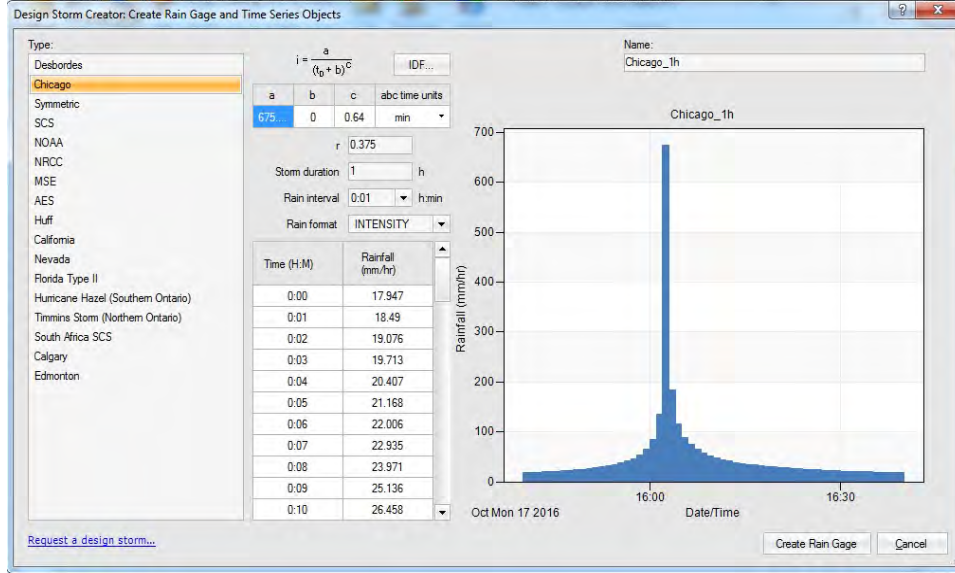
Çizelge 5.1 (Devamı)

UDF	LN2	LN2	LN2	LN2	LN2	LN2	LN2	LN2	LN2	LN2	LN2	LN2	LN2	LN2	LN2
2 YIL	7,9	11,8	15,0	20,5	26,6	31,1	34,2	36,5	39,4	41,8	45,6	50,4	59,1	66,6	66,8
5 YIL	10,5	16,6	21,2	30,2	40,8	48,4	52,3	55,1	58,3	60,8	64,9	70,4	81,0	90,9	92,3
10 YIL	12,2	19,8	25,3	36,9	51,0	61,1	65,3	68,5	71,6	74,0	78,1	83,9	95,5	106,9	109,2
25 YIL	14,3	23,9	30,7	45,8	64,9	78,2	82,8	86,3	89,1	91,2	95,2	101,1	113,9	127,0	130,8



Şekil 5.5. Adana İli Yağış Şiddet-Süre-Tekerrür Eğrileri

Yağış verilerinin programa girişi sağlandıktan sonra Adana ilinde bugüne kadar oluşan tüm yağışlar incelenmiş ve yağmursuyu dağılım modeli olarak kısa süreli ve şiddeti yüksek yağışlarda doğru sonuçlar veren Kiefer&Chu (Chicago Yöntemi) seçilmiştir (Şekil 5.6.).



Şekil 5.6. PCSWMM bilgisayar programında Adana ili için yağış dağılım seçimi

Çizelge 5.2’de de gösterildiği gibi, 1944’den günümüze kadar Adana için kaydedilen en şiddetli yağışın devam süresi 1 saat olması nedeniyle bu çalışmada yapılan hesaplamalarda yağış süresi olarak 1 saatlik zaman dilimi esas alınmıştır. Seçilen bu bir saatlik yağış süresi birer dakikalık aralıklara bölünüp 25 yıl tekerrür süresine sahip yağışlar için hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. 25 yıl tekerrür süresi, Çizelge 3.2’de verilen büyükşehirler için tekerrür süresi ile ilgili değer esas alınarak belirlenmiştir. PCSWMM programında yağışlarla ilgili simülasyonda yağmurların 17 Ekim 2016 saat 15:40’da başladığı ve bir saat sürdüğü kabul edilmiştir.

Çizelge 5.2. Değişik istasyonlar için yağışla ilgili meteorolojik veriler

İstasyon	Tarih	Başlama Saati	Bitiş Saati	Devam Süresi(dk)	Miktar (mm)	Şiddet (mm/dk)	Verim (lt. sñ/ha)	Tekerrür Periyodu(Yıl)
YALOVA	12.09.2015	10:17	10:22	5	25,1	5.020	836.7	100'den fazla
MARMARİS	23.10.2015	2:14	2:24	10	25,7	2.570	428.3	12
YALOVA	12.09.2015	10:17	10:32	15	37,6	2.507	417.8	50
ETİMESGUT	20.08.2015	14:32	15: 2	30	56,3	1.877	312,8	100'den fazla
ADANA	21.09.2015	10:14	11:14	60	92,6	1.543	257.2	100'den fazla
MARMARİS	23.10.2015	0:24	2:24	120	130,4	1087	181.1	20
MARMARİS	23.10.2015	0:14	3:14	180	156,7	0.871	145.1	41
HOPA	24.08.2015	6:54	10:54	240	178,9	0.745	124.2	100'den fazla
HOPA	24.08.2015	6:39	11:39	300	185,6	0.619	103.1	100'den fazla
HOPA	24.08.2015	4:59	10:59	360	189,3	0.526	87.6	100'den fazla
HOPA	24.08.2015	4:29	12:29	480	194,5	0.405	67.5	100'den fazla
MARMARİS	22-23.10.2015	15:52	3:52	720	231,9	0.322	53.7	48
HOPA	23-24.08.2015	21:37	15:37	1080	260,6	0.241	40.2	100'den fazla
HOPA	23-24.08.2015	21:37	21:87	1440	287,2	0.199	33.2	100'den fazla

Şekil 5.7. En yüksek yağış şiddetinin yaşandığı gün,yağış süresi ve dağılımı (<http://212.174.109.9/veridegerlendirme/maksimum-yagisalar.aspx>)

Çalışma sahası olarak belirlenen Hayal Park havzasındaki 122 su tutma alanının (alt havza alanının) yağış sularını havza sonundaki iki çıkış noktasına ileten 8 profil (yağmursuyu hattı) Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Şekilde gösterilen hatların numaralandırılması PCSWMM programı tarafından yapılmıştır. 4 numaralı profil yağış sularını OF2 deşarj noktasına suyu iletirken, diğer 7 profil OF1 deşarj noktasına yağmur suyunu boşaltmaktadır.

25 yıllık tekerrür süresine göre güncel meteorolojik veriler kullanılarak mevcut sistemin hesaplamaları gerçekleştirilmiş, hesaplamalar neticesinde elde edilen hidrolik koşullar ve risk durumları her bir profil için ayrı ayrı Şekil 5.9-5.25’de sunulmuştur. Şekillerde sunulan profillerle ilgili boy kesitlerde, hidrolik profiller mavi renkle gösterilirken, muayene bacalarında yaşanan taşmalar ise kırmızı renkle vurgulanmıştır.

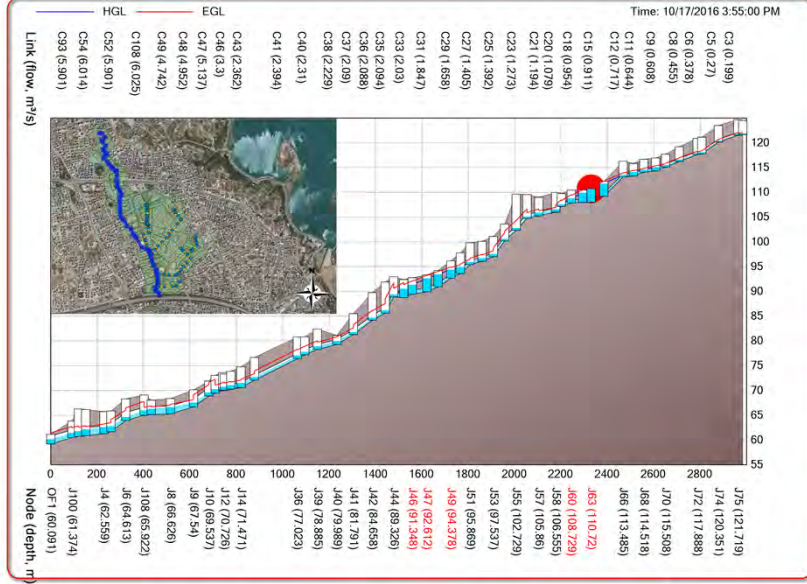


Şekil 5.8. Hayal Park havzasındaki profiller

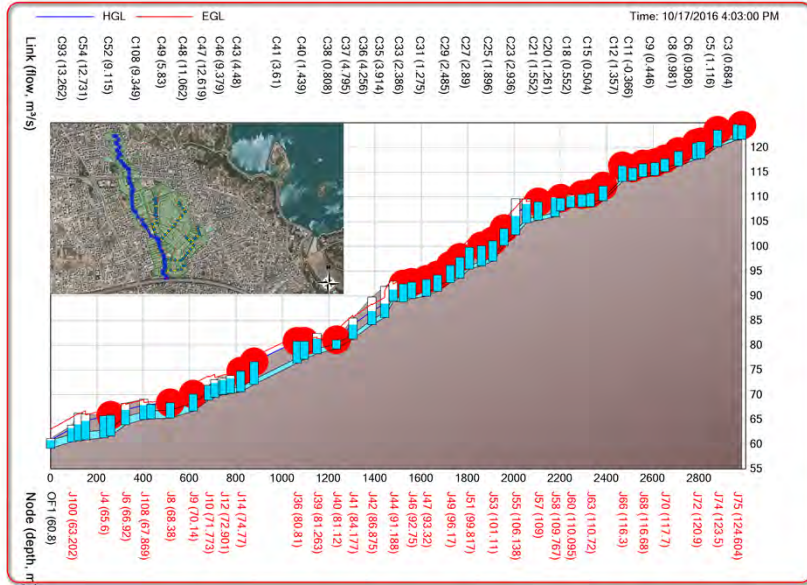
Şekil 5.9'da gösterilen Profil 1 için hesaplamalardan elde edilen sonuçlar 5.10 ve 5.11 de görülmektedir. Şekil 5.10'da gösterilen boy kesitten de görüldüğü gibi yağışın başlamasından 15 dakika sonra hattın başlangıcından yaklaşık 450 metre ilerisinde, 110,72 kotunda, J63 muayene bacasında problem yaşanmaya başlanmış ve taşma söz konusu olmuştur. Yaklaşık 8 dakika sonra 23. dakikada, Profil 1'in hemen hemen tüm muayene bacalarında taşmalar görülmüştür (Şekil 5.11).



Şekil 5.9. Profil 1



Şekil 5.10 Profil 1'in boykesiti, ilk taşma yeri ve zamanı



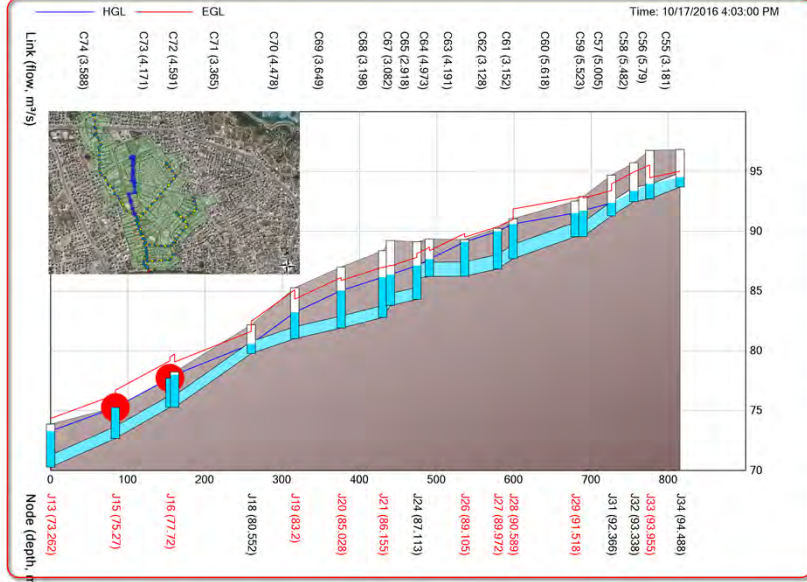
Şekil 5.11. Maksimum doluluk anındaki Profil 1 hattı

Başlangıç noktası Profil 1'in başlangıç noktasına göre rölatif olarak daha aşağıda olan ve Şekil 5.12'de gösterilen Profil 2, J13 muayene bacasında Profil 1'e bağlanmaktadır. Bir başka ifadeyle Profil 2'nin deşarj noktası Profil 1 hattı üzerindedir. 25 yıllık tekerrür süresi esas alınarak yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilen Profil 2 ile ilgili sonuçlar Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'de gösterilmiştir. Maksimum yağışın görülmesinden 3 dakika sonra bu hat üzerinde problemler yaşanmış ve Profil 1 hattına bağlandığı noktaya yakın bölgede yer alan J15 ve J16 muayene bacalarında kapasite aşması söz konusu olmuştur (Şekil 5.13).

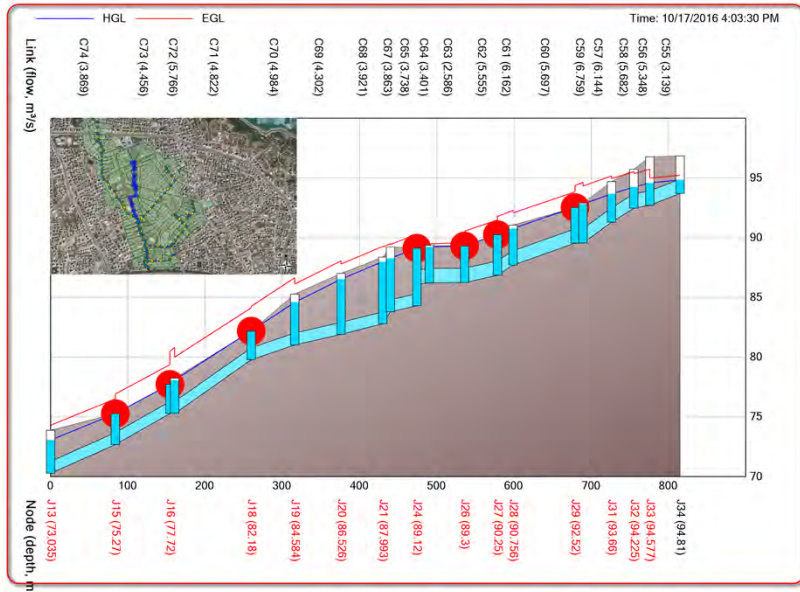
Yağışın devamında ise 1 dakika içerisinde Profil 2 en yüksek yük seviyesine ulaşmış olup birçok muayene bacasında problemler görülmüştür (Şekil 5.14).



Şekil 5.12. Profil 2

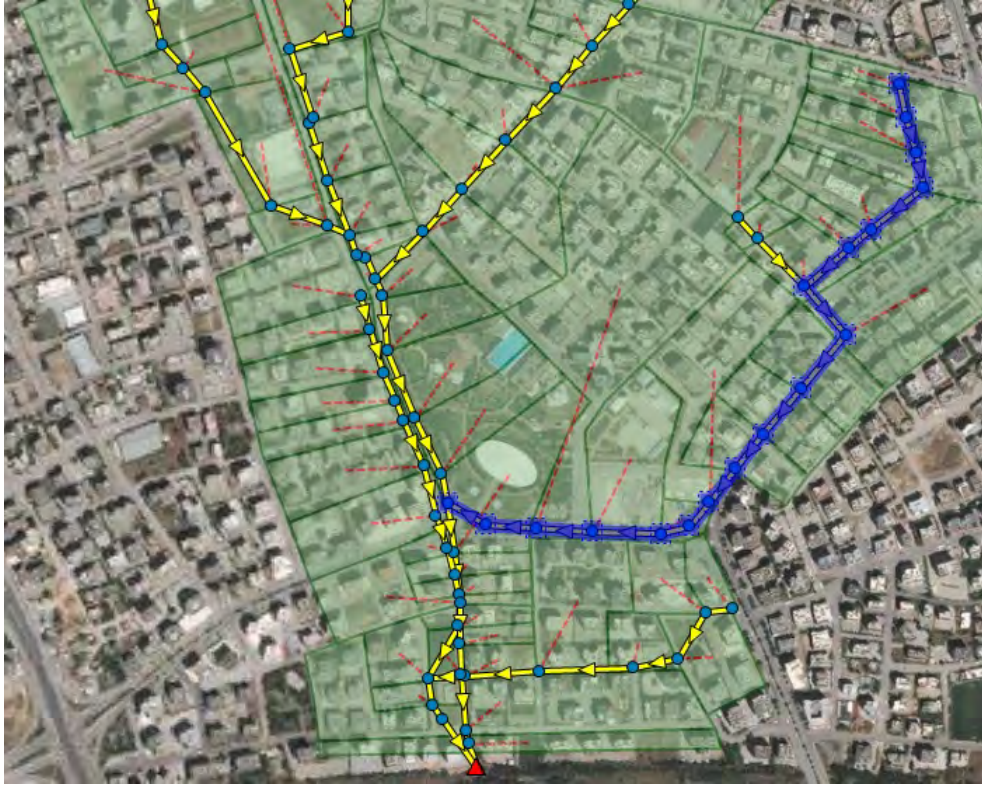


Şekil 5.13. Profil 2'nin boykesiti, ilk taşma yeri ve zamanı

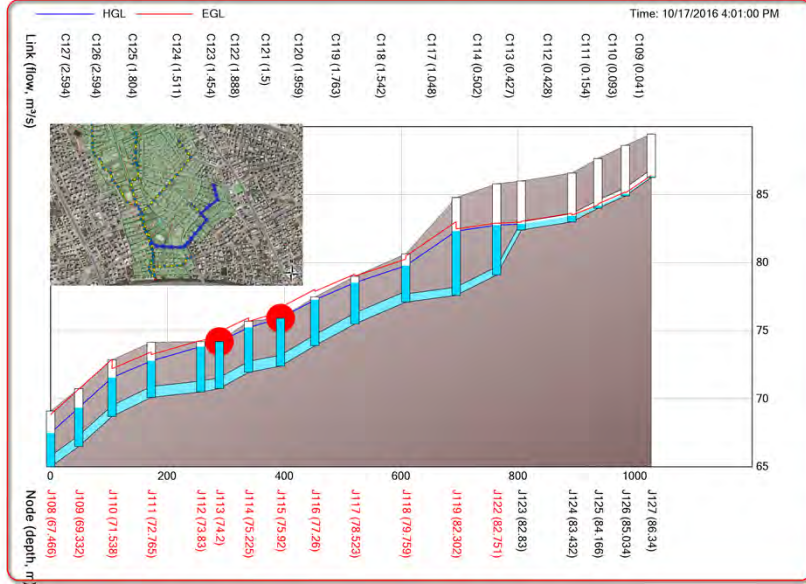


Şekil 5.14. Maksimum doluluk anındaki Profil 2 hattı

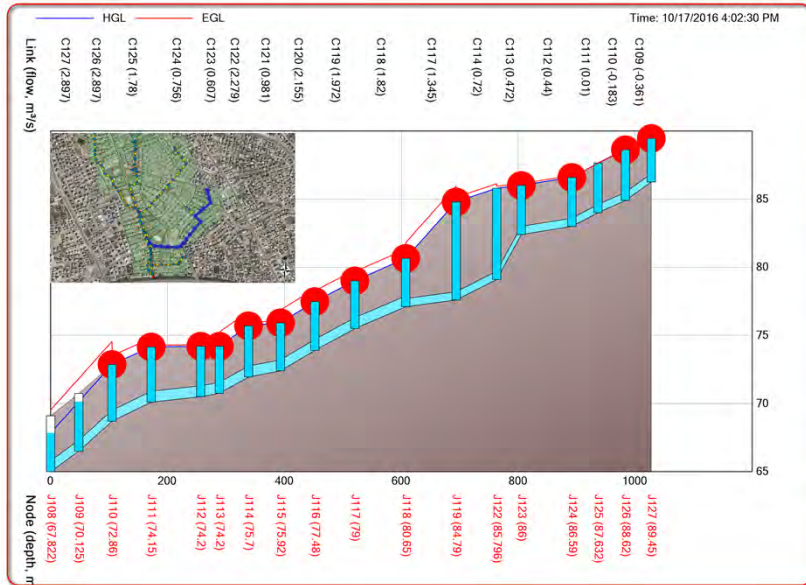
Profil 1'e 69,1 m üst kotundaki J108 muayene bacasından bağlanan Profil 3 ve buna ait alt su tutma alanları Şekil 5.15'de görülmektedir. Yağışın başlamasıyla birlikte Profil 3 hattında su seviyesi yükselmekte ve yağışın en yüksek seviyeye ulaştığı 21. dakikadan itibaren, Profil 2 ve Profil 1'de olduğu gibi muayene bacalarında problemler oluşmaya başladığı görülmüştür (Şekil 5.16). Pik süreden yaklaşık 2 dakika sonra hattın neredeyse tüm bacalarında taşmaların olduğu Şekil 5.17'de görülmektedir.



Şekil 5.15. Profil 3



Şekil 5.16. Profil 3'ün boykesiti, ilk taşma yeri ve zamanı



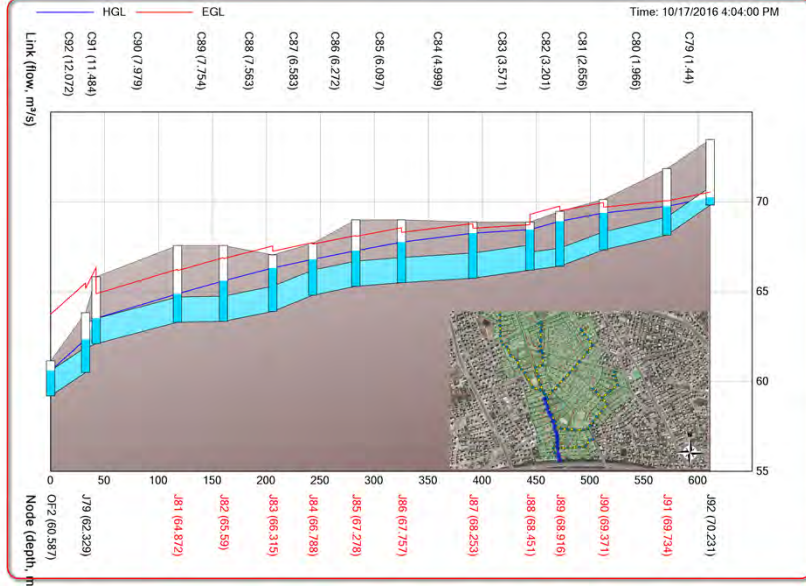
Şekil 5.17. Maksimum doluluk anındaki Profil 3 hattı

Şekil 5.18'de gösterilen Hayal Park havzasının batı kesimine düşen yağış sularını toplayan Profil 4, havzanın güneyinde yer alan deşarj noktası OF2'ye

çıkışını sağlamaktadır 2015 yılında 2 yıl tekerrürlü güncel yağış verileri kullanılarak inşaatı tamamlanan bu hattın 25 yıllık tekerrür süresine sahip yağışlar için de problemsiz olarak yağmur suyunu tahliye ettiği Şekil 5.19'dan açıkça görülmektedir. Dolayısıyla Profil 4 olarak tanımlanan bu hatta herhangi bir problem söz konusu değildir.



Şekil 5.18. Profil 4

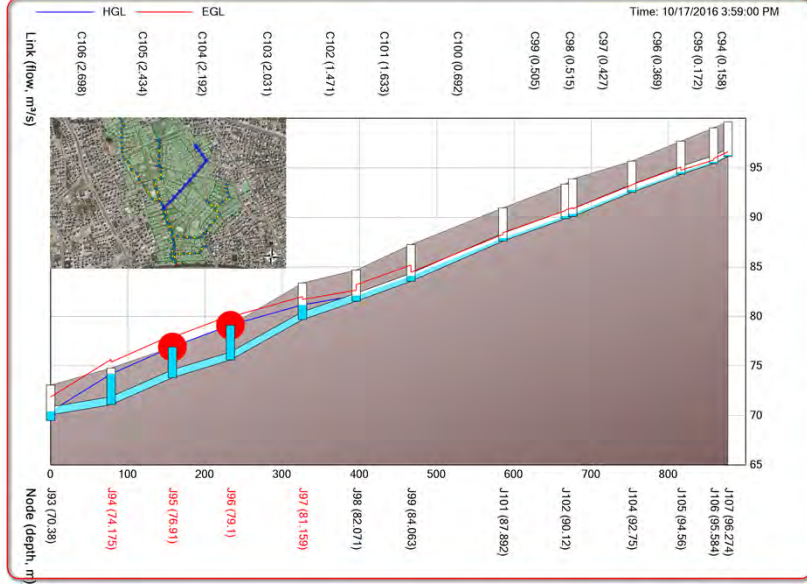


Şekil 5.19. Maksimum doluluk anındaki Profil 4 hattı

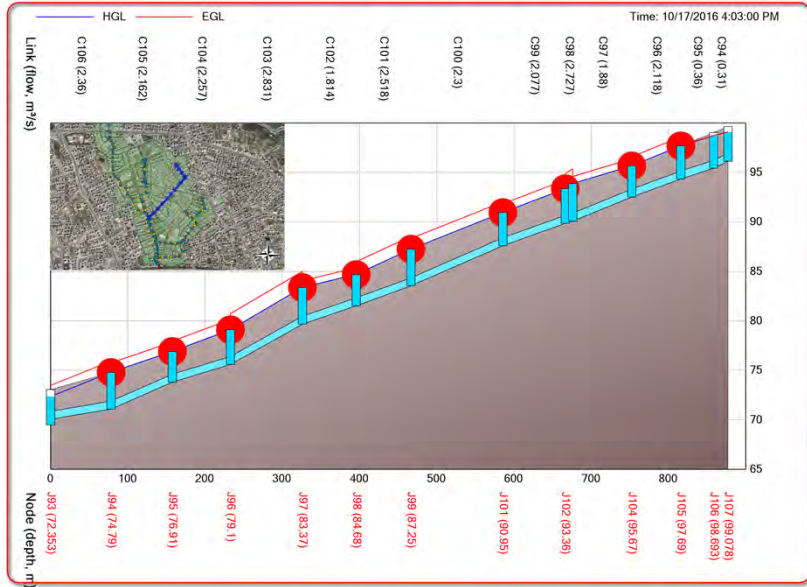
Profil 1 ve Profil 2'nin birleşerek geldiği hatta J93 muayene bacasıyla birleşen 5 numaralı Profil Hayal Park havzasının doğu bölgesindeki yağmur sularını toplamaktadır (Şekil 5.20). Yağışın başlamasından 19 dakika sonra yani yağışın maksimum seviyeye ulaşmasından yaklaşık 2 dakika önce J95 ve J96 muayene bacalarında problemin başladığı Şekil 5.21'de verilen hattın boy kesitlerden de görülmektedir. Yağışın 23. dakikasında bir başka ifadeyle pik yağışın görülmesinden 2 dakika sonra rölatif olarak daha düşük eğimlere sahip hattın başlangıcındaki muayene bacaları hariç tüm bacalarda taşma oluşmaktadır (Şekil 5.22).



Şekil 5.20. Profil 5



Şekil 5.21. Profil 5'in boykesiti, ilk taşma yeri ve zamanı

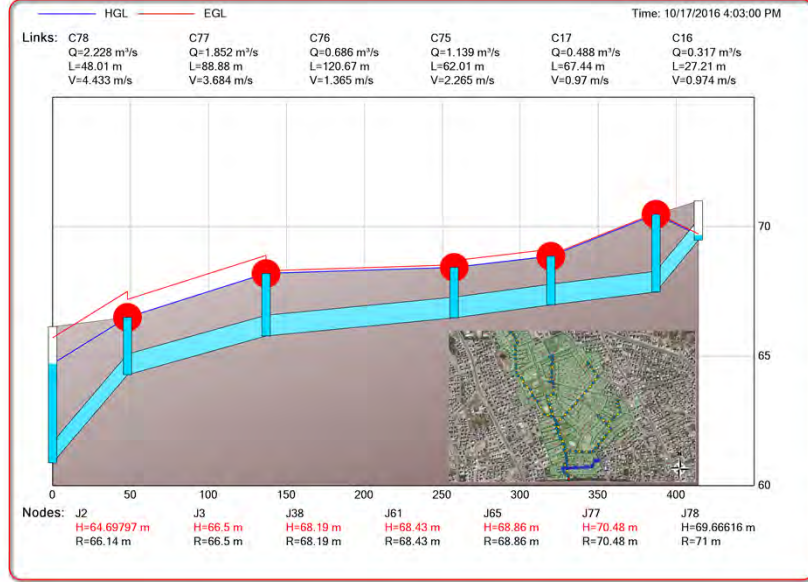


Şekil 5.22. Maksimum doluluk anındaki Profil 5 hattı

Profil 1 hattı, deşarj noktasına en yakın ve son hat olan Profil 6 hattı ile Şekil 5.23'te gösterildiği gibi J2 noktasından bağlanmaktadır. 25 yıllık tekerrür süresine sahip yağışın 23. dakikasında, maksimum yağışın görüldüğü andan yaklaşık 2 dakika sonra, hat üzerinde yer alan hemen hemen tüm muayene bacalarında maksimum doluluğa ulaşarak taşmalar söz konusu olmaktadır (Şekil 5.24).



Şekil 5.23. Profil 6

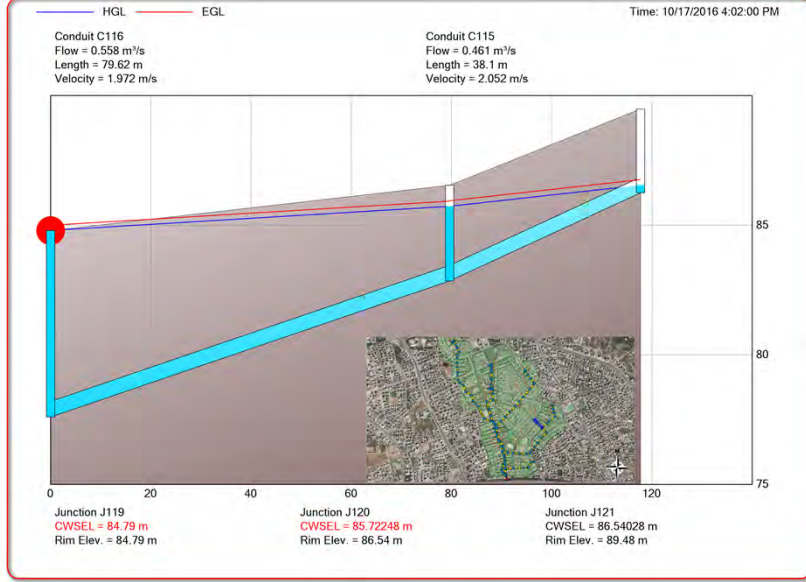


Şekil 5.24. Maksimum doluluk anındaki Profil 6 hattı

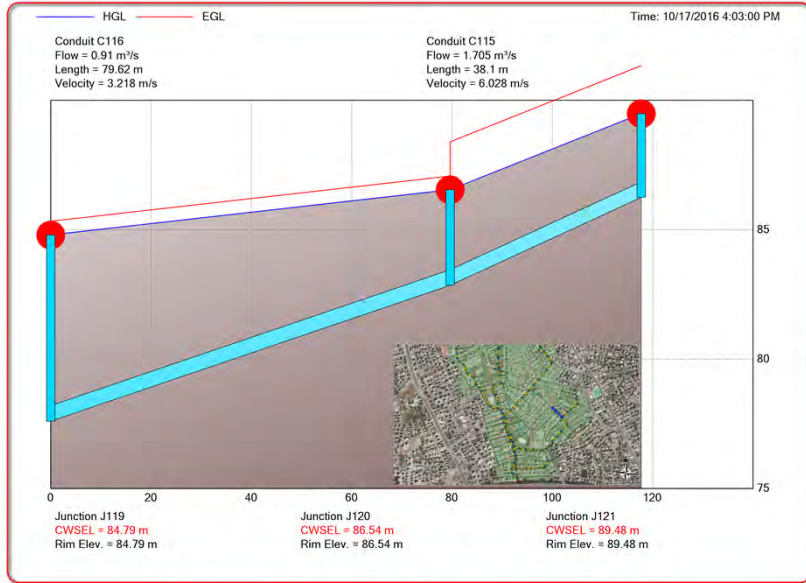
Profil 3 hattının bir kolu olan 7 numaralı profil, Profil 3 hattına 84,79 üst kotundaki J119 bacasından bağlanmaktadır. Diğer profillere göre en kısa ikinci hattır. Yağışın en yüksek seviyeye ulaştığı andan 1 dakika sonra ilk problem, Profil 3 hattı ile birleşim noktası olan J119 bacasında yaşanmaktadır (Şekil 5.26). Yaklaşık olarak bir dakika içerisinde diğer bacalarda da taşmalar meydana gelmekte ve Şekil 5.27’de de görüleceği üzere tüm hat üzerinde yer alan muayene bacaları maksimum kapasiteye ulaşmakta ve taşmalar oluşmaktadır.



Şekil 5.25. Profil 7



Şekil 5.26. Profil 7'nin boykesiti, ilk taşma yeri ve zamanı

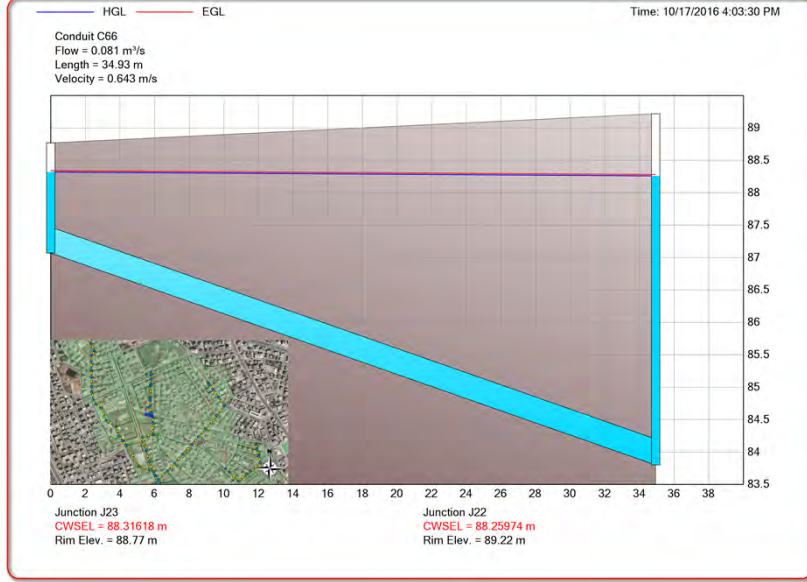


Şekil 5.27. Maksimum doluluk anındaki Profil 7 hattı

Hayal Park havzasının, topoğrafik koşullara göre paket program tarafından belirlenen en kısa hattını 8 numaralı profil oluşturmaktadır (Şekil 5.28). Yağışın 23. dakikası ile 24. dakikası arasında maksimum seviyeye ulaşan hat, herhangi bir taşma meydana gelmeden deşarj noktası olan J22 muayene bacasına yağmur suyunu iletmektedir (Şekil 5.29).



Şekil 5.28. Profil 8



Şekil 5.29. Maksimum doluluk anındaki Profil 8 hattı

Yukarıda bahsedilen problemlerin çözümü için, yani hat üzerindeki muayene bacalarında gerçekleşen taşmaların oluşmaması için, herhangi bir modern yağmursuyu yönetim tekniği uygulamadan, paket program tarafından klasik yöntemle dayalı yapılan hesaplamalar neticesinde önerilen yeni boru çapları ve mevcut sistemin boru numaraları, eğimleri, muayene bacaları ile ilgili bulgular Çizelge 5.3'te sunulmuştur. Çizelgede GB giriş muayene bacasını, ÇB çıkış muayene bacasını, MBÇ mevcut boru çapını, ÖBÇ önerilen boru çapını, BU boru uzunluğunu, n Manning pürüzlülük katsayısını, S boru eğimini, Q_{maks} maksimum debiyi, t_{maks} maksimum debinin görüldüğü zamanı, V_{maks} borudaki maksimum hızı göstermektedir.

Çizelge 5.3. Mevcut ve önerilen yağmursuyu sisteminin hidrolik özellikleri ve boru karakteristikleri

NO	GB	ÇB	MB (m)	ÖBÇ(m)	DEĞİŞİM %	BU(m)	n	S	Q _{maks}	t _{maks}	V _{maks}
C2	J76	J75	0.6	0.9	50	21.02	0.013	0.00571	0.686	16:08	2.42
C3	J75	J74	0.6	1.05	75	84.07	0.013	0.01618	0.769	16:08	2.72
C5	J74	J73	0.6	1.05	75	71.42	0.013	0.0332	1.116	16:05	3.95
C4	J73	J72	0.6	1.2	100	19.8	0.013	0.00909	0.747	16:12	2.64
C6	J72	J71	0.6	1.2	100	77.81	0.013	0.01748	0.908	16:06	3.21
C8	J71	J70	0.6	1.5	150	58.81	0.013	0.01939	0.981	16:07	3.47
C7	J70	J69	0.6	1.65	175	42.67	0.013	0.01805	0.825	16:08	2.92
C9	J69	J68	0.6	1.65	175	51.18	0.013	0.00508	0.783	16:22	2.77
C10	J68	J67	0.6	1.65	175	44.7	0.013	0.01723	0.842	16:03	2.98
C11	J67	J66	0.6	1.65	175	44.52	0.013	0.00427	0.869	16:22	3.07
C12	J66	J64	0.6	1.65	175	83.06	0.013	0.04701	1.358	16:03	4.8
C14	J64	J63	0.6	1.95	225	54.83	0.013	0.02171	1.012	16:02	3.58
C15	J63	J62	0.6	2.1	250	36.4	0.013	0.0011	0.918	16:33	3.25
C13	J62	J60	0.6	2.1	250	48.84	0.013	0.00246	0.992	16:02	3.51
C18	J60	J59	0.6	2.1	250	43.18	0.013	0.01645	0.992	16:02	3.83

PROFİL 1

	C19	J59	J58	0.6	2.1	250	23.93	0.013	0.04853	1.224	16:02	4.53
	C20	J58	J57	0.8	2.1	162.5	73.17	0.013	0.0097	1.581	16:02	3.14
	C21	J57	J56	0.8	2.1	162.5	50.55	0.013	0.01068	2.322	16:02	4.62
	C22	J56	J55	0.8	2.1	162.5	46.89	0.013	0.05125	2.937	16:03	5.91
	C23	J55	J54	0.8	2.1	162.5	49.85	0.013	0.04297	2.937	16:03	5.84
	C24	J54	J53	0.8	2.1	162.5	48.57	0.013	0.06582	2.995	16:03	5.96
	C128	J128	J129	0.4	0.75	87.5	26.88	0.013	0.0093	0.172	16:01	1.7
	C129	J129	J54	0.4	0.75	87.5	13.23	0.013	0.04009	0.458	16:03	3.65
	C25	J53	J52	0.8	2.1	162.5	48.64	0.013	0.01953	1.943	16:15	3.87
	C26	J52	J51	0.8	2.1	162.5	52.11	0.013	0.01228	2.061	16:15	4.1
	C27	J51	J50	0.8	2.1	162.5	41.14	0.013	0.04477	2.895	16:03	5.76
	C28	J50	J49	0.8	2.1	162.5	41.13	0.013	0.02213	2.617	16:07	5.21
PROFİL 1	C29	J49	J48	0.8	2.1	162.5	55.23	0.013	0.0317	2.485	16:12	4.94
	C30	J48	J47	0.8	2.1	162.5	48.14	0.013	0.02078	1.962	16:33	3.9
	C31	J47	J46	0.8	2.75	243.75	63.1	0.013	0.00713	2.053	16:33	4.08
	C32	J46	J45	0.8	2.75	243.75	36.94	0.013	0.01949	2.348	16:02	4.67
	C33	J45	J44	0.8	2.75	243.75	43.17	0.013	- 0.00371	3.127	16:02	6.38
	C34	J44	J43	0.8	2.75	243.75	36.5	0.013	0.09051	4.039	16:02	8.18

C35	J43	J42	1	2.75	175	55.63	0.013	0.02589	4.181	16:02	5.79
C36	J42	J41	1	2.75	175	81.71	0.013	0.03551	4.269	16:03	5.65
C37	J41	J40	1	2.75	175	71.26	0.013	0.02822	4.808	16:03	6.12
C38	J40	J39	1	2.75	175	84.02	0.013	0.01178	3.379	16:01	4.36
C39	J39	J37	1	2.75	175	54.12	0.013	0.02014	3.456	16:01	5.04
C40	J37	J36	1	2.75	175	31.7	0.013	0.0243	3.451	16:01	5.19
C41	J36	J35	1	2.75	175	185.37	0.013	0.02342	3.887	16:02	5.09
C42	J35	J14	1	2.75	175	57.79	0.013	0.02596	4.328	16:02	5.51
C43	J14	J13	1	2.75	175	44.27	0.013	0.00678	4.957	16:02	6.31
C44	J13	J12	1.6	2.75	71.875	27.74	0.013	0.00721	9.339	16:03	4.64
C45	J12	J11	1.6	3.105	94.0625	7.42	0.013	0.01348	9.592	16:03	5.07
C46	J11	J93	1.6	3.105	94.0625	32	0.013	0.01563	9.592	16:03	4.77
C107	J93	J10	1.6	3.105	94.0625	27.47	0.013	0.02112	12.06	16:03	7.06
C47	J10	J9	1.6	3.126	95.375	66.04	0.013	0.03364	12.733	16:03	6.33
C48	J9	J8	1.6	3.057	91.0625	99.26	0.013	0.01411	11.182	16:12	5.56
C49	J8	J7	1.6	3.057	91.0625	82.85	0.013	0.00181	8.048	16:28	4
C50	J7	J108	1.6	1.95	21.875	31	0.013	0.00419	8.178	16:28	4.38
C108	J108	J6	1.6	2.75	71.875	79.381	0.013	0.01348	10.366	16:28	6.38
C51	J6	J5	1.6	3.05	90.625	63.56	0.013	0.03574	10.594	16:22	5.31

	C52	J5	J4	1.6	3.182	98.875	29.75	0.013	0.01277	10.626	16:20	5.28
	C53	J4	J2	1.6	3.258	103.625	79	0.013	0.00506	10.748	16:02	5.35
	C54	J2	J1	1.6	3.258	103.625	31.16	0.013	0.00578	12.772	16:03	6.35
	C1	J1	J100	1.6	2.4	50	28.26	0.013	0.00849	13.296	16:03	6.61
	C93	J100	OF1	1.6	2.1	31.25	91.105	0.013	0.01383	13.298	16:03	6.61
PROFİL 2	C55	J34	J33	1.2	1.05	-12.5	39.25	0.013	0.02523	3.394	16:03	3.34
	C56	J33	J32	1.2	1.2	0	20.57	0.013	0.01167	5.904	16:03	5.59
	C58	J32	J31	1.2	1.2	0	28.96	0.013	0.04078	5.928	16:03	6.45
	C57	J31	J30	1.2	1.2	0	36.87	0.013	0.04725	6.413	16:03	5.67
	C59	J30	J29	1.2	1.2	0	10.34	0.013	0.00097	6.92	16:03	6.12
	C60	J29	J28	1.2	1.5	25	80.23	0.013	0.02294	5.793	16:04	5.38
	C61	J28	J27	1.2	1.5	25	20.24	0.013	0.04203	6.17	16:03	5.45
	C62	J27	J26	1.2	1.95	62.5	42.5	0.013	0.01435	5.829	16:04	5.15
	C63	J26	J25	1.2	1.95	62.5	45.66	0.013	0.00044	4.22	16:03	3.73
	C64	J25	J24	1.2	1.95	62.5	16.164	0.013	0.00928	4.991	16:03	4.45
	C65	J24	J22	1	1.95	95	34.18	0.013	0.01463	3.99	16:08	5.62
	C67	J22	J21	1	1.95	95	10	0.013	0.10152	4.021	16:08	5.77
	C68	J21	J20	1	2.1	110	53.9	0.013	0.01633	4.028	16:08	5.13
	C69	J20	J19	1	2.1	110	60.03	0.013	0.01483	4.319	16:03	5.5

	C70	J19	J18	1	2.1	110	56.36	0.013	0.02201	4.99	16:03	6.35
	C71	J18	J17	1	2.1	110	99.11	0.013	0.04545	4.927	16:08	6.27
	C72	J17	J16	1	2.1	110	6.12	0.013	0	5.77	16:03	7.35
	C73	J16	J15	1	2.1	110	70.65	0.013	0.03683	4.466	16:08	5.98
	C74	J15	J13	1	2.1	110	83.8	0.013	0.02865	4.408	16:13	5.61
PROFİL 3	C109	J127	J126	0.6	0.375	-37.5	44.23	0.013	0.03076	0.412	16:02	1.87
	C110	J126	J125	0.6	0.525	-12.5	46.9	0.013	0.01919	0.628	16:02	2.22
	C111	J125	J124	0.6	0.675	12.5	44.64	0.013	0.02241	0.858	16:03	3.03
	C112	J124	J123	0.6	1.05	75	86.57	0.013	0.00693	0.514	16:15	2.47
	C113	J123	J122	0.6	1.05	75	42.1	0.013	0.07863	0.661	16:15	3.58
	C114	J122	J119	0.6	1.35	125	69.27	0.013	0.02166	0.742	16:04	2.62
	C117	J119	J118	0.6	1.65	175	86.23	0.013	0.0058	1.346	16:09	4.76
	C118	J118	J117	0.8	1.65	106.25	87.06	0.013	0.01838	1.834	16:15	3.83
	C119	J117	J116	0.8	1.65	106.25	68.4	0.013	0.0234	1.991	16:13	4.1
	C120	J116	J115	0.8	1.8	125	58.74	0.013	0.02554	2.155	16:05	4.29
	C121	J115	J114	0.8	1.95	143.75	54.69	0.013	0.00823	1.6	16:21	3.18
	C122	J114	J113	0.8	1.95	143.75	49.85	0.013	0.02408	2.294	16:04	4.56
	C123	J113	J112	0.8	2.1	162.5	32	0.013	0.00781	1.795	15:59	3.57
C124	J112	J111	0.8	2.1	162.5	84.73	0.013	0.00472	1.838	15:59	3.74	
P	C125	J111	J110	0.8	2.1	162.5	66.9	0.013	0.02093	1.979	16:00	4.37

r	C126	J110	J109	0.8	2.1	162.5	56.98	0.013	0.03864	2.955	16:10	5.88
	C127	J109	J108	0.8	2.1	162.5	48.07	0.013	0.03122	2.955	16:10	5.88
PROFİL 4	C79	J92	J91	1	-	-	40.17	0.013	0.04161	2.105	16:03	3.67
	C80	J91	J90	1	-	-	58.71	0.013	0.01397	2.398	16:03	3.14
	C81	J90	J89	1	-	-	40.44	0.013	0.02251	3.245	16:03	4.13
	C82	J89	J88	1	-	-	27.7	0.013	0.00794	3.89	16:03	4.95
	C83	J88	J87	1.4	-	-	52.85	0.013	0.00851	4.002	16:03	2.6
	C84	J87	J86	1.4	-	-	66.16	0.013	0.00378	5.495	16:03	3.57
	C85	J86	J85	1.4	-	-	42.32	0.013	0.00473	6.75	16:03	4.47
	C86	J85	J84	1.4	-	-	40	0.013	0.0125	7.048	16:03	5.1
	C87	J84	J83	1.4	-	-	37	0.013	0.02433	6.701	16:03	4.72
	C88	J83	J82	1.4	-	-	45.63	0.013	0.01205	7.763	16:03	5.04
	C89	J82	J81	1.4	-	-	42.65	0.013	0.00117	7.955	16:03	5.17
	C90	J81	J80	1.4	-	-	75.34	0.013	0.01593	8.026	16:03	5.54
	C91	J80	J79	1.4	-	-	9.75	0.013	0.02565	12.455	16:03	8.09
C92	J79	OF2	1.4	-	-	32.38	0.013	0.04018	12.317	16:04	8.73	
PROFİL 5	C94	J107	J106	0.8	0.6	-25	18.58	0.013	0.03824	1.187	16:03	3.87
	C95	J106	J105	0.8	0.75	-6.25	42.52	0.013	0.02564	1.36	16:03	2.85
	C96	J105	J104	0.8	1.05	31.25	63.48	0.013	0.02868	2.359	16:04	4.69
	C97	J104	J103	0.8	1.05	31.25	76.46	0.013	0.03193	2.108	16:05	4.19

	C98	J103	J102	0.8	1.05	31.25	9.63	0.013	0.02285	2.835	16:03	5.64
	C99	J102	J101	0.8	1.2	50	80.8	0.013	0.02798	2.284	16:05	4.54
	C100	J101	J99	0.8	1.2	50	118.96	0.013	0.03406	2.332	16:07	4.64
	C101	J99	J98	0.8	1.65	106.25	70.92	0.013	0.02849	2.518	16:08	5.01
	C102	J98	J97	0.8	1.65	106.25	69.63	0.013	0.02672	2.19	16:21	4.73
	C103	J97	J96	0.8	1.8	125	93.19	0.013	0.04372	2.831	16:05	5.63
	C104	J96	J95	0.8	1.8	125	75.17	0.013	0.02382	2.335	16:26	4.67
	C105	J95	J94	0.8	1.95	143.75	79.34	0.013	0.0343	2.488	16:25	4.95
	C106	J94	J93	0.8	2.4	200	78.3	0.013	0.01316	2.937	16:02	5.84
PROFİL 6	C16	J78	J77	0.8	0.375	-53.125	27.21	0.013	0.0737	0.634	16:03	1.83
	C17	J77	J65	0.8	1.05	31.25	67.44	0.013	0.00741	1.356	16:03	2.7
	C75	J65	J61	0.8	1.2	50	62.01	0.013	0.00806	1.165	16:02	2.32
	C76	J61	J38	0.8	1.2	50	120.67	0.013	0.0058	1.145	16:05	2.49
	C77	J38	J3	0.8	1.2	50	88.88	0.013	0.01688	2.095	16:03	4.17
	C78	J3	J2	0.8	1.2	50	48.01	0.013	0.071	2.437	16:03	4.85
PROFİL 7	C115	J121	J120	0.6	0.6	0	38.1	0.013	0.0896	1.706	16:04	6.03
	C116	J120	J119	0.6	0.75	25	79.62	0.013	0.06608	0.91	16:07	3.22
PROFİL L.8	C66	J23	J22	0.4	0.3	-25	34.93	0.013	0.09403	0.209	16:03	1.68

Çizelge 5.3 incelendiğinde güncel meteorolojik veriler kullanılarak yapılan klasik hesaplamalar neticesinde sistemde taşmaların gerçekleşmemesi için gerekli olan çaplardaki ortalama değişme miktarı yaklaşık Profil 1 için %146; Profil 2 için %62; Profil 3 için %108; Profil 5 için %74.5; Profil 6 için %29; Profil 7 için %12.5; Profil 8 için % -25 olarak belirlenmiştir. Mevcut sistemde OF2 deşarj hattına bağlanan ve herhangi bir taşma sorunu yaşanmayan Profil 4'te hesaplamalar gerçekleştirilmemiştir. OF1 deşarj noktasına yağmursuyu taşıyan tüm sistem göz önüne alınırsa ortalama olarak % 111 oranında çap artışı söz konusu olmaktadır. Bu değer şöyle hesaplanmıştır: Mevcut sistemin boru çaplarıyla boru uzunlukları çarpılmış ve toplam boru uzunluğuna bölünmek suretiyle mevcut sistem için ortalama boru çapı 0.82 m olarak belirlenmiştir. Aynı işlem yeni önerilen çap ve uzunluklar kullanılarak tekrar edilmiş ve yeni sistem için ortalama boru çapı 1.73 m olarak tespit edilmiştir. Böylelikle mevcut sistemden yeni sisteme geçişte boru çaplarındaki artış ortalama %111 kadar arttığı hesap edilmiştir.

Çizelge 5.4'te de görüldüğü gibi malzeme, nakliye, işçilik ve kazı maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda mevcut yağmursuyu sisteminden önerilen yeni sisteme geçişte maliyet boruların birim uzunluğu için 3935,29 TL olmaktadır. Bu da Hayal Park havzası için OF1 deşarj noktasına ulaşan 6309,49 m uzunluğundaki yağmursuyu hattı için toplam 24.829.672,91TL maliyet oluşturmaktadır.

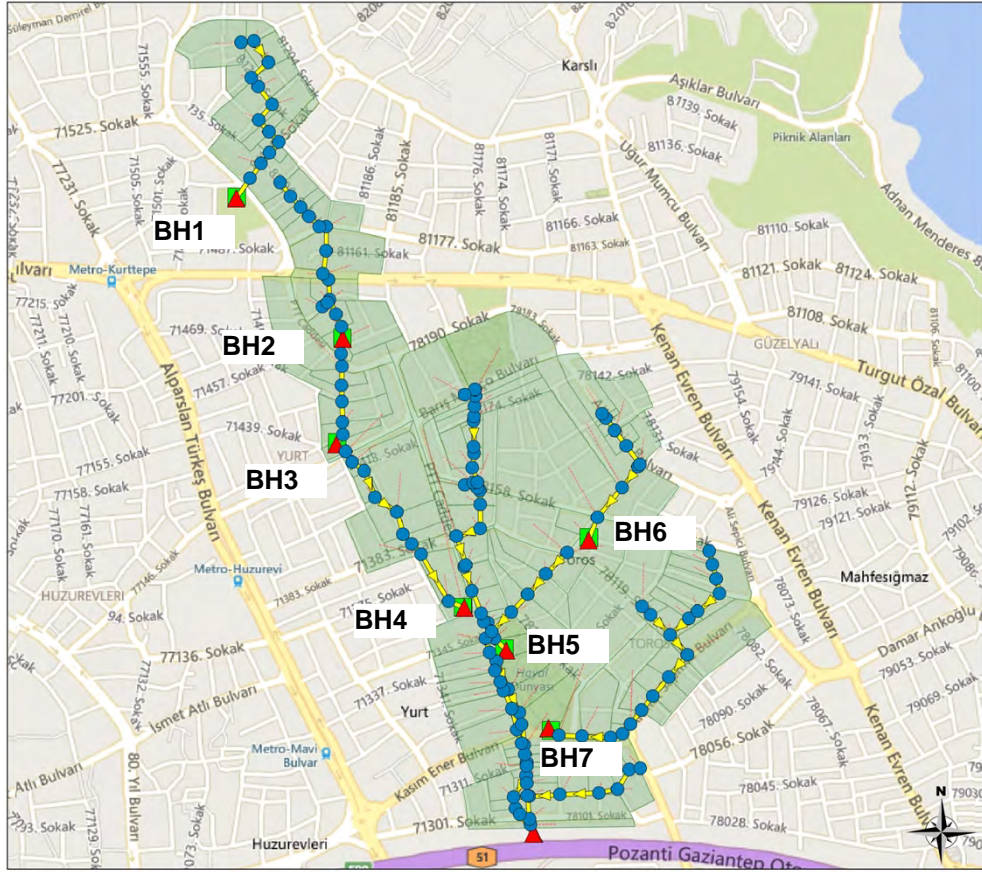
Çizelge 5.4. Önerilen yeni yağmursuyu sistemi için birim fiyat analizi

YAĞMURSUYU İNŞAATI YAPIM İŞİ*					
NO	İmalatın Cinsi	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı (TL)
1	0,00-2,00 MT. ARASI HENDEK VE TEMEL KAZISI	m ³	697.82	6.58	4,591.66
2	2 MT ÜZERİ HENDEK VE TEMEL KAZISI	m ³	272.16	7.05	1,918.73
3	MAKİNE İLE KAZI MALZ. İLE (KENDİ MALZ.) HENDEK VE TEMEL DOLGUSU	m ³	50.00	13.29	664.50
4	OCAK TAŞINDAN KONKASÖRLE KIRILMIŞ VE ELENMİŞ 0-25 MM ÇAPINDA KIRMA TAŞIN SULANMASI, KOMPAKTÖR İLE SIKIŞTIRILARAK HENDEK VE TEMEL TABAN ISLAHI VE BORU TABANI YATAKLANMASI YAPILMASI.(NAKLİYE DAHİL)	m ³	791.98	82.20	65,100.76
5	Ø400 MM ENTEGRE CONTALI BUHAR KÜRLÜ MUFLU BETON BORU	m	15.00	109.18	1,637.70
6	Ø1800MM ENTEGRE CONTALI BUHAR KÜRLÜ MUFLU BETONARME BORU (BORU BEDELİ, CONTA,BAŞ BAĞLAMA VE SIZDIRMAZLIK BEDELİ DAHİL) DÖŞENMESİ	m	100.00	1706.93	170,693.00
7	AĞIR YÜKE DAYANIKLI SFERO MENTEŞELİ DÖKÜM YAĞMURSUYU IZGARASI VE ÇERÇEVESİ (LASTİK CONTALI) 70X70 CM (TEKNİK ŞARTNAMESİNE UYGUN)	AD	3.00	685.02	2,055.06
8	YAĞMURSUYU IZGARALARI İÇİN PR.B.A. MENHOLU (0,87X0,87X100 CM) MONTAJ BEDELİ DAHİL.	AD	3.00	530.19	1,590.57
9	ASFALT SÖKÜMÜ	m ³	53.43	15.04	803.59
10	ASFALT KESİMİ	m ²	35.40	44.32	1,568.93
11	MUAYENE BACALARI	AD	3	1526.6	4,580
12	NAKLİYELER				25,446.92
100 METRE HAT UZUNLUĞU İÇİN MALİYET					280,651.40
1 METRE UZUNLUĞUNDAKİ BORU İÇİN BİRİM FİYAT					2,860.51
GÜNCEL ENDEKSE GÖRE 1 METRE FİYATI					3,935.29

*2018 yılı ASKİ birim fiyat analizleri, ÇŞB, İlbank ve DSİ pozlarından faydalanılmıştır.

5.3. Modern Yağmursuyu Yönetim Tekniği Elemanlarından Bekletme Havuzu Kullanılması

Mevcut yağmursuyu sistemi üzerinde yapılan çalışmalar sonrasında hat üzerinde problem oluşturan bölgeler tespit edilmiş, Hayal Park havzasındaki imar planları da göz önünde bulundurularak Şekil 5.30'da gösterilen uygun park alanlarının altlarına bekletme havuzları (BH) tasarlanmış, bekletme havuzlu mevcut sistem için PCSWMM program yardımıyla yeniden hesaplar gerçekleştirilmiştir.



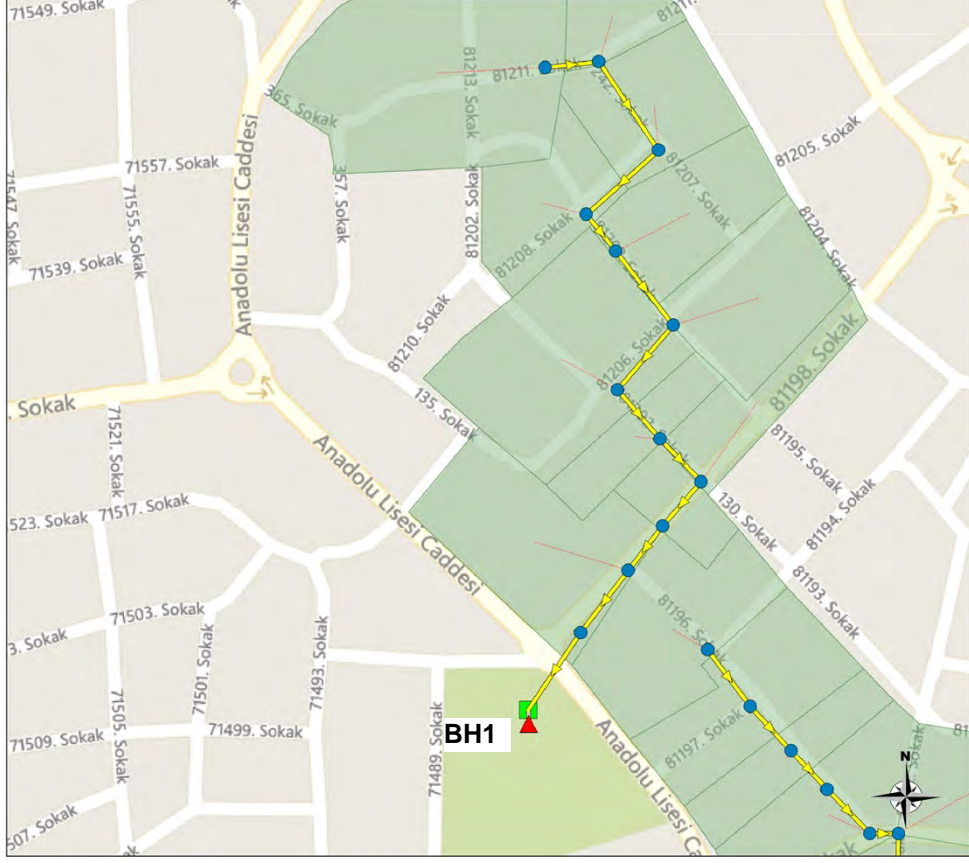
Şekil 5.30. Bekletme havuzları kullanılarak tasarlanan yeni yağmursuyu şebeke hattı

Mevcut sistemde en uzun hat olan Profil 1 hattı üzerinde 5 tane, Profil 5 ve Profil 3 üzerinde de birer tane olmak üzere toplamda 7 bekletme havuzu planlanmıştır. Havuz boyutları taşınan suyun deşarj noktasında biriktirdiği toplam su miktarına ve piyozometrik hatta göre oluşturulmuştur. Sistemde kullanılan modern yağmursuyu yönetimi uygulamalarından biri olan bekletme havuzlarıyla ilgili toplanan yağmursuyu miktarları, doluluk oranları, giriş ve çıkış kotları gibi hidrolik ve topoğrafik bilgiler Çizelge 5.5'te sunulmuştur.

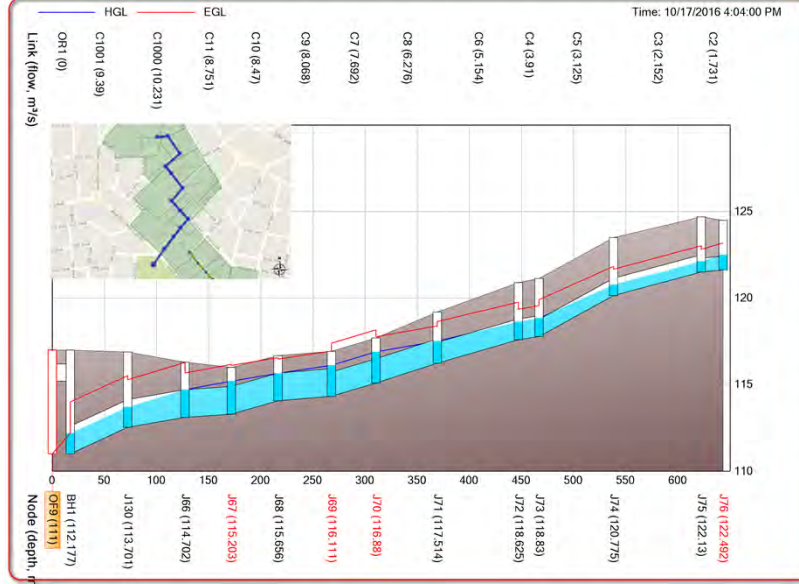
Çizelge 5.5. Bekletme havuzlarıyla ilgili hacimsel ve topoğrafik veriler

Havuz Adı	Arazi Kotu	Giriş Kotu	Orifis Çıkış Kotu	Hacmi (m ³)	Depolama Hacmi	Doluluk Oranı %
BH1	117	111	115.2	6000	4617	77
BH2	99	93	97	12000	6272	52
BH3	93.4	88.4	92.4	7500	3980	53
BH4	74.58	69.58	73.58	5000	4732	95
BH5	72	66	71	13800	13452	97
BH6	85.8	79.8	84.8	7200	7149	99
BH7	73	67	72	12000	11298	94

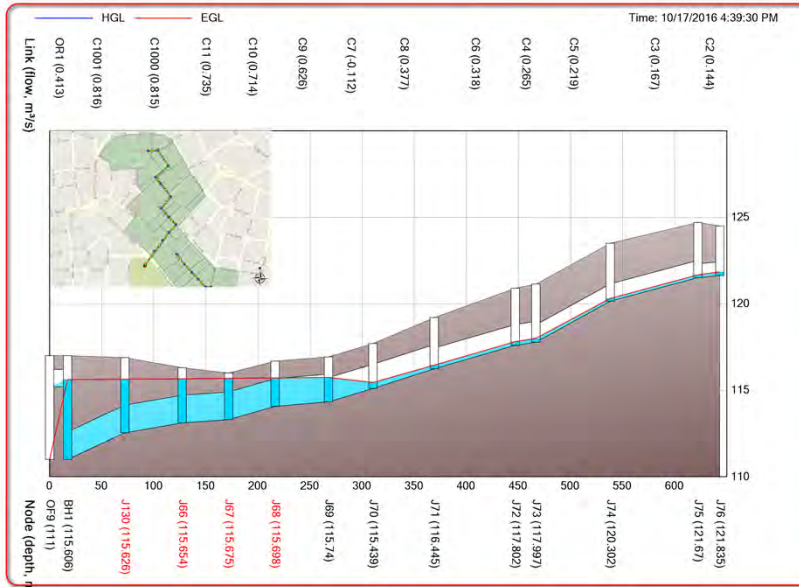
Yapılan hesaplamalar neticesinde bekletme havuzu kullanılarak tasarlanan Hayal Park bölgesinin mevcut yağmursuyu sisteminde herhangi bir problem söz konusu olmamış; muayene bacalarının olduğu noktalarda taşmalar gerçekleşmemiştir. Örnek teşkil etmesi amacıyla BH1'e deşarj sağlayan ve Şekil 5.31'de de gösterilen Profil ile ilgili maksimum doluluk anında ve yağış sonundaki piyozometrik kotlarını gösteren boykesitler sırasıyla Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'te sunulmuştur. Bu şekillerden de görüldüğü gibi sözü edilen hat, 25 yıl tekerrürlü yağış sonrasında oluşan yüzeysel akış sularını taşıma gerçekleşmeden güvenli bir şekilde tahliye etmektedir. Bu durum Şekil 5.30'da gösterilen diğer Profiller için de söz konusudur.



Şekil 5.31. BH1 bekleme havuzu ve bu havuza deşarj olan yağmursuyu hattı



Şekil 5.32. Maksimum doluluk anında yağmursuyu hattı ve BH1 bekleme havuzu



Şekil 5.33. Yağış bitiminde BH1 bekleme havuzu ve yağmursuyu hattı

Bekletme havuzlarının mevcut sisteme entegrasyonu sağlanarak tasarlanan yeni sistem için paket program kullanılarak yapılan hesaplamalar neticesinde önerilen boru ve akışla ilgili karakteristikler Çizelge 5.6'da sunulmuştur. Çizelgede GB giriş muayene bacasını, ÇB çıkış muayene bacasını, MBÇ mevcut boru çapını, ÖBÇ önerilen boru çapını, BHÖÇ bekletme havuzu için önerilen çapı, BU boru uzunluğunu, n Manning pürüzlülük katsayısını, S boru eğimini, Q_{maks} maksimum debiyi, t_{maks} maksimum debinin görüldüğü zamanı, V_{maks} borudaki maksimum hızı göstermektedir.

Çizelge 5.6. Bekletme havuzları kullanılarak tasarlanan mevcut yağmursuyu sisteminin yeni hidrolik özellikleri ve boru karakteristikleri

NO	GB	ÇB	MBCÇ (m)	MBCÖ ÇAP (m)	BHÖÇ ÇAP (mm)	DEĞİŞİM %	BU (m)	n	S	Q _{maks}	Q _{maks} Zama nı	V _{maks}	
BH1	C2	J76	J75	0,6	0,9	0,8	33,3	21,02	0,013	0,00571	2,014	16:03	00:28
	C3	J75	J74	0,6	1,05	1	66,7	84,07	0,013	0,01618	2,774	16:03	06:00
	C5	J74	J73	0,6	1,05	1	66,7	71,42	0,013	0,0332	3,803	16:03	06:28
	C4	J73	J72	0,6	1,2	1,2	100,0	19,8	0,013	0,00909	4,487	16:03	23:16
	C6	J72	J71	0,6	1,2	1,2	100,0	77,81	0,013	0,01748	5,267	16:03	23:16
	C8	J71	J70	0,6	1,5	1,4	133,3	58,81	0,013	0,01939	6,362	16:04	4,68
	C7	J70	J69	0,6	1,65	1,4	133,3	42,67	0,013	0,01805	7,755	16:03	5,04
	C9	J69	J68	0,6	1,65	1,6	166,7	51,18	0,013	0,00508	8,168	16:03	4,37
	C10	J68	J67	0,6	1,65	1,6	166,7	44,7	0,013	0,01723	8,66	16:04	4,44
	C11	J67	J66	0,6	1,65	1,6	166,7	44,52	0,013	0,00427	8,919	16:03	4,46
	C1000	J66	J130	1	-	1,6	60,0	55	0,013	0,010	10,56	16:04	6,1
C1001	J130	BH1	1	-	1,6	60,0	55	0,013	0,02801	10,92	16:04	6,75	
B	C14	J64	J63	0,6	1,95	1	66,67	54,83	0,013	0,02171	1,627	16:03	2,23

H	C15	J63	J62	0,6	2,1	1	67	36,4	0,013	0,0011	2,811	16:03	3,58
	C13	J62	J60	0,6	2,1	1	66,67	48,84	0,013	0,00246	3,336	16:03	4,25
	C18	J60	J59	0,6	2,1	1	66,67	43,18	0,013	0,01645	3,336	16:03	4,86
	C19	J59	J58	0,6	2,1	1,2	100	23,93	0,013	0,04853	4,032	16:03	4,1
	C20	J58	J57	0,8	2,1	1,2	50,00	73,17	0,013	0,0097	4,768	16:03	4,22
	C21	J57	J56	0,8	2,1	1,2	50	50,55	0,013	0,01068	6,337	16:03	6
	C22	J56	J55	0,8	2,1	1,2	50	46,89	0,013	0,05125	8,105	16:03	8,09
	C23	J55	J54	0,8	2,1	1,2	50	49,85	0,013	0,04297	7,429	16:04	7,79
	C24	J54	J53	0,8	2,1	1,2	50	48,57	0,013	0,06582	8,799	16:03	7,79
	C25	J53	J52	0,8	2,1	1,2	50	48,64	0,013	0,01953	8,8	16:03	9,14
	C27	J52	BH2	-	-	1,2	0	35,46	0,013	0,08663	9,785	16:03	12,73
	C128	J128	J129	0,4	0,75	0,6	50	0,009	1,018	0,0093	1,018	16:03	3,6
	C129	J129	J54	0,4	0,75	0,6	50	0,04	1,672	0,04009	1,672	16:03	5,91

Çizelge 5.5 (Devamı)

BH3	C28	J50	J49	0,8	2,1	0,8	0	41,13	0,013	0,02213	0,603	16:03	1,46
	C29	J49	J48	0,8	2,1	0,8	0	55,23	0,013	0,0317	2,723	16:03	5,42
	C30	J48	J47	0,8	2,1	1	25	48,14	0,013	0,02078	3,578	16:03	4,56
	C31	J47	J46	0,8	2,75	1,2	50	63,1	0,013	0,00713	5,587	16:03	4,94
	C32	J46	J45	0,8	2,75	1,4	75	36,94	0,013	0,01949	7,485	16:03	5,16
	C1003	J45	BH3	1	-	1,4	40	29,13	0,013	0,01202	8,955	16:03	7,7
BH4	C34	J44	J43	0,8	2,75	0,8	0	36,5	0,013	0,09051	1,202	16:03	7,62
	C35	J43	J42	1	2,75	1	0	55,63	0,013	0,02589	1,524	16:03	5,26
	C36	J42	J41	1	2,75	1	0	81,71	0,013	0,03551	1,878	16:03	4,52
	C37	J41	J40	1	2,75	1	0	71,26	0,013	0,02822	2,39	16:03	4,68
	C38	J40	J39	1	2,75	1,2	20	84,02	0,013	0,01178	4,651	16:04	3,65
	C39	J39	J37	1	2,75	1,2	20	54,12	0,013	0,02014	5,902	16:03	4,41
	C40	J37	J36	1	2,75	1,4	40	31,7	0,013	0,0243	6,576	16:03	5,96
	C41	J36	J35	1	2,75	1,4	40	185,4	0,013	0,02342	8,471	16:04	5,48
	C1002	J35	BH4	-	-	1,4	0	57,79	0,013	0,05207	9,181	16:04	7,62
BH5	C55	J34	J33	1,2	1,05	1,2	0	39,25	0,013	0,02523	3,416	16:03	3,37
	C56	J33	J32	1,2	1,2	1,2	0	20,57	0,013	0,01167	5,95	16:03	5,59
	C58	J32	J31	1,2	1,2	1,2	0	28,96	0,013	0,04725	6,227	16:03	5,75

C57	J31	J30	1,2	1,2	1,2	0	36,87	0,013	0,04078	5,762	16:03	6,91
C59	J30	J29	1,2	1,2	1,2	0	10,34	0,013	0,00097	6,794	16:03	6,01
C60	J29	J28	1,2	1,5	1,2	0	80,23	0,013	0,02294	6,89	16:03	6,31
C61	J28	J27	1,2	1,5	1,2	0	20,24	0,013	0,04203	7,338	16:03	6,49
C62	J27	J26	1,2	1,95	1,4	16,67	42,5	0,013	0,01435	7,44	16:03	4,83
C63	J26	J25	1,2	1,95	1,4	16,67	45,66	0,013	0,00044	8,391	16:03	6,41
C64	J25	J24	1,2	1,95	1,4	16,67	16,16	0,013	0,07133	9,888	16:03	10,64
C65	J24	J22	1	1,95	1,4	40	34,18	0,013	0,01463	10,26	16:03	6,92
C67	J22	J21	1	1,95	1,4	40	10	0,013	0,10152	9,685	16:03	7,11
C44	J13	J12	1,6	2,75	2	25	27,74	0,013	0,00721	13,89	16:04	5,42
C45	J12	J11	1,6	3,11	2,2	37,5	7,42	0,013	0,01348	14,16	16:03	6,3
C68	J21	J20	1	2,1	1,4	40	53,9	0,013	0,01633	9,72	16:03	6,31
C69	J20	J19	1	2,1	1,4	40	60,03	0,013	0,01483	10,05	16:04	6,56
C70	J19	J18	1	2,1	1,4	40	56,36	0,013	0,02201	10,63	16:03	7,3

Çizelge 5.5 (Devamı)

BH5	C71	J18	J17	1	2,1	1,4	40	99,11	0,013	0,04525	12,14	16:04	8,35
	C72	J17	J16	1	2,1	1,4	40	6,12	0,013	0,00327	13,44	16:04	9,75
	C73	J16	J15	1	2,1	2	100	70,65	0,013	0,03683	13,42	16:04	7,28
	C74	J15	J13	1	2,1	2	100	83,8	0,013	0,02865	14,02	16:04	6,01
	C46	J11	J93	1,6	3,11	2,2	37,5	32	0,013	0,01563	14,27	16:04	5,88
	C107	J93	J10	1,6	3,11	2,2	37,5	27,47	0,013	0,02112	22,05	16:05	10,21
	C1005	J10	SU5	1,6	-	2,4	50	44,22	0,013	0,06572	22,67	16:05	11,17
	C103	J97	J96	0,8	1,8	1	25	93,19	0,013	0,04372	5,082	16:03	6,51
	C104	J96	J95	0,8	1,8	1,2	50	75,17	0,013	0,02382	7,492	16:03	6,67
	C105	J95	J94	0,8	1,95	1,6	100	79,34	0,013	0,0343	10,85	16:03	6,23
	C106	J94	J93	0,8	2,4	1,6	100	78,3	0,013	0,02057	13,25	16:03	6,88
C66	J23	J22	0,4	0,3	0,4	0	34,93	0,013	0,09403	0,111	16:03	1,3	
BH6	C94	J107	J106	0,8	0,6	0,8	0	18,58	0,013	0,03824	1,216	16:03	4,17
	C95	J106	J105	0,8	0,75	0,8	0	42,52	0,013	0,02564	1,343	16:03	3,03
	C96	J105	J104	0,8	1,05	0,8	0	63,48	0,013	0,02868	3,155	16:03	6,29
	C97	J104	J103	0,8	1,05	1	25	76,46	0,013	0,03193	3,933	16:03	5,38
	C98	J103	J102	0,8	1,05	1	25	9,63	0,013	0,02285	4,717	16:03	6,27
	C99	J102	J101	0,8	1,2	1,2	50	80,8	0,013	0,02798	5,039	16:03	5,87

BH7	C100	J101	J99	0,8	1,2	1,2	50	119	0,013	0,03406	6,296	16:03	5,96
	C1004	J98	BH6	-	-	1,2	0	65,61	0,013	0,05725	12,71	16:04	11,23
	C109	J127	J126	0,6	0,38	0,6	0	44,23	0,013	0,03076	0,221	16:03	4,17
	C110	J126	J125	0,6	0,53	0,6	0	46,9	0,013	0,01919	0,527	16:03	3,03
	C111	J125	J124	0,6	0,68	0,6	0	44,64	0,013	0,02241	0,868	16:03	6,29
	C112	J124	J123	0,6	1,05	1,2	100	86,57	0,013	0,00693	2,664	16:03	4,26
	C113	J123	J122	0,6	1,05	1,4	133,33	42,1	0,013	0,07863	4,05	16:03	4,43
	C114	J122	J119	0,6	1,35	1,4	133,33	69,27	0,013	0,00722	4,576	16:03	3,24
	C117	J119	J118	0,6	1,65	1,4	133,33	86,23	0,013	0,01624	6,742	16:04	4,54
	C118	J118	J117	0,8	1,65	1,4	75	87,06	0,013	0,01838	8,978	16:04	5,83
	C119	J117	J116	0,8	1,65	1,4	75	68,4	0,013	0,0234	9,913	16:04	6,44
	C120	J116	J115	0,8	1,8	1,4	75	58,74	0,013	0,02554	10,73	16:04	6,97
	C121	J115	J114	0,8	1,95	1,6	100	54,69	0,013	0,00823	11,47	16:03	5,97
	C122	J114	J113	0,8	1,95	1,8	125	49,85	0,013	0,02408	13,76	16:04	5,89

Çizelge 5.6 (Devamı)

BH7	C123	J113	J112	0,8	2,1	2	150	32	0,013	0,00781	13,97	16:04	4,6
	C124	J112	J111	0,8	2,1	2	150	84,73	0,013	0,00472	15,02	16:04	5,62
	C125	J111	J110	0,8	2,1	2	150	66,9	0,013	0,02093	16,82	16:04	8,37
	C42	J110	BH7	-	-	2	0	27,65	0,013	0,02533	20,77	16:04	11,29
	C115	J121	J120	0,6	0,6	1,2	100	38,1	0,013	0,0896	2,074	16:03	5,62
	C116	J120	J119	0,6	0,75	1,2	100	79,62	0,013	0,05598	2,486	16:03	8,37
OF1	C16	J78	J77	0,8	0,38	0,8	0	27,21	0,013	0,0737	0,631	16:03	1,83
	C17	J77	J65	0,8	1,05	0,8	0	67,44	0,013	0,00741	1,355	16:03	2,7
	C78	J3	J2	0,8	1,2	0,8	0	48,01	0,013	0,071	2,519	16:05	5,24
	C75	J65	J61	0,8	1,2	0,8	0	62,01	0,013	0,00806	1,217	16:00	2,42
	C76	J61	J38	0,8	1,2	0,8	0	120,7	0,013	0,0058	1,233	16:05	2,46
	C77	J38	J3	0,8	1,2	0,8	0	88,88	0,013	0,01688	2,445	16:03	5,01
	C1	J1	J100	1,6	2,4	1,2	-25	28,26	0,013	0,00849	5,612	16:03	4,96
	C93	J100	OF1	1,6	2,1	1,2	-25	91,11	0,013	0,01383	5,612	16:03	4,96
	C54	J2	J1	1,6	3,26	1	-37,5	31,16	0,013	0,00578	5,302	16:03	6,75
	C48	J9	J8	1,6	3,06	0,6	-62,5	99,26	0,013	0,01411	0,254	16:03	1,53
	C49	J8	J7	1,6	3,06	0,8	-50	82,85	0,013	0,00181	0,695	16:04	1,38
	C50	J7	J108	1,6	1,95	0,8	-50	31	0,013	0,00419	1,102	16:04	2,79

C51	J6	J5	1,6	3,05	0,8	-50	63,56	0,013	0,03574	1,861	16:06	3,91
C108	J108	J6	1,6	2,75	0,8	-50	79,38	0,013	0,01348	1,208	16:06	3,09
C52	J5	J4	1,6	3,18	1	-37,5	29,75	0,013	0,01277	2,116	16:03	2,69
C53	J4	J2	1,6	3,26	1	-37,5	79	0,013	0,00506	2,422	16:03	3,08

Çizelge 5.6'da da görüldüğü gibi bekletme havuzları yapıldıktan sonra mevcut sisteme göre boru çaplarında %49'luk bir çap artışı söz konusu olmakta, sistemin ortalama boru çapı 1.22 m olarak gerçekleşmektedir. Bekletme havuzunun yapılması, mevcut sistemin klasik olarak tasarlanmasına göre boru çapında ortalama %62'lik bir küçülme sağlamaktadır. Mevcut sistemin boru hattı 6309 m iken bekletme havuzu entegre edilerek tasarlanan yeni sistemde boru uzunluğu 6006 m olarak gerçekleşmektedir.

Mevcut sistemin deşarj noktalarının bağlandığı menfeze OF1 için 30642 m³ ve OF2 için 7012 m³ olmak üzere toplamda 37672 m³ su boşalırken, bekletme havuzlarının tasarımı sonrasında bu miktar OF1 için 4830 m³ ve OF2 için 7012 m³ olmak üzere toplamda 11842 m³ değerine düşmektedir. Bu da Şekil 5.4'te gösterilen bekletme bölgesini rahatlatmaktadır. Buna ilave olarak Hayal Park havzasının otoyol güneyinde hattın devamı niteliğinde olan 1.4 m çaplı mevcut borulardan daha küçük çaplı borularla yağmursuyu iletilmesi söz konusu olacaktır. Ayrıca bu noktadan itibaren Yaşar Bayboğan Caddesi batısındaki dereye ulaşınca kadar güzergah boyunca boru çaplarında ve yapı boyutlarında da azalma gerçekleşecektir. Bu da hem ekonomik hem de fiziki olarak tasarruf sağlayacaktır.

Çizelge 5.6'te sunulduğu gibi 1m³ havuz yapımının maliyeti yaklaşık 90.49 TL olmaktadır. Planlanan 7 havuz için toplam 63500 m³ depolama hacmi belirlenmiş ve havuzların maliyeti 5,746,115.00 TL olarak hesaplanmıştır. Havuzların, boruların 1 m uzunluğuna yaklaşık olarak getirdiği ek maliyet 956 TL'dir. Boru çaplarındaki ortalama %49 lik çap artışı esas alınarak 1.2 m çaplı borunun birim uzunluğunun havuzlu maliyeti 3480TL olarak hesap edilmiştir. Hayal Park havzasındaki yağmursuyu hattının toplam maliyeti ise yaklaşık 20,905,264.38 TL olarak belirlenmiştir. Bu değere göre bekletme havuzlu sistemden elde edilen tasarruf oranı yaklaşık %15 olarak gerçekleşmiştir. Tasarruf oranının belirlenmesinde havuzlarda biriktirilen suyun yeniden kullanılabilmesi, uzun hatlarda çap artışının getirmiş olduğu ilave maliyetler, deşarj noktalarındaki

ve ana kollektörlerdeki boyutsal azalmaların getirmiş olduğu maliyetteki tasarruflar dikkate alınmamıştır.

Modern yağmursuyu yönetimi ile ilgili uygulamalardan yeşil çatı, orta refüj drenaj arkları, refüj bitkilendirmesi, yağmur bahçeleri, geçirimli kaldırım ve asfalt uygulamaları gibi düzenlemelerin yapılması halinde yağmursuyu drenaj şebeke ve hatlarının maliyet ve işletme açısından daha ekonomik ve sürdürülebilir olacağı beklenebilir.

Çizelge 5.7. BH1 Betonarme yağmursuyu bekletme havuzunun yaklaşık maliyeti

YAĞMURSUYU İNŞAATI YAPIM İŞİ*					
Sıra No	İmalatın Cinsi	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı (TL)
1	0,00-2,00 MT. ARASI HENDEK VE TEMEL KAZISI	m ³	2,438.00	6.58	16,042.04
2	2 MT ÜZERİ HENDEK VE TEMEL KAZISI	m ³	4,876.00	7.05	34,375.80
3	MAK.İLE KAZI MALZ. İLE (KENDİ MALZ.) HENDEK VE TEMEL DOL.	m ³	1.104	13.29	14,672.16
4	OCAK TAŞ.KONK.KIR.VE ELENMİŞ 0-25 MM ÇAP. KIR. TAŞ. SUL.KOMPAKTÖR İLE SIK. HENDEK VE TEMEL T. ISLAHI VE B. TABANI YAT.YAP.(NAKLİYE DAHİL)	m ³	210.00	82.20	17,262.00
5	C 30/37 HAZIR BETONU	m ³	920.00	189.53	174,367.60
6	Q8-12MM İNCE NERVÜRLÜ ÇELİĞİN BÜKÜLÜP DÖŞ.	TON	3.09	2,552.31	7,886.64
7	Q14-26MM KALIN NER.ÇEL. BÜK. DÖŞENMESİ	TON	62.15	2,503.25	155,576.99
8	PLAYWOOD İLE YAPILAN DÜZ YÜZEYLİ BETON VE BETONARME KALIBI	m ²	1,680.00	39.63	66,578.40
9	ÇELİK BORUDAN KALIP İSKELESİ YAPILMASI (00.00-4,00 ARASI)	m ²	680.85	5.28	3,594.89
10	YÜKSEK DAYANIMLI BETONARME MUAYENE KAPAĞI (D-400) MONTAJ BEDELİ DAHİL	AD	1	195.29	195.29
11	DEMİR NAKLİ	TON	69.59	34.60	2,407.83
12	MOLOZ NAKLİ	m ³	6,000.00	8.33	49,980.00
BH 1 (6000 M³) TOPLAM MALİYETİ					542,939.63
1 M³ BİRİM FİYATI					90,49

*2018 yılı ASKİ birim fiyat analizleri, ÇŞB, İlbank ve DSİ pozlarından faydalanılmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, modern yağmursuyu yönetimi uygulamalarından olan bekletme havuzunun yağmursuyu drenaj hattı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Adana ili, Çukurova ilçesi, Hayal Park Bölgesi çalışma alanı olarak tespit edilmiştir. Adana ilinin ve seçilen çalışma alanının yağmursuyu drenaj şebekesi ve hattı ile ilgili durum tespiti yapılmış, şehrin ve bölgenin yağmursuyu drenaj hattı envanteri çıkarılmıştır. 25 yıllık tekerrür süresine sahip yağışlarla ilgili veriler kullanılarak Hayal Park bölgesindeki mevcut yağmursuyu drenaj sisteminin kapasitesi test edilmiştir. Yağmursuyu drenaj hattı ile ilgili hesaplamalar, Kiefer&Chu (Chicago) yağış dağılım yöntemi esas alınarak PCSWMM paket programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Mevcut sistem bekletme havuzlu olarak yeniden tasarlanmış ve buna göre sistemin hesaplamaları yeniden gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular havuzsuz durum için elde edilen hidrolik ve boru karakteristikleri ile karşılaştırılmış ve maliyet analizi yapılmıştır.

Büyükşehir merkezleri için önerilen 25 yıl tekerrürlü yağışlara göre Hayal Park bölgesindeki mevcut yağmursuyu drenaj sistemi yetersiz kalmaktadır. 25 yıl tekerrürlü yağışlara göre önerilen yeni yağmursuyu drenaj hattı için bölgenin yeniden revize edilmesi durumunda boru çaplarında ortalama %111'lik artış söz konusu olmaktadır. Bu da boruların birim uzunluğu için yaklaşık olarak 3935,29 TL maliyete sebep olmaktadır. Modern ve sürdürülebilir yağmursuyu yönetimi uygulamalarından bekletme havuzunun kullanılması halinde ise mevcut sisteme göre boru çaplarında %49'luk bir çap artışı söz konusu olmakta, sistemin ortalama boru çapı 1.22 m olarak gerçekleşmektedir. Bekletme havuzunun yapılması, havuzsuz sisteme göre boru çapında ortalama %62'lik bir küçülme sağlamaktadır. Bekletme havuzlu sistemde borunun birim uzunluğunun maliyeti yaklaşık olarak 3480 TL olarak hesap edilmiştir.

Havuzların, boruların 1 m uzunluğuna yaklaşık olarak getirdiği ek maliyet 956 TL'dir. Boru çaplarındaki ortalama %49 luk çap artışı esas alınarak 1.2 m çaplı borunun birim uzunluğunun havuzlu maliyeti 3480TL olarak hesap edilmiştir. Bekletme havuzları kullanılarak tasarlanan yeni sistemde %15 oranında tasarruf sağlanmaktadır. Ayrıca biriktirilen suyun sulama ve diğer amaçlar için yeniden kullanıma sunulması, deşarj noktalarında, kollektör ve yağmursuyu iletim hatlarında yapısal boyutların azalması hususlarında fayda sağlamaktadır.

Bu çalışmada yapılanlara ilave olarak modern yağmursuyu yönetimi ile ilgili yeşil çatı, orta refüj drenaj arkları, refüj bitkilendirmesi, yağmur bahçeleri, geçirimli kaldırım ve asfalt gibi uygulamaların yağmursuyu drenaj hatları üzerindeki etkilerinin araştırılmasına yönelik çalışmalar önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- ASCE,1992. Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems.
- Åstebøl, S. O., Hvitved-Jacobsen, T. ve Simonsen, Ø. J. S. o. t. T. E. 2004. Sustainable Stormwater Management at Fornebu—from an Airport to an Industrial and Residential Area of the City of Oslo. Norway. 334: 239-249.
- Bayazıt, M., 1982. Hidroloji. İstanbul Teknik Üniversite Matbaası, Gümüşsuyu, 120.
- Bayazıt, M., 1991. Hidroloji. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 237.
- Bayazıt, M., 2003. Hidroloji. Birsen Yayınevi, İstanbul, 224.
- Butler D., Davies J. W., 2004. Urban Drainage. Spon Press, London, 543.
- Chinnayakanahalli, K., Kroeber, C., Hill, R. A., Tarboton, D. G., Olson, J. R., & Chow, V. T., Maidment, D. R., & Larry, W. Mays, 1988. Applied Hydrology. International edition, MacGraw-Hill, Inc, USA, 149.
- Clarke, A. L., Gruen, A., & Loon, J. C. 1982. The Application of Contour Data For Generating High Fidelity Grid Digital Elevation Models. In Proceedings of Autocarto (Vol. 5, pp. 213-222).
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017.
<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/06/20170623-8.htm>
- Demir, D., 2012. Konvansiyonel Yağmursuyu Yönetim Sistemleri İle Sürdürülebilir Yağmursuyu Yönetim Sistemlerinin Karşılaştırılması İtÜ Ayazağa Yerleşkesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Durrans, S., Dietrich, K., & Ahmad, M. 2003. Stormwater conveyance modeling and design. Haestad press, USA, 686.
- Efe, M. 2006. Atıksu Ve Yağmursuyu Toplayıcı Sistemlerinin Tasarımı Ve İşletilmesinde Kullanılan Bilgisayar Destekli Modellerin Değerlendirilmesi

- Ve Bir Örnek Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Hall, M.J.,1984. Urban Hydrology. Elsevier Applied Science, London, 310.
- Hawkins, C. P. 2006. The Multi-Watershed Delineation Tool: GIS Software in support of regional watershed analyses. Utah State University, Logan, Utah.
- İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Şartnamesi,
<http://avesis.yildiz.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=1&USER=2779>
- Kabak, H.,2001. Adana Kenti Yüzeysel Akışa Geçen Yağmur Sularının Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Kırkgöz, M.S., 2013. Akışkanlar Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul,561.
- Koutsoyiannis, D., Kozonis, D., & Manetas, A., 1998, A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. Journal of Hydrology, 206(1-2), 118-135.
- Levi, S. 2007. Yağış Sularının Sürdürülebilir Yönetimi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Marsalek, J., & Watt, W. E., 1984. Design storms for urban drainage design. Canadian Journal of Civil Engineering, 11(3), 574-584.
- Mays, L., 2001, Stormwater Collection Systems Design Handbook, The McGraw-Hill Companies, USA,
- McCuen, R. H., 1989, Hydrologic Analysis and Design, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, USA, pp. 143-147.
- McKelvie, S. A. 1982. Preparing a design storm.Proceedings of Stormwater and Water Quality Management Modeling Users Group Meeting, March 25-26,1982. Report EPA-600/19-82-015, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA

- Mirhan, S. 2009. İstanbul'da Yağmur Suyu Deşarjı için Mühendislik Kriterlerinin Yeniden Analiz Edilerek Optimum Boru Kesitinin Tayini. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Muslu, Y., 1993, Hidroloji ve Meskun Bölge Drenajı, İstanbul Teknik Üniversite Matbaası, Gümüşsuyu, 703.
- Nhat, L. M., Tachikawa, Y., & Takara, K., 2006, Establishment of intensity-duration-frequency curves for precipitation in the monsoon area of Vietnam. *Annals of Disas. Prev. Res. Inst.*, 93-103.
- Neupane, B. 2018. Effectiveness of Low Impact Development Practices in Reducing Urban Stormwater Runoff Under Land Use and Climate Change Scenarios. Master of Science Thesis, Civil Engineering, Clemson University, Clemson, South Carolina, USA.
- Öner, S. S. 1997. The Use of Swmm Simulation Model in Urban Storm Water Management. Master of Science Thesis, Natural And Applied Science, Dokuz Eylül Universtiy, İzmir.
- Pazwash H., 2016, Urban Storm Water Management, CRC Press, USA
- Stahre, P., 2005, 15 years experiences of sustainable urban storm drainage in the city of Malmo, Sweden. In *Impacts of Global Climate Change* (pp. 1-12).
- Şahin, H. İ. 2006. Izgara Tipi Yağmur Suyu Giriş Yerlerinin Meskun Bölge Drenajı Kapsamında İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Toy, İ. 2011. Antalya Yağmur Suyu Drenaj Sistemi Kapasitesinin Geliştirilmesi İçin Alternatif Öneriler. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Şekerdağ, N., 2017, Su Getirme ve Kanalizasyon Problemleri, Nobel Yayıncılık, İstanbul, 300.
- Venkatachalam, P., Mohan, B. K., Kotwal, A., Mishra, V., Muthuramakrishnan, V., & Pandya, M. 2001, November. Automatic delineation of watersheds

for hydrological applications. In 22nd Asian Conference on Remote Sensing (pp. 5-9). Singapore.

Zawilski, M., Sakson, G., Brzezinska, A. J. E. ve Hydrobiology 2014. Opportunities for Sustainable Management of Rainwater: Case Study of Łódź, Poland. 14(3): 220-228.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Adana'da doğdu. İlköğrenimini Silifke Gazipaşa İlkokulunda orta öğrenimini Antalya Elmalı Anadolu Lisesi ve lise öğrenimini ÇEAŞ Seyhan Anadolu Lisesinde tamamladı. Lisans eğitimine 2004 yılında başlayarak Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden Ocak 2010 tarihinde mezun oldu. Özel sektörde Şantiye Şefi olarak 1 yıllık çalışmanın ardından askerlik hizmetini 2012 yılında tamamladı. Askerlik vazifesi sonrası Toplu Konut İdaresi Başkanlığı'nın Adana ili sınırları içerisinde yapımını gerçekleştirdiği anahtar teslim işlerden ayrı ayrı 5 adet okul, 3 adet hastane ve 2 adet yurt binası projelerini Kontrol Mühendisi olarak tamamladı. 2015 yılında Adana Su ve Kanalizasyon İdaresi Yatırım ve İnşaat Daire Başkanlığı'nda İnşaat Mühendisi olarak göreve başladı. Halen aynı kurumda çalışmalarına devam etmektedir.