

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATIKSU VE YAĞMURSUYU TOPLAYICI  
SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE İŞLETİLMESİNDE  
KULLANILAN BİLGİSAYAR DESTEKLİ MODELLERİN  
DEĞERLENDİRİLMESİ VE BİR ÖRNEK UYGULAMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çevre Müh. Murat EFE**

**Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

**Programı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

**EYLÜL 2006**

**ATIKSU VE YAĞMURSUYU TOPLAYICI  
SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE İŞLETİLMESİNDE  
KULLANILAN BİLGİSAYAR DESTEKLİ MODELLERİN  
DEĞERLENDİRİLMESİ VE BİR ÖRNEK UYGULAMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Çevre Müh. Murat EFE  
(501990402)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 Mayıs 2006  
Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Haziran 2006**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa TURAN  
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Cumali KINACI (İ.T.Ü)  
Prof.Dr. Sedat KABDAŞLI (İ.T.Ü.)**

**EYLÜL 2006**

## İÇİNDEKİLER

<b>KISALTMALAR</b>	<b>iv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>v</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>vi</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b>	<b>viii</b>
<b>ÖZET</b>	<b>ix</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>x</b>

<b>1. ATIKSU TOPLAMA SİSTEMİNİN HESABINDA MODELİ OLUŞTURAN ELEMANLAR</b>	<b>1</b>
1.1. Genel	1
1.2. Atıksu Debilerinin Tahmini	1
1.2.1. Nüfus Hesabı	1
1.2.1.1. Aritmetik Artış Metodu	1
1.2.1.2. Geometrik Artış Metodu	2
1.2.1.3. Azalan Hızlı Nüfus Artışı Yöntemi	3
1.2.1.4. İller Bankası Yöntemi	3
1.2.2. Su Tüketimi	3
1.2.2.1. İSKİ Kanalizasyon Projeleri teknik Şartnamesi	4
1.2.3. Evsel Ortalama Atıksu Debisi	7
1.2.4. Endüstriyel Ortalama Atıksu Debisi	10
1.2.5. Sızma Debisi	11
1.2.6. Pik Hesap Debisi	11
1.3 Atıksu Toplayıcıları Proje Kriterleri	12
1.4. Atıksu Toplama Sistemi Tasarımında Kullanılan Bilgisayar Modelleri	13
1.4.1. MS Kanal	13
1.4.2. InSewer	16
1.4.3. Micro Drainage	17
1.4.4. SewerCAD	18

<b>2. YAĞMURSUYU TOPLAMA SİSTEMİNİN HESABINDA MODELİ OLUŞTURAN ELEMANLAR</b>	<b>21</b>
2.1. Yağış Analizleri	22
2.2. Yüzeysel Akış	25
2.2.1. Yüzeysel Akışı Etkileyen Faktörler	28
2.2.1.1. Drenaj Alanı (Havza)	28
2.2.1.2. Toplanma Süresi	28
2.2.1.3. Giriş Süresi	28
2.2.1.4. Akış Süresi	29
2.3. Yağmursuyu Toplayıcıları Proje Kriterleri	29

<b>3. KANALLARDA HİDROLİK TAHKİKLER</b>	<b>32</b>
3.1. Açık Kanallarda Akış	32
3.2. Boru Hidroliği	34
3.2.1. Dolu Akan Kanallarında Akım	34
3.2.1.1. Darcy - Weisbach Bağıntısı	34
3.2.1.2. Colebrook - White Bağıntısı	35
3.2.1.3. Hazen - Williams Bağıntısı	35
3.2.1.4. Manning Bağıntısı	36
3.3. Boru Cinsine Göre Pürüzlülük	37
<b>4. MATERYAL VE METOD</b>	<b>39</b>
4.1. Modelleme Yaklaşımlarında Kullanılan Programlara Genel Yaklaşım	39
4.2. Yağmursuyu Debisi Tahmini	41
4.2.1. Teorik ve Ampirik Modeller	41
4.2.2. Deterministik Modeller	42
4.2.2.1. Hidrolik Modeller (Dinamik Model)	43
4.2.2.2. Hidrolojik Öteleme Modelleri	45
4.3. Modelleme Programları ve Özellikleri	45
4.3.1. MIKE 11	45
4.3.2. WMS (Watershed Modelling System)	47
4.3.3. MIKE SWMM	49
4.3.4. BOSS STORM SHED	50
4.3.5. BOSS HEC-RAS	51
4.3.6. AULOS	52
4.3.7. MOUSE	52
4.3.8. InfoWorks CS	54
4.4. Modelleme ve Ölçülmüş Değerlere Ait Literatürdeki Çalışmalar	55
4.4.1. Enerji Denklemlerinin Çözümü ile Literatürdeki Çalışma	55
4.4.2. Gerçek Havza Testi İle İlgili Literatürdeki Çalışma	57
4.4.2.1. Havza 1 Test Çalışması	58
4.4.2.2. Havza 2 Test Çalışması	61
4.4.2.3. Test Şartları	62
4.4.2.4. Simülasyonların Sonucu	63
<b>5. DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA</b>	<b>65</b>
5.1. Atıksu ve Yağmursuyu Sistemleri İçin Modelleme Çalışması: Bursa İlinde Taşkınların Önlenmesinin Araştırılması	65
5.2 InfoWorks CS Modelinin Özellikleri	65
5.2.1. InfoWorks CS Hesap Yöntemleri	72
5.2.2. InfoWorks CS Akış Hacim Modelleri	73
5.2.3. InfoWorks CS Akış Öteleme Modelleri	74
5.2.3.1. Çift Lineer Rezervuar Modeli (Wallingford Modeli)	75
5.3. Atıksu ve Yağmursuyu Toplayıcı Hatlarının Modelleme ve Simülasyon Çalışmaları	77
5.3.1. Mevcut Hatların Tahkiki	79
5.3.1.1. Atıksu ve Yağmursuyu Toplayıcılarının Ayrılması Durumu	80
5.3.1.2. Atıksu ve Yağmursuyu Toplayıcılarının Ayrılamaması Durumu	80

5.3.2. Birleşik Sisteme Dolu Savaklarının Tahkiki	83
5.4. Taşkın Önleme Çalışmaları	88
5.4.1. Alternatif Çözüm 1: Savak Yapıları Revizyonu	89
5.4.2. Alternatif Çözüm 2: Terfi Merkezi Öncesi Deşarj Hattı Planlanması	91
5.4.3. Alternatif Çözüm 3: Geciktirme Havuzu Planlanması	94
<b>6. SONUÇLAR</b>	<b>96</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>99</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>102</b>
<b>EKLER</b>	<b>103</b>

## KISALTMALAR

<b>ASKİ</b>	: Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi
<b>API</b>	: Antecedent Precipitation Index
<b>BAAT</b>	: Batı Atıksu Arıtma Tesisi
<b>BUSKİ</b>	: Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi
<b>CAD</b>	: Computer Aided Design
<b>DAAT</b>	: Doğu Atıksu Arıtma Tesisi
<b>EVA</b>	: Extreme Value Analysis
<b>HEC</b>	: Hydrolic Engineering Center
<b>İSKİ</b>	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
<b>LTS</b>	: Long Term Simulations
<b>GIS</b>	: Coğrafi Bilgi Sistemi
<b>RTC</b>	: Real Time Control
<b>SCS</b>	: Soil Conservation Service
<b>SŞT</b>	: Süre- Şiddet-Tekerrür
<b>SWMM</b>	: Storm Water Management and Modelling
<b>TIN</b>	: Triangulated Irregular Network
<b>US-EPA</b>	: United States Environmental Protection Agency
<b>WMS</b>	: Watershed Modelling System

## TABLO LİSTESİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
<b>Tablo 1.1.</b> İller Bankası birim su sarfiyatları.	5
<b>Tablo 1.2.</b> Bazı özel birim su sarfiyatları.	6
<b>Tablo 1.3.</b> Bazı özel birim su sarfiyatları.	7
<b>Tablo 1.4.</b> Atıksu toplama sistemi tasarım kriterleri.	12
<b>Tablo 1.5.</b> Atıksu modelleme yazılımlarının karşılaştırılması.	19
<b>Tablo 2.1.</b> Drenaj alanı büyüklüğüne göre tasarım metodları.	26
<b>Tablo 2.2.</b> Arazi kullanımına göre yüzey akış katsayıları.	26
<b>Tablo 2.3.</b> Yüzey kaplamasına göre akış katsayıları.	27
<b>Tablo 2.4.</b> Nüfus yoğunluğuna göre akış katsayıları.	27
<b>Tablo 2.5.</b> Yağmursuyu kanalına giriş süreleri.	28
<b>Tablo 2.6.</b> Yağmursuyu toplama sistemi tasarım kriterleri.	30
<b>Tablo 3.1.</b> Tipik pürüzlülük katsayıları.	38
<b>Tablo 4.1.</b> Test edilen programlar ve bazı özellikleri.	55
<b>Tablo 4.2.</b> Yapılan çalışma sonuçları.	57
<b>Tablo 4.3.</b> Havza 1 test çalışmasında kullanılan yağış olayları.	58
<b>Tablo 4.4.</b> Havza 2 test çalışmasında kullanılan boru eğimleri.	62
<b>Tablo 4.5.</b> Bacalarda gözlenen maksimum su yükseklikleri.	63
<b>Tablo 4.6.</b> Borularda gözlenen maksimum su hızları.	63
<b>Tablo 5.1.</b> InfoWorks CS akış hacim modelleri.	73
<b>Tablo 5.2.</b> InfoWorks CS akış öteleme modelleri.	74
<b>Tablo A.1.</b> Atıksu toplama sistemi tasarım kriterlerinin karşılaştırılması.	103
<b>Tablo A.2.</b> Yağmursuyu toplama sistemi tasarım kriterlerinin karşılaştırılması	104
<b>Tablo A.3.</b> 50 yıllık günlük maksimum yağış yükseklikleri.	105

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>	
Şekil 1.1.	Atıksu debisinin gün içinde değişimi	8
Şekil 2.1.	Hidrolojik çevrim	22
Şekil 2.2.	Örnek süre-şiddet-frekans eğrileri	24
Şekil 2.3.	Örnek sentetik hiyeyografları	25
Şekil 3.1.	Özgül enerjini derinlikle değişimi	33
Şekil 3.2.	Debinin derinlikle değişimi	33
Şekil 3.3.	Debinin farklı formüllerde kanal eğimi ile değişimi	37
Şekil 4.1.	Sonlu farklar hesap ağı	44
Şekil 4.2.	Test düzeneği	56
Şekil 4.3.	Havza 1 alt havzaları	58
Şekil 4.4.	Olay 1 hiyetografi	59
Şekil 4.5.	Olay 2 hiyetografi	59
Şekil 4.6.	1 nolu yağış olayı sonucunda ölçülmüş ve simülasyon sonucu bulunan değerler	60
Şekil 4.7.	2 nolu yağış olayı sonucunda ölçülmüş ve simülasyon sonucu bulunan değerler	61
Şekil 4.8.	Testte kullanılan yağmursuyu toplama sisteminin InfoWorks CS'den alınmış boykesiti	62
Şekil 5.1.	InfoWorks CS ana penceresi	66
Şekil 5.2.	InfoWorks CS tablo görünümü	67
Şekil 5.3.	InfoWorks CS kullanıcı tanımlama işaretleri	68
Şekil 5.4.	InfoWorks CS boykesit görünümü	68
Şekil 5.5.	InfoWorks CS simülasyon girdileri penceresi	69
Şekil 5.6.	InfoWorks CS süre-şiddet hiyetografları örnek	70
Şekil 5.7.	InfoWorks CS atıksu kullanımı gün içi salınımı	71
Şekil 5.8.	InfoWorks CS endüstriyel atıksu üretimi gün içi salınımı	71
Şekil 5.9.	Çift lineer rezervuar (Wallingford) öteleme modeli	77
Şekil 5.10.	Çalışma bölgesi	78
Şekil 5.11.	Atıksu arıtma tesisleri havzaları ve çalışma bölgesi	80
Şekil 5.12.	Çalışma bölgesi menba tarafı atıksu ve yağmursuyu havzaları kesişim bölgesi.	82
Şekil 5.13.	Menba tarafı havzalarının birleşik sistem olarak çalışması durumunda mevcut kollektöre gelecek debinin değişimi.	83
Şekil 5.14.	Taşkın gözlenen bölgede parsel bacalarındaki su seviyesi	87
Şekil 5.15.	5 nolu parsel bacasında su seviyesinin zamanla değişimi	88
Şekil 5.16.	Dolu savaklar vasıtasıyla atıksu hattına taşınan yağmursuyu debisinin zamanla değişimi	89
Şekil 5.17.	RTC kontrolü ile kumanda edilen savakta gözlenen debiler	91



<b>Şekil 5.18.</b>	Izgaralı ve vorteks ayırıcılı dolu savak yapısı	92
<b>Şekil 5.19.</b>	Savak yapıları bölgesi parsel bacaları su seviyesi zamanla değişimi.	94
<b>Şekil 5.20.</b>	Depoda 1 gün boyunca depolanan hacim ve su seviyesi değişimi.	95
<b>Şekil A.1.</b>	Yağmursuyu etkisi olmadan mevcut kolektörün boykesiti.	106
<b>Şekil A.2.</b>	Menba havzalarının tamamının birleşik sistem olarak çalışması durumunda Altınşehir Kolektörünün boykesiti.	107
<b>Şekil A.3.</b>	Dolu savakların sistemde bulunması durumunda Altınşehir Kolektörünün boykesiti.	108
<b>Şekil A.4.</b>	Batı AAT pompalarının çalışmaması durumunda Altınşehir kolektörünün boykesiti.	109
<b>Şekil A.5.</b>	Dolu savağın gerçek zamanlı kontrol (RTC) edilmesi durumunda Altınşehir kolektörünün boykesiti.	110
<b>Şekil A.6.</b>	Deşarj hattı planlanması ve savak yapılarının iptal edilmesi durumunda mevcut kolektörün boykesiti.	111
<b>Şekil A.7.</b>	Deşarj hattı planlanması ve savak yapılarının iptal edilmemesi durumunda mevcut kolektörün boykesiti.	112
<b>Şekil A.8.</b>	Geciktirme havuzu planlanması durumunda mevcut kolektörün boykesiti.	113

## SEMBOL LİSTESİ

A	: kesit alanı
a	: iki nüfus sayımı arasındaki sene adedi
C	: Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı
D	: başlangıç kayıplarının ortalama derinliği
dH	: ana akış güzergahı başlangıç ve sonu arasındaki zemin kotu farkı
E	: özgül enerji
F	: endüstriyel atıksu toplama alanı (havzası)
f	: Darcy- Weissbach sürtünme katsayısı
g	: yerçekimi ivmesi
i	: yağışın ortalama şiddeti
J	: hidrolik eğim
J <sub>havza</sub>	: havza eğimi
J <sub>w</sub>	: serbest su yüzeyi eğimi
J <sub>c</sub>	: enerji çizgisi eğimi
K	: taşıma kapasitesi (kovaryans faktörü)
k	: Colebrook – White pürüzlülük yüksekliği
k <sub>g</sub>	: geometrik artış sabiti
k <sub>a</sub>	: aritmetik artış sabiti
L	: ana akış güzergahı uzunluğu
N <sub>FR</sub>	: froude sayısı
N <sub>d</sub>	: nüfus doyumluk değeri
N	: gelecekteki nüfus
N <sub>s</sub>	: son nüfus sayımına ait nüfus değeri
N <sub>i</sub>	: ilk nüfus sayımına ait nüfus değeri
n	: Manning pürüzlülük katsayısı
p	: çoğalma emsali
Q	: debi
q	: kişi başına birim su sarfıyatı
r	: yağışın verimi
S	: arazi eğimi
S <sub>0</sub>	: kanal taban eğimi
R	: hidrolik yarıçap
Re	: Reynolds sayısı
T <sub>0</sub>	: giriş süresi
t <sub>i</sub>	: ilk nüfus sayımının yapıldığı tarih
t <sub>s</sub>	: son nüfus sayımının yapıldığı tarih
t	: nüfusu tahmin edilen yıl
V	: akım hızı
Y	: derinlik
$\theta$	: taban kanalı ile düzlem arasındaki açı

## ÖZET

Model, gerçek dünyadaki bir olgunun veya sistemin yapı ve işleyişinin, ilgili olduğu bilim sahasının kavram ve kanunlarına bağlı olarak ifade edilmesidir. Genellikle modellenen olgunun çok karmaşık olması sebebiyle modeller, anlatmak istedikleri sistemleri basitleştirerek belli varsayımlar altında ele alırlar. Atıksu ve yağmursuyu toplayıcı sistemlerinin modellenmesi tez çalışmamda öncelikle atıksu ve yağmursuyu modelinin temelini oluşturan bağıntılar hakkında bilgiler verilmiştir. Ülkemizde alt yapı hizmetlerinden sorumlu ulusal ve yerel çeşitli kuruluşlar tarafından kabul edilen tasarım kriterleri belirlenerek bir karşılaştırma yapılmıştır. Hidrolik ve hidrolojik tahkiklerde kullanılan modelleme programlarının bazıları hakkında bilgiler verilmiştir. Atıksu ve yağmursuyu toplama sistemlerinde modeli oluşturan çeşitli yaklaşımlar incelenmiş ve programlar model yaklaşımlarına göre değerlendirilmiştir.

Bursa İli'nde 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. 1960'lı yıllarda ilk örnekleri görülen hidrolik ve hidrolojik modeller günümüzde pek çok parametreyi, çok kısa basamaklarda ve çok uzun süreler boyunca takip edebilecek kompleksliğe ulaşmıştır. Sürekli değişen akım şartları dikkate alınabilmekte dolayısıyla da planlama çalışmaları çok daha doğru ve etkin yapılabilmektedir. InfoWorks CS ile yapılan çalışmada yaşanan probleme nelerin etki ettiği modelleme programları ve simülasyonlar yardımıyla kolayca bulunabilmektedir.

Modelleme programları olmadan çok fazla zaman, işgücü ve maliyet gerektirirken günümüzde modelleme programları yardımıyla gözlenen bir olayın anlaşılması ve çözülmesi çok daha kolay olmaktadır. Yapılan çalışmalarla atıksu veya yağmursuyu sistemlerinin eksik yönleri belirlenerek hangi noktalarda ne gibi önlemler alınması gerektiği belirlenebilmektedir. Modelleme programları hem planlama çalışmalarına ışık tutmakta hem de mevcut sistemin yetersizliklerinin tespitine dönük çalışmalarla yaşanması muhtemel taşkınların önlenmesi ve olumsuzlukların en aza indirilmesinde etkili olmaktadır.

## **SUMMARY**

Model is the description of an event or a systems' functionality which occurs in real world by the laws or theorems of the governing science branch. Models simplify what they are trying to tell under certain suppositions that's why modelled events are usually so complicated. In this thesis first of all governing equations which are the bases of sewerage and storm water modelling systems are given. A comparison is done between the design criteria of various local and national directorates which are in charge of sewerage and storm water construction. Some brief information is given on about a number of modelling softwares that are used to examine the hydraulic and hydrologic parameters. Modelling approaches on sewerage and storm water collection systems are discussed.

By using a comparison between real catchment rainfall/flow measurements and the results produced by the software models, the reliability of the modelling software are evaluated. A case study is done for the city of Bursa. On 10<sup>th</sup> February 2006 a sewerage flooding occurred after a storm event in Bursa caused by the flow of storm water into the sewerage system. The possible causes of flooding is researched in InfoWorks CS and founded solutions are listed.

Hydraulic and hydrologic models which are first began to use in mid 1960s have reached the ability to simulate several parameters with short time steps for long periods of time. Dynamically changing flow conditions can now be taken into consideration which makes design studies more accurate and effective. By the help of the modeling software it is much easier to understand and find out the causes of a flood event and/or determine solutions. Time, labor and money consuming examinations on weaknesses of a sewer or storm water network can be done very effectively and easily. With these studies on the network, one should know the weak points of the system and will have chance to take precautions in order to reduce the cost or losses caused by the flood damage.

# 1. ATIKSU TOPLAMA SİSTEMİNİN HESABINDA MODELİ OLUŞTURAN ELEMANLAR

## 1.1.Genel

Bir atıksu toplama sistemi hesabında önce atıksu debileri hesap edilmekte, daha sonra bu atıksuları toplayıp uzaklaştıracak boruların hidrolik analizlerle tasarımı yapılmaktadır. Mevcut bilgisayar modelleri bu işlemleri yapmak üzere hazırlanmışlardır. Bu nedenle bu bölümde bilgisayar modellerini daha iyi anlamak için gerekli kavramsal esaslar verilmektedir.

## 1.2.Atıksu Debilerinin Tahmini

Bir toplama havzasından gelen atıksu debisinin tahmini için her şeyden önce bu havzadaki atıksu kaynakları ile bunların atıksu üretimlerini bilmek gerekmektedir. Yerleşim merkezlerinde en önemli atıksu kaynağı evsel amaçlı su kullanımları olduğundan çalışmalara her şeyden önce nüfus tahminleri yapılarak başlanmalıdır. Daha sonra diğer kaynaklar olan ticaret ve sanayi için de aynı çalışmalar yapılmalıdır. Atıksu üretimi doğrudan bu kaynaklarda tüketilen su miktarına bağlı olduğundan, ikinci adımda toplama havzasında su kullanımları belirlenmeli ve bunların atıksuya dönüşüm yüzdeleri tahmin edilmelidir. Bu tahminler için kullanılan yöntemler ve yapılan yaklaşımlar aşağıda sunulmaktadır.

### 1.2.1. Nüfus Hesabı

Herhangi bir bölgenin gelecekteki nüfusunu belirlemek için kullanılan başlıca yöntemler aşağıda özetlenmiştir.

#### 1.2.1.1.Aritmetik Artış Metodu

Bu yöntemde nüfus artış eğrisinin eğimi “nüfus artış hızı” olarak adlandırılır ve sabit bir değer olarak alınır. Bu tanımın matematik ifadesi;

$$\frac{dN}{dt} = k_a \quad (1.1)$$

olup, burada  $k_a$  aritmetik artış sabitidir.

Bu denklem çözülürse herhangi bir zamandaki nüfusu bulmak için aşağıdaki bağıntı elde edilir:

$$N = N_s + \frac{N_s - N_i}{t_s - t_i} (t - t_s) \quad (1.2)$$

Burada;

$N$  : gelecekteki nüfusu,

$N_s$  : son nüfus sayımına ait değeri,

$N_i$  : ilk nüfus sayımına ait değeri,

$t_s$  : son nüfus sayımının yapıldığı tarihi,

$t_i$  : ilk nüfus sayımının yapıldığı tarihi,

$t$  : nüfusu tahmin edilen yılı,

göstermektedir.

### 1.2.1.2. Geometrik Artış Metodu

Bu yöntem "logaritmik nüfus artış metodu" olarak da isimlendirilir. Bu modele uygun bir nüfus artışında nüfus sayısında birim zamandaki değişme, yani nüfus artış hızı, o andaki nüfusla orantılı olmalıdır. Bu tanımın matematik ifadesi;

$$\frac{dN}{dt} = k_g N \quad (1.3)$$

olup, burada  $k_g$  geometrik artış sabitidir. Yukarıdaki denklem çözülürse herhangi bir zamandaki nüfusu bulmak için aşağıdaki bağıntı elde edilir:

$$\log N = \log N_s + \frac{\log N_s - \log N_i}{t_s - t_i} (t - t_s) \quad (1.4)$$

Burada;

$N$  : gelecekteki nüfusu,

$N_s$  : son nüfus sayımına ait değeri,

$N_i$  : ilk nüfus sayımına ait değeri,

$t_s$  : son nüfus sayımının yapıldığı tarihi,

$t_i$  : ilk nüfus sayımının yapıldığı tarihi,

$t$  : nüfusu tahmin edilen yılı,

göstermektedir.

### 1.2.1.3. Azalan Hızlı Nüfus Artışı Yöntemi

Bir şehir veya kasabanın nüfus artış eğrisi idealize edilirse bir S eğrisi elde edilir. Bu eğride, nüfus artış hızının nüfusla orantılı olduğu başlangıç kısmı geometrik artışa, orta kısmı ise aritmetik artışa uymaktadır. Bu eğriye göre nüfus, bir  $N_d$  doyumluk değerine doğru azalan bir hızla artacak ve  $N = N_d$  için artış hızı sıfır olacaktır.

$$\frac{dN}{dt} = k_d (N_d - N) \quad (1.5)$$

Bu metod uygulanırken  $N_d$  doyumluk değeri tahmin edilir ve en az iki nüfus sayımı yardımı ile  $k_d$  hesaplanır. Daha sonra istenen bir zamana ait nüfus yukarıdaki denklem yardımı ile hesaplanabilmektedir.

### 1.2.1.4. İller Bankası Yöntemi

İller Bankası talimatnamelerine göre herhangi bir bölgenin gelecekteki nüfusunun, 1945 senesi ve son defa yapılan nüfus sayımlarından faydalanarak aşağıdaki şekilde hesaplanması istenmektedir. 5 yıllık zaman dilimlerinde nüfus artış oranları hesaplanarak ekstrem değerler çıkarılır ve kalan değerlerin ortalaması alınarak çoğalma emsali tespit edilir.

Çoğalma emsali,

$$p = \left( \sqrt[a]{\frac{N_s}{N_i}} - 1 \right) \times 100 \quad (1.6)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada;

p : çoğalma emsalini,

$N_s$ : şehir veya kasabanın son nüfus sayımını,

$N_i$ : şehir veya kasabanın ilk nüfus sayım neticesini,

a : iki nüfus sayımı arasındaki sene adedini

göstermektedir. Ancak p, çoğalma emsali aşağıdaki kısıtlamalara göre kullanılmalıdır.

$p > 3$  ise  $p = 3$

$p > 1$  ise  $p = 1$

$1 < p < 3$  ise p aynen alınır.

İkinci adımda gelecekteki nüfusun:

$$N_{30+n} = N_y \times \left( 1 + \frac{p}{100} \right)^{30+n} \quad (1.7)$$

bağıntısı ile hesabı istenmektedir. Aslında bu bağıntı geometrik artışı yansıtmaktadır.

Burada; n son nüfus sayımından nüfusu tahmin edilecek tarihe kadar geçen süredir.

Ayrıca askeri birliklerin gelişi, sanayi v.b sebeplerle fevkalade artış halinde idare ile mütabakata varılması gerektiği talimatnamede belirtilmiştir. (İller Bankası, 1996)

### 1.2.2. Su Tüketimi

Bir yerleşim merkezinde su tüketimi bir taraftan coğrafik ve demografik, bir taraftan da sosyoekonomik ve kültürel faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Bu değişimi ortaya çıkarmak için uzun yılların yapılmış ölçümlerine dayalı veriler analiz edilmelidir. Nitekim böyle bir analiz gerek İstanbul gerekse Ankara Su Master Planı



çalışmaları sırasında İstanbul ve Ankara özelinde yapılmıştır. Ancak bunu tüm ülke genelinde yapmak veri eksikliği nedeniyle mümkün olamamaktadır.

Halen ülkemizde çeşitli kurum ve kuruluşlarca yaptırılmakta olan altyapı projelerinin hazırlanmasına ait talimatnamelerde su tüketimleri için kullanılması önerilen değerler aşağıda özetlenmiştir.

Talimatnamede nüfusa göre günde kişi başına su sarfıyatı Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1. İller Bankası Birim Su Tüketimleri (İller Bankası, 1996)

Beldenin Gelecekteki Nüfusu	Sarfıyat, lt/kişi/gün
3000'e kadar	60
3001-5000	70
5001-10000	80
10001-30000	100
30001-50000	120
50001-100000	170
100001-200000	200
200001-3000000	225

### 1.2.2.1.İSKİ Kanalizasyon Projeleri Teknik Şartnamesi

İnsan başına günde ortalama 250 litre, köylerde 150-250 litre su hesaba esas alınır. Şebeke su kayıpları bu değere dahildir. İçme suyu şebeke hesabında bu değerlere göre hesaplanacak toplam ihtiyacın 1.9 katı alınır. Maksimum günlük talep 1.3x250 lt dir. (İSKİ, 1987)

Yöredeki küçük sanayi, liman, istasyon gibi tesislerin su ihtiyacı ayrıca göz önünde tutulmalıdır. Büyük sanayi, büyük fabrika kullanma suyu ihtiyaçları ile özel bazı ihtiyaçlarda dikkate alınmalıdır. Özel ihtiyaçlara Tablo 1.2’de örnekler verilmiştir.

Tablo 1.2. Bazı özel birim su sarfiyatları (ASKİ Masterplan, 2001)

Yüzme havuzlarında (m <sup>2</sup> için )	500 lt/gün
Mezbahalarda kesilen büyükbaş hayvan başına	300-400 lt.
Mezbahalarda kesilen küçükbaş hayvan başına	150-300 lt.
İstasyonlarda bir lokomotif için	6000-22000 lt.
1 kg. yünün kumaş haline getirilmesi için	1000 lt.
100 kg. şeker pancarının fabrikada işlenmeye hazır.	1500 lt.
1 kg. şeker istihali için	100-150 lt.
Tabakhanelerde beher büyük deri için	1000-3000 lt.
Bira fabrikası 1 hektolitre için	500-2000 lt.
Soda fabrikası 1 kg için	15-30 lt.
1 kg. iyi cins kağıt için	1500-3000 lt.
1 kg. kalın kağıt için	400-600 lt.
Havagazı 1 m <sup>3</sup> için	5-8 lt.
Taş kömürü 1 ton için	1000-3500 lt.
Gaz motorları saate HP başına	40-60 lt.
Dizel motoru	20-30 lt.
Buhar makine ve türbinlerin soğutulması	
1 kg. buhar için	40-60 lt.
1 kg. çelik için	20-25 lt.
Çamaşırhanelerde 1 kg. kuru çamaşır için	40-80 lt.
1000 adet tuğlanın örülmesi için	150 lt.
1 m <sup>3</sup> beton hazırlanması için	120-150 lt.

Şebekelerde gerekmesi halinde uç debilerin hesabında aşağıdaki değerlerden faydalanılır.

Tablo 1.3. Bazı özel birim su sarfiyatları (ASKİ Masterplan, 2001; Butler, 2000)

Binek otomobillerinin bir defa temizlenmesi için	200-300 lt.
Kamyonun bir defa temizlenmesi için	50-150 lt.
Gündüz okulları (öğrenci başına)	2-10 lt/gün
Yatılı okullar (öğrenci başına)	60-100 lt/gün
Kışlalarda asker başına	50-150 lt/gün
Otellerde yatak başına	100-250 lt/gün
Hamamlarda kişi başına	300-350 lt.
Hastanelerde hasta başına	250-600 lt/gün
Asfalt yol sulanması	1 lt/m <sup>2</sup>
Makadam yol sulanması	1.5 lt/m <sup>2</sup>
Çayır, bahçe sulanması	1.5-2 lt/m <sup>2</sup>
Kanalizasyon temizliği için kişi başına	2-20 lt/gün
Genel tuvaletler kişi başına	1 lt/gün
Üretme çiftliklerinde büyükbaş hayvan için*	50 lt./gün
Üretme çiftliklerinde küçükbaş hayvan için*	15 lt./gün

\* : Hayvan su ihtiyacının kuyu, derelerden vb. karşılanması durumunda hesaplarda hayvan su ihtiyacı dikkate alınmayabilir.

### 1.2.3. Eysel Ortalama Atıksu Debisi Hesabı

Atıksu toplayıcılarının tasarımı yapılırken geleneksel olarak kanalların ve pompalarının kapasitesinin bulunmasında maksimum saatlik debi, kanallarda taban çökelmelerinin ve su hızının kontrolü için ise minimum saatlik debinin kullanılması önerilmektedir. Bir yerleşim merkezinden günün çeşitli saatlerinde gelen atıksu debileri,

$Q_{24}$ : Ortalama debi

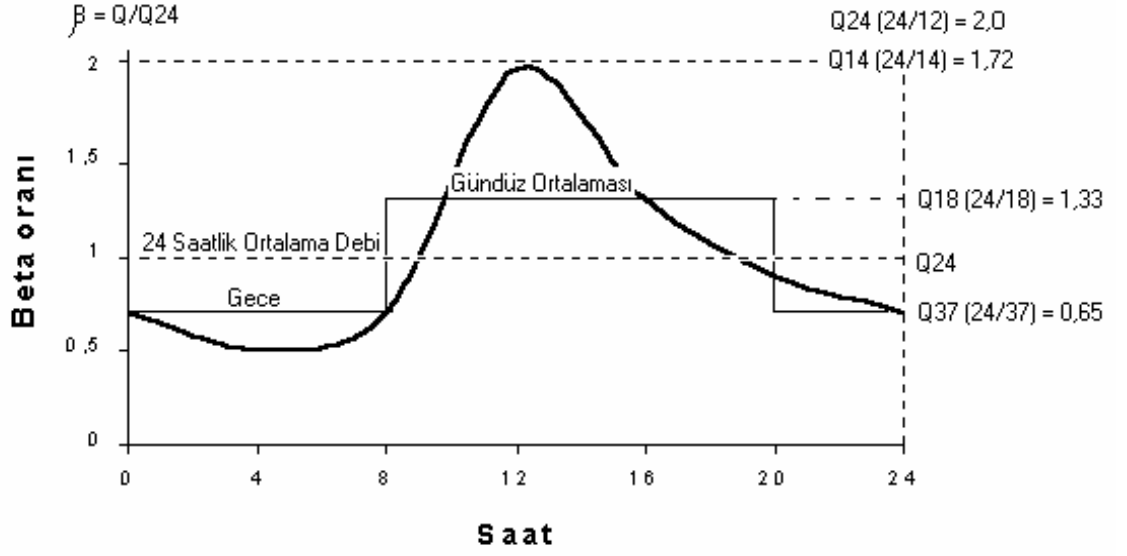
$Q_{18}$ : Gündüz saatlerine ait ortalama debi (8 - 20 arası),  $Q_{18}=(24/18) \times Q_{24}$

$Q_{37}$ : Gece saatlerine ait ortalama debi,  $Q_{37}=(24/37) \times Q_{24}$

$Q_{14}$ : Max. saatlik debi,  $Q_{14}=(24/14) \times Q_{24}$

$Q_{48}$ : Min. saatlik debi,  $Q_{48}=(24/48) \times Q_{24}$

şeklinde sınıflandırılabilir. (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 : Atıksu debisinin gün içinde değişimi (Butler, 2000).

Halen ülkemizde çeşitli kurum ve kuruluşlarca yaptırılmakta olan altyapı projelerinin hazırlanmasına ait talimatnamelerde toplama sisteminin tasarımında atıksu debilerinin tahminleri için kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir.

İller Bankası kanalizasyon işlerinin planlanması ve projelerinin hazırlanmasına ait talimatnameye göre su tüketimlerine bağlı olarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla herhangi bir bölgeden gelecek toplam evsel atıksu miktarı hesaplanır.

$$Q = \frac{qxN}{12 \times 3600} \text{ lt / sn} \quad (1.8)$$

Burada;

q : kişi başına su tüketimini (lt/N-gün)

N : nüfusu

Q : toplam atıksu debisini

göstermektedir.

İller Bankasına göre yukarıdaki bağıntı ile hesap edilen evsel atıksu, imar planının değişik yoğunluktaki bölgelerine şu şekilde dağıtılmalıdır. Değişik yoğunluklu bölgelerin alanları  $F_1, F_2, F_3, \dots$  nüfusları  $N_1, N_2, N_3, \dots$  ve bu bölgedeki atıksu kanallarının izafi uzunlukları toplamı da  $L_1, L_2, L_3, \dots$  olursa metre tül sarfiyatları;

$$Q_1 = \frac{qN_1}{NL_1} \text{ lt / sn / m} \quad Q_2 = \frac{qN_2}{NL_2} \text{ lt / sn / m} \quad Q_3 = \frac{qN_3}{NL_3} \text{ lt/sn/m} \quad (1.9)$$

olarak hesap edilecektir. Boruya gelecek atıksu miktarı boru izafi boyu ile birim boy sarfiyatları çarpılmak sureti ile hesaplanacaktır.

Talimatnamede endüstri ve münferit önemli sarfiyat veren tesislerinde atıksu hesabında göz önüne alınması gerektiği belirtilmiş ancak hesaplama yöntemine ilişkin ayrıntı verilmemiştir (İller Bankası, 1996).

İSKİ kanalizasyon projeleri teknik şartnamesine göre evsel ortalama atıksu debisi benzer olarak,

$$Q_{\text{evs.ort.}} = \frac{q \times N}{24 \times 3600} \quad (1.10)$$

bağıntısı ile hesaplanmalıdır. Burada;

$q$  : kişi başına su tüketimini (lt/N-gün)

$N$  : nüfusu

$Q$  : toplam atıksu debisini göstermektedir.

#### 1.2.4. Endüstriyel Ortalama Atıksu Debisi

İSKİ Şartnamelerinde endüstriyel ortalama atıksu debisi hesabında,

$$Q_{\text{end.ort}} = \text{Endüstri cinsine göre değişen yüzde} \times F$$

bağıntısının kullanılması önerilmektedir. Burada F atıksu toplama alanını göstermektedir. İmar planında sanayi olarak gösterilen yerlerde sanayi kullanma suyu miktarının,

Küçük sanayi için : 0.5 lt/sn/ha,

Orta sanayi için : 1.0 lt/sn/ha,

Büyük sanayi için : 1.5 lt/sn/ha

alınacağı söylenmiş ve pik faktörünün 2 alınacağı belirtilmiştir. BUSKİ Şartnamelerinde bu değerlerin sırasıyla 0.3, 0.6 ve 1.3 lt/sn/ha, pik faktörünün ise 2.4 alınması önerilmektedir (BUSKİ Masterplan, 2002).

Aynı şekilde tanımlanabilecek ticaret alanları ve kamusal alanlarda atıksu üretimleri de dikkate alınmalıdır. Ülkemizde İller Bankası tasarım kriterlerinde ticaret ve kamusal alanlar için ayrıca bir değerlendirme bulunmamasına rağmen çeşitli yerel İdareler ticaret ve kamusal alanları da evsel alanlardan farklı şekilde dikkate almaktadır. İSKİ Şartnamelerinde kamusal alandan gelen atıksu debisi 200 lt/kişi/gün, ASKİ Şartnamelerinde ise 48 lt/kişi/gün olarak değerlendirmeye alınmıştır. İSKİ ve ASKİ Şartnamelerinde ticaret alanları için birim debi tanımlanmamıştır. BUSKİ Kriterlerinde kamusal alandan gelecek atıksu debisi 0.375 lt/sn/ha pik faktörü 3, ticari alanlardan gelen atıksu debisi ise 0.3 lt/sn/ha + 50 lt/kişi/gün ve pik faktörü 3 olarak değerlendirmeye alınması istenmektedir.

### 1.2.5. Sızma Debisi

Yeraltı suyunun seviyesine ve kanal şebekesinin kalitesine bağlı olarak çoğu zaman bir miktar yer altı suyu kanallara girer. Buna ek olarak yüzeysel sular da kanalların bağlantı yerlerinden veya baca kapaklarından sisteme sızabilir. İyi şartlarda inşa edilmiş ve uygun şartlarda işletilen kanal şebekelerinde bu iki durumun da oluşması istenmez. Ancak bunların önlenmesi kolay olmadığından kanal çapları belirlenirken kanallara girmesi muhtemel yer altı suyu miktarı da tahmin edilmeli ve hesaplara dahil edilmelidir. Bu miktarın hesabı için kesin bir metod bulunmamakla beraber yaklaşık tahminler yapılmaktadır. İSKİ Şartnamelerinde birim sızma debisi havza bazında değerlendirilerek 0.1 lt/sn/ha alınması önerilmiştir. BUSKİ Şartnamelerinde birim sızma debisi dağ eteklerindeki havzalarda 0.15 lt/sn/ha, ova havzalarında 0.2 lt/sn/ha olarak kabul edilmesi gerektiği belirtilmiştir. ASKİ Master Planı'nda ise arazi kotlarına bağlı olarak bir değerlendirme yapılmış ve 900 m kotunun altında 0.2 lt/sn/ha, 900-950 m arasında 0.1 lt/sn/ha, 950 m'nin üzerindeki kotlarda ise 0.05 lt/sn/ha alınması önerilmiştir (ASKİ Masterplan, 2001).

Kanal boyundan yola çıkarak da sızma debisi tahmini yapılmaktadır. Kaynaklarda birim kanal boyuna gelen sızma debisinin ortalama olarak 0.8 lt/sn/km alınması gerektiği belirtilmektedir (Karpuzcu, 1985).

### 1.2.6. Pik Hesap Debisi

Kanalizasyon şebekelerinin hesabında çaplar kanala gelecek maksimum debi dikkate alınarak belirlenir. Maksimum debi aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilir.

$$Q_{\text{pik}} = \text{Evsel Pik Faktörü} \times Q_{\text{Evs.ort}} + \text{End. Pik Faktörü} \times Q_{\text{End.ort}} + \text{Kamu/Ticaret Pik Faktörü} \times Q_{\text{kamu.tic.ort}} + Q_{\text{Sızma}}$$

Şartnamelerde verilen pik faktör ve birim debilerden yola çıkarak kanalizasyon hatlarına gelecek maksimum debi hesaplanarak kanalların hidrolik hesabına geçilir.

### 1.3.Atıksu Toplayıcıları Proje Kriterleri

BUSKİ tarafından kullanılan atıksu toplama sistemleri tasarım kriterleri Tablo 1.4'de gösterilmiştir. BUSKİ dışında İSKİ, İller Bankası, İSKİ Master Planı gibi çeşitli kamu kurum ve kuruluşları tarafından önerilen tasarım kriterleri karşılaştırmalı olarak Tablo A.1'de verilmiştir.

Tablo 1.4 Atıksu Toplama Sistemi Tasarım Kriterleri (BUSKİ Masterplan, 2002)

MADDE	PARAMETRE
Tasarım için su tüketim değeri (net)	150 l/kişi/gün
Ticari alanda su tüketimi	0.30 l/s/ha + 50 l/kişi/gün
Kamu alanda su tüketimi	0.375 l/s/ha
Sanayi alanları su tüketimi	0.3 l/s/ha küçük sanayiler 0.6 l/s/ha orta ölçekte sanayiler 1.3 l/s/ha büyük ölçekte sanayiler
Atıksu miktarı	Kullanılan suyun %100'ü
Evsel pik faktör	2.0
Ticaret/Kamu pik faktör	3.0
Sanayi pik faktör	2.4
Kanalizasyon sistemine gelen yağmursuyu debisi hesabında kullanılacak pik faktörler	1.75
Kanalizasyon sistemine gelen sızma debisi	0.15 l/s/ha düşük eğimli araziler 0.20 l/s/ha yüksek eğimli araziler
Hidrolik Hesaplar	Colebrooke-White /DarcyWeisbach ve/veya Mannings Formülü kullanılacaktır
Boru pürüzlülüğü	Boru cinsine göre değişken
Maksimum doluluk oranı	Q/Qd = %85
Hız Limitleri	Minimum hız = 0.60 m/s Maksimum hız = 3.5 m/s
Maksimum eğim limitleri	Min. Maks. İstisnai min maks. Ø 300 .... 1/ 200 1/7 1/300 1/5 Ø 400 – Ø 600 .... 1/ Ø Ø 800 – Ø 1000 .. 1/ Ø >Ø 1200 ... 1/ Ø Maksimum eğim, maksimum hız ile kontrol edilecektir.

Tablo A.1'de çeşitli idarelere ait atıksu toplayıcı sistem tasarım kriterleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



#### **1.4. Atıksu Toplama Sistemi Tasarımında Kullanılan Bilgisayar Modelleri**

Model, gerçek dünyadaki bir olgunun veya sistemin yapı ve işleyişinin ilgili olduğu bilim sahasının kavram ve kanunlarına bağlı olarak ifade edilmesidir. Halihazırda çeşitli kuruluşlar tarafından hazırlanmış atıksu toplayıcıları modelleme programları planlama çalışmalarında kullanılmaktadır. Atıksu modelleme programları, atıksuyun kaynağının, debisinin ve debideki değişimin yağmursularına göre daha kolay belirlenebilir olması nedeniyle nispeten daha basit programlardır. AutoCAD ve MicroStation gibi bilgisayar destekli çizim programlarının bazı özellikleri kullanılarak -lisp ve macrolar gibi- ve Bölüm 3’de açıklanan hidrolik bağıntılar baz alınarak çok basitte olsa atıksu hatlarının planlanmasına yönelik programlar hazırlanabilir. Ancak aşağıda detayları verilen bazı ticari programlar bile detaylı bazı hesaplamalar gerektiren hidrolik tahkikleri yapamamaktadır. Pek çoğu su kalite parametrelerini modelleyememekte, gerçek zamanlı kontrol yapamamaktadır. Kullanılacak programın, sayıları günümüzde çok artmış olan programlar arasından ihtiyaçları karşılayacak şekilde seçilmesi yararlı olacaktır. Aşağıda detayları verilen programlar sınırlı kabiliyette olup yağmursuyu hatlarının planlanmasında da kullanılabilir. İleriki bölümlerde daha kapsamlı programlar hakkında da bilgiler verilmiştir.

##### **1.4.1. MS Kanal**

MS Kanal yazılımında boyutlandırmada kullanılmak üzere;

- Darcy/Colebrook,
- Manning,
- Kutter

şeklinde üç tane bağıntı opsiyonu mevcuttur. Kullanıcı bunlardan birini tercih edebilmektedir.

Modelde atıksu debisi hesabı için,

- Kişi başına kullanılan günlük su miktarı (lt/N-gün)
- Babbit katsayısı (evsel pik debiyi hesaplar, Babbit katsayısının kullanılmaması durumunda model, kendi veri tabanında bulunan havza tipi için verilmiş olan debiyi pik debi olarak alır)
- Sanayi için birim debi (lt/sn/ha)
- Sanayi debi pik faktörü

verileri modele girilmelidir. Atıksu sisteminde debi hesapları, değişik özellikler gösteren havzalarda oluşan debinin havza içinde yer alan borulara aktarımı ile yapılmaktadır. Her bir boruya gelecek atıksu debisi, eğer havza içinde birden fazla boru varsa havza içinde birim boya düşen alandan yola çıkılarak hesaplanmaktadır. Bulunan bu debiler boruların boyutlandırılmasında hesap debisi olarak kullanılmaktadır. Sisteme ilave debinin olması durumunda yukarıdaki adımlar takip edilir. Modelde kullanılacak havza tipleri aşağıda verilmiştir:

- evsel çok yoğun,
- evsel yoğun,
- evsel orta yoğun,
- evsel seyrek,
- evsel çok seyrek,
- sanayi büyük ölçekli,
- sanayi orta ölçekli,
- sanayi küçük ölçekli

Yağmursuyu sisteminde debi hesapları Rasyonel Metodu dikkate alarak, havzalardan oluşan debinin havza içinde yer alan borulara aktarımı ile yapılmaktadır. Herbir boruya gelecek yağmursuyu debisi eğer havza içinde birden fazla boru varsa havza içinde birim boya düşen alandan yola çıkılarak hesaplanır. Bulunan bu debiler boruların boyutlandırılmasında hesap debisi olarak kullanılır. Sisteme ilave olması durumunda yukarıda açıklanan adımlar takip edilir.

Model atıksu ve yağmursuyu sisteminde çap seçimi, eğim ve akar kotlar için bazı durumlarda (boyutlandırma kriterlerinin sağlanmaması durumunda: hız, max. eğim, vb) kullanıcının müdahalesine izin vermektedir.

Boyutlandırmada kullanıcı tarafından seçilebilecek kesitler:

- daire,
- yumurta,
- dikdörtgen,
- yarım daire,

olabilir. MS Kanal yazılımında belli güzergah boyunca elemanların boyuna kesitlerini istenilen ölçekte, lejantlı veya lejantsız şekillerde alabilmek mümkündür. Gerekli olan hesap ve boyutlandırmalar yapıldıktan sonra yazılımdan hesap tablosu ve istatistik raporu almak da mümkündür. İstatistik rapor sayesinde sisteme ait aşağıdaki bilgileri elde etmek mümkün olmaktadır:

- toplam baca sayısı,
- Km başına düşen baca sayısı,
- toplam boru uzunluğu,
- min. boru uzunluğu,
- max. boru uzunluğu,
- min. boru çapı,
- max. boru çapı,
- çap çap boy uzunlukları

Rapor çıktılarını Windows ortamında çalışan bir kelime işlemci veya tablolama yazılımı ile alabilmek mümkündür. Ayrıca, Sayısal Arazi Modeli yardımı ile baca kotları otomatik olarak haritadan okunabilmektedir.

MS Kanal yazılımında kullanıcıların daha verimli çalışabilmeleri için yardımcı programlar eklenmiştir. Bu yardımcı programlar yardımı ile veritabanında bulunan baca ve boruların yıl, mahalle, sokak, çap ve malzeme bilgilerini güncelleştirmek

mümkündür. MS Kanal; MicroStation altında çalışan Türkçe bir yazılımdır (Bilgi Sistemleri, 1999).

#### 1.4.2. InSewer

Yazılım nüfusun hesabını aşağıdaki gibi yapmaktadır:

Nüfus = nüfus yoğunluğu x alan

Pik faktör = a x Nüfus<sup>b</sup>

Yukarıdaki bağıntıda a ve b ampirik katsayılar olup bölgenin özelliğine göre kullanıcı tarafından seçilmelidir. Bu seçim yapılamıyorsa, programda iki seçenek bulunmaktadır. Kullanıcı ya tablolarda verilen bir değeri seçebilir, yada programdaki sabit bir değer pik faktörü kabul edilir.

Ortalama debi ve pik debi ise aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmaktadır:

Ortalama debi = kişi başına günlük su tüketimi x nüfus

Pik debi= ortalama debi x pik faktörü

Yazılımda sızma debisi de dikkate alınarak hesap debisi bulunmaktadır. Sızma debisi hesaplanırken kullanıcıya aşağıdaki üç farklı seçenek sunulmaktadır:

- 1) sızma debisi = kanal uzunluğu x birim kanal boyuna günde gelen debi
- 2) sızma debisi = alan x birim toplama alanına günde gelen debi
- 3) sızma debisi = ortalama debi x sızma yüzdesi

Sonuçta tasarımda kullanılacak hesap debisi

Hesap debisi = pik debi + sızma

bağıntısı ile bulunmaktadır. Bu debiye göre hidrolik analiz ve boyutlandırma yapmak için:

- Manning bağıntısı,
- Darcy-Weisbach bağıntısı

olmak üzere iki bağıntıdan biri tercih edilmelidir. Kanalda akımın kritik olup olmadığı Froud sayısı ile sürekli kontrol edilmektedir.

Boruların bağlantı noktalarında (bacalarda) meydana gelen yük kayıpları, çeşitli bağlantı tipleri için hesaplanabilmektedir. Böylece su yüzü profili belirlenebilmektedir.

Bu programda, kanal sisteminde kullanılacak pompaların boyutlandırılmasının yapılması da mümkün olmaktadır. Bu boyutlandırma Darcy-Weisbach bağıntısına göre yapılmaktadır. Darcy-Weisbach bağıntısındaki sürtünme katsayısı ise Colebrook-White bağıntısı ile bulunmaktadır.

Yazılım; üniform akımlar için su yüzeyi hesabı yaparak, boyutlandırmayı açık kanal akımı, tam dolu akım ve basınçlı akım için kontrol etmektedir (Intergraph, 1993).

### **1.4.3. Micro Drainage**

Ayrık ve birleşik kanalizasyon sistemlerinin hesabını bu yazılımla yapmak mümkündür. Programda evsel, endüstriyel ve sızma debileri aşağıda verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanmaktadır:

Endüstriyel atıksu debisi (lt/sn) = endüstriyel pik faktörü x birim atıksu debisi (lt/ha/sn)

Evsel atıksu debisi (lt/sn) = birim debi (lt/kişi/gün) x nüfus x evsel pik faktörü veya,

Evsel atıksu debisi (lt/sn) = birim debi (lt/sn/ha) x alan x evsel pik faktörü

Sızma debisi (lt/sn) = toplam debi x sızma yüzdesi

Kullanıcı tarafından herhangi bir eğim ve çap girilmediğinde otomatik olarak; tariflenen min. ve max. hız için boyutlandırma yapılmaktadır. Kullanıcıya çap ve eğim girişi olanağı da tanınmaktadır. Hidrolik analizler Colebrook-White bağıntısı kullanılarak yapılmaktadır.

Aşağıdaki kesitler için analizler yapılabilmektedir:

- Daire,
- Yumurta,
- Trapez,
- Kutu menfez

Ayrıca boyutlandırması yapılan sistemin düşey ve yatay profilleri çizilebilmekte bu çizimler AutoCAD programına aktarılabilir. Yazılım AutoCAD içerisinde çalışan bir alt programa sahiptir (Babtie-Kent-Su, 1999).

#### 1.4.4. SewerCAD

Atıksu debisi hesabı diğerlerine benzerdir. Ancak atıksu pik debileri Babbit, Harman veya kullanıcının belirleyeceği bir bağıntı yardımı ile hesaplanabilmektedir. Sızma debisinin hesabında yazılım kullanıcıya çeşitli alternatifler sunmaktadır. Sızma debisi; boru uzunluğu, boru çapı ile veya alanla orantılı olarak hesaplanabilmektedir.

SewerCAD programında açık kanal ve basınçlı boruların boyutlandırılması, aşağıdaki 4 bağıntıdan biri seçilerek yapılabilmektedir:

- Manning bağıntısı
- Kutter bağıntısı
- Hazen-Williams bağıntısı
- Darcy-Weisbach bağıntısı

Aynı sistem içinde hem açık kanal hem de basınçlı boru hesabı yapılabilmekte ve su yüzeyi profilleri hesap edilebilmektedir. Ayrıca, sadece üniform akımlar için değil yavaş değişen üniform olmayan akımlar için de hesap yapılabilmesi, programın diğer programlara üstünlüğüdür.

Su yüzeyi profilini de hesaplayan yazılım AutoCAD ve GIS ile bağlantılı olarak çalışabilmektedir. Excel, Word ve Access dosyalarından veri almak ve bu dosyalara veri aktarmak da mümkündür. Yazılım kullanıcıya boyutlandırılması yapılan sistemin her türlü plan ve profillerinin çizilmesi olanağını da sunmaktadır. Tüm bilgisayar modellerini bir arada değerlendirmek üzere Tablo 1.5 hazırlanmıştır.

Tablo 1.5 Atıksu Modelleme Yazılımlarının Karşılaştırılması

	MS KANAL	INSEWER	MICRODRAINAGE	SEWERCAD
Evsel Atıksu Debisi Hesabı	Birim boru boyuna düşen alandan nüfus hesabı yapılabilir  Çeşitli alan kullanımlarını gözönüne alarak nüfus hesabı yapılabiliyor.  Günlük birim su tüketimi veriliyor  Dönüşüm faktörü ile atıksu debisi bulunuyor  Pik faktör, Babbit veya kullanıcı tanımı	Birim boru boyuna düşen alandan nüfus hesabı yapılabilir  Çeşitli alan kullanımlarını gözönüne alarak nüfus hesabı yapılabiliyor.  Günlük birim su tüketimi veriliyor  Dönüşüm faktörü ile atıksu debisi bulunuyor  Pik faktör, Babbit veya kullanıcı tanımı	Birim boru boyuna düşen alandan nüfus hesabı yapılabilir  Günlük birim su tüketimi veriliyor  Dönüşüm faktörü ile atıksu debisi bulunuyor  Pik faktör, Babbit veya kullanıcı tanımı	Birim boru boyuna düşen alandan nüfus hesabı yapılabilir  Çeşitli alan kullanımlarını gözönüne alarak nüfus hesabı yapılabiliyor.  Günlük birim su tüketimi veriliyor  Dönüşüm faktörü ile atıksu debisi bulunuyor  Pik faktör, Babbit, Harman vb. çeşitli bağlantılar kullanıyor
Endüstriyel Atıksu Debisi Hesabı	Birim alanda su tüketimi ve dönüşüm oranından atıksu debisi bulunuyor  Pik faktörü var	Birim alanda su tüketimi ve dönüşüm oranından atıksu debisi bulunuyor  Pik faktörü var	Birim alanda su tüketimi ve dönüşüm oranından atıksu debisi bulunuyor  Pik faktörü var	Birim alanda su tüketimi ve dönüşüm oranından atıksu debisi bulunuyor  Pik faktörü var
Sızma Hesabı	Birim alandan gelen debi yöntemi	3 ayrı yöntemle	Sadece atıksu debisinin % si olarak	3 ayrı yöntemle
Şebekede boru sayısı	Sınırsız	Sınırsız	Sınırsız	Sınırsız, ancak fiyatı değişiyor
Kullanılan Hidrolik Bağlantılar	Darcy/ Colebrook Manning Kutter	Darcy/ Colebrook Manning	Darcy/ Colebrook	Darcy/ Colebrook Manning Kutter Hazen-Williams
Boru tasarım Kriteri	Kendi içinde var Kullanıcıda verebilir	Kendi içinde var Kullanıcıda verebilir	Kendi içinde var Kullanıcıda verebilir	Kendi içinde var Kullanıcıda verebilir
Kanal enkesiti	Daire/yumurta/dörtgen	Daire/yumurta/dörtgen	Daire/yumurta/dörtgen	Daire/yumurta/dörtgen
Basıncılı/Serbest yüzeyli Akım	Sadece serbest yüzeyli	Her ikisi	Her ikisi	Her ikisi
Üniform/Yavaş değişen Üniform olmayan Akım halleri	Sadece uniform akım	Sadece uniform akım	Sadece uniform akım	Her ikisi
2 Baca arası Boru boyunca Yayılı su girişi	Mümkün değil	Mümkün değil	Mümkün değil	Mümkün
Su yüzeyi hesabı	Yapmıyor	Yapıyor	Yapıyor	Yapıyor
Ani değişen Üniform olmayan Akım hesabı	Yapmıyor	Kritik Akım Kontrolü	Yapmıyor	Yapıyor

Tablo 1.5 (Devamı) Atıksu Modelleme Yazılımlarının Karşılaştırılması

Boykesit/Plan çizimi	Mümkün	Mümkün	Mümkün	Mümkün
Sayısallaştırılmış Haritaların kullanımı	Mümkün	Mümkün	Mümkün	Mümkün
Veri transferi	Mümkün	Mümkün	Mümkün	Mümkün
Database bağlantısı	Var	Var	Var	Var
Kullanıcı kolaylığı	Sağlanmış	Sağlanmış	Tam değil	Sağlanmış
Teknik destek	Sağlanmış (Türkiye)	Sağlanmış(Türkiye)	Yok	Sağlanmış (ABD)
Raporlama	Sistemin tüm elemanlarının istatistiği	Sistemin tüm elemanlarının istatistiği Kullanıcının tanımına göre	Bilinmiyor	Sistemin tüm Elemanlarının istatistiği Kullanıcının tanımına göre
Dili	Türkçe	İngilizce	İngilizce	İngilizce



## 2. YAĞMURSUYU TOPLAMA SİSTEMİNİN HESABINDA MODELİ OLUŞTURAN ELEMANLAR

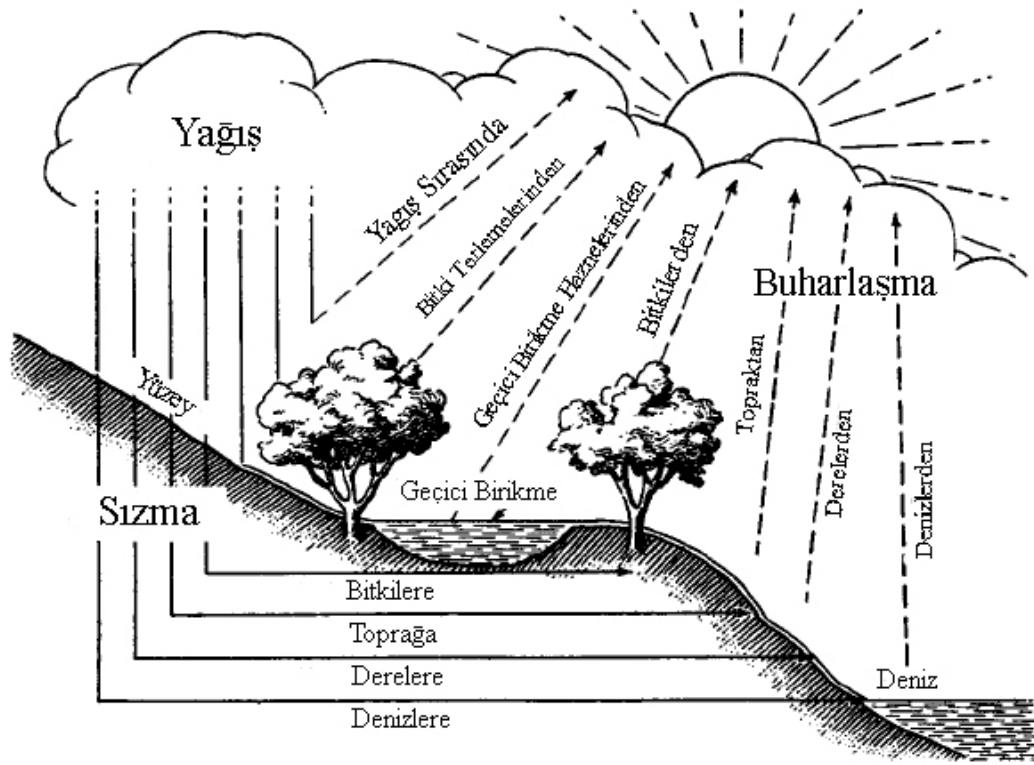
Atıksu toplama ve uzaklaştırma sistemleri insanların faaliyeti olan her bölgede insan ve çevre sağlığı açısından büyük öneme sahip olmasına rağmen, yağmursuyu toplayıcıları atıksu toplayıcıları kadar önemli olarak değerlendirilmemektedir. Yağmursuyu sistemlerinin tercih edilebilir bir fayda/maliyet oranına sahip olması halinde bile kentteki diğer birçok kamu yatırımına öncelik verilmesi sonucu, yağmursuyu toplama ve deşarj sistemlerinin inşaaı pek çok kentimizde genellikle ertelenmektedir. Yağmursuyu toplama ve uzaklaştırma sistemlerinin bazı faydaları aşığıdaki gibi sıralanabilir.

- Kent içinde su baskınlarının ve taşkınların önlenmesi,
- Karayollarının hasar görmesinin önlenmesi, kenarlarında ve yol kaplamalarının tamamlanmadığı yerleşim bölgelerinde erozyonun önlenmesi,
- Şiddetli yağışlarda trafik tıkanmalarının önlenmesi,
- Dere yataklarındaki toprak erozyonunun ve dolayısıyla dik vadilerdeki binaların maruz kalabileceği toprak kaymalarının önlenmesi,
- Araçların ve zemin katlarındaki mülklerin cadde taşkınlarından zarar görmesinin önlenmesi.

Yağmursuyu toplama ve uzaklaştırma sisteminden amaç, bu faydaları kentin ve kentte yaşayanların hizmetine sunmaktır. Ancak, bu faydaların hiçbirisi kesin bir hesaba dayandırılmamasına rağmen can ve mal kaybının önüne geçmek bile yeterli bir fayda olarak değerlendirilmelidir (NZWWA, 2004).

Yeryüzüne düşen yağmur suları, arazinin eğimi istikametinde birtakım su yolları üzerinde akar. Bunlar tabii akış yolları (akarsular) veya suni akış yolları (dren, kanal ve mecralar) olabilir. Meskun bölge drenajında daha ziyade bu ikincisi söz konusu olur. Her iki halde de akan suyun toplandığı bir alan mevcuttur. Bu alan drenaj alanı, yağış alanı, hidrolojik bölge veya su toplama havzası gibi isimler altında ifade edilmektedir. Yağış alanı, arazinin en yüksek noktalarını birleştiren bir su ayırım çizgisi ile sınırlıdır (Muslu, 1993).

Yağmursuyu toplama ve uzaklaştırma sisteminin oluşturulması için öncelikle kanala gelecek debinin daha önce yapılmış ölçümler yardımıyla bilinmesi, bilinmiyorsa tahmini gerekir. Debi tahmininde ise öncelik yağış miktarının belirlenmesindedir. Daha sonra bu yağışın ne kadarının, ne kadar süre içinde yüzeysel akış olarak veya yer altı suyu olarak planlaması yapılacak kanala geleceği belirlenmelidir. Kanala gelecek olan debi kentsel veya kırsal havzalardan geliyor olabilir. Havzanın özelliklerine bağlı olarak yağışın akışa geçen miktarı ve akış süresi değişkenlik gösterir (Hawke, 2003). Bu nedenle havzaların iyi tanımlanmış olmasında fayda vardır. Aşağıda debi tespitinde izlenmesi gereken yol anlatılmıştır.



Şekil 2.1. Hidrolojik Çevrim

## 2.1.Yağış Analizleri

Birim zamanda düşen yağış miktarına veya yüksekliğine yağış şiddeti (mm/dk) denir. Birim alana birim zamanda düşen yağış miktarına ise yağışın verimi (lt/sn/ha) denir. Yağışlar belirli bir zaman aralığında meydana gelmektedir. Birim zaman aralığı  $\Delta t$ , bu aralıkta düşmüş olan yağış yüksekliği  $\Delta P$  ile gösterilirse;

$$i = \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad (2.1)$$

bağıntısı,  $\Delta t$  süresi için yağışın ortalama şiddetini verir.

Yağış şiddeti ( $i$ ) (mm/dk) olmak üzere yağış verimi ( $r$ ) (lt/sn/ha);

$$r = 166.7 i \quad (2.2)$$

dir.

Bir bölgenin yağış özelliklerinin belirlenmesi için üç temel unsur vardır. Bunlar,

- Yağış şiddeti,
- Yağış tekerrür süresi ve
- Şiddet-Süre-Tekerrür (ŞST) eğrileridir.

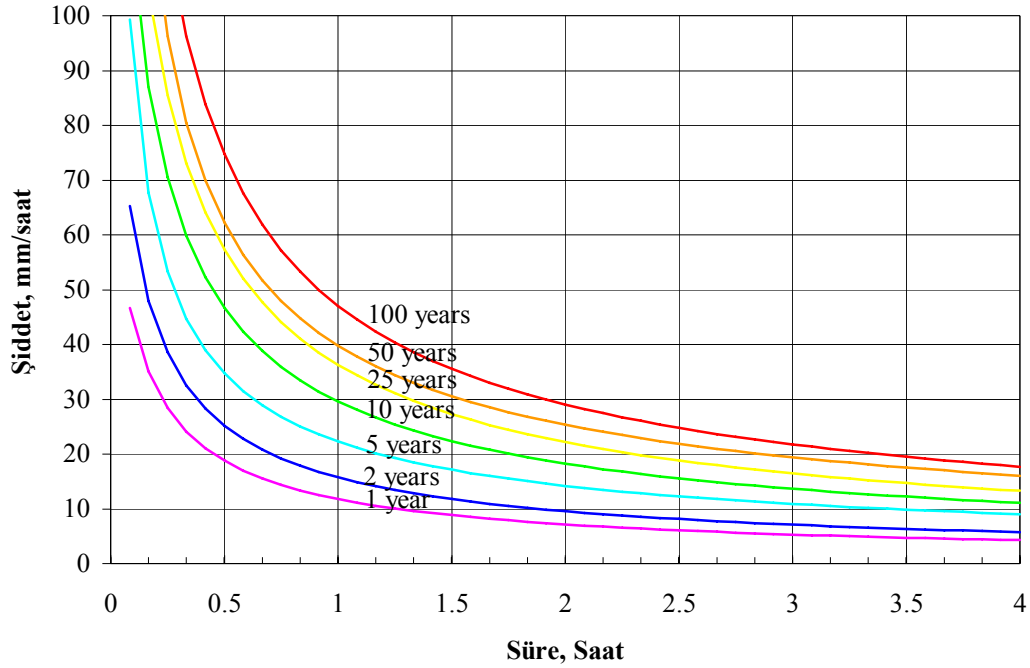
Yağışların şiddeti ne kadar fazla olursa, bunların meydana gelme sıklığı (tekerrürü) veya frekansları o derece az olur.

Meteorolojik gözlem sonuçları istatistiksel analizler sonucunda değerlendirilerek genel bir şiddet-süre-frekans bağıntısı bulunur. Bu gözlemler ne kadar uzun süreli olursa ulaşılan sonuçlar o kadar sağlıklı olur. Yağış verileri aşağıdaki bağıntıya uydurularak  $a$ ,  $b$  ve  $x$  değişkenleri tespit edilir.

$$i = \frac{a}{(t + b)^x} \quad (2.3)$$

Buradaki  $a$ ,  $b$  ve  $x$  katsayıları bölgeye ve iklim şartlarına göre değişmektedir.  $a$  ve  $b$  daima pozitif olup,  $x$  1'den küçüktür. Süre-şiddet-frekans eğrileri bir yağış örneği değil, belli bir frekansa (tekerrüre) sahip en yüksek yağış şiddetlerinin dağılımını gösteren eğrilerdir. Şekil 2.2'de örnek süre-şiddet-frekans eğrileri görülmektedir. Yağmursuyu toplayıcılarının planlanmasında daha çok 2 yılda bir görülen ve 15 dakika süren yağışın şiddeti dikkate alınır. Ancak bu istatistiksel anlamda 2 yılda bir planlanan hatların kapasitesinin üzerinde bir yağış şiddeti ile karşılaşılması, yani taşkın görülmesi demektir. Mümkün olan en büyük tekerrürde planlama yapılması taşkınların az görülmesi için yararlı olmasına rağmen fayda/maliyet analizleri de dikkate alındığında yağmursuyu toplayıcılarının 5 yılda bir görülen ve 15 dakika süren yağış şiddetine göre planlanması uygun olarak

değerlendirilebilir. Daha fazla debi ve risk taşıyan yan dereler 50 yıl, dereler ise 100 yıllık yağış şiddeti dikkate alınarak planlanabilir.

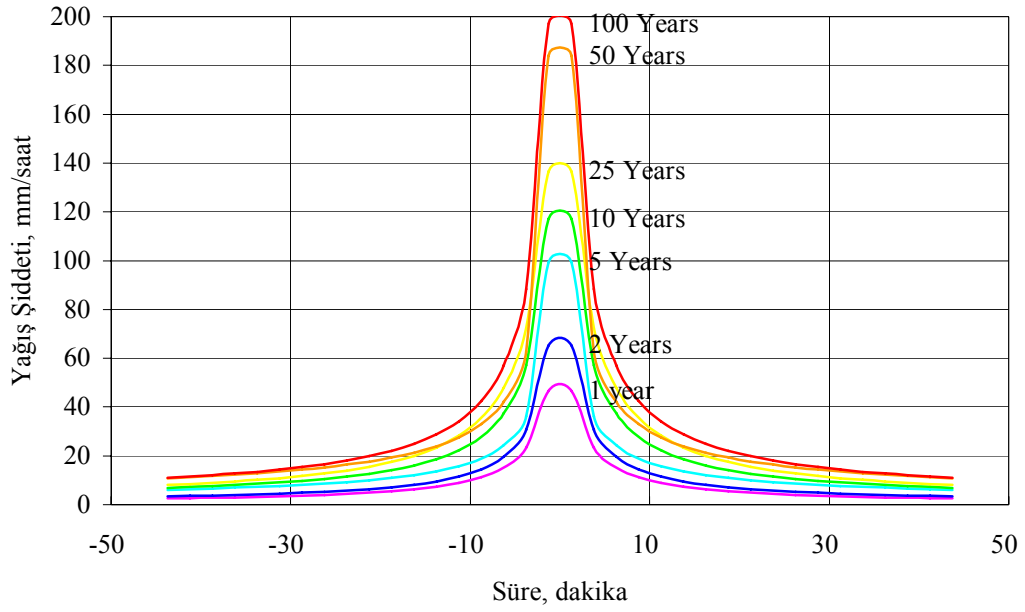


Şekil 2.2. Örnek Süre-Şiddet-Tekerrür Eğrileri (Bursa Masterplan, 2002)

Planlamalarda genellikle 1889 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde Emil Kuicling tarafından geliştirilen Rasyonel Metod kullanılmaktadır. Bu metotta yağış ile akış arasında lineer bir ilişki olduğu yani akış katsayılarının zamanla değişmediği ve yağışın üniform olduğu kabul edilir. Yağış şiddeti zamanla azaltılarak (süre-şiddet eğrisi) kanala gelecek debi hesaplanır.

Ancak günümüzde yağışın zamanla değişimi de dikkate alınacak şekilde modeller geliştirilmiştir. Yağışın zamana bağlı olarak değişimini gösteren grafiklere hiyetograf denir. Hiyetograflar süre-şiddet-frekans eğrileri gibi yıllarca yapılan ölçümlerin istatistiksel olarak analizlerinin sonucu (sentetik hiyetograf) veya gözlemlenen bir tek yağışın ifadesi olabilir (Linsley, 1982).

Planlama çalışmalarında daha çok istatistiksel yollarla elde edilmiş yağış hiyetografları kullanılır. Örnek olarak 50 yıllık yağış ölçüm sonuçları dikkate alınarak oluşturulan sentetik hiyetograflar Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Örnek Sentetik Hiyetografları (Bursa Masterplan, 2002)

## 2.2.Yüzeysel Akış

Yeryüzünde yağışlardan sonra meydana gelen akım suyun buharlaşması, yer yüzeyindeki çukurlarda toplanması, akışa geçmeden önce zemine sızması gibi nedenlerle azalır. Yağışın akışa geçen kısmı akış katsayısı veya alanın su verme karakteristiği olarak tarif edilir. Yüzeysel akış katsayısı verilen bir drenaj alanı için sabit bir oran olarak kullanılmasına karşın gerçekte katsayı, yağış ile yüzeysel akış arasındaki kayıplar ile iklimsel ve mevsimsel değişimlere bağlı olarak farklılıklar gösterebilmektedir. Dolayısıyla akış katsayısının tayininde bitki örtüsüne, alanın jeolojik-hidrojeolojik-jeomorfolojik özelliklerine ve diğer hidrolojik parametrelere de dikkat edilmesi gerekmektedir (Hall, 1984).

Yüzeysel akış debisinin hesabında kullanılan bazı yöntemler akış katsayısının yağış süresince sabit kaldığını (rasyonel metod) kabul ederken, bazı yöntemlerde ise (SCS yöntemi) akış katsayısı yağış öncesi toprağın nem seviyesine göre belirlenen bir değerden, yağış boyunca artarak doygunluk değerine ulaşabilecek ve havzaya düşen tüm yağış akışa geçebilecektir. SCS yöntemi kırsal havzalar, rasyonel metod ise kent havzaları için uygun yöntemlerdir. Rasyonel Metotta kullanılan bazı akış katsayıları Tablo 2.2, Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'te verilmiştir.

Eğimin %5 veya daha fazla olması halinde alanlar dik eğimli olarak tanımlanmaktadır. Tasarımda dik eğimli alanlar için yüzeysel akış katsayıları yüksek, %2 veya daha az eğime sahip düz ve normal eğimli alanlarda ise düşük seçilmektedir. Tablo 2.1’de drenaj alanının boyutlarına bağlı olarak önerilen tasarım metodları verilmiştir.

Tablo 2.1 Drenaj Alanı Büyüklüklerine Göre Tasarım Metotları (Barışkan, 2003)

Drenaj Alanı (km <sup>2</sup> )	Tasarım Metodu
<1	Rasyonel Metot
1-10	Mockus
10-100	Sentetik Metot
>1000	SCS Metodu

Küçük alanlarda rasyonel metodun, büyük alanlarda ise hidrograf metodunun kullanılması daha doğru bir sonuç vermektedir (Barışkan, 2003).

Tablo 2.2 Arazi Kullanımına Göre Yüzeysel Akış Katsayıları (Butler, 2000)

Alan Tanımı	Yüzeysel Akış Katsayısı Aralığı
İşyeri	
Merkezi	0.70 – 0.95
Çevresi	0.50 – 0.70
Apartmanlar	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
Konut (Gecekondu)	0.25 – 0.40
Endüstriler	
Hafif	0.50 – 0.80
Ağır	0.60 – 0.90
Park ve Mezarlıklar	0.10 – 0.25
Çocuk Bahçeleri	0.00 – 0.35

Tablo 2.3 Yüzey Kaplamasına Göre Akış Katsayıları (Butler, 2000)

Yüzey Kaplaması	Yüzeysel Akış Katsayısı Aralığı
Yapılaşmış alanlar	
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

Akış katsayılarını etkileyen bir diğer faktör ise nüfus yoğunluğudur. Nüfus yoğunluğuna bağlı olarak kullanılan yüzeysel akış katsayıları ise Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.4 Nüfus Yoğunluğuna Bağlı Yüzeysel Akış Katsayıları (Butler, 2000)

Alanın Tanımı	Nüfus Yoğunluğu, kişi/ha	Yüzeysel Akış Katsayısı Aralığı
Apartmanlar	500 – 1000	0.8 - 0.9
Apartmanlar	250 – 500	0.7 - 0.8
Apartmanlar	150 – 250	0.6 - 0.7
Bitişik evler	50 – 150	0.5 - 0.6
Müstakil evler	20 – 50	0.3 - 0.4
Yerleşilmemiş alanlar, parklar, mezarlıklar vs.	20'den az	0.1 - 0.3
Yüksek değerli iş ve ticaret alanları	20'den az	0.8 - 0.9
Yönetim ve İdare alanları	20'den az	0.8 - 0.9
Sanayi alanları		0.5 - 0.8
Havaalanları da dahil olmak üzere diğer özel alanlar		0.5 - 0.6

## 2.2.1. Yüzeysel Akışı Etkileyen Faktörler

### 2.2.1.1.Drenaj Alanı (Havza)

Yağmursuyu debisinin hesabında drenaj alanının çok iyi tanımlanmış olması gerekmektedir. Drenaj alanının sınırları, saha araştırmaları veya uygun harita ve hava fotoğraflarından temin edilebilmektedir. Hesaplar sırasında, drenaj alanının tamamı bazı uygun alt bölümlere ayrılır. Arazi kullanımı, mevcut ve gelecekte arazi kullanımına göre tahmin edilen geçirimsizlik yüzdesi, akış debilerini ve taşkınlardan korumanın derecesini etkiler. Akış katsayıları, drenaj alanında nüfus yoğunluğuna ve toprağın/kaplamanın özelliğine bağlı olarak değişir. Toplanma süresi, drenaj alanının şekline ve kaplamanın özelliğine bağlı olarak değişir.

### 2.2.1.2.Toplanma Süresi

Toplanma süresi, yağmursuyu kanallarında giriş süresi ile kanal içindeki akış süresinin toplamı olarak tanımlanmaktadır. Toplayıcıların birçoğu için toplanma süresinin bir saatten az olduğu görülmektedir.

### 2.2.1.3.Giriş Süresi

Giriş süresini yağışın süre ve şiddeti, yüzeyin eğimi, yüzey kaplamasının cinsi, yüzey debisinin izleyeceği güzergah uzunluğu, sızma ve birikme miktarları gibi drenaj alanı özellikleri etkilemektedir.

Tablo 2.5 Yağmursuyu Kanalına Giriş Süreleri

Arazi Türü	Giriş Süreleri
Dik eğimli şehirseller alanlar ( $J_{havza} \geq 1/20$ )	5 dakika
Normal eğimli şehirseller alanlar ( $1/20 > J_{havza} \geq 1/50$ )	10 dakika
Düz şehirseller alanlar ( $1/50 > J_{havza}$ )	15 dakika
Banliyö	20 dakika
Kırsal alanlar	25 dakika



Giriş süresi aşağıdaki bağıntıdan da (Kiprich Bağıntısı) hesaplanabilir.

$$T_0 = 60x \left[ 0.87xL^3 / dH \right]^{0.385} \quad (2.4)$$

Burada;

$T_0$  : Giriş süresini (havza akış süresi) (dk)

$L$  : Ana akış güzergahının uzunluğunu (km)

$dH$  : Ana akış güzergahının başlangıç ile sonu arasındaki zemin kotu farkını (m)

ifade eder. Bulunan  $T_0$  giriş süresi aşağıdaki kriterlere göre değerlendirilir ve uygun bir giriş süresi seçilir.

$T_0 < 5$  dk ise  $T_0 = 5$  dk,

$5$  dk  $< T_0 < 30$  dk ise  $T_0 = T_0$

$T_0 > 30$  dk ise  $T_0 = 30$  dk

alınır.

#### **2.2.1.4.Akış Süresi**

En uzaktaki kanaldan, toplanma noktasına kadar suyun gelmesi için geçen süredir. Bu süre, kanal uzunluğunu kanaldaki akış hızına bölerek bulunan değerleri toplamak suretiyle hesaplanır.

### **2.3. Yağmursuyu Toplayıcıları Proje Kriterleri**

Tablo 2.6'da örnek yağmursuyu toplayıcıları tasarım kriterleri verilmektedir. Tablo A.2'de ise karşılaştırmalı olarak çeşitli kamu kurum ve kuruluşlarının yağmursuyu toplayıcıları tasarım kriterleri verilmektedir. Karşılaştırma çizelgesinin oluşturulmasında masterplan çalışmalarından ve idare şartnamelerinden istifade edilmiştir.

Tablo 2.6 Yağmursuyu Topl. Sistemi Tasarım Kriterleri (BUSKİ Masterplan, 2002)

MADDE	PARAMETRE
Tasarım Metodu	Drenaj alanı büyüklüğüne göre Şehre giriş noktasında toplama alanı 5km <sup>2</sup> ye kadar olan havzalarda Rasyonel Metod Daha büyük alanlarda SCS (DSİ) ve/veya Mockus kullanılabilir.
Tekerrür Süreleri	Şebekelerde 2 yıl 15 dakika  Ana arter ve kollektörlerde mevcut hatların bulunduğu alanlarda 2 yıl 15 dk, yeni planlanan alanlarda İdarenin görüşü alınmak kaydıyla 5 yıl 15 dakika.  Ana derelerde 100 yıllık (500 yıllık tahkik) Dere yan kollarında 50 yıllık (100 yıllık tahkik) Tali kollarında 25 yıllık (50 yıllık tahkik) Drenaj ve tahliye kanallarında 10 yıllık (25 yıllık tahkik) Karayolları, demiryolları geçişlerinde kullanılan tekerrür yılı esas alınacak, bir üst tekerrür yılına göre tahkik yapılacaktır. (Boyutlandırma için min. tekerrür yılı 10 yıl alınacaktır.)
Giriş Süresi	Şebeke ve Kollektör Sistemleri için Dik meskun alanlarda $J > (1/50)$ : Giriş süresi $T_o$ :5 dk. Normal meskun alanlarda $(1/50 > J > 1/100)$ : Giriş süresi $T_o$ :10 dk Düz meskun alanlarda $J < 1/100$ : Giriş süresi $T_o$ :15 dk. Giriş süresi; $T_o = 60 * [0,87 * L^3 / dH]^{0,385}$ bağıntısından hesaplanacaktır. $T_o < 5$ dk $T_o = 5$ dk $5$ dk. $< T_o < 30$ dk. $T_o = T_o$ $T_o > 30$ dk. $T_o = 30$ dk alınacaktır. Hesap süresi 15 dk. alınacaktır.  Dere Islah Projeleri için Giriş Süresi ; Havza içindeki su yatağı eğiminde belirgin değişiklikler olduğunda, toplama alanı ikincil havzalara bölünerek aşağıdaki metodlarla ayrı ayrı hesap yapılarak parçalar için geçen zamanların toplamı alınacaktır. $T_o = T_1 + T_2$ $T_1 =$ Belirli bir mecradaki (yataktaki )akış süresi $T_1 = 60 * [0,87 * L^3 / dH]^{0,385}$ bağıntısından hesaplanacaktır. $T_2 =$ Arazi üstü akış süresi (Ekte verilen nomogramdan belirlenecektir.)
Minimum çap	400 mm

Tablo 2.6 Yağmursuyu Toplama Sistemi Tasarım Kriterleri (Devamı)

MADDE	PARAMETRE																																							
Minimum dolgu derinliği	Tüm borularda minimum dolgu derinliği 1.30 m alınacaktır. Not: Yağmursuyu taban kotu ile kanalizasyon sırt kotu arasında minimum 30 cm olmalıdır.																																							
Hidrolik Hesaplar	Colebrooke-White/Darcy Weisbach Formülleri ve/veya Manning Formülü kullanılacaktır.																																							
Boru Pürüzlülüğü	Boru cinsine göre değişken																																							
MaxDoluluk Oranı	Q/Qd = %85																																							
Hız Limitleri	Minimum hız = 0.60 m/saniye Maksimum hız = 6.0 m/saniye																																							
Şüt yüksekliği	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.50 m'lik şütler baca içinde yapılacaktır.</li> <li>Maksimum şüt yüksekliği 2.5 m'dir.</li> <li>Şütlü baca ara mesafesi minimum 8 m. olup, daha kısa mesafelerde boru cinsi değiştirilecektir.</li> </ul>																																							
Eğim Limitleri	Min. Maks. İstisnai Ø 400 – Ø 600 .... 1/Ø Ø 800 – Ø 1000 .. 1/Ø >Ø 1200 ..... 1/Ø Not: Maksimum eğim, maksimum hız ile kontrol edilecektir.																																							
Maksimum Muayene Bacası aralığı ve boyutu	Ø 400-Ø 600 50 m Ø 800-Ø 1000 50 m (Hali arazide 80 m) Ø 1000-Ø 1600 70 m (kutu kesite geçiş sınırı) Kutu Kesitler 100 m Kavşaklara, dönüş noktalarına, yol ağızlarına ve bağlantı noktalarına muayene bacası konulacaktır. Gerekli yerlere ızgara yerleştirilecektir. Izgara bağlantıları muayene bacalarına yapılacaktır.																																							
Akış Katsayıları	Drenaj alanlarında kullanılması önerilen akış katsayıları Gast Rapor'unda da belirtildiği gibi aşağıda verilmiştir:  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Alan Tipi</th> <th>Düz**</th> <th>Dik *</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Konut Alanı</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nüfus Yoğunluğu</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0-99 kişi/ha</td> <td>0.50</td> <td>0.55</td> </tr> <tr> <td>100-199 kişi/ha</td> <td>0.55</td> <td>0.60</td> </tr> <tr> <td>200-299 kişi/ha</td> <td>0.60</td> <td>0.65</td> </tr> <tr> <td>300-399 kişi/ha</td> <td>0.65</td> <td>0.70</td> </tr> <tr> <td>400≤ kişi/ha</td> <td>0.70</td> <td>0.80</td> </tr> <tr> <td>Ticari ve İş Alanları</td> <td>0.70</td> <td>0.80</td> </tr> <tr> <td>Sanayi Alanları</td> <td>0.70</td> <td>0.80</td> </tr> <tr> <td>Kamu Alanları</td> <td>0.40</td> <td>0.45</td> </tr> <tr> <td>Yeşil Alanlar</td> <td>0.40</td> <td>0.50</td> </tr> <tr> <td>Açık Alanlar</td> <td>0.15</td> <td>0.30</td> </tr> </tbody> </table>	Alan Tipi	Düz**	Dik *	Konut Alanı			Nüfus Yoğunluğu			0-99 kişi/ha	0.50	0.55	100-199 kişi/ha	0.55	0.60	200-299 kişi/ha	0.60	0.65	300-399 kişi/ha	0.65	0.70	400≤ kişi/ha	0.70	0.80	Ticari ve İş Alanları	0.70	0.80	Sanayi Alanları	0.70	0.80	Kamu Alanları	0.40	0.45	Yeşil Alanlar	0.40	0.50	Açık Alanlar	0.15	0.30
Alan Tipi	Düz**	Dik *																																						
Konut Alanı																																								
Nüfus Yoğunluğu																																								
0-99 kişi/ha	0.50	0.55																																						
100-199 kişi/ha	0.55	0.60																																						
200-299 kişi/ha	0.60	0.65																																						
300-399 kişi/ha	0.65	0.70																																						
400≤ kişi/ha	0.70	0.80																																						
Ticari ve İş Alanları	0.70	0.80																																						
Sanayi Alanları	0.70	0.80																																						
Kamu Alanları	0.40	0.45																																						
Yeşil Alanlar	0.40	0.50																																						
Açık Alanlar	0.15	0.30																																						
Yüzeysel Akış Limitleri	80 l/s																																							
Izgara	Her kavşak noktasına yerleştirilmek şartıyla ızgaralar arası sokak boyu, yol eğimine bağlı olarak 50-80 m.olacaktır.																																							

NOT: Eğim kriterlerinin uygulanmadığı yerlerde boru malzemesi değiştirilebilir. Bu durumda aşağıdaki listede verilen malzemeler kullanılabilir.

HDPE : Yüksek Yoğunluklu Polietilen Boru

CTB (GRP) : Cam Elyaf Takviyeli Boru

### 3. KANALLARDA HİDROLİK TAHKİKLER

Atıksu ve yağmursuyu havzalarından gelen debiler kanallara ulaşır. Bu noktadan sonra kanallardaki hidrolik tahkikler devreye girmektedir. Kanallarda sistemin tasarımı için yapılan hidrolik analizi değerlendirebilmek üzere, önce açık kanal hidroliğiyle ilgili esaslar özetlenmiş, daha sonra bunun borularda uygulaması anlatılmıştır. Tüm bu bilgiler bilgisayar modellerinde göz önüne alınmaktadır.

#### 3.1. Açık Kanallarda Akış

Üstü hava ile temasta olan akışkan akımına açık kanal akımı denilmektedir. Doğadaki bütün akarsu akımları, sulama kanallarındaki akımlar, drenaj ve kanalizasyon borularındaki akımlar açık kanal akımı olarak adlandırılmaktadır. Açık kanal akımında akışkan, enerjisi büyük olan noktadan küçük olan noktaya doğru akar. Açık kanal içerisindeki akım halinde bu enerjiyi sağlayan daima su seviyesi farkıdır. Açık kanallarda, kanal başı ve sonundaki şartlara, taban eğimine ve kanal cidarının cinsine bağlı olarak görülen ve bilgisayar modellerinde de kullanılan akımlara ait tanımlar aşağıda verilmiştir.

Kanal içerisindeki su derinliği akım boyunca değişmiyorsa bu akıma üniform akım denir. Su derinliği kesitten kesite değişiyorsa akım üniform olmayan akım olarak adlandırılır.

Ağırlık kuvvetlerinin akım üzerine etkisi, atalet kuvvetlerinin ağırlık kuvvetlerine oranı ile karakterize edilmektedir. Bu oran ise Froude sayısı ( $N_{FR}$ ) ile tanımlanmaktadır.

$$N_{FR} = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (3.1)$$

$N_{FR} < 1$  ise akım nehir rejiminde,

$N_{FR} > 1$  ise akım sel rejimindedir.

Burada;

$V$  : akım hızını,

$g$  : yerçekim ivmesini,

$h$  : karakteristik uzunluğu göstermektedir.

Açık kanal akımında üç eğimle karşılaşılır. Bunlar; kanal taban eğimi ( $S_0$ ), serbest su yüzeyi eğimi ( $J_w$ ) ve enerji çizgisi eğimidir ( $J_e$ ). Üniorm açık kanal akımlarında bu üç eğim birbirine paraleldir. Üniorm akımlarda özgül enerji, kanalın herhangi bir kesitinde, birim ağırlıktaki akışkanın kanal tabanına göre ölçülen enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Özgül enerji - derinlik bağıntısı aşağıdaki gibidir:

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (3.2)$$

Burada;

$E$  : özgül enerjiyi,

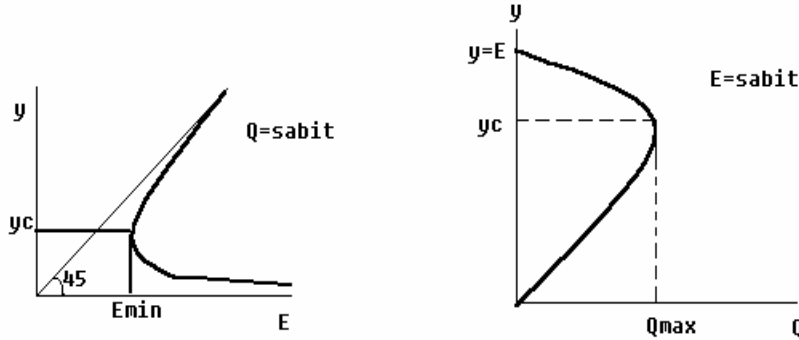
$y$  : su derinliğini,

$Q$  : debiyi,

$A$  : kesit alanını,

$g$  : yerçekim ivmesini

göstermektedir. Özgül enerji iki değişkene bağlı bir fonksiyon olduğundan  $Q = \text{sabit}$  iken  $E$  ile  $h$ 'nin değişimi ve  $E = \text{sabit}$  iken  $Q$  ve  $h$ 'nin değişimi incelendiğinde aşağıdaki şekiller elde edilmektedir:



Şekil 3.1 Özgül enerjinin derinlikle değişimi Şekil 3.2 Debinin derinlikle değişimi

Bu şekillerde görülen kritik derinlik;  $Q = \text{sbt}$  debisini, minimum enerji ile geçiren veya  $E = \text{sbt}$  iken debiyi maksimum yapan akımın derinliğidir.

## 3.2.Boru Hidroliği

### 3.2.1. Dolu Akan Kanallarında Akım

Tam dolu akan atıksu kanallarının hesabında da basınçlı kanallarda olduğu gibi en çok aşağıdaki bağıntılar kullanılmaktadır.

Darcy – Weisbach bağıntısı

Colebroke – White bağıntısı

Hazen – Williams bağıntısı

Manning bağıntısı

Bu bağıntılardan bazıları deneysel çalışmalar sonucunda bulunan ampirik bağıntılardır. Ampirik bağıntılar deneysel çalışmalar sonucu elde edildikleri için, bunlardan her biri, ortak parametrelerin farklı aralıklarında doğru sonuca en yakın sonucu verirler.

#### 3.2.1.1.Darcy – Weisbach Bağıntısı

Bu bağıntı, teorik olarak çıkarılmıştır ve çoğunlukla basınçlı boru analizlerinde kullanılmaktadır. Bağıntı, açık kanal akımları için de genelleştirilebilir. Bağıntının ifadesi aşağıda verilmiştir:

$$V = \sqrt{\frac{8g}{f} RJ} \quad (3.3)$$

Bu ifadede;

V : akım hızını (m/s),

g : yerçekimi ivmesini ( $m/s^2$ ),

f : Darcy – Weisbach sürtünme katsayısını,

R : hidrolik yarıçapı,

J : hidrolik eğimi göstermektedir. f değerini hesaplayan ampirik bağıntılar geliştirilmiştir.

### 3.2.1.2.Colebrook – White Bağıntısı

Darcy – Weisbach Bağıntısındaki f değeri ise Colebrook denklemi ile bulunabilir. Denklem ampiriktir ve ifadesi aşağıda verilmiştir:

Serbest yüzeyli akım için

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{k}{12R} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (3.4)$$

Dolu akış için

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{k}{14,8R} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (3.5)$$

Bu ifadede

k : Pürüzlülük yüksekliği (m)

R : Hidrolik yarıçap (m)

Re : Reynolds Sayısı'nı göstermektedir. Bu bağıntı kullanılarak boyutlandırma yapmak için tatonman gereklidir.

### 3.2.1.3.Hazen – Williams Bağıntısı

Bu bağıntı ampiriktir ve çoğunlukla basınçlı boru analizlerinde kullanılmaktadır. Deneysel olarak elde edildiği için, sadece belli sıcaklık aralıklarındaki su için kullanılabilir. İfadesi aşağıda verilmiştir:

$$V = 0,85CR^{0,63}J^{0,54} \quad (3.6)$$

Bu ifadede;

V : akım hızını (m/s),

C : Hazen – Williams pürüzlülük katsayısını,

R : hidrolik yarıçapı

J : hidrolik eğimi

göstermektedir.

#### 3.2.1.4.Manning Bağntısı

Aşağıda ifadesi verilen bu bağıntı da ampiriktir. Çoğunlukla, serbest yüzeyli akım analizinde kullanılmaktadır.

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}} \quad (3.7)$$

Bu ifadede;

V : akım hızını (m/s),

n : Manning pürüzlülük katsayısını

R : hidrolik yarıçapı

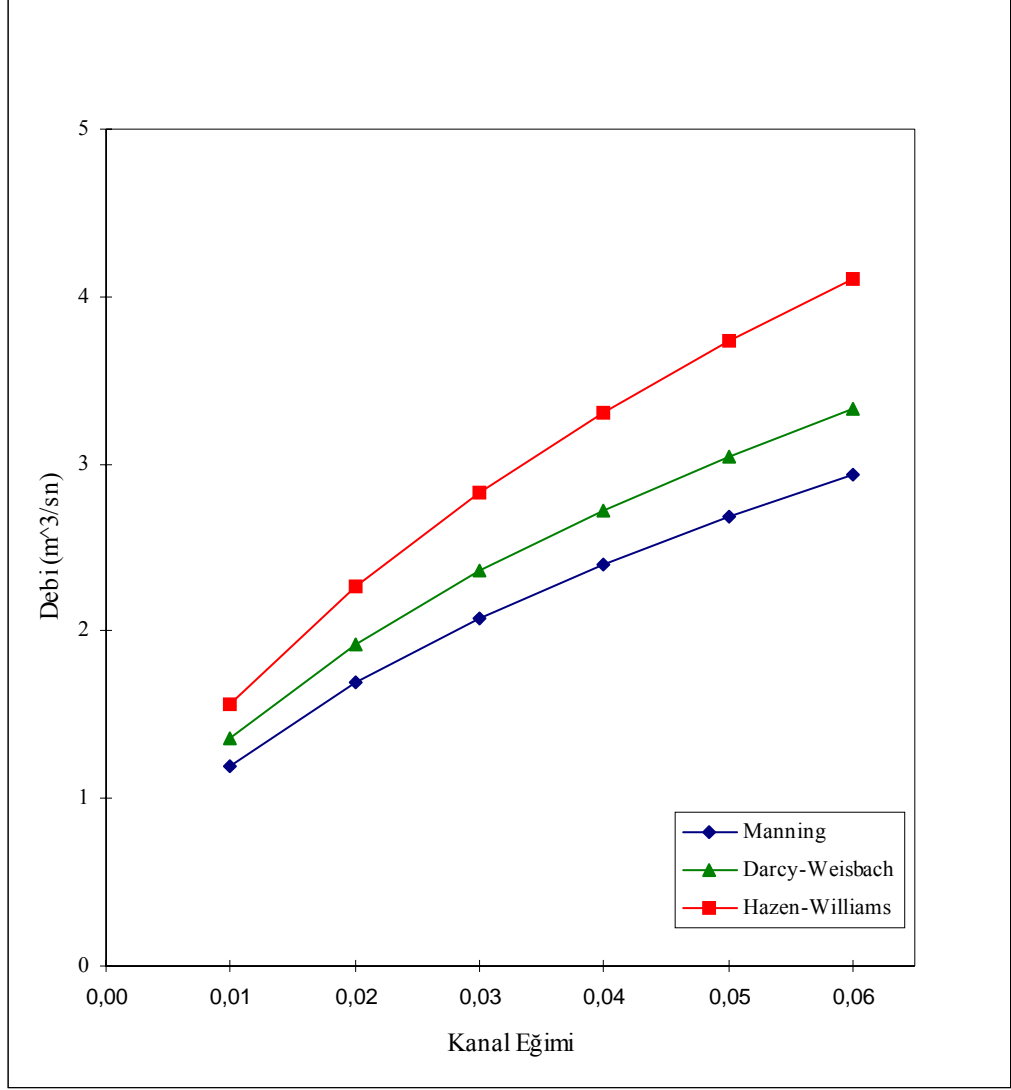
J : hidrolik eğimi

göstermektedir.

Bu bağıntıların ortak ve farklı parametreleri vardır. Ortak parametrelerin aynı oldukları durumlarda bağıntıların birbirlerine yakın sonuçlar vermeleri beklenir. Parametrelerin değerleri değiştirilirse bağıntıların her birinin davranış şekli farklı olacaktır.

Bağıntıların aynı bir boru cinsi için bile nasıl farklı sonuçlar verebileceğini göstermek açısından %50 dolu akan, 1000 mm çapında beton bir kanalda, kanal eğimine göre değişimi hesap edilerek sonuçlar Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Bu şekilden, modelde kullanılacak bağıntının önemi açıkça görülmektedir.





Şekil 3.3. Debilerin Farklı Formüllerde Kanal Eğimi ile Değişimi

### 3.3.Boru Cinsine Göre Pürüzlülük

Boru hesaplarında kullanılan pürüzlülük katsayısı değerleri imalatçı, işçilik, boru yaşı ve diğer faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Aşağıdaki tablolarda sırasıyla, bilgisayar modellerinde en çok kullanılan bağıntılar için boru tiplerine göre pürüzlülük katsayılarının değerleri ve kanal iç yüzeyinin durumunun pürüzlülük katsayısına etkisine bir örnek olmak üzere Manning bağıntısında pürüzlülük katsayıları verilmiştir.

Tablo 3.1. Tipik Pürüzlülük Katsayıları (Hwang, 1996)

Kanalın Yapıldığı Malzeme	Manning Katsayısı N	Hazen-Williams Katsayısı C	Darcy-Weisbach katsayısı F
Asbest Çimento	0,011	140	0,0015
Pirinç	0,011	135	0,0015
Tuğla	0,015	100	0,6
Dökme Demir	0,012	130	0,26
Çelik Formları	0,011	140	0,18
Sert Formları	0,015	120	0,6
Bakır	0,011	135	0,0015
Galvaniz Demir	0,016	120	0,15
Cam esaslı	0,011	140	0,0015
Kurşun	0,011	135	0,0015
Plastik	0,009	150	0,0015
Kömür Katranı Minesi	0,010	148	0,0048
Perçinlenmiş	0,019	110	0,9

## 4. MATERYAL VE METOD

### 4.1. Modelleme Çalışmalarında Kullanılan Programlara Genel Yaklaşım

Model, gerçek dünyadaki bir olgunun veya sistemin yapı ve işleyişinin, ilgili olduğu bilim sahasının kavram ve kanunlarına bağlı olarak ifade edilmesidir. Model gerçek dünyadaki bir olgunun anlatımıdır, temsilidir. Genellikle modellenen olgunun çok karmaşık olması sebebiyle modeller, anlatmak istedikleri sistemleri basitleştirerek belli varsayımlar altında ele alırlar.

Bir olay, süreç veya sistemle ilgili bir özelliğin ya da davranışın model üzerinde gözlenmesine simülasyon denir. Havzalar, borular, bacalar, pompalar, savaklar gibi pek çok bileşenden oluşmuş bir yağmursuyu toplama sistemine ait modelin belli koşullar altında (örn. derelerde su seviyesi 2 m, borularda bazı bölgelerde 20 cm sediment oluşmuş vb. gibi şartlarda 2 yılda bir görülen ve 15 dakika süren yağmur yağması halinde) ne şekilde davranacağını gözlenmesi için simülasyon yapılır.

Bilgisayar modelleri hidroloji alanında 1960'lı yılların ortalarında Stanford Watershed Model ile kullanılmaya başlanmıştır. Yağmurun akışa geçen miktarını ve kalitesini modelleyerek simülasyonunu yapabilen yazılımlar 1970'li yılların başlarında Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US-EPA) tarafından hazırlanarak kullanılmaya başlanmıştır. Yıllar içinde daha pek çok, çeşitli komplekslikte hidrolik ve hidrolojik modeller geliştirilmiştir (Zoppou, 1999).

Modeller çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Model değişkenlerinden herhangi biri bir olasılık hesabına dayanıyorsa, yani model rastgele bir değişken içeriyorsa stokastik, içermiyorsa yani tüm değişkenlerin değerleri tam olarak biliniyorsa deterministik modeldir. Deterministik bir modelde bütün değişkenler kesin olarak bilindiğinden model her zaman özdeş sonuçlar verir. Bu durum stokastik bir model için geçerli değildir. Deterministik modeller stokastik modellerin değişkenlerinin ortalama değerlerinin dikkate alınmış halleri olarak düşünülebilir. Çoğu yağmursuyu yüzeysel akış modeli deterministik modeldir (Zoppou, 1999).

Hem stokastik hem de deterministik modeller fizik kanunları üzerine kurulu olup olmamalarına göre kavramsal veya deneysel olarak sınıflandırılabilir. Ancak bu ayrım çok keskin sınırlara sahip değildir. Örneğin Darcy ve Newton'un hareket kanunları fizik kanunları üzerine kurulu olmaları nedeniyle, bu kanunları temel alarak geliştirilen bir model kavramsal olarak değerlendirilebilecekken, bu kanunların aynı zamanda gözlemlere dayalı olarak geliştirilmiş olması nedeniyle de oluşturulan bir model deneysel olarak da sınıflandırılabilir.

Havza modelleri bir tek olayı dikkate alacak şekilde kısa süreli veya birçok olayı dikkate alacak şekilde uzun süreli olabilir. Kısa süreli olan modellere olay (event) bazlı modeller, uzun süreli olanlara sürekli (continuous) modeller denilir. Olay bazlı modeller bir yada birkaç yağış olayını dikkate alırken, sürekli modeller bir havzanın su dengesini anlayabilecek kadar uzun bir zaman diliminde ayları, mevsimleri ve hatta yılları kapsayabilir. Bu şekildeki sürekli modeller su kaynakları üzerinde yapılacak master plan şeklindeki planlanma çalışmalarında, daha çok maliyet analizlerinde kullanılmaktadır. Bir arıtma tesisine gelecek yıllık debi ve yükün tespiti, arıtma maliyetleri ve hatta bu arıtma tesisinin tüm hizmet ömrü boyunca arıtma verimi ve maliyetinin tespiti gibi çalışmalar bu modeller yardımıyla yapılabilir. Olay bazlı modeller ise daha çok dizayn ve işletme çalışmalarına yönelik modellerdir. Havzadaki savaklar, pompalar gibi hidrolik yapıların işletme şartlarının belirlenmesine yarayan daha çok taşkın önleme ve optimum işletme koşullarının tespitine yönelik modellerdir.

Modelleme yaklaşımında, modelden beklenen verilere bağlı olarak modele yüklenmesi gereken veri ve dikkate alınması gereken şartlar da değerlendirilmelidir. Maliyet analizleri gibi uzun yılları kapsayan model çalışmalarında hidrolik modelleme çok önemli değildir. Bir barajın hizmet ömrü boyunca su kalitesinin değişiminin modellenmesi isteniyorsa dolu savaklarındaki su yükseklikleri gibi bazı hidrolik tahkiklerin yapılmasına da gerek yoktur. Çoğunlukla atıksu ve yağmursuyu toplayıcı sistem modelleri dizayn ve optimum işletme şartlarının belirlenmesi çalışmalarında kullanılmaktadır.

## 4.2.Yağmursuyu Debisi Tahmini

Günümüzde pek çok yağmursuyu miktar ve kalite modelleme programı mevcuttur. Kirleticilerin modellenebilmesi için öncelikle akışa geçen debinin doğru şekilde modellenmesi gerekir. Kullanılan modeller aşağıda özetlenmiştir.

### 4.2.1. Teorik ve Ampirik Modeller

Yağmursuyu debi ve miktarının belirlenmesinde regresyon modelleri üzerine kurulu olan istatistiksel modeller kullanılabilir. Regresyon analizinde, gözlenen bir olay değerlendirilirken hangi olayların etkisi altında olduğu araştırılır. Bu olaylar bir veya birden çok olabileceği gibi, dolaylı veya direkt etkiye sahip de olabilirler. Regresyon analizi yapılırken, gözlem değerlerinin ve etkilenen olayların bir matematiksel gösterimle, yani bir fonksiyon yardımıyla ifadesi gerekmektedir. Kurulan bu modele regresyon modeli denilmektedir. Regresyon modelleri stokastik model yaklaşımına bir örnektir (Bidwell, 1971).

Regresyon modelleri deterministik modeller için yeterli veri bulunmadığında kullanılan, kaba sonuçlar veren modellerdir. API (Antecedent Precipitation Index) regresyon modeli kullanılarak yağmursuyu debisinin tespitine yönelik olarak kullanılan metotlardan biridir.

Ampirik modellerde, tanımlanmaya çalışılan proses ile ilgisi olan bağımlı değişkenler fiziksel prosesler ve deneysel çalışmalar sonucunda belirlenir. Ampirik model yaklaşımına örnek rasyonel metottur. Rasyonel metod pik yağmursuyu debilerinin tespitinde kullanılan en yaygın metottur. Bu metod akışa geçen debi, havza alanı ve yağış şiddeti arasındaki ilişkiyi ifade eder.

$$Q = CiA \quad (4.1)$$

Burada,

Q : akışa geçen debi,

A: havza alanı,

i: yağış şiddeti,

C: akış katsayısıdır.

#### 4.2.2. Deterministik Modeller

Deterministik modeller korunum kanunlarını esas almaktadır. Bu kanunlar maddenin korunumu (süreklilik), enerjinin korunumu ve momentumun korunumu olarak bilinmektedir. Neredeyse tüm analizlerde tek boyutlu (1D) akış dikkate alınmaktadır. Yağmursuyu drenaj modellerinde kullanılan deterministik modeller hidrolojik veya hidrolik modeller olarak sınıflandırılır. Hidrolojik modeller sadece süreklilik denkleminin çözümünü içerirler. Hidrolik modeller ise süreklilik denkleminin yanında momentum veya enerji denklemlerinden birini daha çözümde kullanırlar. Bu model yaklaşımları arasındaki en belirgin fark hidrolik modellerin prosesin uzaysal davranışı ile ilgilenirken momentum denkleminin prosesin ne hızda gerçekleşeceğini belirler.

Hidroloji ve hidrolik arasındaki ayrılık modellenen proses ile belirlenir. Örneğin yağış-akış prosesi hidrolojik bir proses olarak tanımlanırken, borulardaki akımlar hidrolik bir problemi olarak kabul edilmiştir. Bu ayrım yüzey akışını ve açık kanal akımını simüle eden modellerin tarihi gelişimi ile de ilgilidir. Geleneksel olarak yüzeysel akışın kompleksliği nedeniyle sadece süreklilik denkleminin bu akış tanımlanırken çözülmüştür. Dinamik denklemler (momentum ve enerji) ikinci derece öncelikli olarak kabul edilmiştir. Yüzeysel akışın modellenmesinde kullanılan süreklilik ve dinamik denklemlerinin çözümleri için yeni teknikler çıktıkça ve bilgisayar teknolojisi de işin içine girince bu ayrım çok net olmaktan çıkmıştır.

Serbest yüzeyli kararsız akım denklemleri, kütle ve momentumun korunumu kanunlarına dayanan süreklilik ve hareket denklemlerinden oluşmaktadır. Süreklilik ve hareket denklemleri birlikte Saint Venant denklemleri olarak bilinir.

$$\begin{aligned} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} &= 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \left( \cos \theta \frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + \frac{Q|Q|}{K^2} \right) &= 0 \end{aligned} \quad (4.2)$$

dır. Burada;

Q : debi (m<sup>3</sup>/sn)

A: enkesit alanı (m<sup>2</sup>)

$g$ : yerçekimi ivmesi ( $m/sn^2$ )

$\theta$  : kanal tabanı ile yatay düzlem arasındaki açı ( $^\circ$ )

$S_0$  : taban eğimi

$K$  : taşıma kapasitesi (kovaryans faktörü)

dür. St. Venant denklemleri nümerik olarak 3 farklı yöntemle çözülmektedir. Denklemlerin çözümünde kullanılan modeller hareket denklemlerindeki bazı ifadelerin ihmal edilmesiyle elde edilmişlerdir. Bu modeller;

- Dinamik Dalga Modeli
- Difüzyon Modeli
- Kinematik Dalga Modeli

Dinamik model ile yapılan çözüme hidrolik öteleme, difüzyon ve kinematik model ile yapılan yaklaşık çözümlere de hidrolojik öteleme denilmektedir.

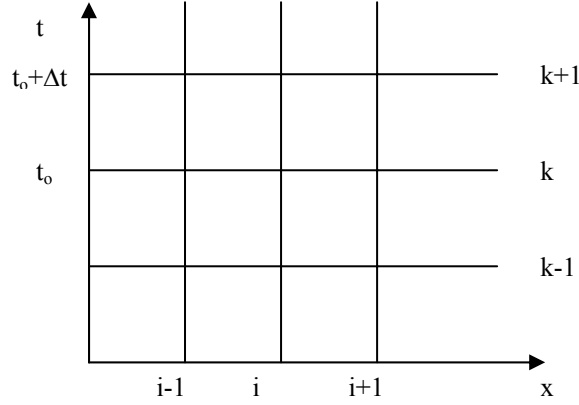
#### **4.2.2.1.Hidrolik Modeller (Dinamik Model)**

Saint Venant denklemleri hiperbolik türden kısmi diferansiyel denklem takımındadır. Lineer olmayan terimler yüzünden çok basit haller dışında bu denklemlerin kapalı çözümleri yoktur. Bu nedenle denklemlerin çözümlerinde karakteristikler ve sonlu farklar olarak bilinen nümerik metotlar kullanılır. Nümerik çözümün yapılabilmesi için menba ve mansap kesitlerinde sınır şartlarının (hız veya su seviyesi) bilinmesi gerekmektedir. Genellikle akım hızı (veya debi) kanalın menba kesitinde, su seviyesi de mansap kesitinde zamanın fonksiyonu olarak verilmektedir (Yüksel, 2000).

Nümerik çözüm yöntemlerine örnek olarak karakteristikler metodu ve sonlu farklar metodu verilebilir. Karakteristikler metodu Mahmood ve Yevjevich (1975) tarafından sığ su denkleminin grafiksel integrasyonu için önerilmiştir. Karakteristikler metodu açık kanallardaki kararsız akım analizinde oldukça yaygın bir kullanıma sahiptir. Ancak karşılaşılan zorluklar nedeniyle tercih edilmemektedir. Karakteristikler metodu günümüzde yerini sonlu farklar şemalarına bırakmıştır. Yine de açık sonlu fark şemasının teşkilinde bu yöntemden faydalanılmaktadır.

Sonlu farklar metodunda, kanal  $\Delta x$  uzunluktaki eşit parçalara ayrılır. Her parçanın sonu hesaplanacak olan düğümler veya ağ noktalarıdır. Kanal  $N$  parçaya ayrılır ve ilk

düğümüne menba kesitine 1 numarası verilirse, mansaptaki son düğüm N+1 olur. Hesaplamalar bu zaman aralıklarında yapılır. Şekil 4.1’de görülen x-t düzlemi hesap ağı olarak isimlendirilir. Sonlu farklar şeması iki farklı şema kullanılarak çözümlenebilir.



Şekil 4.1. Hesap ağı (Yüksel, 2000)

Açık sonlu fark şemalarıyla  $t_0+\Delta t$  zaman seviyesinde herhangi bir  $i$  noktasındaki akım değeri,  $t_0$  zaman seviyesinde bu noktaya komşu ağı noktalarındaki bilinenler baz alınarak hesaplanır. Kararsız serbest yüzeyli akımların çözümünde, çok sayıda açık sonlu farklar yöntemi kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları Leap – Frog şeması, Difüzyon şeması, Lax Wendorff şemasıdır.

Kapalı şemalarda uzaysal türevler sonlu fark yaklaşımlarıyla bilinmeyen zaman aralığındaki değişkenlere dönüştürülür. Kapalı sonlu fark şemaları bir çok farklı yöntemle oluşturulabilir. Ayrıca şemadaki ağ noktalarının ve her bir ağ noktasındaki bağımlı değişkenlerin sayısına ve kullanılan katsayılarla bağlı olarak şemalar sınıflandırılabilir. Bu şemalar arasındaki fark nümerik özellikleri etkilemediği gibi her bir ağ noktasındaki hesaplama işlemlerinin miktarını ve sınır şartlarının tariflenmesindeki esnekliği de etkilemez. St. Venant denklemlerinin çözümünde etkili olacak, tamamı iki zaman seviyesi ile tamamlanmış üç farklı tipte şema oluşturulabilir (Vervey, 1985).

- Prerissmann tipi şema; her ağ noktasında iki bağımlı değişken ve konum yönünde iki ağ noktası (ayrık olmayan ağ)



- Abbot – Ionescu tipi şema; her ağ noktasında bir bağımlı değişken ve konum yönünde üç ağ noktası (ayrık ağ)
- Vasiliev tipi şema; her ağ noktasında iki bağımlı değişken ve konum yönünde üç ağ noktası (ayrık olmayan ağ)

#### **4.2.2.2.Hidrolojik Öteleme Modelleri**

Basitleştirilmiş dinamik denklem ile süreklilik denkleminin birlikte olan yaklaşık çözümüne hidrolojik öteleme denir. Hidrolojik öteleme metotları kütlelerin korunumunu ifade eden süreklilik denkleminin depolama ile hem giren hem de çıkan akım arasındaki ilişkiyi esas alır. Kullanılmayan hareket denklemlerinin yerine metottan metoda az çok değişen basit kabuller yapılır. Hidrolojik öteleme için iki farklı yaklaşım modeli vardır. Bunlar difüzyon ve kinematik modellerdir. Difüzyon modelinde su yüzeyindeki eğim, ilave bir terim olarak işleme eklenir. Kinematik modelde kararlı uniform akım kabulü yapılarak momentum denklemi dikkate alınır. Bu modelin kullanılmasıyla belirlenen dalgalara kinematik dalga, ötelemeye de kinematik öteleme denir. Basitleştirilmiş bu modellerin kullanımı kolaydır ve kanal geometrisi ile ilgili bilgileri içermezler. Birim hidrograf, depolama modelleri, Muskingum metodu, non-lineer depolama gibi çeşitli metotlar sıralanabilir.

### **4.3. Modelleme Programları ve Özellikleri**

#### **4.3.1. Mike 11**

MIKE 11 akarsular ve kanal sistemleri gibi tek boyutlu serbest yüzeyli akışlar için modelleme/simülasyon yapabilir. Modelde sonlu farklar yöntemi kullanılmakta ve yüzey akışından taşkın tahminine kadar pek çok olayın modellenmesinde kullanılabilir.

MIKE 11 hidrolik, hidrolojik, sediment, GIS ve istatistiksel analiz ana modüllerinden oluşmaktadır. Bu modüller içinde yer alan modeller ve uygulama alanları kısaca aşağıda verilmiştir.

- **Hidrolik Modüller**

Basic Hydrodynamics (HD), akarsularda kararsız akımların da simüle edilmesine olanak sağlayan sonlu farklar modelidir. Birden fazla akarsu kolu ve kapalı kanal şebekeleri de modellenebilmektedir. Menfezler, savaklar ve kullanıcı tarafından tanımlanmış benzeri yapılar modelde yer alabilmektedir.

Dam Break (DB), baraj yıkılmasından oluşacak taşkın dalgalarının belirlenmesi ve ötelenmesi hesaplamaları için kullanılabilir.

Structure Operation (SO), akarsu üzerindeki (yani sulama kanalları ve rezervuarlardaki) kontrol kapaklarının işletilmesinin simüle edilmesi için kullanılır.

Quasi Steady State (HDQSS), detaylı dinamik modelleme yapmadan, birkaç ay gibi uzun dönemlerin simülasyonunu yapmak için kullanılır.

Flood Forecasting (FF), hidrolik ve hidrolojik hesaplamaların taşkın durumunu da içerecek şekilde genişletilmesine olanak sağlar. Ölçülmüş saha verileri ile model çıktılarının kıyaslanarak otomatik güncelleme yapılmasını sağlar.

Rezervuar, rezervuar hidroliği ve tabakalaşma için kullanılan 2 boyutlu bir ek modüldür.

- **Hidrolojik Modüller**

Rainfall-Runoff Model (NAM), yağmur, kar suyu ve yer altı suyunu da yağış-akış ilişkisi ve yüzeysel akış hesaplamaları yapmak için kullanılan deterministik bir modeldir.

Unit Hydrograph (UHM), tek bir yağış olayından birim hidrograf yöntemiyle yüzey akışı simülasyonu yapılmasını sağlar.

- **Katı Madde (Sediment) Modülü**

Non-cohesive Sediment Transport (ST), ortalama özellikleri ile ifade edilen sedimentin taşınım hesaplamaları yapılarak, taşınım hızları ve taban seviyesi değişiklikleri gibi parametrelerin hesaplanmasına olanak sağlar.

Graded Non-cohesive Sediment Transport (GST), modellenecek sedimentin gradasyon (sınıflandırma) özelliklerini göz önüne alabilen taşınım modelidir.

- **GIS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) Modülü**

GIS Interface, model çıktılarının GIS ortamına aktarılması ve görüntülenmesi için geliştirilmiş bir ara yüzdür.

Flood Watch (FW), onliine taşkın tahmini yapımında kullanılmak üzere, MIKE 11 ile GIS yazılımlarının aynı platformda çalışmasını sağlayan bir ara programdır.

- **İstatistiksel Analiz Modülü**

Extreme Value Analysis (EVA), yapılan simülasyonların sonuçları üzerinde ekstrem değer analizleri ve güvenilirlik testleri yapılmasını sağlayan bir programdır.

#### **4.3.2. WMS (Watershed Modelling System)**

WMS hem kırsal alan hem de kent içi drenaj havzalarına kolaylıkla uygulanabilen bir hidrolojik modeldir. Bir çok metot kullanılarak akım karakteristikleri modellenebilir. Program otomatik olarak havzanın tamamının boru akış taslağını hazırlayabilmektedir. Havza içinde küçük çaplı çukurlar (doğal depolama alanları) tanımlanabilir. Tali havzaları, WMS otomatik olarak alan, ortalama eğim, maksimum akış mesafesi, nehir uzunluğu, nehir eğimi ve yağış yüksekliği gibi tali havzanın niteliklerinin Thiessen poligon metodunu kullanarak hesaplar. Akış eğri numaraları ve toplanma süresi, toprak örtüsü tipi kullanılarak otomatik olarak hesaplanır.

Hidrografik analizlerin oluşturulmasından sonra, WMS digital arazi modeli üzerinde hidrografları gösterir. Farklı konum ve yağışların hidrografları birbiri üzerine konularak, yağışlar arasındaki farklar ve etki süreleri gösterilebilir. Oluşturulan taşkın yerini otomatik olarak çizer. Akım derinlik düzeyi de ayrıca gösterilebilir. Oluşturulan taşkın harita çıktısı olarak alınabileceği gibi AutoCad veya MicroStation'a da aktarılabilir. WMS içinde kontrol mekanizması mevcuttur. Program girdi verilerini herhangi bir modelleme hatasına karşı kontrol eder. WMS içindeki ara yüzler aşağıda açıklanmıştır .

- **HEC-1 ve HEC-HMS Arayüz Modülleri**

HEC-1 ve HEC-HMS Arayüz Modülleri, ABD Askeri İstihkam Teşkilatı HEC-1 ve HEC-HMS hidrolojik analiz modellerine tam anlamıyla grafiksel destek sağlamaktadır.

- **TR-20 ve TR-55 Arayüz Modülü**

Rasyonel Metod Arayüz Modülü, endüstriyel standartlardaki, genel olarak kent hidrolojisine uygulanan Rasyonel Metod hidrolojik analiz modeline bütünüyle grafiksel bir ara birim sağlar. WMS, Şiddet-Süre-Frekans eğrilerini oluşturma yeteneğine sahiptir.

- **NFF Arayüz Modülü**

Ulusal Taşkın Frekansı (NFF) Arayüzü, kırsal alan ve kent içi havzalarında, T-yıl taşkın piklerinin tahmini için regresyon hesabı yapar. DTM Modülü ile birlikte kullanıldığında, alan, eğim, rakım, havza genişliği gibi tüm geometrik parametreler otomatik olarak hesaplanır ve seçilen frekansa aktarılır.

- **DTM Modülü**

WMS DTM (Digital Zemin Modelleme) modülü ile çeşitli kaynakları kullanarak havzanın dijital bir arazi modelini oluşturur. WMS otomatik olarak büyük bir drenaj havzasının sınırlarını tam doğrulukta belirleyerek parsellere ayırabilir, kanal şebekesi hesaplarını yapabilir, istenen hidrolojik özellikleri belirleyebilir. Veri dosyalarından istenen hidrolojik model oluşturulabilmektedir. Eğer dijital arazi verileri mevcut değilse, WMS eşdeğer bir grafiksel güzergah modeli yaratır.

- **Harita Modülü**

Harita Modülünü kullanılarak, topografik haritalardaki tüm TIFF şekilleri, ekran üzerinde sayısallaştırma veya model sonuç çıktılarının basitleştirilmesini sağlamak için arka plan olarak görüntülenebilir. Harita Modülü direkt olarak DXF dosyalarına aktarılabilir.

### 4.3.3. MIKE SWMM

MIKE SWMM™ drenaj sistemleri, yağmursuyu toplama sistemleri ve sıhhi tesisatların analizinde kullanılan gelişmiş, etkin ve kapsamlı yağmursuyu ve su arıtım yönetim modelleme paketidir. MIKE SWMM, hidroloji, hidrolik ve su kalitesi modellemesinde uluslar arası iki lider olan, Danish Hydraulic Institute (DHI) ve Camp Dresser & McKee Inc.(CDM) ortak çalışmasının bir ürünüdür. MIKE SWMM, endüstriyel standartlarda Çevresel Koruma Birimi (EPA) Yağmursuyu Yönetim Modeli (SWMM)'ne dayanır. SWMM, Kuzey Amerika'da, en çok uygulanan yağmursuyu ve atıksu modelidir.

MIKE SWMM, yağmursuyu ve atıksu drenaj sistemlerinin hidroloji, hidrolik ve su kalite analizlerini gerçekleştiren link - node (bağlantı-baca) imgelerine dayanan bir modeldir. Bağlantılar boru, kanal, pompa, destek borusu, bent gibi akışkanı ve bileşeni taşıyan bir hidrolik elemanı temsil eder. MIKE SWMM'in tipik uygulamaları, birleşik sistem kanalizasyon boruları, iletim hatları, birbirlerine bağlı havuz analizleri, açık ve kapalı akış analizleri, mevcut yağmursuyu sistem analizleridir .

MIKE SWMM, hidrolik analizlerin gerçekleşmesi için, non-lineer rezervuar öteleme (Runoff Modeli) ve tam hidrodinamik dalga öteleme (Extron Modeli) modellerini kullanır. Bu metot ters akışları simüle edemez. Extron Modeli, drenaj şebekesi boyunca tüm St. Venant (dinamik akış) denklemlerini çözer ve sürşarj, döngü bağlantıları, basınç değişimleri ve birbirine bağlı havuzların modellemelerini içerir.

MIKE SWMM boru boyutları, akış oranları, hızlar, hidrolik ölçekler, su kalitesi konsantrasyonları ve diğer öğelerin kullanımına izin veren tüm veri niteliklerinin temel olarak bağlantı ve bacalar için otomatik bir renk kodlama sistemi geliştirmiştir. Hem MIKE SWMM, hem de MOUSE™ kullanıcıları için ArcView tabanlı MOUSE GIS™ uygulaması da mevcuttur. Bu uygulama kanalizasyon şebekesinin görsel sunumu ve uzamsal bilgilerini sağlayan ArcView GIS'e direkt bağlantı kurmasını sağlar. MOUSE GIS, GIS tabanlı SWMM modelinin kurulması ve geliştirilmesinde iş ve zaman kazanımı sağlar. MOUSE GIS, pek çok kriterin mümkün olduğu kadar kanalizasyon borularının kombine edilmesi yoluyla orijinal yağmursuyu kanalizasyon şebeke sisteminin otomatik olarak veya elle iskeletinin hazırlanmasını sağlar. Kriter varyasyonları kullanıcı tarafından belirlenir ve minimum kullanılabilir drenaj alanları, boru çapında mümkün maksimum değişiklikler,

eğimde mümkün maksimum değişim, hidrolik akış kapasitesindeki mümkün değişimler, boru tipi, şekli, vb. değişiklikler gibi pek çok ögeyi kapsayabilir. Rezervuar, rögar, boru ve pompalar gibi tüm şebeke elemanları grafiksel olarak düzenlenebilir.

Ayrıca MIKE SWMM simülasyon sonuçları da doğrudan MOUSE GIS'de görüntülenebilir. MIKE SWMM şebeke verilerini biriktirmek ve işletmek için Microsoft uyumlu bir ODBC veritabanı kullanır. Bu, kanalizasyon model bilgilerinin belirlenmesi ve geliştirilmesinde sınırsız esneklik sağlar. MIKE SWMM yapısında bir model kontrol mekanizması içerir. Model kontrolcüsü, seçilen analiz modeli için belirlenen veri girdilerini yeniden gözden geçirir, bir hata ile karşılaşırsa neyin yanlış olduğunun ve nasıl düzeltilmesi gerektiğini açıklar.

#### **4.3.4. BOSS STORM SHED**

BOSS StormSHed<sup>TM</sup>, hidroloji modelleme programıdır. BOSS StormSHED, SCS (Soil Conservation Service – Amerika Toprak Koruma Servisi) TR-20 eğrisel ve üçlü hidrografları; veya SBUH (Santa Barbara Kent Hidrografları) boşaltım metodlarını kullanarak her biri kendi dizayn parametreleri ile sunulan sayısız drenaj havzası için yağış hidrografları oluşturur. Hazırlanan hidrografları grafiksel olarak görüntüler, aynı zamanda pek çok hidrografi üst üste koyarak karşılaştırma kolaylığı sağlar (Şanlı 2003).

Hem kırsal alanda hem de belediyelerin kanalizasyon sistemi analiz ve dizaynları için kanal, boru şebekeleri, akıntı yapısı, depolama havuzları ve rezervuarlar boyunca hasıl olan akış ötelemelerini belirleyebilir. BOSS StormSHED havuz hacimlerini, ark ve kanal boyutlarını ve toplama için boru şebekelerini belirlemede kullanılabilir. Program, havza için toplanma sürelerini otomatik olarak hesaplar.

Kullanıcının belirlediği konumlandırma sistemi Muskingum, Manning, Geliştirilmiş Zayıf Kinematik Dalga metotlarını içerir. Tüm serbest yüzeyle akış koşulları modellenilebilir. Hidrografın tamamı veya belirli bir parçası için akış varyantları yaratılabilir. StormSHED ayrıca depolama yapılarında sızma modellemesi de yapabilir.

Güzergah oluşturulup, akış pik oranları belirlenince BOSS StormSHED, kısmi veya tüm akış şartlarında sistemdeki tüm borular için hidrolik eğimi otomatik olarak hesaplar. Baca, giriş ve diğer boru akış yapılarındaki bağlantılardan kaynaklanan kayıplar kullanıcı

tarafından ayrıca belirlenebilir. Program yetersiz boruları otomatik olarak gösterir ve bunun yanında boru karakteristiğini tanımlar.

BOSS StormSHED, minimum ve maksimum kanal eğimi ve maksimum akış hızı kriterine dayanan belli bir öteleme akış piki için otomatik olarak borular dizayn eder. Eğer istenirse, boru çapları önceden belirlenebilir. Ayrıca havzalar ve çıkış yapıları otomatik olarak boyutlandırılır ve hesaplanan hidrograflara göre dizayn edilir.

#### **4.3.5. BOSS HEC-RAS (Su Yüzeyi Profil Modeli)**

BOSS HEC-RAS<sup>TM</sup>, doğal veya insan yapımı kanallarda derece derece çeşitlenen durgun, tek boyutlu akış modellemesinde kullanılır. ABD Askeri Mühendisler Birliği'ne bağlı Hidrolik Mühendisliği Merkezi (US. Army Corps Of Engineers Hydraulic Engineering Center) tarafından geliştirilmiş ve ticari amaçlı olmayan HEC-RAS su yüzeyi modeli ile BOSS ticari girişiminin ara yüz ve bazı ilave destekleri ile ortaya çıkmış bir programdır. HEC-RAS, karışık akış rejimi su yüzeyi profillerini modelleme yeteneğine sahiptir. HEC-RAS tek bir akarsu alanını, akarsu sistemlerini veya bir birikinti kanalının tüm şebekesini (sistem döngüsünü) modelleyebilir. Bağlantılardaki enerji kayıpları, bağlantı boyunca enerji veya momentum dengesi kullanılarak model tarafından belirlenir. Momentum dengesi kullanıcının, akarsu akışının normal doğrultusuna paralel olmayan her alan için rotasyon açısının bulunmasını sağlar .

HEC-RAS pek çok köprü ve kanalın tek bir yol kavşağında modellenmesini sağlayan yeni köprü ve kanal yapılarını içerir. Bunun yanında bent ve dolu savak gibi hidrolik yapılar da modellenebilir. Kavşaklarda model her kolu ayrı bir öge olarak değerlendirir ve kollar boyunca toplam akışı her birindeki enerji kayıpları eşit olacak şekilde dağıtır.

BOSS HEC-RAS program sonuçlarını değerlendirmenizi sağlayan, yatay kesit, profil, sınıflandırma ve 3-D akarsu vadi grafikleri gibi çok sayıda grafiği çizer ve görüntüler. BOSS HEC-RAS yapısında bir model kontrolcüsü mevcuttur. BOSS HEC-RAS model kontrolcü tanımlanan tüm veri girdilerini kontrol eder. Hata ile karşılaşırsa neyin yanlış olduğunu ve nasıl düzeltilmesi gerektiğini açıklar.

#### 4.3.6. AULOS

AULOS Yeni Zelanda'da Hydra Software tarafından geliştirilmiş bir programdır. Hydra MIKE 11 UD'nin çekirdeğini oluşturan yazılım firmasıdır.

Modelleme programları kütlemin korunumu, momentumun korunumu ve enerjinin korunumu gibi fizik kanunlarına dayalı hesaplamalar yaparlar. Genelde kullanılanlar ise basit durumların analizinde kolaylıkla sağlayayan momentum ve kütlemin korunumu kanunlarıdır. Ancak tam doğru çözüme yaklaşmak için bunların yanında enerji denklemleri de dikkate alınmalıdır. AULOS tüm bu denklemleri hesaplamalarında kullanabilen bir modele sahiptir. Sonlu farklar yöntemi yerine Cell Integral Analysis adı verilen bir yöntemle hesaplama hızı 100 kat daha arttırılmıştır. Bu şekilde hesap basamakları daraltılarak daha kesin sonuçlar elde edilebilmektedir.

Çeşitli kesitlere sahip boru ve açık kanalların modellenmesi mümkündür. %20 eğime kadar sel rejimindeki akımlar ele alınabilmektedir. Coğrafi bilgi sistemlerine bağlantı ara yüzü mevcuttur. Yağmursuyu modeline ait kontrol yapıları (savaklar, pompalar, kapaklar vb.) mevcuttur. Tüm bu üniteleri gerçek zamanlı kontrol modülü ile entegre etmek mümkündür. Oluşturulmuş bir yağmursuyu modelini diğer programlara aktarılabilecek formatlara dönüştürmek mümkündür.

#### 4.3.7. MOUSE

MOUSE DHI Software ([www.dhigroup.com](http://www.dhigroup.com)) tarafından geliştirilmiş bir programdır. Atıksu yağmursuyu birleşik sistem ve atıksu toplayıcı sistemleri dolu savaklarının analizi, gerçek zamanlı kontrol çalışmaları su kalitesi, sediment hareketi, taşkın öngörülerini gibi pek çok alanda kullanılabilir. MOUSE programı da MIKE 11 gibi ticari olarak opsiyonel modüllerden oluşur. Bu modüller aşağıda verilmiştir.

- **HD – Pipe Flow**

Kanal ve boru sistemlerindeki akışın simülasyonunu yapabilir. Çok geniş bir toplayıcı sistem ve akış proses kontrol ekipmanları vardır. Bunlar,

- Standart ve istenildiği şekilde ayarlanabilen en kesitler
- Yuvarlak bacalar



- Bekletme havuzları
- Taşkın dolu savakları
- Akış regülatörleri
- Pompalar

Pipe Flow borulardaki serbest yüzeyli, yarı serbest yüzeyli ve basınçlı akımları, sel ve nehir rejimlerinde simüle edebilir. Pipe Flow modülünde 4 çeşit yağış-akış modeli ve bir kuru hava akış modeli mevcuttur.

- **RDII – Rainfall Dependent Inflow/Infiltration**

Pipe Flow ve LTS (Long Term Simulations) Modülleri için ileri hidroloji modelidir. Uzun süreli akış hidrografları oluşturur.

- **RTC – Gerçek Zamanlı Kontrol**

Kontrol edilebilen hidrolik yapılar (pompalar, kapaklar, dolu savaklar vb.) için kontrol şemaları oluşturmak mümkündür. Sanal sensörler ve kontrol ünitelerini kullanarak kural bazlı kontroller yapmak mümkündür.

- **PD – Pipe Design (Boru Dizayn)**

Kullanıcı tarafından tayin edilecek kriterler doğrultusunda otomatik olarak boru çaplarının hesaplanmasında kullanılabilen bir modüldür.

- **LTS – Long Term Simulations (Uzun Dönemli Simülasyonlar)**

Uzun zaman aralıklarını kapsayan, kuru ve yağışlı havalarda uzun zaman serilerinde simülasyon yapabilir. Birleşik sistem ve atıksu sistemleri dolu savaklarının uzun süreli takibi mümkündür.

- **ST – Sediment Transport**

Boru içindeki sediment hareketini, erozyon ve boru içi birikme parametrelerini simüle edebilmektedir.

- **WQ – Water Quality**

Biyofilmlerdeki ve sudaki BOİ/KOİ azalma oranı, askıdaki katların hidrolizi, biyokütle oluşumu, oksijen tüketimi gibi çok çeşitli parametreyi simüle edebilmektedir. Borulara nerelerde korozyon ve koku problemine yol açan hidrojen sülfür oluşacağını simüle etmek de mümkündür.

#### **4.3.8. InfoWorks CS**

InfoWorks CS İngiltere’de Hydraulics Research Institute tarafından geliştirilmiş, kullanımı kolay ve esnek bir modelleme programıdır. Program, toplayıcı sistem ağı bilgilerinin ve çeşitli verilerin saklandığı veritabanlarının oluşturulması, bu ağa ait hidrolik bilgilerin import/export edilebilmesi veya düzeltilebilmesi için gereken altyapıya sahiptir.

Model oluşturulduktan sonra InfoWorks CS verilen şartlar altında hatların davranışını simüle edebilir. Bu simülasyona ait sonuçları çeşitli raporlama araçları yardımıyla analiz edebilir. Programın özellikleri detaylı olarak Bölüm 5’te verilmiştir.

#### 4.4. Modelleme ve Ölçülmüş Değerlere Ait Literatürdeki Çalışmalar

Yukarıda bazı özellikleri verilen MIKE 11, MOUSE, HEC-RAS, InfoWorks CS ve AULOS programlarının ürettikleri sonuçların güvenilirliği yapılan bir dizi test çalışmasıyla sınanmıştır. Test edilen bu programlar tek boyutlu (1D) hidrolik modelleme paket programlarıdır. Bu programların hepsi hidrolik problemlere çeşitli zorluk ve doğruluk seviyelerinde çözümler sunmaktadır. Tablo 4.1’de programlara ait bazı özellikler verilmiştir.

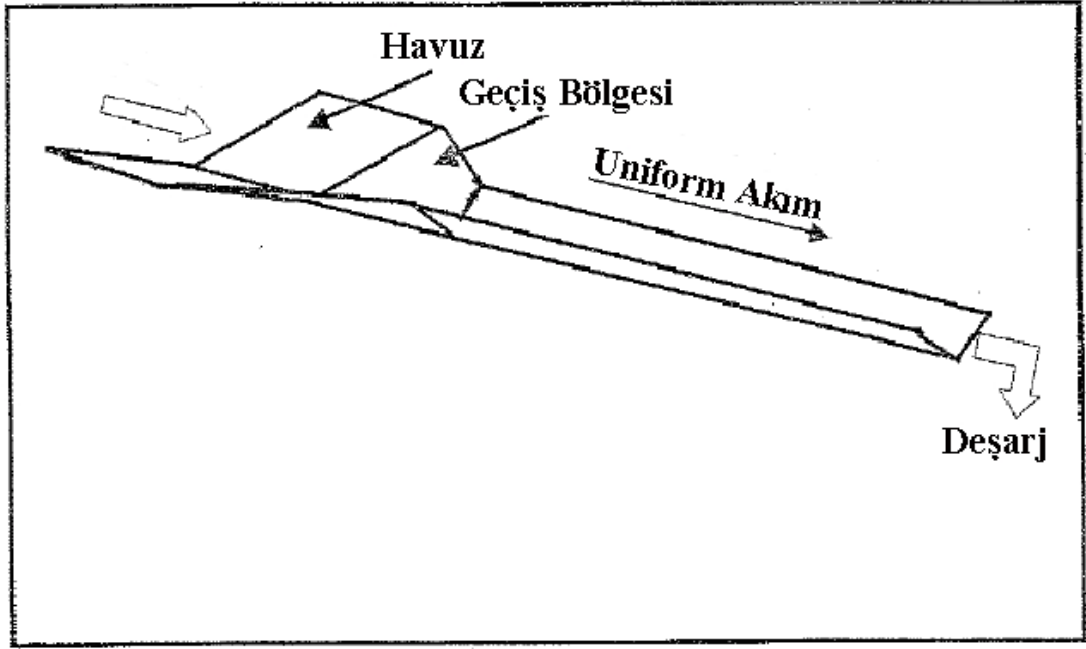
Tablo 4.1. Test edilen programlar ve bazı özellikleri (NZWWA, 2004).

	Akış	Toplayıcı Sistem	Yağış-Akış Metodları	Modüller (s : standart, e : ek)
AULOS	Üniform, Üniform Olmayan	Açık kanal ve basit boru	Yok	Hidrolik (s), kontrol yapıları (e), gerçek zamanlı kontrol (e)
HEC-RAS v2.2	Üniform,	Açık kanal	Yok	Hidrolik (s)
InfoWorks CS	Üniform, Üniform Olmayan	Boru sistemi ve basit açık kanal	Sabit akış, yavaş ve hızlı tepki, geniş havza modellerini kapsayan modeller	Uzun zaman serileri simülasyonu (s), gerçek zamanlı kontrol (s), Su kalitesi (s), kirlilik yönetimi modülü (s)
MIKE 11	Üniform, Üniform Olmayan	Açık kanal	Standart modelde yok. Ek modüllerle çeşitli yağış-akış modelleri sağlanmıştır.	Hidrodinamik (s), yapılar (e), baraj yıkılması (e), su kalitesi (e), dağılma-yayıma (e), taşkın tahmini (e), GIS (e)
MOUSE	Üniform, Üniform Olmayan	Açık kanal ve boru	Sabit akış, yavaş ve hızlı tepki, geniş havza modellerini kapsayan modeller	Hidrolik (s), uzun zaman serileri simülasyonu (e), gerçek zamanlı kontrol (e), su kalite (e)

##### 4.4.1. Enerji Denklemlerinin Çözümü ile ilgili Literatürdeki Çalışma

###### *Çalışmanın Özeti*

Programlar bir havuz yapısından sonra tedrici olarak daralan bir kesitten ve uniform akımın gözlenebilmesine yetecek kadar uzun bir kanaldan geçerek deşarja ulaşan bir hidrolik senaryo ile test edilmiştir. Yapılan test laboratuvar deneylerine dayanmaktadır ve detayları aşağıda verilmektedir. Şekil 4.2’de test düzeneği görülmektedir.



Şekil 4.2. Test düzeneği (Barnett, 2004)

Yapılan testte menba tarafında bir havuz, sonrasındaki uzun ve uniform kesite geçiş ve sonunda ise deşarj mevcuttur. Havuz üçgen kesitli, 3 m uzunluğunda ve şev açısı 3 yatay:1 dikey olacak şekildedir. Uniform kanal yine üçgen kesitli, 15 m uzunluğunda, şev açıları 1.19 yatay: 1 dikey'dir. Havuz ve kanalı bağlayan geçiş bölgesi ise 2 m uzunluğundadır.

Laboratuar çalışmasında yapıldığı şekliyle 101 lt/sn'lik bir debi ile programların testi gerçekleştirilmiştir. Test edilen programlardan AULOS ve HEC-RAS menba tarafı sınırında belirtilen bir su seviyesi ile hidrolik tahkiklere başlayarak başarılı bir şekilde hesaplamaları yapabilecek özelliktedir. MIKE 11 ve MOUSE menba sınır şartı olarak su seviyesini kabul etmekle beraber kararlı akım halini başarılı bir şekilde simüle edememişlerdir.

Programların akım hızının düşük olduğu geniş bir bölgeden (havuz yapısı) dar ve yumuşak eğimli bir kanala geçişi nasıl ele aldıklarının tespit edilmesi için, ayrıca her program paketinin denklem çözüm sistemleri yardımıyla havuz bölgesinde su seviyesini bulmak ve ölçülmüş değerlerle karşılaştırmak için bu test çalışması yapılmıştır.

InfoWorks CS kanal boyunca sadece uniform kesitleri modelleyebilmektedir. Tedrici olarak daralan bölgeyi bu program modelleyemediği için bu test kapsamında değerlendirilmemiştir.

#### *Çalışmanın Sonuçları*

Tablo 4.2’de yapılan simülasyon çalışmalarının sonuçları verilmektedir. AULOS ve HEC-RAS enerji denklemlerini kullanarak laboratuarda ölçülmüş değerleri yakalayabilmişlerdir. MIKE 11 ve MOUSE momentum denklemlerini kullanarak laboratuvar sonuçlarıyla karşılaştırıldığında %40 - %19 oranında negatif hatalı sonuçlar üretmişlerdir.

Tablo 4.2. Yapılan çalışma sonuçları

	Denklemler	Su Seviyesi
AULOS	Süreklilik, enerji	Simülasyon 0.336 m, ölçülen 0.336 m
HEC-RAS	Süreklilik, enerji	Simülasyon 0.337 m, ölçülen 0.336 m
InfoWorks CS	Süreklilik, momentum	Test edilmedi.
MIKE 11	Süreklilik, momentum	Simülasyon 0.206 m, ölçülen 0.336 m
MOUSE	Süreklilik, momentum	Simülasyon 0.273 m, ölçülen 0.336 m

#### **4.4.2. Gerçek Havza Testi ile İlgili Literatürdeki Çalışma**

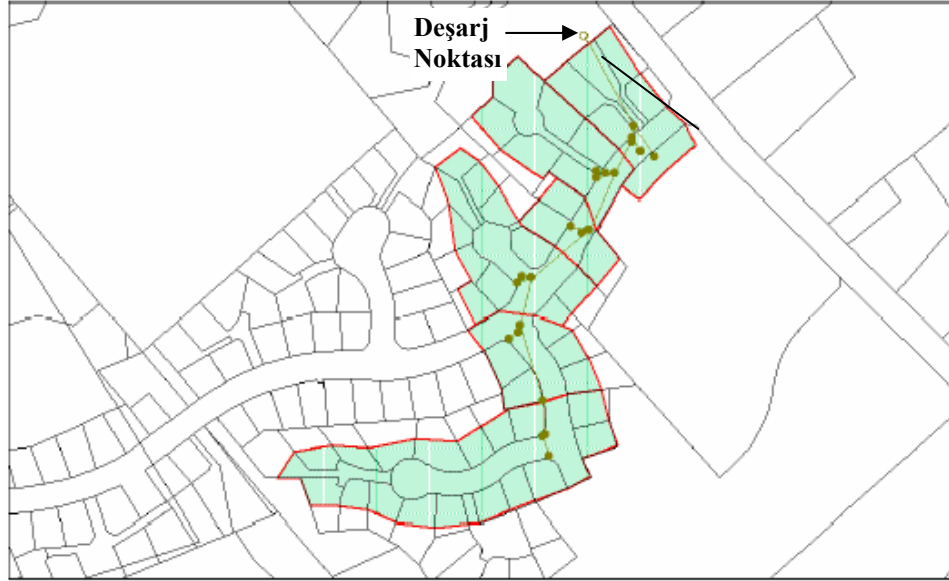
Programları test etmek amacıyla iki adet gerçek havza testi yapılmıştır. Bu çalışmada MIKE 11 ve HEC-RAS test dışında bırakılmıştır. Çünkü MIKE 11 yağmursuyu toplayıcıları model elemanlarından boruları (serbest yüzeyli ve sürşarj (basınçlı)) modelleyebilirken bacaları modelleyememektedir. HEC-RAS ise boruları modelleyememektedir.

Havzalardan biri basit bir yağmursuyu toplama sistemidir. Diğer havza ise az eğimli bir bölgeden çok dik eğimli bir bölgeye ve daha sonra tekrar az eğimli bir bölgeye geçen boru sisteminden oluşmaktadır.

Yağmurların akışa geçen kısmının ve taşkın akımlarının yağmursuyu toplama sistemine yönlendirilmesinin ölçülen değerlerle uygunluğu ve hata oranları belirlenmeye çalışılmıştır. 5.8 ha ve yoğun yerleşimin olduğu basit bir yağmursuyu toplama sistemi ve havzası (Havza 1) test amaçlı olarak seçilmiştir. Seçilen havzada

2001-2002 yıllarında bir tez çalışması kapsamında yağış ve akış gibi hidrolojik veriler ölçülmüştür. Programların üreteceği sonuçlar bu ölçüm sonuçları ile karşılaştırılacaktır (Watts, 2003).

Bölgenin yağmursuyu toplama sistemi oluşturularak programlara yüklenmiştir. Tez çalışması dikkate alınarak sabit bir akış katsayısı ( $c=0.44$ ) kabul edilmiş ve toplanma süresi olarak 10 dakika alınmıştır. Şekil 4.3’de havzalar gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Havza 1 alt havzaları

#### 4.4.2.1.Havza 1 Test Çalışması

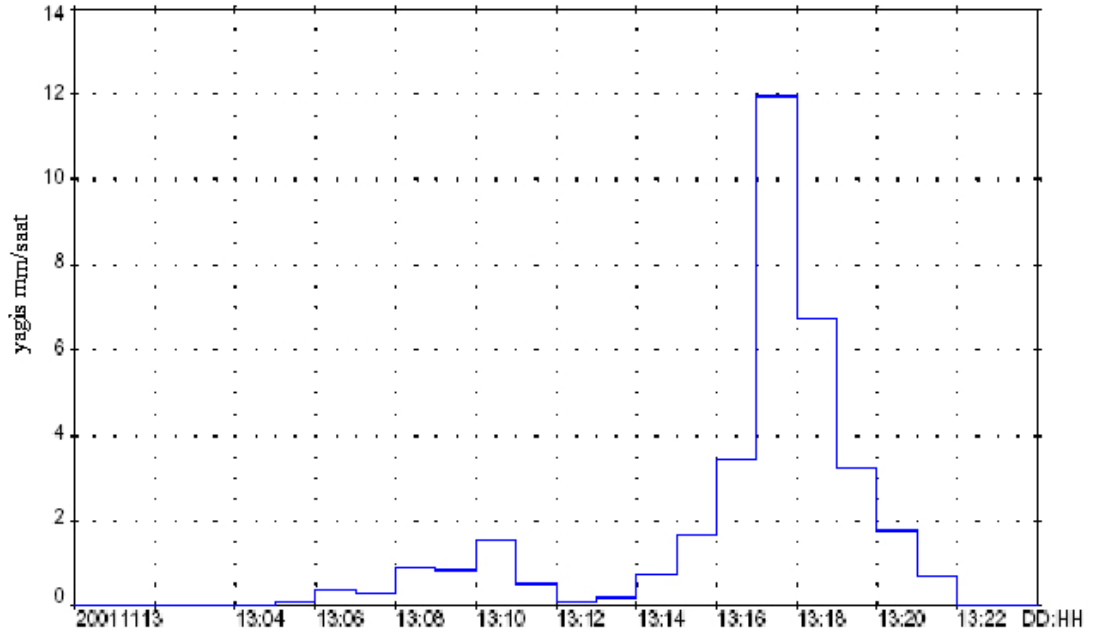
2001 ve 2002 yılları boyunca bu havzada ölçüm çalışması yapılmıştır. Şekil 4.3’te gösterilen deşarj noktasına bir seviye ölçer konmuştur. Ayrıca 0.2 mm hassasiyete sahip bir yağış ölçerde havzaya düşen yağış miktarının tespitinde kullanılmıştır..

Programların test edilmesi amacıyla 2 yağış olayı seçilmiştir. Seçilen bu yağış olayları Tablo 4.3.’de verilmektedir.

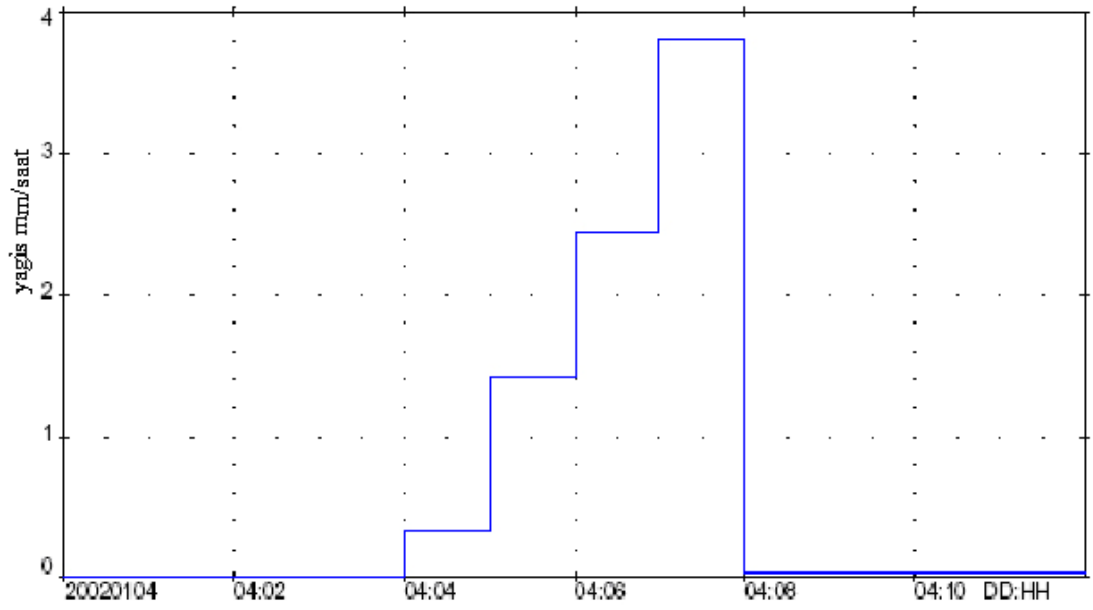
Tablo 4.3. Havza 1 test çalışmasında kullanılan yağış olayları

	Başlangıç	Bitiş	Toplam Yağış Yüksekliği, mm
Olay 1	13.11.2001 07:50	13.11.2001 21:35	35.3
Olay 2	04.01.2002 05:25	04.01.2002 07:45	8.1

Şekil 4.4 ve 4.5’de yağış olaylarına ait hiyetograflar verilmiştir.



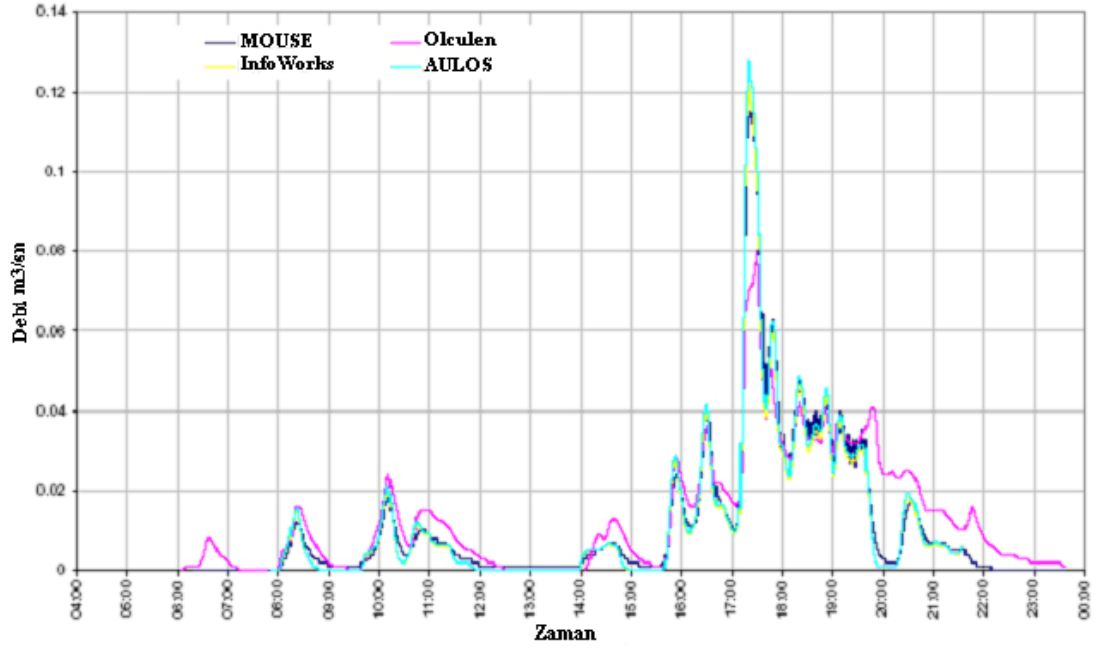
Şekil 4.4. Olay 1 hiyetografi



Şekil 4.5. Olay 2 hiyetografi

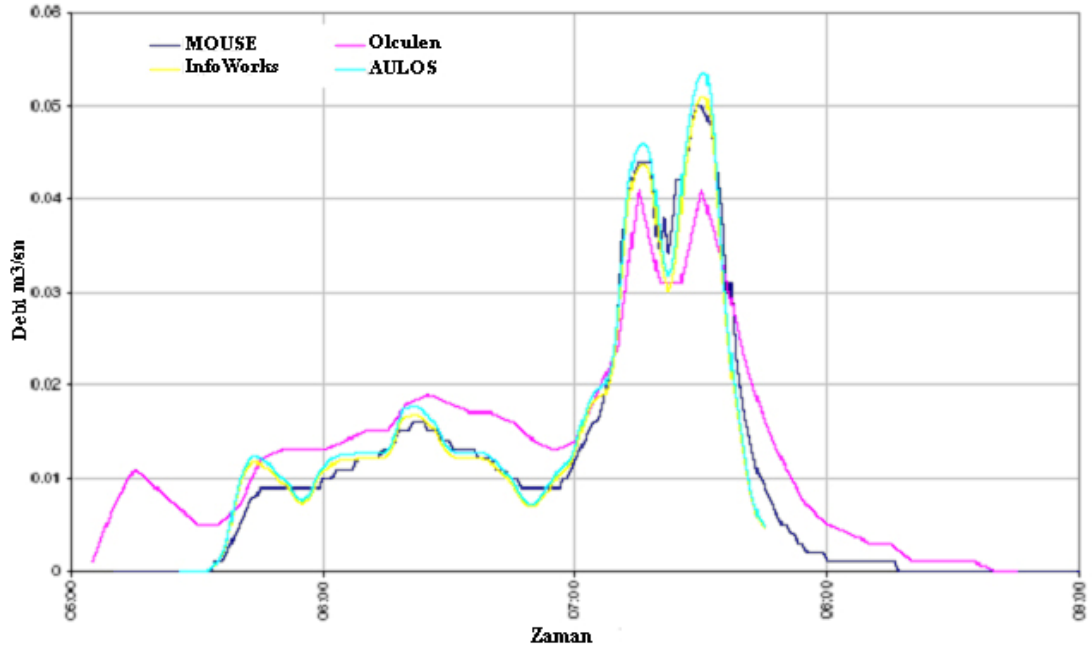
### Çalışmanın Sonuçları

Tablo 4.3’de verilen ölçülmüş yağışlar neticesinde oluşan havza akış debileri yağmursuyu sistemine verilerek oluşturulan yağmursuyu toplama sistemi programlar kullanılarak test edilmiştir. Şekil 4.6 ve 4.7’de her üç yağış olayı için deşarj noktasında programların ürettiği sonuçlar ile ölçülmüş değerler gösterilmiştir.



Şekil 4.6. 1 nolu yağış olayı sonucunda ölçülmüş ve simülasyon sonucu bulunan değerler.





Şekil 4.7. 2 nolu yağış olayı sonucunda ölçülmüş ve simülasyon sonucu bulunan değerler.

Yapılan çalışma sonucunda her üç programında benzer sonuçlara ulaştığı görülmüştür.

Test edilen programlardan InfoWorks'ün kullanımı en kolay program olduğu, onu sırasıyla MOUSE ve AULOS'un takip ettiği sonucuna varılmıştır. AULOS programının InfoWorks ve MOUSE gibi baca tanımlamasına sahip olmadığı görülmüştür. Her simülasyon sonrasında kütle dengesi kontrol edilmiştir. Hiçbir program simülasyonlar sonucunda kütle dengesi veya nümerik stabilite hataları üretmemiştir.

#### 4.4.2.2.Havza 2 Test Çalışması

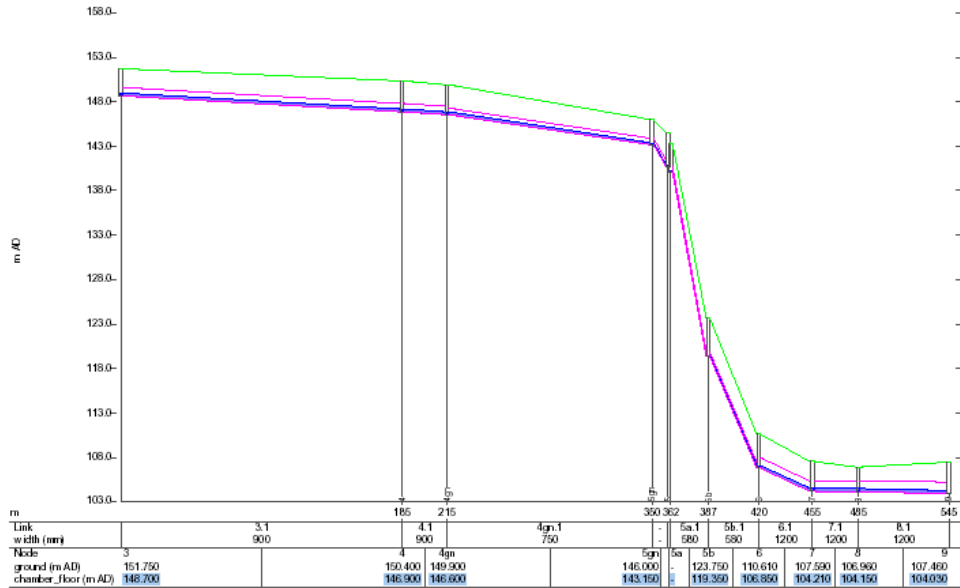
Başka bir test çalışmasında programların az eğimli ve dik eğimli bir arazide (Havza 2) bulunan yağmursuyu toplama sistemini nasıl ele alındığı araştırılmıştır. Borular sırasıyla az eğimli, dik eğimli daha sonra tekrar az eğimli bir araziden geçecek şekilde planlanmıştır. Boru eğimleri Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Havza 2 test çalışmasında kullanılan boru eğimleri

Üst Baca	Alt Baca	Çap, mm	Uzunluk, m	Eğim, m/m	Üst Baca Akar Kot, m	Alt Baca Akar Kot, m
3	4	900	185	0.0103	148.70	146.90
5	5A	580	2	0.0580	140.75	140.17
7	8	1200	30	0.0020	104.21	104.15
8	9	1200	60	0.0020	104.15	104.03
6	7	1200	35	0.0754	106.85	140.21
5GN	5	750	10	0.2181	143.15	140.75
4	4GN	900	30	0.0093	146.90	146.60
4GN	5GN	750	135	0.0237	146.60	143.15
5A	5B	580	25	0.8328	140.17	119.35
5B	6	580	33	0.3787	119.35	106.85

#### 4.4.2.3. Test Şartları

Kararlı akım halinde 300 lt/sn'lik debi sisteme sınır şartı olarak verilerek havza alt sınırında serbest düşülü deşarj noktası oluşturulmuştur. Kullanıcı tarafından girilebilen değişkenler tüm programlarda aynı olacak şekilde sabit tutulmuştur. Bacalardaki tipik yük kayıpları program sağlayıcıların önerdikleri şekilde belirlenmiştir. Şekil 4.12'de test çalışmasının yapıldığı toplayıcı sisteme ait boykesit verilmiştir.



Şekil 4.8. Testte kullanılan yağmursuyu toplama sisteminin InfoWorks CS'den alınan boykesiti.

#### 4.4.2.4.Simülasyon Sonucu

Tablo 4.5’de yağmursuyu sistemine 300 lt/sn sabit debi verilmesi durumunda gözlenen maksimum su derinlikleri verilmiştir. Tablo 4.6’da ise borularda gözlenmiş maksimum su hızları verilmiştir. Şekil 4.8’deki boykesit üzerinde maksimum su yükseklikleri de gösterilmiştir. AULOS programı istenilen zaman diliminde simülasyon yapamadığından test edilemiştir.

Tablo 4.5. Bacalarda gözlenen maksimum su yükseklikleri

	Akar Kot, m	Zemin Kotu, m	InfoWorks maks. Derinlik, m	MOUSE maks. derinlik, m
3	148.7	151.75	0.270	0.265
4	146.90	150.40	0.268	0.390
5	140.75	144.60	0.146	0.200
6	106.85	110.61	0.187	0.151
7	104.21	107.59	0.359	0.360
8	104.15	106.96	0.351	0.347
9	104.03	107.46	Deşarj	deşarj
5GN	143.15	146.00	0.150	0.132
4GN	146.60	149.90	0.237	0.407
5A	140.17	143.26	0.121	0.102
5B	119.35	123.75	0.138	0.127

Tablo 4.6. Borularda gözlenen maksimum su hızları

Üst Baca	Alt Baca	InfoWorks maks. hız, m/sn	MOUSE maks. hız, m/sn
3	4	1.884	1.979
5	5A	5.831	3.709
7	8	1.088	1.241
8	9	1.398	1.378
6	7	1.057	2.680
5GN	5	4.942	4.123
4	4GN	1.886	1.826
4GN	5GN	2.517	2.636
5A	5B	6.254	8.102
5B	6	4.088	6.255

Hazırlanan bu test konfigürasyonunda düz-eğimli bölge geçişinin olduğu noktada su kritik derinliğini geçerek sel rejimine, eğimli-düz bölge geçişinin olduğu noktada ise boru içinde hidrolik sıçrama (veya tedrici geçiş) ile tekrar nehir rejimine girmektedir. Simülasyon sonucunda bu hidrolik karakteri tamamlayıcı sonuçlar elde edilmiştir. Menba tarafındaki bacalarda görülen su derinlik farklarının programların baca yük kayıplarını hesaplamada kullandıkları algoritma farklarından oluştuğu düşünülmektedir. Farkın azaltılması için program sağlayıcıların önerileri doğrultusunda daha detaylı çalışma yapmak gerekmektedir. Aynı şekilde çok eğimli bölgedeki boruda gözlenen su hızı farkı da program sağlayıcıların önerileri doğrultusunda programlarda yapılacak konfigürasyon ayarlamaları ile düzenlenebilir.

## **5. DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA**

### **5.1. Atıksu Ve Yağmursuyu Sistemleri İçin Modelleme Çalışması: Bursa İlinde Taşkınların Önlenmesinin Araştırılması**

Bu çalışmada, InfoWorks CS modelleme programı kullanılarak Bursa ili atıksu ve yağmursuyu sistemlerinin modelleme çalışması yapılmıştır. Modelleme çalışması yapılacak bölgede halen işletilmekte olan iki adet evsel atıksu arıtma tesisi (AAT) bulunmaktadır. Bunlar, Batı yakası atıksu arıtma tesisi (BAAT) ve Doğu yakası atıksu arıtma tesisidir (DAAT). Bu tesislerin proje debileri tesisleri gereğinden daha büyük kapasiteli inşa etmemek için atıksu ve yağmursuyu toplayıcı hatlarının ayrılacağı esasına göre tespit edilmiştir. Ancak mevcut toplayıcı sistem birleşik sistem olduğundan yağışlı dönemlerde atıksu hatlarında taşkın gözlenmesi riski bulunmaktadır.

Bu çalışmada, InfoWorks CS modelleme programı yardımıyla yapılan modelleme ve simülasyon çalışması yapılmıştır. Atıksu arıtma tesisi (AAT)'lerinin 2030 yılı için tahmini hizmet nüfusu göz önüne alınarak atıksu toplayıcı hatlarının yeterliliği kontrol edilmiştir. Çalışma konusu bölgede gözlenen taşkınların nedeni araştırılmış ve bu taşkınların önlenmesi için alternatifli çözümler tartışılmıştır.

### **5.2. InfoWorks CS Modelinin Özellikleri**

InfoWorks CS İngiltere'de Hydraulics Research Institute tarafından geliştirilmiştir. Program, toplayıcı sistem ağı bilgilerinin ve çeşitli verilerin saklandığı veritabanlarının oluşturulması, bu ağa ait hidrolik bilgilerin import/export edilebilmesi veya düzeltilebilmesi için gereken altyapıya sahiptir.

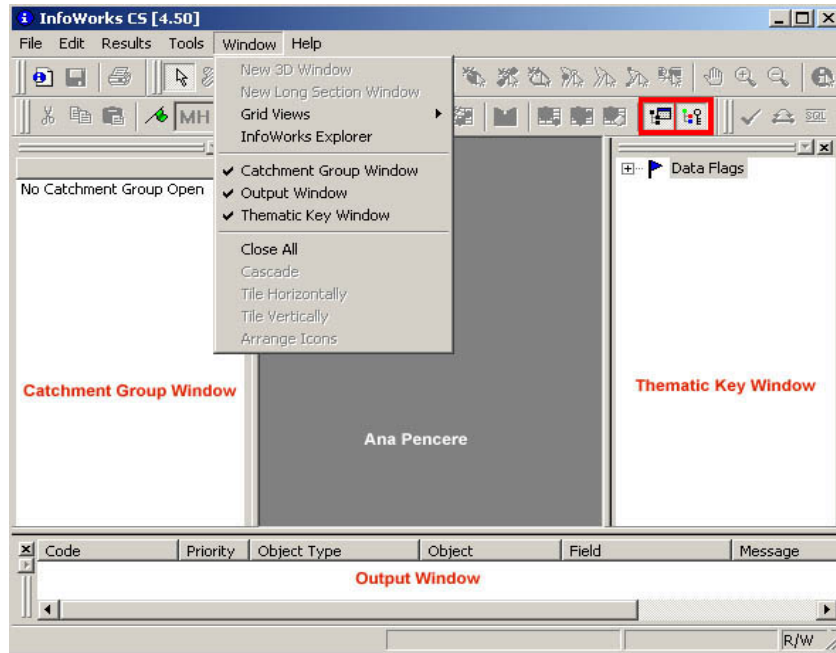
Model oluşturulduktan sonra InfoWorks CS verilen şartlar altında hatların davranışını simüle edebilir. Bu simülasyona ait sonuçları çeşitli raporlama araçları yardımıyla analiz edebilir.

Oluşturulmuş bir bilgisayar ağında çalışma ve veri alışverişi imkanı sağlar. Farklı terminallerde kurulu InfoWorks CS programlarının tek bir veritabanına ulaşım

yetkileri dahilinde düzeltme, ekleme/çıkarma yapmalarına veya tek terminal üzerinde farklı kullanıcıların yine yetkileri dahilinde değişiklikler yapmasına imkan verir.

Başka sistemlerden model verilerinin belli formatta olmaları kaydıyla kendi veri tabanlarına aktarılmasına (import) imkan verir. Oluşturulan toplayıcı sistem ağına (atıksu veya yağmursuyu) network denilir. Networke altlık olarak detaylı haritalar, çizimler veya uydu fotoğrafları kullanılabilir. (CAD; dxf, dwg, dgn, ESRI shp, IMAGE tif uzantılı dosyalar). Yağış verileri gibi sahada ölçülerek veya istatistiksel yollarla elde edilmiş verilerin simülasyon girdileri olarak kullanılmasına imkan sağlar. Simülasyonlarda bu veriler Olay (Event) olarak adlandırılmıştır. Bir bölgedeki atıksu karakteri, yağış miktarı, deşarj noktalarındaki su seviyeleri gibi bilgiler olay verisi olarak simülasyonlara girilebilir. Simülasyonların sonuçlarını grafiksel olarak ifade ederek analiz edilebilmelerini kolaylaştırır.

InfoWorks CS ayrık yağmursuyu veya atıksu toplama hatlarını veya bileşik sistem hatları modelleyebilir. Drenaj bölgesini tanımlamaya yarayacak her türlü bilgiyi veritabanında saklayabilir. Her toplayıcı ağına ait havzalar vardır. Bu havzalardan kaynaklanacak atıksu veya yağmursuyu havza içindeki bacalara drene olur. Bacalar ise birbirlerine boru, pompa, savak, menfez gibi hidrolik yapılarla bağlantılıdır.



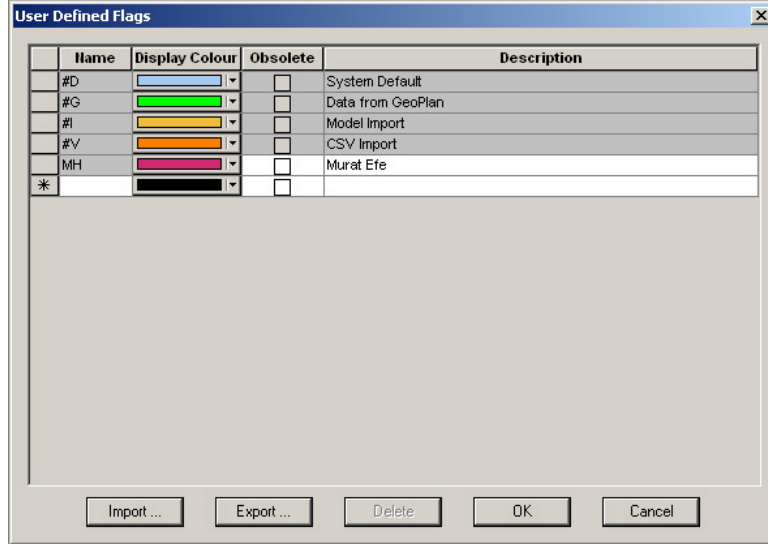
Şekil 5.1. InfoWorks CS ana penceresi GeoPlan görünümü.

InfoWorks CS çalıştırıldığında Şekil 5.1’de gösterilen pencere görüntülenir. Solda, “Catchment Group Window” içinde havzalar, toplayıcı ağları ve bu ağlara ait “Group” lar bulunur. Bu gruplar simülasyon grupları (Run Group), seçim grupları (Selection List), altlık grupları (Layer List), atıksu verilerinin girilebildiği (Wastewater Group) atıksu grupları, endüstriyel atıksu karakterlerinin tanımlanabildiği (Trade Waste Group) ticari atıksu grupları, yağış verilerinin tanımlanabildiği (Rainfall Group) yağış grupları gibi simülasyonlarda kullanılacak her türlü bilgi ile network ve simülasyon görüntülerinin anlaşılması ve görüntülenmesini kolaylaştırıcı bazı özellikler bu pencere içinde görüntülenir. “Thematic Key Window” lejanttır. Boru çaplarına göre renkler, simülasyon sonuçları görüntüleniyorsa boru doluluklarına göre renkler, pompa, baca, savak gibi hidrolik yapılara ait gösterimler bu pencerede görülür. “Output Window” içinde ise bir toplama ağına ait “Enginnering Validation”/Doğrulama sonuçları görüntülenir. Eğer hatlarda simülasyonun çalıştırılmasına engel olacak hatalar veya eksikler varsa bu pencerede görüntülenir. Bu pencereler istenirse “Window” bölümünden veya Şekil 5.1’de çerçeveye alınmış ikonlardan kapatılabilir. Tüm bilgi pencereleri kapatıldığında sadece modeli oluşturan elemanlar ve bu elemanlar üzerinde değişiklik yapmaya yarayan araçların bulunduğu ana pencere kalır.

InfoWorks CS baca, boru, havza gibi bilgileri tablolar halinde toplu olarak gösterme özelliğine sahiptir. Şekil 5.2’te örnek bir havza bilgilerine ait tablo görünümü verilmiştir.

Node ID	Node Type	System Type	Asset ID	x (m)	y (m)	Ground Level (m AD)	Flood Level (m AD)	Chamber Floor Level (m AD)
2K01931	outfall	storm		421875.4	4451544.5	149.560	149.560	145.000
2K06235	manhole	storm		421795.9	4451377.0	149.330	149.330	147.480
2K06237	manhole	storm		421826.6	4451437.0	149.780	149.780	145.810
2K06239	manhole	storm		421850.0	4451487.6	151.160	151.160	145.080
KB1101Y	manhole	storm		420990.5	4451830.1	148.770	148.770	147.025
KB1102Y	manhole	storm		420995.8	4451848.4	147.950	147.950	146.205
KB1103Y	manhole	storm		421008.1	4451880.0	146.890	146.890	145.040
KB1105Y	manhole	storm		421020.1	4451911.5	145.940	145.940	144.090
KB1107Y	manhole	storm		421034.6	4451951.5	144.620	144.620	142.770
KB1109Y	manhole	storm		421052.7	4452003.9	142.760	142.760	140.800
KB1111Y	manhole	storm		421066.8	4452039.7	141.750	141.750	139.790
KB1113Y	manhole	storm		421079.5	4452075.9	140.720	140.720	138.760
KB1115Y	manhole	storm		421093.5	4452114.4	139.460	139.460	137.500
KB1117Y	manhole	storm		421108.3	4452153.2	138.120	138.120	136.160
KB1119Y	manhole	storm		421125.7	4452181.6	137.030	137.030	135.070
KB1121Y	manhole	storm		421143.9	4452208.8	135.930	135.930	133.950
KB1123Y	manhole	storm		421176.8	4452255.5	134.040	134.040	132.080

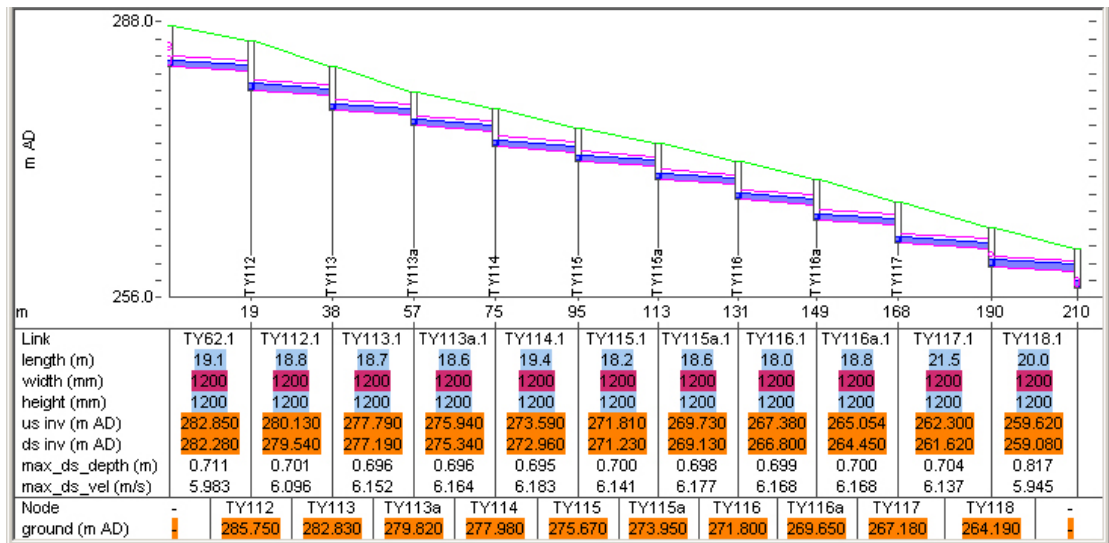
Şekil 5.2. InfoWorks CS tablo görünümü. (Wallingford Software, 2006)



Şekil 5.3. InfoWorks CS kullanıcı tanımlama işaretleri

Şekil 5.2’de gösterilen tablo üzerinden veya GeoPlan üzerinden model bilgilerinde değişiklikler yapılabilir. Şekil 5.3.’de gösterilen renkler “Data Flag” olarak adlandırılır. Modelde yapılan değişiklikleri hangi kullanıcının yaptığını takip etmek amacıyla kullanıcı tanımlama işaretleri kullanılır.

GeoPlan ve tablo görünümüne ek olarak toplayıcı ağının herhangi bir noktasından itibaren istenilen bir noktaya kadar boykesitini görüntülemek ve bu görüntü üzerinde istenilen değişiklikleri yapmak da mümkündür. Aynı anda birden fazla noktaya ait boykesit görüntüsü alınabilir. Örnek bir boykesit görünümü Şekil 5.4.’te verilmiştir.



Şekil 5.4. InfoWorks CS boykesit görünümü. (Wallingford Software, 2006)



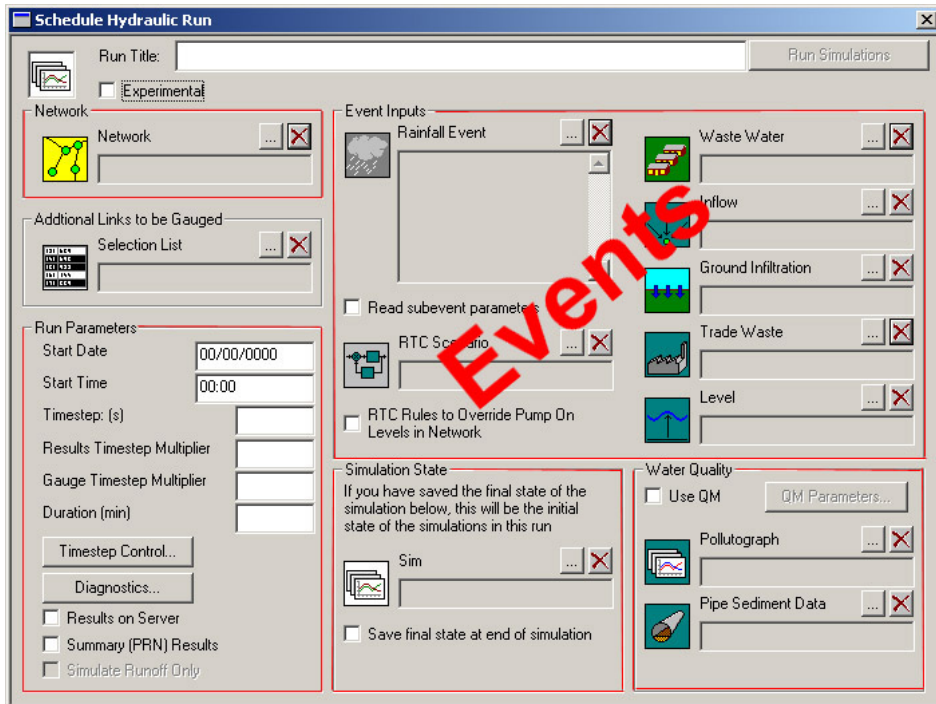
Simülasyonlar yardımıyla oluşturulmuş olan toplayıcı ağının verilen şartlar altında davranışı gözlenerek yetersiz bölgeler tespit edilmeye çalışılır. Simülasyonlarda kullanılan bazı özellikler aşağıda verilmiştir.

### Yağış Olayları

InfoWorks simülasyonlarında kullanılabilecek iki çeşit yağış bilgisi vardır. Bunlar;

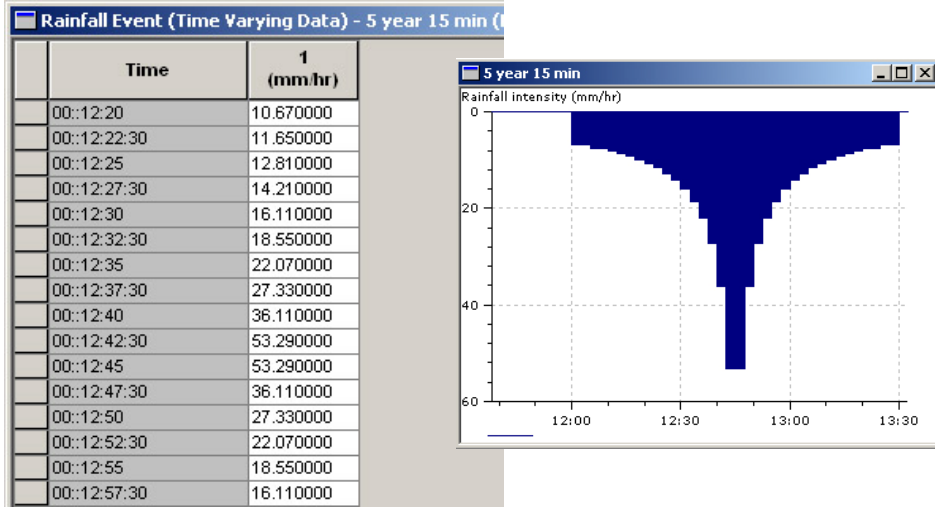
- Sentetik, yani halihazırda kullanılanlar gibi, uzun yıllar süren ölçümlerden istatistiksel olarak elde edilmiş hiyetograflardır.
- İkinci tip eğriler ise gerçek zamanlı olarak ölçülmüş yağışlardan elde edilmiş eğrilerdir. Bu eğriler oluşturulmuş olan bir modelin kalibrasyonu amacıyla kullanılabilir. Bu tip yağış ölçümleri çok geniş bir havzanın alt havzalarında gözlenebilecek farklı şiddetteki yağışa karşı gelen akış bağıntılarını gözlemek ve akış katsayılarını düzeltmek için uygundur.

Şekil 5.5’da InfoWorks simülasyonlarının gerekli ayarlamalarının ve girdilerinin verildiği ana pencere gösterilmiştir.



Şekil 5.5. InfoWorks CS simülasyon girdileri ana penceresi

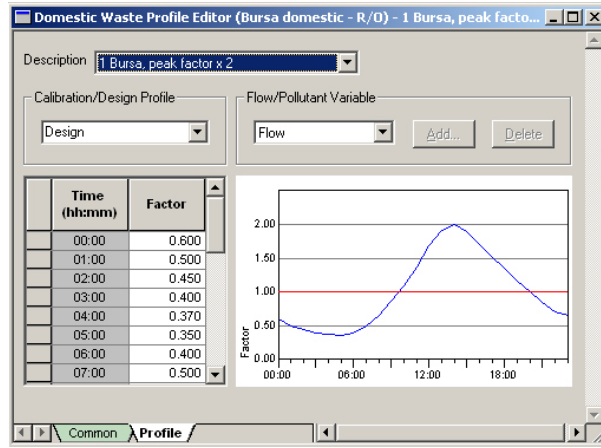
InfoWorks simülasyonlarında kullanılmak üzere 32767 değişik yağış profili oluşturulabilir. Şekil 5.6'de bu örnek olarak Bursa İli 5 yıl 15 dakikalık yağışa ait sentetik hiyetograf verilmiştir.



Şekil 5.6. Bursa İli 5 yıl 15 dakikalık yağışa ait sentetik hiyetograf (InfoWorks CS süre-şiddet hiyetografi).

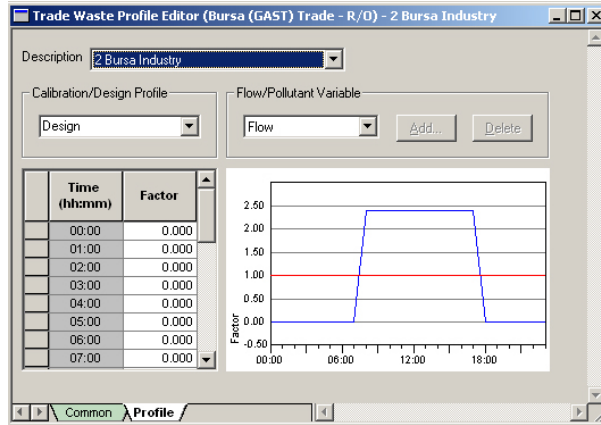
#### Evsel, Endüstriyel ve Ticari Atıksu Olayları

Simülasyonlarda atıksu havzaları için hesaplanan debiler gün içinde farklılık gösterir. Bu farklılıklar su tüketim miktarının değişmesinden kaynaklanmaktadır. Bölüm 1'de detayları anlatıldığı şekilde günlük su kullanımının (150 lt/gün) büyük bölümü sabah ve akşam saatlerinde, günün birkaç saati içinde gerçekleşmektedir. Bu durum dikkate alınarak evsel atıksu debilerinin zamana karşı değişimini gözlemek amacıyla pik faktörler kullanılmış ve olay grupları oluşturulmuştur. Şekil 5.7'de Bursa İli atıksu üretimi gün içi salınımı verilmiştir.



Şekil 5.7. InfoWorks CS atıksu kullanımı gün içi salınımı

Aynı şekilde endüstriyel alanlardan kaynaklanan atıksu debileri hesaplanırken kullanılan pik faktör Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8. InfoWorks CS endüstriyel atıksu üretimi gün içi salınımı.

Simülasyon girdilerinin sadece üç tanesinden burada kısaca bahsedilmiştir. Bunlara ek olarak akış ölçümleri, deşarj noktalarında su seviyesi ölçümleri, kirlilik ölçümleri, 3 boyutlu yüzey modelleri (Grid ve TIN), yeraltı suyuna sızma, borularda sediment birikmesi gibi çok çeşitli veriler InfoWorks CS programına aktarılarak simülasyonda girdi olarak kullanılabilir. RTC Modülü (Real Time Control – Gerçek Zamanlı Kontrol) yardımıyla modeli oluşturan kontrol edilebilir yapıların kısa zaman aralıklarında simülasyonları yapılarak optimum işletme şartları belirlenebilir. Oluşturulan bazı temalar ile simülasyon sonuçlarının daha anlaşılır olarak raporlanması veya görüntülenmesi sağlanabilir. Oluşturulacak raporlama taslakları ile yapılan simülasyonlarının istenilen verileri otomatik olarak raporlara aktarılabilir.

### 5.2.1. InfoWorks CS Hesap Yöntemleri

#### *Hidrolik Teorisi*

InfoWorks CS Bölüm 4’de belirtilen model yaklaşımları ve çözüm yöntemlerinden St. Venant denklemlerini, hız bağıntısı olarak hem Colebrooke-White hem de Manning bağıntıları esas alınmıştır. InfoWorks CS Preissmann şeması ile St. Venant denklemlerinin çözümüne yaklaşmaktadır.

#### *Yağış Teorisi*

Yağış olayları birçok simülasyonun temel bölümünü biçimlendirir. Kayıtlı, sentetik, zaman serili ve sürekli olmak üzere 4 çeşit yağış verisi mevcuttur. InfoWorks şiddet-süre-tekerrür grafiklerinin aksine, şiddet-zaman grafikleri formatındaki yağış verilerini kullanır. Bu şiddet-zaman grafikleri, ölçülmüş yağış profilleri ya da kabul edilen algoritmalara uygun olarak standart şiddet-zaman eğrilerinden türetilen sentetik eğriler olabilir. Stokastik yağış modeli kullanılarak yağış kayıtları uzatılabilir. Stokastik yağış modeli, sentetik olaylar için lokal istatistikler veya yıllık zaman serileri ve uzun zaman serileri elde etmek için kullanılır. Stokastik model, birkaç yıl kayıtlı aylık yağış toplamlarıyla modellenmiş ise hata payı %10'dan fazla olmamaktadır.

Gözlemlenmiş yağış kullanılacaksa, farklı yerlerden bulunan birçok farklı yağmur ölçümleri için data gereklidir. InfoWorks CS modeli, Thiessen Poligon Metodunu kullanarak drenaj havzasına ait ortalama yağış şiddetini bulabilmektedir.

#### *Başlangıç Kayıplarının Bulunması*

Başlangıç kayıpları, yüzey eğimine ve yüzey tipine bağlıdır. Başlangıç kayıplarında yüzeydeki çukurlukların etkisi büyüktür. Bunun yanında yüzey ıslaklığı, filtrasyon ve evapotranspirasyonda önemlidir. Yüzeydeki çukurluklardan oluşan başlangıç kayıpları;

$$D=K / S^{0.5} \quad (5.1)$$

formülü ile bulunur. Burada;

D : Başlangıç kayıplarının ortalama derinliği (m)

S : Yüzey eğimi (m/m)

K : Katsayı (m)

dır. K'nın değeri kaldırım ve çatı yüzeyleri için 0.000071 m olarak verilmiştir.

### 5.2.2. InfoWorks CS Akış Hacim Modelleri

Akış hacim modelleri kayıplardan sonra drenaj havzasına düşen yağışın ne kadarının yüzeysel akışa geçtiğini tespit etmektedir. Toplam havza modeli ve özel modeller olmak üzere iki çeşit akış hacim modeli vardır. Bir alt havza içinde toplam havza modellerini tüm yüzey çeşitlerine uygulamak gerekirken özel model bir yüzey çeşidine uygulanabilir. InfoWorks CS programında kullanılan akış hacim modelleri ve kullanılma alanları ile ilgili bilgiler aşağıda Tablo 5.1'de verilmiştir. Bu akış hacim modellerini kullanabilmek için arazi kullanımı parametreleri ve havza parametreleri ile ilişkilendirilmelidir.

Tablo 5.1. InfoWorks CS akış hacim modelleri

Model	Açıklama
Sabit (Fixed) Akış Yüzdesi	İstenen akış yüzdesi girilebilir. Akış yüzdesinin iyi tahmin edildiği havzalar (örn. kent içi) için uygundur.
Wallingford Prosedürü	Model İngiltere için ayarlanmıştır. İngiltere'ye yakın veya kent havzaları için uygundur.
NewUK	Bu model geçirimli bir yüzey için simülasyon süresi boyunca değişen havza koşullarına uygunluk açısından önemlidir. İngiltere'deki geçirimli havzalar için uygundur.
USA SCS	Kırsal havza modelidir. Kırsal havzalar ve geçirimli yüzeyler için uygundur.
Gren-Ampt	Geçirimli ve yarı geçirimli yüzeyler için sızma modelidir. Bu model Amerika'da kullanılan (SWMM) taşkın öteleme modeli ile kullanılır.
Horton	Geçirimli ve yarı geçirimli yüzeyler için sızma modelidir. Genellikle Desbordes ve SWMM modelleriyle kullanılır.
Sabit İnfiltrasyon	Sürekli sızma modeli zeminden sürekli sızmaya izin verir.

### 5.2.3. InfoWorks CS Akış Öteleme Modelleri

Akış öteleme modelleri, yağışların havzalardan drenaj sistemine ne kadar sürede giriş yapacağını tespit etmek amacıyla kullanılan modellerdir. Kullanılan öteleme modelleri ve öteleme yöntemleri aşağıda verilmiştir. Bu akış hacim modellerini kullanabilmek için arazi kullanımı parametreleri ve havza parametreleri ile ilişkilendirilmelidir.

Tablo 5.2. InfoWorks CS akış öteleme modelleri

Model	Yöntem
Wallingford	Akış öteleme katsayısı yağış şiddetine, alana ve yüzey eğimine bağlı olan seriler (diziler) içinde iki eşit lineer rezervuar kullanılarak ötelenir. 1 hektardan daha az alt havzalar için uygundur.
Büyük Havza (Large Catchment)	Akış Wallingford modelinde olduğu gibi öteleme katsayısı yağış şiddetine, alana ve yüzey eğimine bağlı olan seriler içinde iki eşit lineer rezervuar kullanılarak ötelenir. Yazılım aynı zamanda öteleme faktör çarpanı ve gecikme süresi uygulamaktadır. Gecikme süresi, öteleme çarpanının, alt havza alanının, zemin eğiminin ve havza uzunluğunun fonksiyonudur. 100 hektardan büyük havzalar için geliştirilmiştir.
SPRINT	Debi, öteleme katsayısı alt havza alanına, zemin eğimine ve geçirimsizlik yüzdesine bağlı olan tek lineer rezervuar kullanılarak ötelenir. Avrupa SPRINT projesi için geliştirilmiştir. Biçimsiz havzalar için uygundur.
Desbordes	Debi, öteleme katsayısı alt havza alanına, zemin eğimine, geçirimsizlik yüzdesine, havza uzunluğuna, yağmur süresine ve yüksekliğine bağlı olan tek lineer rezervuar kullanılarak ötelenir. Fransa'da kullanılmaktadır.
SWMM	Debi, öteleme katsayısı, yüzey pürüzlülüğüne, yüzey alanına, eğime ve havza genişliğine bağlı olan tek lineer olmayan rezervuar kullanılarak ötelenir. Amerika için geliştirilmiştir. Non-lineer akış modelidir.

### 5.2.3.1.Çift Lineer Rezervuar Modeli (Wallingford Modeli)

Havza yüzeyleri üzerindeki yüzeysel akış, kinematik dalga denklemi ile tanıtılmaktadır. Bununla birlikte süreklilik denklemi ile kombinasyon içinde olan bu denklemin doğrudan çözümü birçok sayıdaki yardımcı alt havzaların dağıtılmış havza modelleri ile uygulamaları için gereğinden fazla zaman harcanmaktadır. Daha basit rezervuara dayalı modeller hesaplamada daha az zahmetli, fiziksel olarak daha kompleks yaklaşımlara dayalı olduğu kadar daha doğru fiziksel işlemleri temsil etmektedir.

Lineer bir rezervuar, depolamanın çıkış akımına doğrudan bağlantılı olduğu yapıdır. İki rezervuar her bir rezervuar içinde bir eşit depo çıkış bağlantısı ile her bir yüzey için seriler içinde uygulanır. Bu yolla azalan pik akış, pik yağıştan sonra bir gecikme ile oluşmaktadır. Akış gecikme katsayısı yağış şiddetine, havza alanına ve eğime bağlıdır.

Depolama hacmi (S), akış oranı (q), zaman boyutuna sahip depolama sabiti (k) olmak üzere;

$$S = kq \quad (5.2)$$

dur. Bu depolama sabiti şu şekilde bulunur;

$$k = C i^{*-0.39} \quad (5.3)$$

$$i^* = 0.5(1+i_{10}) \quad (5.4)$$

$$C = 0.117 S^{-0.13} A^{0.24} \quad (5.5)$$

Burada;

$I_{10}$  : 10 dakikalık yağış miktarı

S : Eğim (m/m)

A : Alan (m<sup>2</sup>)

dır. Program içinde sınır değerler;

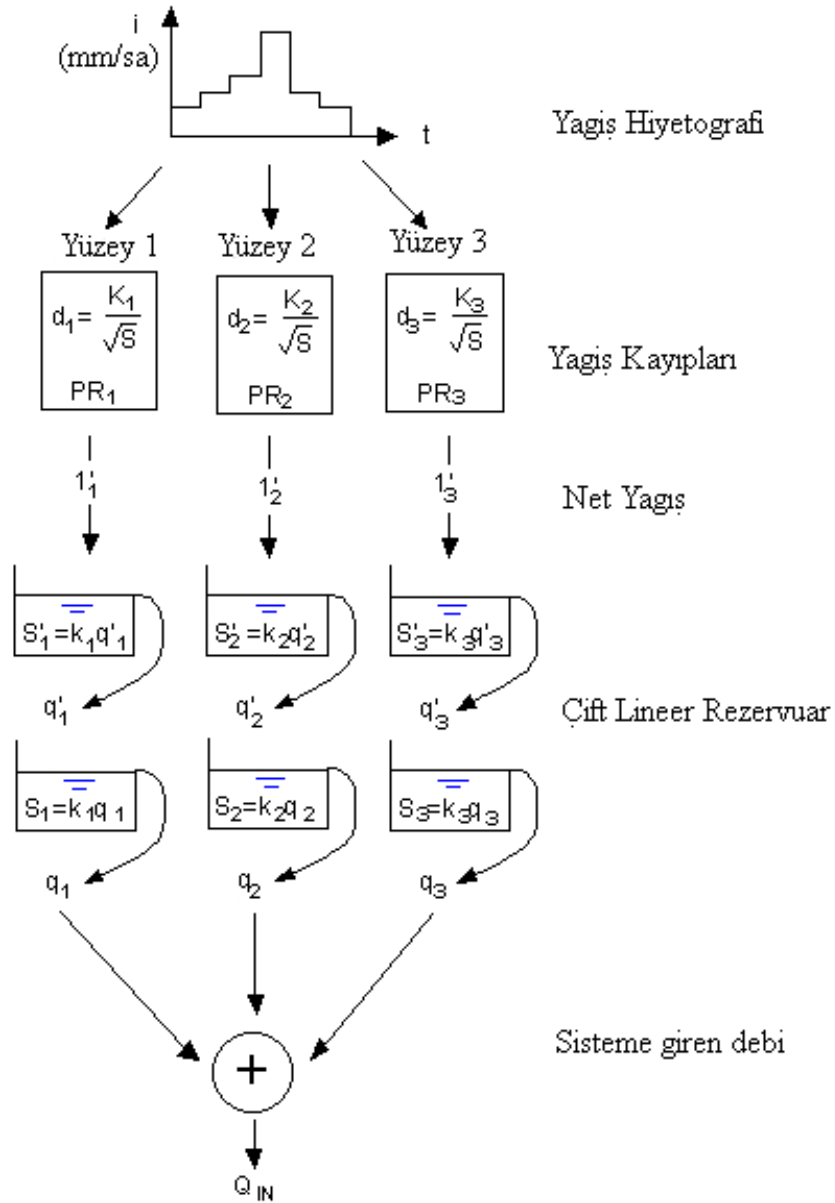
$$S < 0.002 \quad S = 0.002$$

$A < 1000$        $A = 1000$

$A > 10000$        $A = 10000$

olarak verilmiştir.

Çift Lineer Rezervuar (Wallingford) Modeline kavramsal tasarımı Şekil 5.9'da verilmiştir.

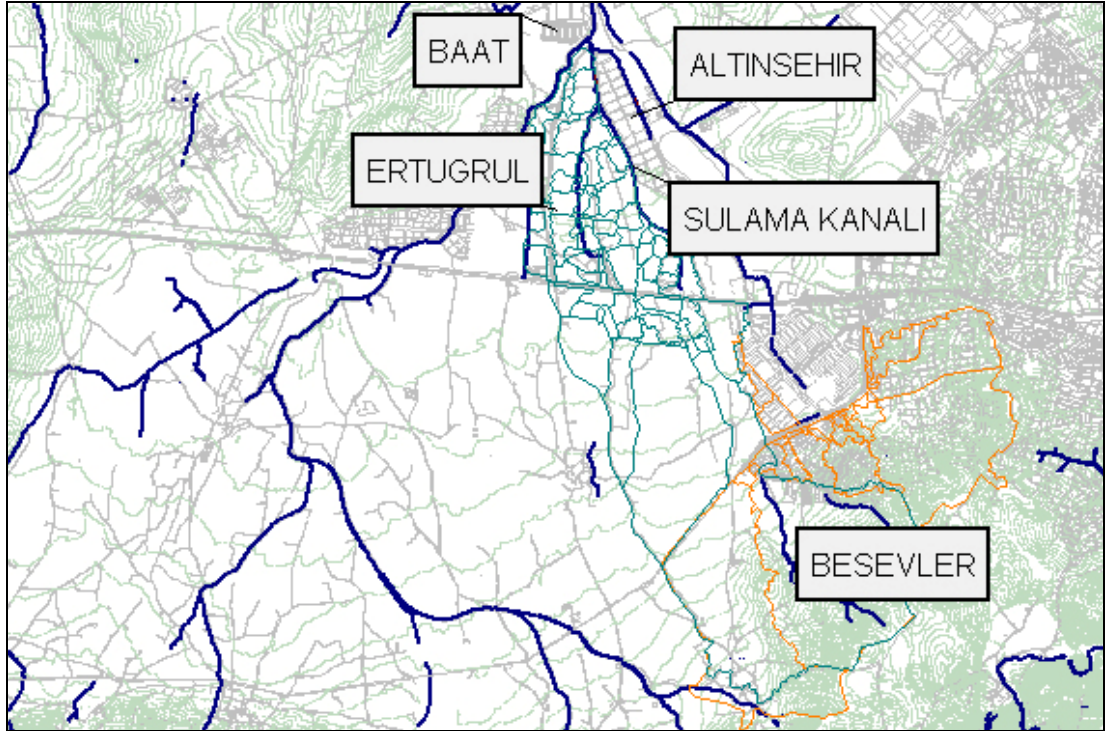


Şekil 5.9. Çift Lineer Rezervuar öteleme modeli (Wallingford modeli).



### 5.3. Atıksu ve Yağmursuyu Toplayıcı Hatlarının Modelleme ve Simülasyon Çalışmaları

Bursa ilinde evsel atıksu arıtma tesislerinin proje debileri tesisleri gereğinden daha büyük kapasiteli inşa etmemek için halen birleşik sistem olarak çalışan atıksu ve yağmursuyu toplayıcı hatlarının ayrılacağı esasına göre tespit edilmiştir. Ancak atıksu ve yağmursuyu sistemlerinin tamamen birbirinden bağımsız hale gelmeleri zaman alacaktır. Bu süre zarfında yağışlı dönemlerde atıksu hatlarında taşkın gözlenmesi muhtemeldir. Ayrık sistemlerde yağışlı dönemlerde atıksu hatlarında debide büyük artışlar gözlenmesi menba tarafındaki atıksu hatlarına yağmursuyu bağlantıları olduğuna işarettir. Bu bağlantılar nedeniyle atıksu hatlarına taşınan yağmursuyu miktarı yağış şiddetine ve akışa geçen yağmursuyu miktarına bağlı olarak değişecektir. Modelleme çalışmasının yapıldığı Bursa ili Altınşehir Bölgesi'nde Batı yakası atıksu arıtma tesisi (BAAT) bulunmaktadır.



Şekil 5.10. Modelleme Çalışmasının yapıldığı Bursa ili Altınşehir Bölgesi.

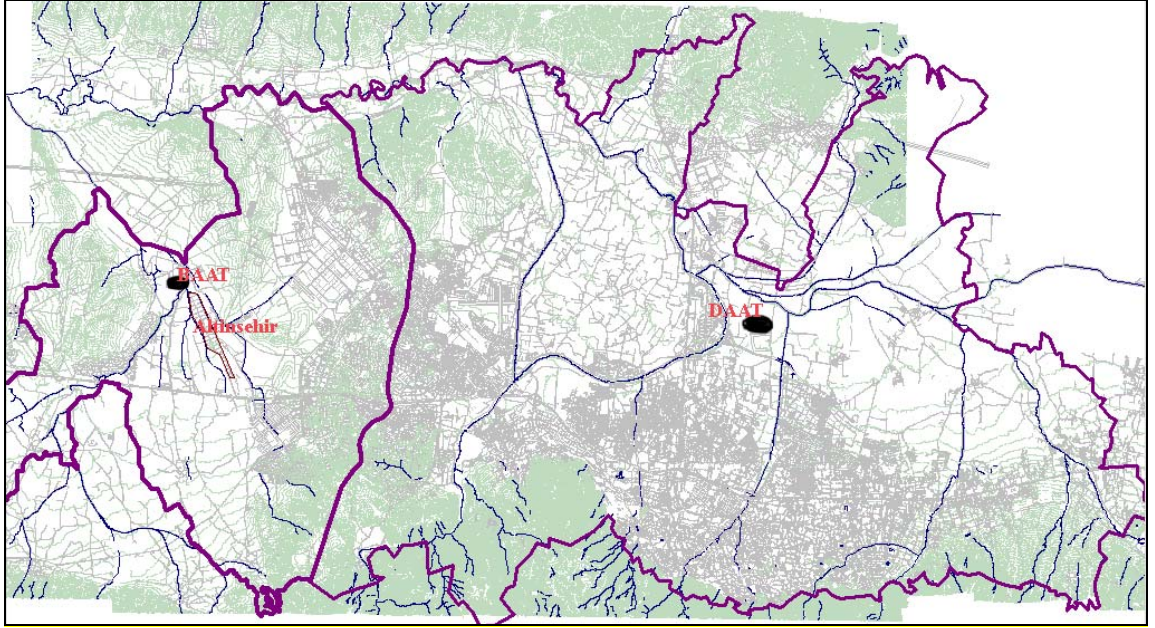
Çalışmada AAT havzasında kalan bir bölgede şiddetli yağışların ardından atıksu hatlarında taşkınlar gözlemlendiği tespit edilmiştir. Bu bölge nispeten düz bir topografyaya sahip bir alanda ve AAT'ne çok yakın bir konumdadır.

Tesise yakın olması nedeniyle bölgeden geçen büyük çaplı atıksu toplayıcı hatları vardır ve yağmursuyu toplayıcı sistemi bulunmamaktadır. Bölgenin doğu ve batı sınırını iki adet sulama kanalı oluşturmaktadır. Sulama kanalları doğu ve batısındaki bölgelerin yağmursuyu toplayıcılarının deşarj noktasıdır. Bu bölgelerden geçerek sulama kanalına toplam 7 noktadan deşarj olan hatlar ise menba tarafındaki dağ havzalarından beslenmektedir. Sulama kanallarının havzası Şekil 5.10'da gösterilmektedir.

Yapılan modelleme ve simülasyon çalışmasında AAT'nin 2030 yılı tahmini hizmet nüfusu dikkate alınarak atıksu hatlarının yeterliliği kontrol edilmiştir. Gözlenen taşkının nedeni tespit edilmeye çalışılmış ve önlenmesi için yapılabilecek çalışmalar araştırılmıştır. Çalışma InfoWorks CS modelleme programı yardımıyla yapılmıştır.

Çalışma bölgesindeki binaların çoğu bodrum katlı olarak inşa edilmiştir. Öncelikli olarak insan sağlığına zararlı etkiye sahip olan ve maddi hasara neden olan taşkın sokaklardaki değil evlerin bodrum katlarında gözlenen taşkınlardır. Bölgede bir yağmursuyu toplama sistemi yoktur ancak olsa bile bu taşkının çözümünde bir etken değildir. Yağmursuyu sistemi ancak sokaklara atıksu toplayıcı sistemi baca kapaklarından taşan atıksuların yoldaki ızgaralardan yağmursuyu sistemine girerek derelere deşarjı için yararlı olabilecektir. Bu nedenle taşkının önlenmesinde etkili değildir.

Şekil 5.11'de AAT ve çalışma bölgesinin konumları gösterilmiştir. Burada, BAAT: Batı yakası atıksu arıtma tesisi, DAAT: Doğu yakası atıksu arıtma tesisidir.



Şekil 5.11. Bursa ili Atıksu Arıtma Tesisleri havzaları ve çalışma bölgesi

Yapılan çalışmada;

- Mevcut atıksu hatlarının 2030 yılı hizmet nüfusu için yeterliliği araştırılmıştır. Yetersiz olmaları durumunda günümüzde ve gelecekte taşkına sebep olma ihtimalleri incelenmiştir.
- Atıksu hatlarına gelen yağmursuyu debisinin miktarı belirlenmeye çalışılmıştır.
- Atıksu hattı (birleşik sistem çalışan) üzerinde bulunan dolu savakların faydaları/zararları ile optimum işletme şartları incelenmiştir.

Yapılan çalışmalar ile atıksu, yağmursuyu ve birleşik sistem toplayıcı hatlarının her birine ait model ve simülasyon örnekleri ile simülasyonlar sonucu karşılaşılan sorunlara yönelik çözüm önerileri sunulmuştur.

### 5.3.1. Mevcut Hatların Tahkiki

Çalışma bölgesi AAT'ne yakın bir bölgede olduğundan büyük çaplı atıksu hatlarının geçtiği güzergah üzerindedir. Bu mevcut hatlar 10 yılı aşkın bir süredir hizmet vermekte ve 30 yıl daha hizmet vermesi düşünülmektedir. Arıtma tesisi 2030 yılı nüfus projeksiyonları dikkate alınarak projelendirilmiştir. Toplam arıtma kapasitesi 306000 m<sup>3</sup>/gün, pompa kapasitesi 3.8 m<sup>3</sup>/sn'dir. Bu çalışmada sadece mevcut

hatların yeterliliği araştırıldığından terfi merkezi dikkate alınmamıştır. Yani terfi kapasitesinin üzerinde bir debi bile gelse bu debinin pompalanabileceği düşünülmüş, pompa yetersizliği nedeniyle borularda oluşabilecek geri tepmelerin önüne geçilmiştir.

InfoWorks CS ile mevcut hatların tahkiki yapılırken boru iç çapı, boru pürüzlülüğü ve sediment birikmesi gibi durumlar dikkate alınabilmektedir. Sediment biriken noktalarda boru kapasitesindeki azalma simülasyonlarda program tarafından dikkate alınmaktadır. Ancak mevcut hatlarla ilgili sediment ve boru iç çap azalması gibi ölçümler olmadığından bu durumlar dikkate alınamamıştır. Boru pürüzlülüğünün zamanla artması (boru cidarının bozulması) durumu dikkate alınmıştır. Tablo 3.2’de verilen beton borular için önerilen pürüzlülük katsayısının en kötü sınır değeri (0.018) simülasyonlarda kullanılmıştır.

#### **5.3.1.1. Atıksu ve Yağmursuyu Toplayıcıların Ayrılması Durumu**

Yapılan simülasyon sonucunda bölgenin güneyinde Ø1200 mm olarak başlayan, kuzeyinde bölgeyi terk ederken (arıtma tesisi girişinde) Ø1400 mm olan, 2030 yılında 800 ha’lık bir alan ve 155000 kişiye hizmet vermesi öngörülen ana kollektörün yeterli olduğu görülmüştür. Mevcut hattın büyük bölümünde en yüksek doluluk %65 olarak gözlenmiştir.

Bu çalışmada atıksu hatlarına yağmursuyu debisi gelmediği varsayılmıştır. Simülasyon sonucunda Altınşehir içinden geçen mevcut hatlarda gözlenen dolulukları gösteren boykesit Şekil A.1’de verilmiştir.

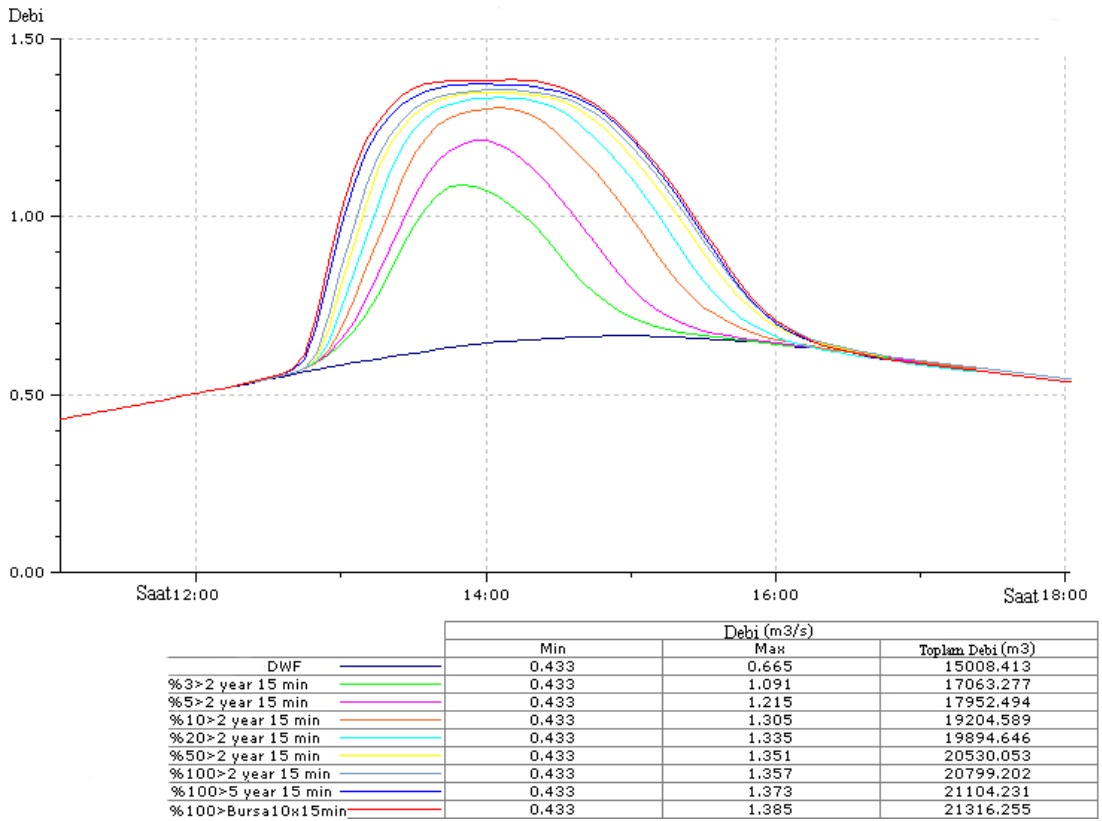
#### **5.3.1.2. Atıksu ve Yağmursuyu Toplayıcıların Ayrılamaması Durumu**

2030 yılına kadar atıksu ve yağmursuyu sistemlerinin ayrılamaması durumunda ise bazı hatların yetersiz kalması doğaldır. Altınşehir kollektörünün menba tarafında bulunan havzaların ne kadarının birleşik sistem olarak çalışabileceğinin tespitine dönük bir çalışma yapılmıştır. Bölgenin menba tarafı bölgesi yeni yerleşime açılan ve birleşik sistem olarak çalışan hatlar bulunmasına rağmen genelde atıksu ve yağmursuyu toplayıcıları ayrı olarak planlanan ve imal edilen bir bölgedir. Hatların imalatları sırasında yapılabilecek geçici bağlantılar veya vatandaşların kaçak olarak



çalışmalar bile belli bir debinin üzerindeki debiyi ana atıksu kollektörlerine taşıyamamaktadırlar. Buradan çalışma bölgesindeki ana kollektörünün 2030 yılı debileri için bile yeterli olacağı görülmüştür. Şekil 5.13’de, Şekil 5.12’de gösterilen havzanın %3, %5, %10, %20, %50 ve %100’ünün birleşik sistem olarak çalışması durumunda Altınşehir Bölgesi’nin çıkışında gözlenen maksimum anlık ( $m^3/sn$ ) ve gün içi toplam ( $m^3/gün$ ) debileri verilmiştir.

2 yılda bir görülen ve 15 dakika süren yağış şiddetinden daha yüksek yağış şiddetlerinde (5 yıl 15 dakika ve 10 yıl 15 dakika) havzanın tamamının birleşik sistem olarak çalışması durumunda bile menba tarafı havzalarından çalışma bölgesi ana kollektörüne taşkına neden olabilecek kadar debi ulaştırılamayacağı görülmüştür.



Şekil 5.13. Altınşehir kollektörü havzasının birleşik sistem olarak çalışması durumunda mevcut kollektöre gelecek debinin değişimi.

Şekil A.2’de Beşevler tarafı havzalarının tamamının birleşik sistem olarak çalışması durumunda Altınşehir Kollektörünün durumunu gösteren boykesit verilmiştir.

Planlanan ve mevcut hatların birleşik sistem olarak çalışması ve herhangi bir noktada taşkın oluşmaması için bahsedilen 475 ha’lık havzanın en fazla %5’inin birleşik

sistem olarak çalışmasına izin verilebileceği de yapılan simülasyonlar neticesinde belirlenmiştir.

Sonuç olarak çalışma bölgesinin menba tarafındaki hatların planlandıkları çaplarda imal edilmesi durumunda (çaplar arttırılacak olursa tahkiki yapılan kolektöre taşıyabilecekleri debi de artacaktır) bölgenin tamamı birleşik sistem olarak çalışsa bile mevcut kollektörde sorun yaşanmayacağı anlaşılmıştır. Kaldı ki menba tarafı havzalarında henüz imal edilmemiş ama dikkate alınan bazı hatlardan da ana kolektöre atıksu ve atıksu hattına yağmursuyu katkısı geleceği varsayımı ile simülasyon yapılmıştır. Simülasyonlar sonucunda çalışma bölgesinde gözlenen taşkınının nedeninin sadece yağmursuyu bağlantıları olamayacağı görülmüştür.

### **5.3.2. Birleşik Sistem Dolu Savaklarının Tahkiki**

Çalışma bölgesi AAT'ne yakın bir bölgede olduğu için tesise su alınmasına engel bir durumla karşılaşıldığında veya tesis kapasitesini aşan bir debi arıtma tesisi terfi merkezine geldiğinde atıksuların dereye deşarjını sağlayan savak yapıları bu bölgede bulunmaktadır. Bu yapılara birleşik sistem dolu savakları (Combined Sewer Overflow – CSO) denilmektedir. Çalışma alanında bu yapılardan sulama kanalına deşarj olan iki adet vardır. Bu dolu savakların amacı fazla atıksuyun dereye deşarj edilmesi olmasına rağmen derelerde su seviyesinin yükselmesi sonucunda derelerden yağmursuyunu atıksu hatlarına taşınması da mümkündür. Nitekim yapılan çalışma sonucunda böyle bir durum görülmüştür.

Sulama kanalının havzası yapılan çalışmalarla tespit edilmiştir. Kanalının havzasının büyük çoğunluğunu Şekil 5.12'de gösterilen havzalar oluşturmaktadır. Bu bölgelerden kanala gelecek debi tespit edilmeye çalışılmıştır.

Sulama kanalı değişken bir kesite sahiptir. Ancak çalışma kapsamında ortalama kontrol kesiti olarak 12m x 2m boyutunda bir kutu kesit kabul edilmiştir. Bu kesit kanalın ileriki yıllarda ıslah edilmesi halinde ön çalışmalar neticesinde belirlenmiş uygulamaya esas kabul edilen kesitidir. Halihazırda sulama kanalı bu kesite yakın bir kesite sahiptir. Bulunacak olan debide kanaldaki suyun ne kadar yükseleceği tespit

edilerek tahkiki yapılan dolu savaklara suyun ters akışla girip girmeyeceği anlaşılmaya çalışılmıştır.

Çalışma bölgesindeki Devlet Meteoroloji İstasyonu'ndan taşkın görülen güne ait yağış verileri alınmıştır (10 Şubat 2006 gece yarısı ile 11 Şubat 2006 sabaha karşı). Bu verilere göre gece yarısı saat 00:00 ile 02:25 arasında kaydedilen toplam yağış yüksekliği 72.3 mm'dir. Yağış şiddetinin dakika hassasiyetinde dağılımına ilişkin bir veri olmadığı için yağışın uniform ve  $\frac{72.3}{\left(2 + \frac{25}{60}\right)} = 29.9$  mm/saat olduğu varsayılmıştır.

Tablo A.3'de çalışma bölgesindeki Devlet Meteoroloji İşleri Meteoroloji istasyonunda ölçülmüş 50 yıllık günlük maksimum yağış yükseklikleri verilmiştir. Bu kayıtlar incelendiğinde 72.3 mm yağış yüksekliğini aşan sadece 4 yağış olduğu görülmektedir. Buradan 72.3 mm'lik bu yağışın  $50/(4+1)=10$  yılda bir görülen bir yağış olduğu bulunabilir.

Ölçülen bir yağış yüksekliğinin belirlenen bir süre zarfında tekrar gözlenme ihtimali aşağıdaki gibi hesaplanabilir. T yılda bir görülen x yüksekliğinde bir yağıştan büyük bir X yağışının gözlenmesi ihtimali,

$$P(X \geq x) = \frac{1}{T} \quad (5.6)$$

şeklinde hesaplanabilir. Dolayısıyla bu yükseklikte bir yağışın gözlenmeme ihtimali,

$$P(X < x) = 1 - P(X \geq x) = 1 - \frac{1}{T} \quad (5.7)$$

ve bu yağışın N yıl boyunca gözlenmemesi ihtimali ise,

$$P^N(X < x) = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N \quad (5.8)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Bursa'da 10 yılda bir gözlenen 72.3 mm'lik bu yağıştan daha büyük bir yağış gözlenmesi ihtimali denklem 6.1'e göre  $1/10 = 0.1$  (%10) olur. Bu durumda bu



yağıştan daha büyük bir yağış gözlenmeme ihtimali denklem ise 6.2'ye göre 0.9 (%90) olur. Mevcut kollektörün 30 yıllık hizmet ömrü boyunca bu yağışın tekrar gözlenmeme ihtimali ise denklem 6.3 uygulanarak %4.2 olarak bulunabilir. Buradan ise bu yağışın 30 yıllık bir süre zarfında tekrar gözlenme ihtimali veya riski ise,

$$r = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N = 1 - 0.042 = 0.958 \quad (5.9)$$

olarak bulunabilir.

10 yılda bir görülen bu yağışın mevcut hatların 30 yıllık ömürlerinin ilk 10 yılında görülmesi ihtimali/riski ise yine denklem 6.4 uygulanarak,

$$r = 1 - \left(1 - \frac{1}{10}\right)^{10} = 1 - 0.3486 = 0.651$$

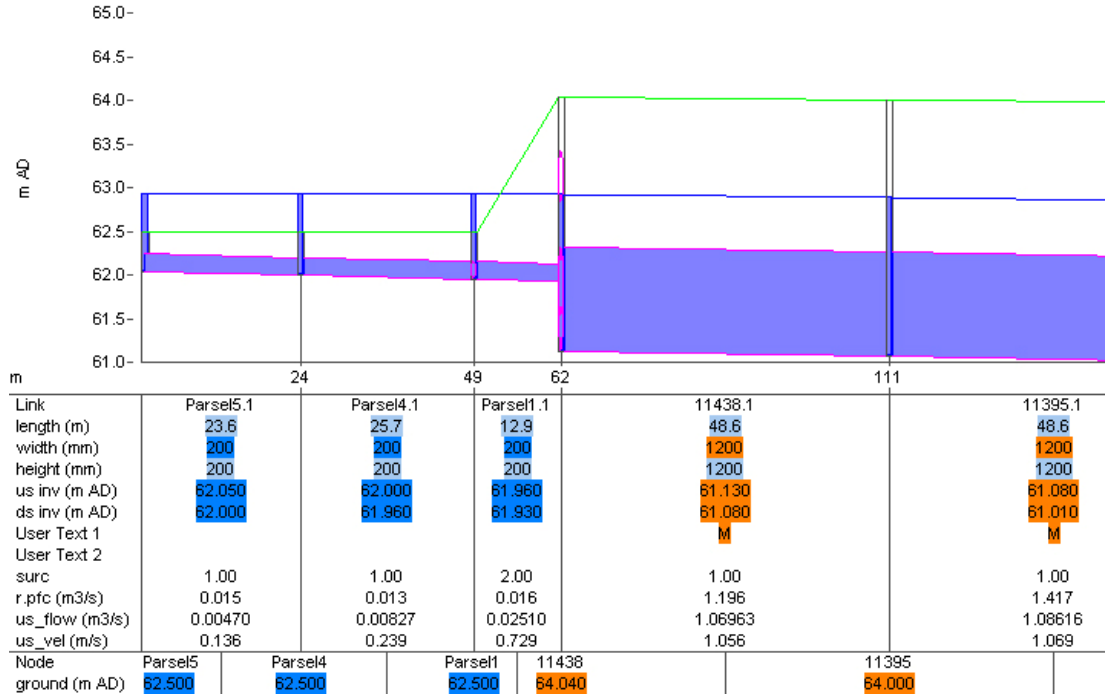
olarak bulunabilir.

Anlaşılabacağı üzere bölgedeki atıksu toplayıcıları ve savaklar olduğu şekliyle bırakıldığında ilk 10 sene zarfında bu taşkının tekrar gözlenmesi ihtimali %65.1, hizmet ömrü boyunca tekrar gözlenmesi ihtimali ise %95.8'dir (Butler, 2000). Bulunan değer çok yüksek bir riski ifade ettiğinden halihazır sistemde düzenlemeler yapılması gerektiği muhakkaktır.

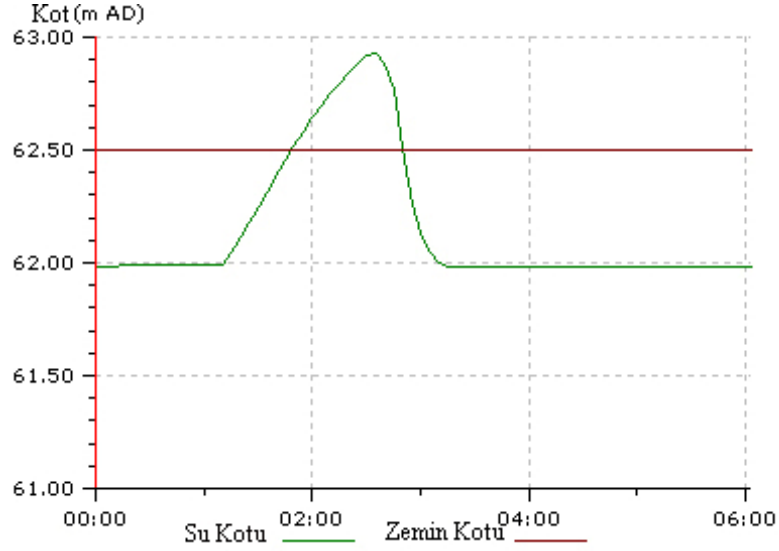
Model çalışmasında yağmursuyu debisinin hesabında sabit akış katsayıları kullanılmıştır. Bu metotta toprağın doygunluk seviyesi dikkate alınmamaktadır. Sulama kanalının havzasını çoğunlukla (yaklaşık olarak %60) kırsal araziler oluşturmaktadır. Bu tip kırsal havzalarda akışa geçen yağmursuyu miktarının hesabında sabit akış katsayıları yerine SCS metodunun kullanılması daha uygun olarak değerlendirilmektedir. Ancak SCS metodunda havzanın toprak özelliklerinden bitki örtüsüne ve hatta toprağın nem durumuna kadar ölçülmesi gereken pek çok parametre vardır. Bu ölçümler olmadığından sabit akış katsayıları kullanılarak model oluşturulmuş ve simülasyon yapılmıştır.

Yapılan simülasyon sonucunda şikayet gözlenen bölgelerdeki binaların bodrum katlarında atıksu taşkınları oluşacağı görülmüştür. Şekil 5.14'de taşkın gözlenen

bölgedeki parsel bacalarındaki maksimum su yüksekliğini gösteren boykesit verilmiştir. Parsel 1, 4 ve 5 nolu bacalarda zemin kotu olarak bina bodrum katlarının taban kotu kabul edilmiştir. Bu şekilde su seviyesinin bodrumda ne kadar yükseleceği tespit edilmeye çalışılmıştır. Şekil 5.15’de ise 5 nolu parsel bacasında gözlenen su seviyesinin zamanla değişimi verilmiştir.



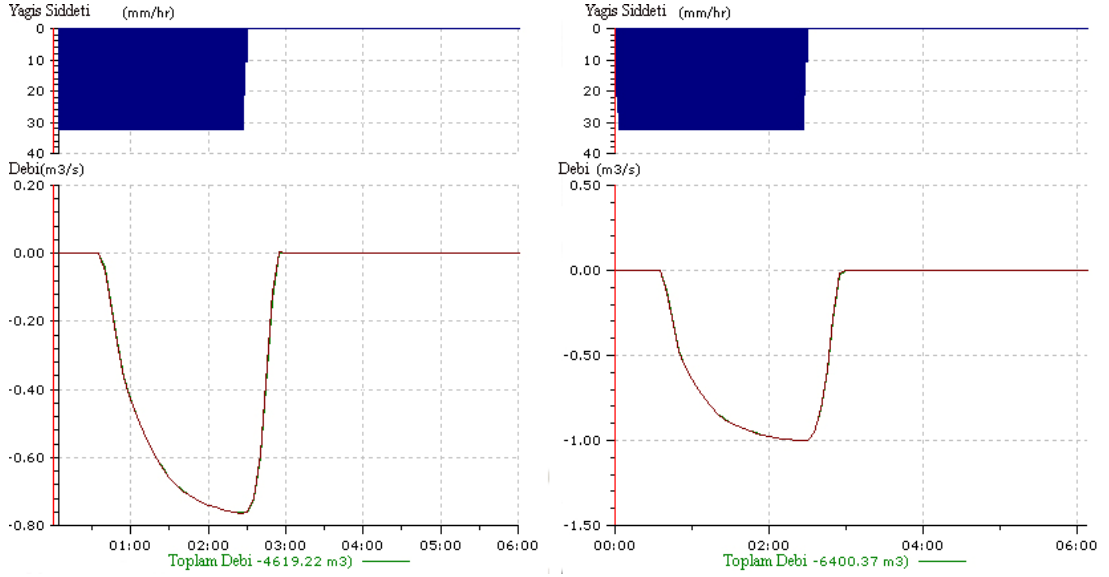
Şekil 5.14. Taşkın gözlenen bölgede parsel bacalarındaki su seviyesi.



Şekil 5.15. 5 nolu parsel bacasında su seviyesinin zamanla değişimi.

Dolu savaklar bölgesinde şiddetli yağışın gözlemlendiği gün sadece bodrum katlarında ve parsel bacalarında değil ana toplayıcı hattına ait bacalarda da taşkın olduğu şikayetler sonrası anlaşılmıştır. Ancak yapılan simülasyonda ana toplayıcı hatlarında taşkın görülmemiştir.

Sulama kanalından atıksu hatlarına yağış boyunca toplam 11019 m<sup>3</sup> (maksimum anlık 1.76 m<sup>3</sup>/sn) yağmursuyu taşınmasına rağmen arıtma tesisi pompalarının kapasitesi (maksimum anlık 3.8 m<sup>3</sup>/sn) yeterli olduğundan simülasyonda gözlenen taşkın boyutu gerçekte yaşananlardan az olmuştur. Şekil 5.16'da dolu savaklardan atıksu hattına taşınan debinin zamanla değişimi ve kümülatif miktarı gösterilmiştir. Görüleceği gibi yağışsız anlarda savaklarda herhangi bir akış (atıksu savaklanması veya ters akışla atıksu hattına yağmursuyu girişi) yoktur.



Şekil 5.16. Dolu savaklar vasıtasıyla atıksu hatlarına taşınan yağmursuyu debisinin zamanla değişimi.

Taşınan miktar pompaların saatlik kapasitesinin altındadır. Bu nedenle ana toplayıcı hatlarında taşkın oluşmamıştır. Bodrum katlarındaki taşkının nedeni sulama kanalı ve atıksu ana toplayıcı hattının birbirine dolu savaklar vasıtasıyla bağlanması neticesinde su yüzü kotlarının eşitlenmesi olarak değerlendirilmiştir. Sulama kanalındaki su yükseldikçe bodrum katlarında da aynı oranda yükselmiştir. Yağışın aynı şiddette devam etmesi halinde ise pompaların yetersiz kalması ile taşkın etkilediği bölgenin ve taşkın debisinin de artacağı muhakkaktır.

Şekil A.3’de mevcut kollektörün boykesiti verilmiştir.

#### 5.4. Taşkın Önleme Çalışmaları

Yapılan çalışmalar neticesinde bölgede gözlenen taşkın ana nedeninin birleşik sistem dolu savakları olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca yapılan simülasyonlar sonucunda mevcut kollektörün halihazırda yeterli olduğu, gelecekte de menba tarafındaki mevcut ve planlanan bütün hatlar -planlandıkları çaplarda imal edilmeleri halinde- birleşik sistem olarak çalışsalar bile yeterli olacağı görülmüştür. Bu açıdan bakıldığında dolu savaklara ihtiyaç yoktur.

Ancak arıtma tesisinde veya arıtma tesisi terfi merkezinde meydana gelebilecek bir arıza durumunda gelen atıksuyun cazibeli olarak sulama kanalına veya arıtma

tesisinin de deşarj noktası olan ve sulama kanalının da bağlandığı alıcı ortama ulaştırılması gerekmektedir. Şekil A.4'te verilen boykesitte AAT'nin terfi merkezinin çalışmaması durumunda taşkın oluşacak bacalar görülmektedir. Böyle bir durumda tüm bölgede bodrum katlarında atıksu taşkınları oluşacağı anlaşılmıştır.

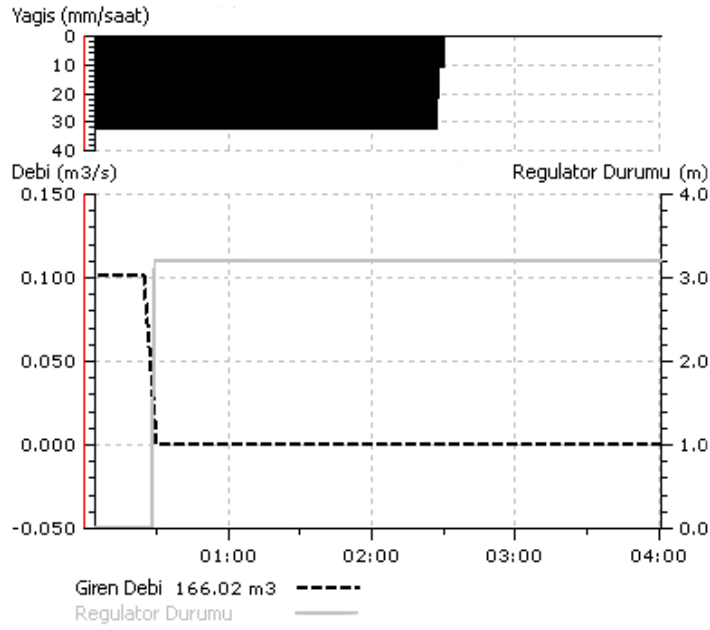
Taşkın oluşmaması için gelen debinin tamamının veya fazla kısmının deşarjını sağlayacak yapılara ihtiyaç vardır. Ancak meskun bölge drenajı planlama çalışmalarına son 20 yıl içerisinde değişik bir bakış açısı getiren bazı çalışmalar yapılmıştır. LID (Low Impact Design/Development), SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems), WSUD (Water Sensitive Urban Design), LIUDD (Low Impact Urban Design and Development) gibi terimler meskun bölge drenaj planlama çalışmalarında artık daha sık kullanılmaya ve dikkate alınmaya başlanmıştır. Bu terimler özetle, alıcı ortamlara deşarjı sağlanan atıksu ve/veya yağmursularının deşarj oldukları ortamlarda menfi yönde kalite değişimine neden olmaması için yapılan planlama çalışmalarını ifade etmektedir.

Birleşik sistemler söz konusu olduğunda amaç, dolu savaklarla alıcı ortamlara deşarj edilen atıksu miktarının azaltılmasına dönük çalışmalar olmalıdır. Miktarın azaltılması ise bekletme, depolama, sızdırma gibi teknikleri kullanan yapılar vasıtasıyla olmaktadır (Elliot, 2006). Aşağıda, yaşanan sorunun çözümüne yönelik olarak yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

#### **5.4.1. Alternatif Çözüm 1: Savak Yapıları Revizyonu**

Yapılan çalışma sonucunda dolu savakların bölgede taşkına neden olan sebepler içinde birinci öncelikli olduğu anlaşılmıştır. Tamamen kapatılarak iptal edilmesi en basit çözümdür. Ancak AAT terfi merkezinin çalışmaması durumunda dolu savaklardan bir tanesinin en kötü durum dikkate alınarak kapatılmaması gerekmektedir. İşletmede bırakılacak olan dolu savağın ise ters akışı engellemek için otomatik olarak kumanda edilebilen bir kapakla teçhiz edilmesi uygun olacaktır. Suyun tek yönlü olarak deşarj istikametinde akışına izin verecek, ters akışı ise engelleyecek bir kapağın sisteme dahil edilmesi durumunda taşkının önlenebileceği yapılan gerçek zamanlı kontroller ile anlaşılmıştır.

InfoWorks CS RTC (Real Time Control) modülünde, savak yapısında su hızının negatif değer alması (ters akış) durumunda kapatılmasını sağlayacak bir algoritma hazırlanmış ve simülasyonlarda kullanılmıştır. Şekil 5.17'de ters akış başladıktan sonra kapağın kapanmasına kadar sulama kanalından atıksu hattına kaçan debi gösterilmiştir. Kapakta kullanılacak motorun cinsine bağlı olarak bu debi de değişecektir. Simülasyonlarda kapağın  $\pm 10$  cm/sn hareket kabiliyeti olduğu varsayılmıştır.

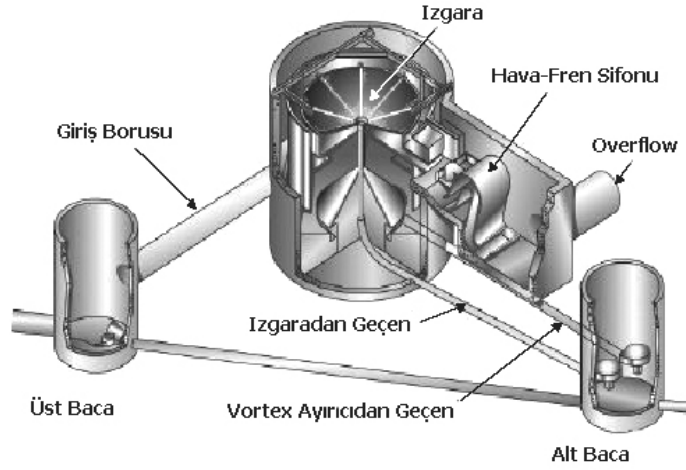


Şekil 5.17. RTC kontrolü ile kumanda edilen kapakta gözlenen debiler.

Çalışma sonucunda deredeki su seviyesine bağlı olarak kontrol edilebilen bir kapağın bölgede yaşanmış olan taşkınını önleyebileceği görülmüştür. Şekil A.5'te gerçek zamanlı kontrol çalışması sonucunda dolu savağın bir kapak ile teçhiz edilmesi durumunda mevcut hattın durumunu gösteren boykesit verilmiştir.

Önceki bölümlerde kısaca bahsedilen, alıcı ortamları mümkün olduğunca az etkilemesini sağlayacak şekilde yapılması önerilen planlamalar bu savak yapılarına da uygulanabilir. Bu şekilde alıcı ortamdaki kalite bozulmaları en aza indirilebilir. Birleşik sistem atıksularının içerisinde bulunabilecek her türlü çökebilir katı maddeler ızgaralar yardımıyla tutulabilir. Daha küçük çökebilir katılar ise kum tutucu vazifesi gören bazı ayırıcı sistemlerle taşkın atıksuyundan ayrılabilir. Şekil 5.18'de büyük katı maddeleri ve daha küçük çökebilir katıları (sediment) atıksudan

ayırmak için kullanılan vorteks ayırıcıya bir örnek verilmiştir. Dolu savaklarda yapılacak olan revizyonlarla hem atıksu taşkınlarının önüne geçilmiş olacaktır hem de derelere deşarj edilmesi muhtemel atıksular 1. kademe bir arıtmadan da geçirilmiş olacaktır.



Şekil 5.18. Izgaralı ve vorteks ayırıcılı dolu savak yapısı.

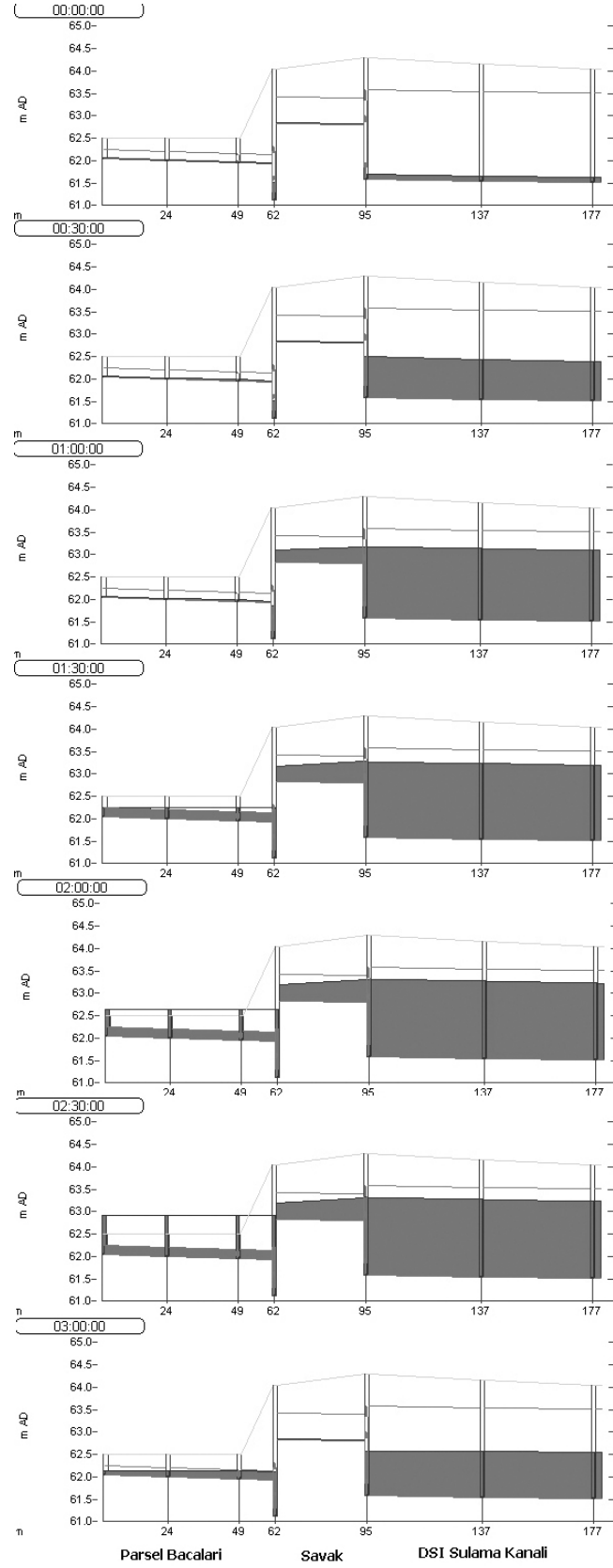
#### 5.4.2. Alternatif Çözüm 2: Terfi Merkezi Öncesi Deşarj Hattı Planlaması

Çalışma bölgesindeki AAT'ne 3 tanesi mevcut 2 tanesi planlama olmak üzere toplam 5 adet ana kollektör bağlanacaktır. Bu kollektörlerden 4 tanesi tesis giriş bacasında (A bacası) birleşerek terfi merkezi emme haznesine bağlanmaktadır. Tesis terfi merkezi öncesinde A bacasından alıcı ortama bir by-pass hattı bulunmaktadır. Ancak bu 1200 mm çaplı hat, çap ve kot itibariyle yeterli ve faydalı olamamaktadır. Aynen taşkın gözlenen bölgedeki gibi dere seviyesi yükseldiğinde ters akış gözleendiğinden bu by-pass hattı da kullanılamamaktadır. Bu hattın da tekrar planlanması gerekmektedir.

A bacasından itibaren yaklaşık 3000 m sonra Ayvalıdere dere talveg kotu yakalanacak şekilde, yerleşim bölgesinden uzakta bir noktaya gelen atıksuların gerektiğinde deşarjını sağlayan bir by-pass hattının planlanması gerekmektedir. Bu hattın işletmeye alınması durumunda savakların kapatılması durumu

değerlendirilebilir. Ancak yapılan simülasyonlarda deşarj hattı yapılsa bile bölgede savak yapılarının neden olduğu taşkınların yine de oluşacağı görülmüştür. Atıksu hatlarının kot olarak kendilerinden yüksekte olan dereler ile bağlantılı olmaları durumunda, derelerden atıksu hatlarına fazla miktarda debi girişinin olmaması halinde bile bu savak yapılarının bulunduğu bölgelerde risk oluşturdukları yapılan simülasyonlar sonucunda anlaşılmıştır. Şekil 5.19’da savak yapıları bölgesinde parsel bacalarında yağış boyunca gözlenen su seviyesinin zamana bağlı olarak değişimi verilmiştir.



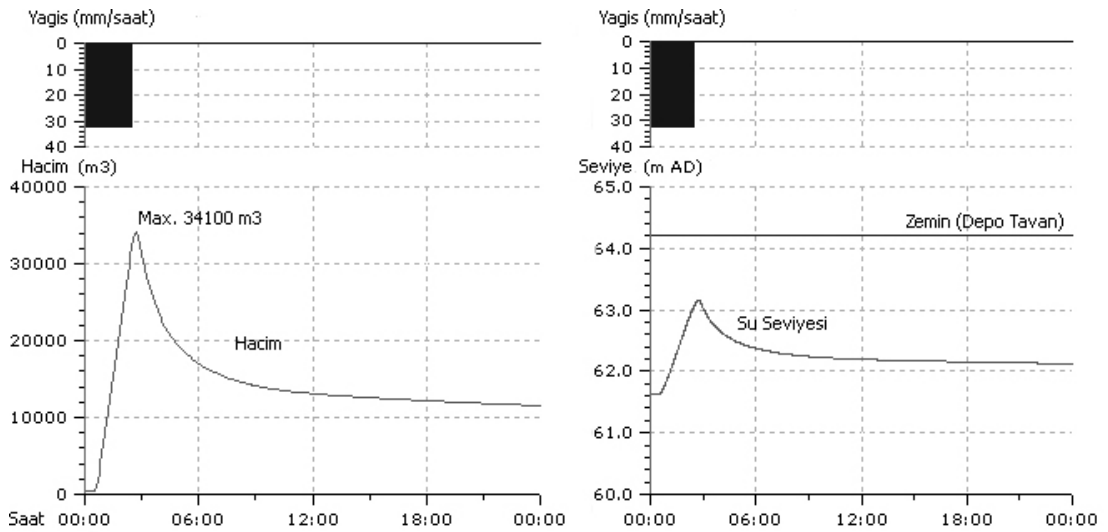


Şekil 5.19. Savak yapıları bölgesi parsel bacaları (24 ve 49 nolu bacalar, zemin seviyesi bodrum taban kotu) su seviyesi zamanla değişimi.

Şekil A.6'da savak yapılarının iptal edilmesi durumunda mevcut kollektörün boykesiti verilmiştir. Şekil A.7'de ise deşarj hattı planlandığı halde savak yapılarının işletmede kalması durumunda mevcut hatta gözlenen su yüksekliklerini gösteren boykesit verilmiştir.

#### 5.4.3. Alternatif Çözüm 3: Geciktirme Havuzu Planlanması

Çalışma bölgesinde taşkına neden olan savak yapıları yakınında sulama kanalında su yüksekliğinin artmasına engel olmak gerekmektedir. Bu amaçla deredeki suyu bir bekletme havuzuna almak ve gecikmeli olarak (yağış azaldıktan sonra) sulama kanalına geri vermek başka bir çözüm yaklaşımıdır. Yapılan simülasyon çalışmasında savaklardan önce bölgedeki boş araziler elverdiği ölçüde bir depo (52800 m<sup>3</sup>) oluşturulmuştur. Sulama kanalından bir by-pass hattı ile bu depoya giriş sağlanmış çıkış ise küçük çaplı bir boru kullanılarak sınırlandırılmıştır. Şekil 5.20'de depoda 1 gün boyunca gözlenen hacim ve su seviyesi gösterilmiştir.



Şekil 5.20. Depoda 1 gün boyunca depolanan hacim ve su seviyesi değişimi

Şekil 5.20'den de görüleceği üzere planlanan depoda yağışın gözlemlendiği gün boyunca depolanan maksimum hacim 34100 m<sup>3</sup> olmuştur. Yapılan çalışma neticesinde planlanan depodan daha küçük hacimli bir deponun bile savak yapılarından önce imal edilmesi durumunda taşkını önlemede etkili olacağı anlaşılmıştır.

Şekil A.8’de DSİ Sulama Kanalı pik debisinin bir depo yardımıyla geciktirilmesi neticesinde mevcut hatlarda gözlenen maksimum su seviyelerini gösteren boykesit verilmiştir.

Örnek olarak yapılan bu çalışmada gözlenen bir yağış olayı ve sonrasında yaşanan problemin nedeni ve muhtemel çözüm yolları araştırılmıştır. Önerilen çözümlere ilişkin planlama çalışması yapılması durumunda gözlenmiş yağış hiyetografları yerine sentetik hiyetografların kullanılması istatistiki olarak ve planlama mantığı açısından daha anlamlı olacaktır. Bu çalışmada problemin tespitine ve muhtemel çözüm yollarına ilişkin araştırmalara yer verilmiştir.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, InfoWorks CS modelleme programı kullanılarak Bursa ili atıksu ve yağmursuyu sistemlerinin modelleme çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmada, mevcut atıksu hatlarının 2030 yılı hizmet nüfusu için yeterliliği araştırılmıştır. Yetersiz olmaları durumunda günümüzde ve gelecekte taşkına sebep olma ihtimalleri incelenmiştir. Atıksu hatlarına gelen yağmursuyu debisinin miktarı belirlenmeye çalışılmıştır. Atıksu hattı (birleşik sistem çalışan) üzerinde bulunan dolu savakların faydaları/zararları ile optimum işletme şartları incelenmiştir. Yapılan çalışmalar ile atıksu, yağmursuyu ve birleşik sistem toplayıcı hatlarının her birine ait model ve simülasyon örnekleri ile simülasyonlar sonucu karşılaşılan sorunlara yönelik çözüm önerileri sunulmuştur.

InfoWorks CS ile yapılan çalışmada görüldüğü gibi yaşanan problemlere nelerin etki ettiği modelleme programları ve simülasyonlar yardımıyla kolayca bulunabilmektedir. Bu çalışmada dikkate alınmayan su kalite parametreleri de dikkate alınarak derelerde atıksu deşarjları sonrası durumun ne olacağı da belirlenebilmektedir. Sadece derelerde su kalitesini modellemek amacıyla oluşturulmuş modeller de mevcuttur. Günümüzde modelleme programları, bu nedenle modelden alınmak istenen sonuçlar, eldeki veriler ve model programının bu verileri işleyebilme özellikleri de dikkate alınarak model seçilmesi önemlidir.

InfoWorks CS, sadece boykesit boyunca uniform en kesitleri (atıksu ve yağmursuyu şebekesi gibi) modelleyebilirken nehir ve dereler gibi değişken kesitlerin modellenmesinde InfoWorks RS versiyonunun kullanılması daha uygundur. Derelerde uzun yılları kapsayan su kalite parametreleri takip edilecekse QUAL2E veya WQQRS gibi modelleme programları kullanılması izlenebilecek parametre sayısı açısından daha avantajlıdır.

Her modelin uygulandığı havza için kalibrasyon yapılması gerekmektedir. Kalibrasyon ancak simülasyonlar sonucunda elde edilen değerlerle ölçülmüş değerlerin kıyaslanması sonucunda yapılabilir. Ülkemizde geçmiş yıllara ait yağış ölçümleri olmasına rağmen derelerde veya atıksu/yağmursuyu kanallarında debi, seviye, su kalitesi gibi parametrelerin ölçümleri ile verinin eksik olduğu

bilinmektedir. Yerel veya ulusal ölçekte altyapı işlerinden sorumlu kuruluşlarda bu tarz veri toplamaya dönük çalışmalara ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada bir yağış sonrası Bursa ilinde gözlenen bir atıksu taşkınının nedeni araştırılmıştır. Menba tarafındaki hatların planlandıkları çaplarda imal edilmesi durumunda bölgenin tamamı birleşik sistem olarak çalışsa bile mevcut kollektörde sorun yaşanmayacağı anlaşılmıştır. Mevcut hatların hizmet ömürleri boyunca yeterli olacağı yapılan simülasyonlarla anlaşılmıştır. Birleşik sistem olarak çalışan mevcut hatların bu taşkın oluşmasına yalnız başlarına neden olamayacakları yine yapılan simülasyonlar sonucunda belirlenmiştir.

Taşkın gözlenen hatların birleşik sistem dolu savaklarının yakınında olması nedeniyle bu savakların taşkına neden olma ihtimalleri araştırılmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda bu savakların şiddetli bir yağış durumunda taşkına neden olabilecekleri belirlenmiştir.

Gözlenen bu yağışın Bursa'da gözlenmiş olan 50 yıllık günlük maksimum yağış yükseklikleri ile kıyaslandığında 10 yılda bir görülen yağış yüksekliğine tekabül ettiği anlaşılmıştır. Bu yükseklikte bir yağışın atıksu toplayıcılarının 30 yıllık ömürleri boyunca tekrar gözlenme ihtimali %95.8 olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek risk nedeniyle savak yapılarının kapatılması veya revizyonu gerekmektedir.

Arıtma tesisi terfi merkezine veya arıtma tesisine su alınmasına mani bir durumda atıksuların meskun bölgelerde taşkına neden olmadan yakın derelere deşarjı sağlanmalıdır. Bu nedenle savağın işletme dışı bırakılmadan kullanılmasına devam edilmesi gerektiği ancak mevcut haliyle risk oluşturduğu simülasyonlar sonucunda belirlenmiştir. InfoWorks CS RTC modülü kullanılarak kapağın açılma-kapanma hızına bağlı olarak yeterli olup olmayacağı da araştırılmıştır. Savak yapısının revize edilerek otomatik olarak kontrol edilebilen bir mekanizma ile teçhiz edilmesi gerekmektedir.

Terfi merkezinden önce bir deşarj hattı planlaması yapıldığında taşkını önleyici etkisi olup olmayacağı simülasyonlarla belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda bu deşarj hattının savak yapıları revize edilmeden taşkını önlemede etkisiz olacağı görülmüştür.

Başka bir çözüm olarak DSİ sulama kanalı pik debisini geciktirecek bir havuzun/deponun savak yapıları bölgesinde maksimum su yüksekliğini azaltarak savak yapıları revize edilmeden taşkını önleyebileceği görülmüştür. Gerekli deponun hacmi verilen yağış şiddeti dikkate alınarak kolayca belirlenebilmiştir.

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.

Modelleme programları olmadan çok fazla zaman, işgücü ve maliyet gerektirirken günümüzde modelleme programları yardımıyla gözlenen bir olayın anlaşılması ve çözülmesi çok daha kolay olmaktadır. Yapılan çalışmalarla atıksu veya yağmursuyu sistemlerinin eksik yönleri belirlenerek hangi noktalarda ne gibi önlemler alınması gerektiği belirlenebilmektedir. Modelleme programları hem planlama çalışmalarına ışık tutmakta hem de mevcut sistemin yetersizliklerinin tespitine dönük çalışmalarla yaşanması muhtemel taşkınların önlenmesi ve olumsuzlukların en aza indirilmesinde etkili olmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Abbott, M.B.**, 1979. Modelling System for the Design and Operation of Storm-Sewer Networks, Computational Hydraulics, Pitman Publishing Limite, London, United Kingdom.
- Andoh, R.**, 1998. Improving environmental quality using hydrodynamic separators. Water Quality International, January/February, 47-51
- ASKİ**, 2001. Master Plan, Ankara BBB Matbaası, Ankara.
- Babtie-Kent-Su**, 1999. Micro Drainage Manuals.
- Barışkan, S.**, 2003. Altyapı Sistemlerinin Planlanması, *Yüksek Lisans Tezi Hazırlık Semineri*, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Barnett, A.**, 2004. False Pumps In St Venant Solutions, *6th International Conference on Hydroinformatics*, World Scientific Publishing Company
- Bayazıt, M.**, 1999. Hidroloji, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- Bayazıt M., Oğuz B.**, 1994. Mühendisler İçin İstatistik, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Beven, K.J.**, 1989. Changing Ideas in Hydrology: The Case of Physically Based Models, Journal of Hydrology, Vol. 105: 157-172
- Bidwell, V.J.**, 1971. Regression Analysis of Nonlinear Cachment Systems, Water Resources Research, Vol. 7(5): 1118-1126
- Bilgi Sistemleri**, 1999. MS\_Kanal Programı Kullanım Kılavuzu.
- Brandsetter, A.B.**, 1973. A Mathematical Model for Optimum Design and Control of Metropolitan Wastewater Management Systems, water Resources bulletin, 9(6), 1118-1200
- BUSKİ**, 2002. Master Plan, Burfaş Ofset Tesisleri, Bursa.
- Butler, D.**, 2000. Urban Drainage, John W. Davies Publishing, London, United Kingdom.
- Cembrano, G., Salamero, J.**, 2004. Optimal Control of Urban Drainage Systems. A Case Study, Control Engineering Practice, Vol. 12: 1-9
- Chow. V.T.**, 1964. Handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill Cook Co., New York, USA

- Elliot, A.H.**, 2006. A Review of Models For Low Impact Urban Stormwater Drainage. Environmental Modelling and Software, Vol:XX:1-12
- Hall, M. J.**, 1984. Urban Hydrology, Elsevier Applied-Science, New York, USA.
- Hawke, R.M., Watts, L. F.**, 2003. The Effects of Urbanisation on Hydrological Response: A Study of Two Coastal Catchments, Journal of Hydrology, Vol:42 (No:2) :125-143
- Hwang, N.C. and Houghtalen R.J.**, 1996. Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems, Miami, John Wiley and Sons Inc.,USA
- İller Bankası**, 1996. Kanalizasyon İşlerinin Planlaması ve Projelerin Hazırlanmasına Ait Talimatname.
- Intergraph**, 1993. InSewer User's Manual.
- İSKİ**, 1987. Kanal Proje İhale Dökümanları.
- Karpuzcu, M.**, 1985. Su Temini ve Çevre Sağlığı. Kubbealtı Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Linsley, R.K.**, 1982. Hydrology for Engineers, McGraw Hill Publishing, New York, USA.
- Mahmood, K ve Yevjevich, V.**, 1975. Unsteady Flow in Open Channels, Water Resources Publications, Colorado, USA.
- Metcalf and Eddy, Inc.**, 1991. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Re-use, 3rd Ed., McGraw Hill Publishing, New York, USA.
- Muslu, Y.**, 1993. Hidroloji ve Meskun Bölge Drenajı, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- NZWWA**, 2004. Urban Storm Water Hydraulic Modelling: Software Evaluation Project, New Zealand Water and Wastes Association, Wairora Aotearoa, New Zealand
- Ponce, V.M.**, 1986. Diffusion Wave Modelling of Catchment Dynamics, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.112 (No:8): 716-727
- Schillig, W**, 1991. Rainfall data for urban hydrology: What do we need?, Atmospheric Research, 27: 5-21
- Saul, A.J. and Ellis, D.R.**, 1992. Sediment deposition in storage tanks. Water Science and Technology 25(8), 189-198
- Shaw, E.M.**, 1994. Hydrology in Practice, 3rd Ed., Van Nostrand Reinhold
- Sümer B. M., Ünsal İ., Bayazit M.**, 1995. Hidrolik, Birsen Yayınevi, İstanbul.



- Vervey, A.**, 1985. Computational River Hydraulics, Lecture Notes, IHE Delft, Netherlands
- Watts, L.F. and Hawke, R.M.**, 2003. The Effects fo Urbanisation on Hydrologycal Responce: A Study of Two Coastal Cacthmets, Journal of Hydrology (NZ), Vol. 42 (2): 125-143
- Wurbs, R.A.**, 1994. Computer Models for Water Resources Planning and Management, Institude for Water Resources US Army Corps of Engineers, Alexandria, Virginia, Report 94-NDS-7
- Yeşil (Öztürk), N.**, 2004. Bursa İli Yunuseli Bölgesi Kanalizasyon Sisteminin Analizlenmesinde InfoWorks CS Model Yaklaşımı, *Yüksek Lisans Tezi*, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Yüksel, Y.**, (2000), Teori ve Çözümlü Problemler ile Bilgisayar Uygulamalı Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik, Beta Basım Yayın Dağıtım, İstanbul
- Zoppou, C.**, 1999. Review of Storm Water Models. CSIRO Land And Water Technical Report 52/99, Canberra, Australia.

[www.dhisoftware.com](http://www.dhisoftware.com)

[www.wallingfordsoftware.com](http://www.wallingfordsoftware.com)

[www.auloshydraulics.com/](http://www.auloshydraulics.com/)

[www.bossintl.com](http://www.bossintl.com)

[www.nrcs.usda.gov/technical/ENG/neh.html](http://www.nrcs.usda.gov/technical/ENG/neh.html)

[www.hec.usace.army.mil/](http://www.hec.usace.army.mil/)

[www.nzwwa.org.nz](http://www.nzwwa.org.nz)

## **ÖZGEÇMİŞ**

Murat EFE Bursa'nın İnegöl ilçesinde 03.02.1976 tarihinde doğmuştur. Lise öğrenimini Bursa Anadolu Lisesi'nde, üniversite öğrenimini İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde tamamlamıştır. 2002 yılında askerlik görevini Gülhane Askeri Tıp Akademisi Çevre Sağlığı Bölümü'nde yaptıktan sonra Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi bünyesinde sürdürülen BURKAN alt yapı projelerinde Yardımcı Modelist olarak 3 yıldan fazla görev yapmıştır.

Tablo A.1. Çeşitli İdarelere ait atksu toplayıcı hatları proje kriterleri

PROJE KRİTERLERİ					
TANIMLAR	BUSKİ	İSKİ	İLLER BANKASI	ASKİ	ASKİ Master Plan
Kişi başına düşen evsel net su tüketimi	150(l/kişi/gün)	200(l/kişi/gün)	Nüfusa göre değişken	170(l/kişi/gün)	136(l/kişi/gün)
Kişi başına düşen kamu net su tüketimi	0.375(l/sn/ha)			48 ( l/kişi/gün)	48 ( l/kişi/gün)
Kişi başına düşen ticari net su tüketimi	0.30l/s/ha+50l/kişi/gün				
Kişi başına düşen sanayi net su tüketimi	0.30 l/s/ha Küçük ölçekte Sanayiler	0.50 l/s/ha Küçük ölçekte Sanayiler		19 ( l/kişi/gün)	19 ( l/kişi/gün)
	0.60 l/s/ha Orta ölçekte Sanayiler	1.00 l/s/ha Orta ölçekte Sanayiler			
	1.3 l/s/ha Büyük ölçekte Sanayiler	1.5 l/s/ha Büyük ölçekte Sanayiler			
Atksu geri dönüş oranı	100%	100%		85%	85%
Proje nüfusları	BBB İçi:2701657 BUSKİ Hizmet Alanı:3297859				Ankara Metropolitan Alanı içi:7675098 Ankara Metropolitan Alanı Dışı:8148598
Pik faktörler	Evsel Pik Faktör:2	nüfusa bağlı olarak 1.75-2(Babit)			Kurak Hava Yağışlı Hava Şebeke 1.70 3.00 Kollektör 1.40 2.00 Kuşaklayıcı 1.15 1.40
	Ticaret/ Kamu Pik Faktör:3				
	Sanayi Pik Faktör:2.4				
Kanalizasyon Sistemine Gelen Yağmursuyu Debisi Hesabında Kullanılacak Pik Faktörleri	1.75 Bu faktörler Evsel, Ticaret/Kamu. Sanayi faktörleri ile beraber kullanılacaktır.	Dikkate alınmıyor.	Dikkate alınmıyor.	Dikkate alınmıyor.	Dikkate alınmıyor.
Kanalizasyon Sistemine Gelen Sızma Debisi	0.15 l/s/ha Ankara – İzmir yolunun güneyi  0.20 l/s/ha Ankara – İzmir yolunun kuzeyi	0.1 l/s/ha.			Arazi Kotu(m) Sızma Debisi(l/sn/ha) Mevcut alanlar Yeni Alanlar <900 0.20 0.10 900-950 0.10 0.05  <950 0.05 0.025
Hidrolik Hesaplar	Colebrook- White/Darcy-Weisbach formülleri ve/ya Manning Formülü kullanılacaktır.	Prandtl-Colebrook Formülü			Colebrooke- White/Darcy-Weisbach formülleri
Max. Doluluk Oranı	85%	90%	Ø 200 %40 Ø 300 %50 Ø 400-Ø 900 %60 Ø 1000-Ø 1200 %70 Ø 1400-Ø 3000 %80	50%	Şebekelerde %60 Kollektör ve kuşaklayıcılar %90
Hız Limitleri	Min Hız=0.60 m/sn Max Hız=3.5 m/sn	Min Hız=0.60 m/sn Max Hız=3.0 m/sn	Min Hız=0.50 m/sn Max Hız=2.5 m/sn	3 m/s>V>0.75 m/s	Min Hız=0.60 m/sn(H <sub>2</sub> S nedeniyle) MaxHız=3 m/sn
Eğim Limitleri	Min. Maks. İstisnai min maks. Ø 300 .... 1/ 200 1/7 1/300 1/5 Ø 400 – Ø 600 .... 1/ Ø Ø 800 – Ø 1000 .. 1/ Ø >Ø 1200 ... 1/ Ø Maksimum eğim, maksimum hız ile kontrol edilecektir.	1/A min maks. Ø 300 ....1/ 200 1/7 Hız limitlerine göre eğimler belirlenecek.	Min. ist. min Maks. İst. max. Ø 200 1/ 300 - 1/7 1/5 Ø 300 1/500 - 1/7 1/5 Ø 400 1/600 1/900 1/25 1/15 Ø 500 1/800 1/1000 1/25 1/15 Ø 600 1/1000 1/1500 1/25 1/15 Ø 800 1/1200 1/1800 1/50 - Ø 900 1/1500 1/1800 1/50 1/15 Ø 1000 1/2000 1/2500 1/75 - Ø 1200 1/2050 1/2500 1/75 - Ø 1400 1/2100 1/2500 1/75 - Ø 1600 1/2150 1/2500 1/75 - Ø 2000-3000 1/2250 1/2500 1/75 -	max eğim 1/7(istisnai eğim1/5)	Min. ist. min İst.Maks. Uygun Ø150(ev bağ) 1/100 1/ 15 1/7 1/50 Ø300 1/300 1/ 15 1/7 1/50-1/150 Ø400-600 1/400-600 1/25 1/15 1/100-1/200 Ø700-1000 1/700-1000 1/50 - 1/200-1/500 Ø1000-2000 1/1000-3000 1/75 - 1/200-1/500
Max. Muayene Bacası Aralığı ve Boyutu	Toplayıcı hatlar Ana Arter Ø 300 50 m Ø 400-Ø 500 60 m Ø 600-Ø 800 80 m Ø 1000-Ø 1200 100 m Ø 1400-Ø 1600 100 m Ø 1800-Ø 2000 120 m Ø 2200-Ø 3000 150 m Ø600mm'den küçük hatlarda muayene bacası iç çapı Ø1000 mm. daha büyük çaplarda muayene bacası alt tabanı yerinde dökme özel üstü Ø1200 mm prefabrik olacaktır.	Ø <1200 70m Ø>1200 100m	Ø 200-Ø 300 60 m Ø 400-Ø 600 70 m Ø 800 80 m Ø 900-Ø 1000 100 m Ø 1200 125 m Ø 1400-Ø 3000 150 m		Ø 300 50m. Ø 400 60m. Ø 500-Ø 600 70m. Ø 700-Ø 800 80m. Ø 900-Ø 1000 100m. Ø 1200-Ø1400 125-150m. >Ø1600 150-250m. Kutu Kesit max. 150m.
Min. Boru Çapı	Ø300mm(dar sokaklarda ve kısa mesafelerde İdare onayı ile Ø200 yapılabilir)	Ø 300 Ev bağlantıları Ø 200	Ø 200	Ø 300	Ø 300 Ev bağlantıları Ø 150

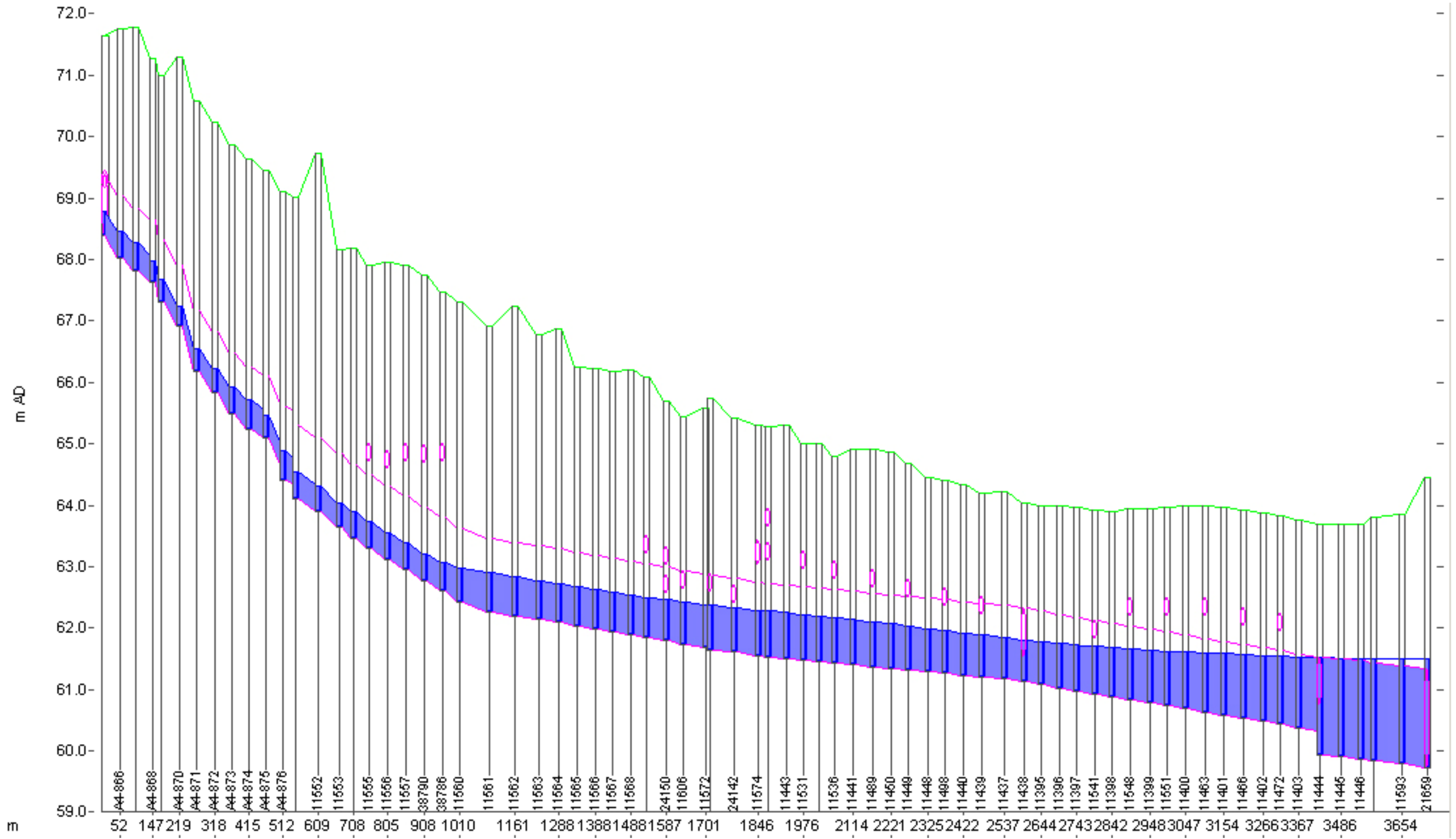
Tablo A.2. Çeşitli İdarelere ait yağmursuyu toplayıcı hatları proje kriterleri

PROJE KRİTERLERİ					
TANIMLAR	BUSKİ	İSKİ	İLLER BANKASI	ASKİ	ASKİ Master Plan
Yağış Şiddeti	Meteoroloji Gen. Müd. Tarafından yayınlanan yağış eğrileri kullanılacak süre 15 dk. Alınacaktır.	10 dk.			
Tekekerrür Süreleri	Alana göre tekerrür belirlenecek 80 ha. kadar 2 yıl 15dk.yağmur 100 ha. kadar 5 yıl 15dk.yağmur 130 ha. kadar 10 yıl 15dk.yağmur 240 ha. kadar 25 yıl 15dk.yağmur >240 ha.ve dereler için 100 yıl tekerrürlü yağış Şebekelerde 2 yıl 15 dk. Ana arter ve kollektörlerde; mevcut hattın bulunduğu alanlarda 2yıl 15 dk. yeni planlanan alanlarda İdare görüşü alınarak 5 yıl 15 dk. dere kollarında 50 yıllık(100 yıllık tahkik) ana derelerde 100 yıllık (500 yıllık tahkik) Karayolları, demiryolları geçişlerinde 130 ha kadar 10 yıl, >130 ha ise tekerrür yılı alınacaktır.	<80 ha 3 yıl 80-100 ha 5 yıl 100-130 ha 10 yıl 130-240 ha 25 yıl >240 ha 100 yıl		Yüksek değerli ticari endüstri alanları 5 yıllık Mesken alanları, orta ve düşük ticari ve endüstri alanları 2 yıllık	Yüksek değerli ticari endüstri alanları 5 yıllık Mesken alanları, orta ve düşük ticari ve endüstri alanları 2 yıllık
Giriş Süreleri (T <sub>0</sub> )	J>1/50 : To =5 dk 1/50<J<1/100 :To=10 dk. 1/100<J To=15 dk. Giriş Süresi To=60*(0.87*L <sup>3</sup> /dH)0.385 bağıntısından hesaplanır To<5 dk. To=5 dk. 5 dk<To<30 dk. To=To To>30 dk. To=30 dk. Hesap süresi 15 dk. Alınacaktır.	J>1/20 : To =5 dk 1/20<J<1/50 :To=10 dk. 1/50>J To=15 dk. To=60*(0.87*L <sup>3</sup> /dH)0.385 bağıntısından hesaplanır			J>1/20 : To =5 dk 1/20<J<1/50 :To=10 dk. 1/50>J To=15 dk. Banliyö 20 dk. Kırsal alan 25 dk.
Minimum Doluluk Oranı	85%	90%	85%	90%	90%
Hız Limitleri (V)	0.5 m/sn<V<6 m/sn	0.5 m/sn<V<6 -8 m/sn	0.5 m/sn<V<4 m/sn	0.4 m/sn<V<4 m/sn	0.5 m/sn<V<5 m/sn
Mimumum Eğim limitleri	Min. Maks. İstisnai Ø 400 – Ø 600 .... 1/ Ø Ø 800 – Ø 1000 .. 1/ Ø >Ø 1200 ... 1/ Ø Maksimum eğim, maksimum hız ile kontrol edilecektir.	1/A min maks. Ø 300 ....1/ 200 1/7 Hız limitlerine göre eğimler belirlenecek.	Min. ist. min Maks. İst. max. Ø 200 1/300 - 1/7 1/5 Ø 300 1/500 - 1/7 1/7 Ø 400 1/600 1/900 1/25 1/15 Ø 500 1/800 1/1000 1/25 1/15 Ø 600 1/1000 1/1500 1/25 1/15 Ø 800 1/1200 1/1800 1/50 - Ø 900 1/1500 1/1800 1/50 - Ø 1000 1/2000 1/2500 1/75 - Ø 1200 1/2050 1/2500 1/75 - Ø 1400 1/2100 1/2500 1/75 - Ø 1600 1/2150 1/2500 1/75 - Ø 2000-3000 1/2250 1/2500 1/75 -	max eğim 1/7(istisnai eğim1/5)	Min. ist. min İst.Maks. Uygun Ø150(ev bağ) 1/100 1/15 1/7 1/50 Ø300 1/300 1/15 1/7 1/50-1/150 Ø400-600 1/400-600 1/25 1/15 1/100-1/200 Ø700-1000 1/700-1000 1/50 - 1/200-1/500 Ø1000-2000 1/1000-3000 1/75 - 1/200-1/500
Maksimum Baca Aralığı ve Boyutu	Ø 400 – Ø 600 .... 50 m. Ø 800 – Ø 1000 .... 50m. (yerleşim olmayan boş arazi) Ø1000-Ø 1600 70m.(Kutu kesitte geçiş sınırı) Kavşaklara, dönüş noktalarına, yol ağzlarına ve bağlantı noktalarına baca konulacak, gerekli yerlere ızgara yerleştirilecektir. Izgara bağlantıları bacalara yapılacaktır.	Ø <1200 70m Ø>1200 100m	Ø 200-Ø 300 60 m Ø 400-Ø 600 70 m Ø 800 80 m Ø 900-Ø 1000 100 m Ø 1200 125 m Ø 1400-Ø 3000 150 m	Şebeke borularında 60m. Tali kollektörlerde 80m. Kollektör Ø>800 100m.	Ø 300 50m. Ø 400 60m. Ø 500-Ø 600 70m. Ø 700-Ø 800 80m. Ø 900-Ø 1000 100m. Ø 1200-Ø1400 125-150m. >Ø1600 150-250m. Kutu Kesit max. 150m.
Akış Katsayıları	Alan Tipi Düz Dik Konut Alanı 0.50 0.55 Düşük yoğunluklu (100 kişi/ha) 0.50 0.55 Orta yoğunluklu (200 kişi/ha) 0.60 0.65 Yüksek yoğunluklu (400 kişi/ha) 0.70 0.80 Ticaret ve İş Alanları 0.70 0.80 Sanayi Alanları 0.70 0.80 Kamu alanları 0.40 0.45 Yeşil alanlar 0.10 0.15 Açık Alanlar 0.15 0.20 Dik:Ankara- İzmir Yolu güneyi Düz :Ankara- İzmir Yolu kuzeyi	Alan Tanımı Net Nüfus Yğ(kişi/ha) YAK Aralığı Apartmanlar 500-1000 0.80-0.90 Apartmanlar 250-500 0.70-0.80 Apartmanlar 150-250 0.60-0.70 Bitişik nizam müstakil(1 ailelik) 50-150 0.50-0.60 Ayrık nizam müstakil(1 ailelik) 20-50 0.30-0.40 Yerleşmemiş alanlar,parklar,mezarlıklar <20 0.10-0.30 Yüksek değerli iş ve ticaret alanları <20 0.80-0.90 Yönetim ve İdari Alanlar <20 0.80-0,90 Sanayi alanları 0.50-0.80 Havaalanları da dahil özel alanlar 0.50-0.60			Yerleşim Biçimi Net Nüfus Yoğ.(kişi/ha) YAK Aralığı Çok sık 500-1000 0.80-0.90 Sık 250-500 0.70-0.80 Orta Sık 150-250 0.60-0.70 Seyrek 50-150 0.50-0.60 Sayfiye 20-50 0.30-0.40 Kamu alanları - 0.80 Endüstri Alanları - 0.80 Yeşil Alanlar - 0.30

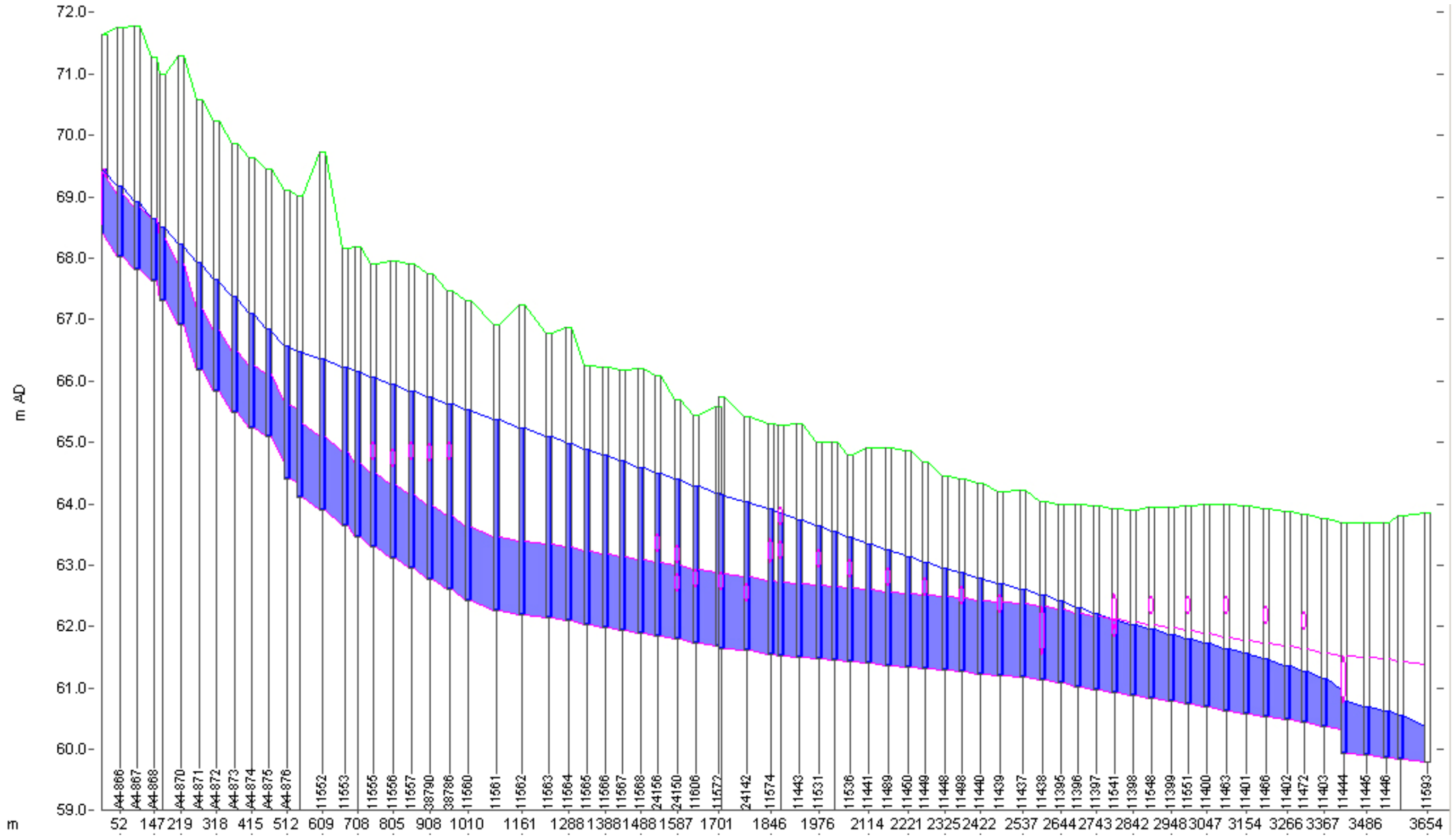
Tablo A.3. Bursa İli günlük maksimum yağış yükseklikleri

T. C.  
B A S B A K A N L I K  
DEVLET METEOROLOJİ İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ  
İSTASYON ADI : BURSA GÜNLÜK MAKSİMUM YAĞIŞ (mm)

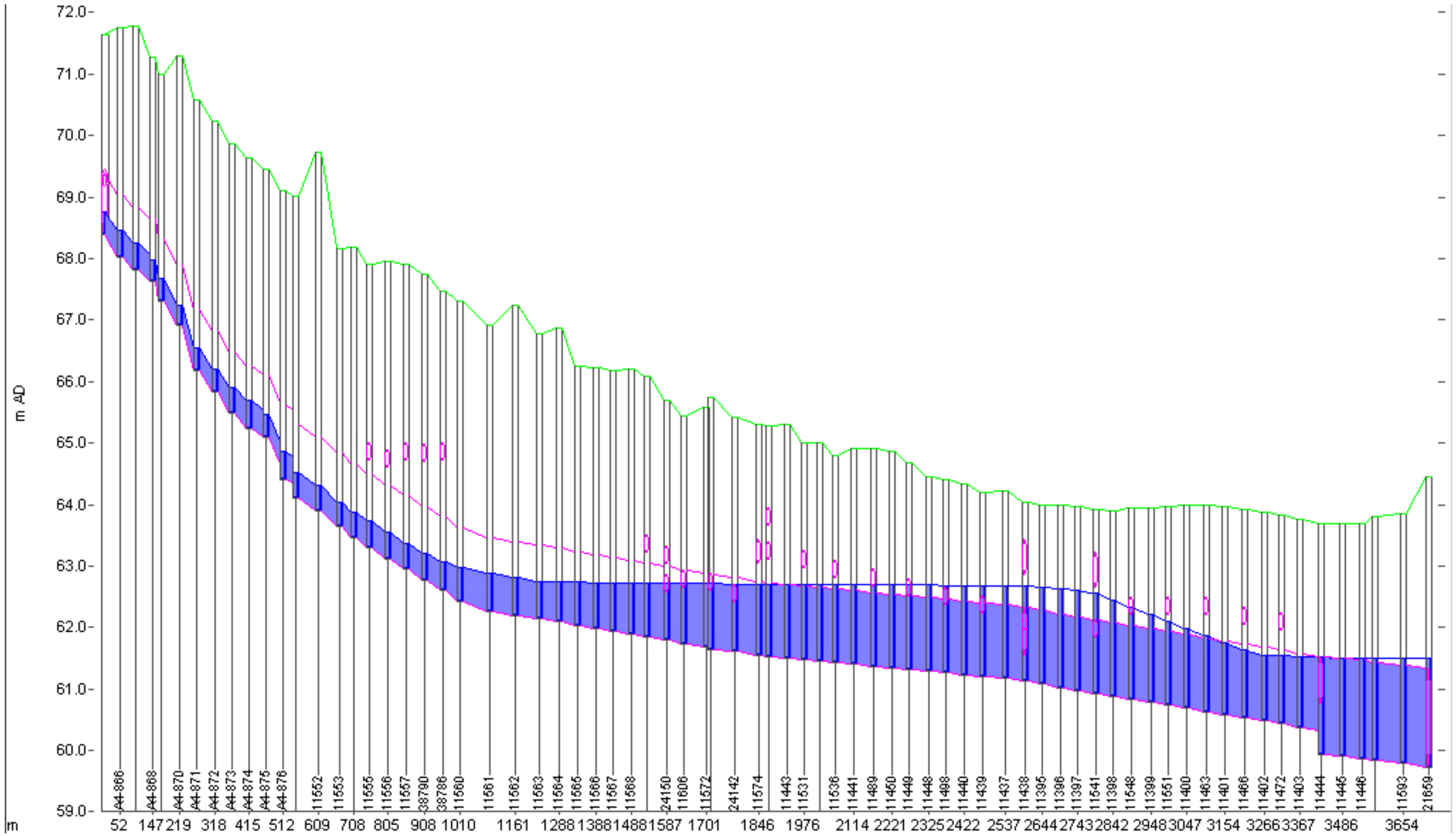
YIL	OCAK	SUBAT	MART	NISAN	MAYIS	HAZİR	TEMMU	AGUS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALI
1951	22,4	41,0	34,9	16,9	14,0	2,4	0,1	9,9	7,8	7,6	14,5	38,5
1952	22,4	39,4	12,1	10,9	29,9	42,0	6,5		29,1	26,5	39,5	12,8
1953	40,2	49,2	18,6	18,0	22,6	12,4		4,4	19,9	127,7	19,7	11,9
1954	33,9	18,7	15,4	8,5	19,9	4,2	3,8	0,0	39,3	1,2	21,2	25,2
1955	11,5	24,2	12,7	15,8	0,5	4,6	13,6	14,8	9,2	17,8	49,0	19,7
1956	15,8	18,6	28,6	20,0	18,5	8,0	0,1	11,2	5,2	10,8	28,3	15,4
1957	9,1	20,5	13,8	15,3	15,2	4,9	13,6	1,7	18,6	18,7	22,1	35,2
1958	26,2	9,4	39,8	13,9	24,0	12,4	2,7	12,1	18,6	36,6	17,4	17,9
1959	43,0	12,3	17,4	23,3	48,3	33,3	30,6	0,5	6,9	23,7	15,4	37,9
1960	28,6	22,7	18,5	11,0	17,6	30,8	7,3	2,2	6,6	8,7	32,5	57,9
1961	19,3	14,7	17,0	13,4	7,6	19,1	6,2	1,2	5,4	8,9	18,1	9,4
1962	15,8	22,2	17,3	26,2	3,0	4,7	14,5		14,0	40,0	25,7	59,5
1963	35,3	13,7	15,8	16,3	36,5	25,5	2,0		21,6	8,5	19,4	89,2
1964	5,6	22,4	22,2	11,8	17,1	2,3	2,0	27,2	27,7	0,8	58,8	23,1
1965	16,1	55,9	9,3	25,7	9,6	16,0	13,7	5,0		14,8	36,6	26,8
1966	24,5	3,4	28,4	18,0	8,1	23,0	0,0	68,9	4,5	21,0	20,4	29,3
1967	34,3	22,5	15,6	14,5	10,2	13,0	6,0	0,8	9,0	25,6	20,6	22,7
1968	38,1	32,3	34,0	5,3	3,8	26,0	0,5	17,3	38,0	44,7	30,3	14,1
1969	19,8	25,4	18,1	28,6	20,8	24,6	12,8		0,0	8,9	7,4	36,8
1970	34,8	34,9	13,2	22,5	17,7	18,1	0,5	8,1	13,6	28,1	16,2	43,2
1971	7,3	21,0	18,3	9,2	4,0	6,1	12,9	23,0	10,0	27,9	27,3	21,5
1972	18,8	9,1	11,6	24,8	12,7	10,0	8,5	47,2	46,2	18,3	26,8	7,4
1973	19,0	32,5	16,0	15,9	49,2	14,7	2,7	37,0	11,6	43,3	48,4	35,1
1974	12,1	14,1	14,7	25,2	42,2	10,0	11,2	28,5	34,2	17,3	36,2	37,7
1975	18,5	16,9	21,1	12,1	39,1	21,9	3,6	4,7	3,5	21,4	33,8	37,5
1976	21,7	6,1	7,2	15,1	28,8	19,1	14,6	19,3	18,1	23,6	24,4	51,5
1977	11,3	7,5	12,8	29,0	4,9	3,9	0,1		11,9	16,6	78,1	48,3
1978	23,5	20,2	16,2	13,6	17,5	7,9	5,5	10,2	29,2	15,6	22,5	22,7
1979	19,9	13,5	9,3	18,7	12,1	6,8	2,0	15,0	10,8	12,5	31,4	39,1
1980	52,3	16,7	39,5	12,3	15,2	12,5	19,3	0,9	8,4	12,1	36,4	31,0
1981	36,8	24,1	39,0	1,5	23,3	7,0	19,8	7,3	38,0	44,2	20,6	50,2
1982	23,6	9,8	10,8	21,8	14,4	4,0	48,8	7,0	0,2	8,8	8,5	23,0
1983	27,6	19,8	9,5	27,9	22,8	8,4	15,5	6,5	14,6	10,5	32,1	17,0
1984	14,6	23,6	13,5	18,8	20,8	7,9	55,0	1,0	1,7	5,5	15,3	14,5
1985	21,0	23,4	10,5	12,0	19,6	14,1	4,7	0,2	8,8	32,8	33,5	25,7
1986	38,3	19,4	2,2	18,7	10,4	25,4	4,0	0,1		21,8	20,3	66,4
1987	56,7	6,9	15,7	21,9	19,6	29,6	25,2	13,0	0,1	22,8	25,3	63,3
1988	8,5	12,4	27,5	17,2	5,7	13,3	0,8	0,9	12,1	17,7	28,1	23,7
1989	13,1	6,3	11,3	4,5	13,9	17,8	5,4	7,2	6,8	54,6	47,5	29,4
1990	15,7	31,7	18,6	16,4	23,8	18,2	33,1	0,2	27,8	31,1	79,7	25,4
1991	11,2	22,1	7,6	39,0	34,2	23,6	11,5	0,4	18,3	39,4	6,9	13,5
1992	9,1	25,1	15,5	13,9	16,3	38,1	5,0		0,6	51,4	21,4	17,2
1993	20,3	16,3	11,7	17,7	18,1	4,3	3,0	11,4	19,2	12,2	26,8	21,5
1994	17,8	31,1	16,8	22,1	19,9	43,5	0,4	28,4	1,8	23,3	25,8	32,8
1995	24,2	6,0	25,0	22,7	0,8	5,5	15,9	16,3	8,6	19,7	21,7	23,6
1996	19,6	23,3	38,4	16,8	13,4	4,4	0,2	3,2	15,9	29,5	11,6	26,3
1997	13,4	12,4	37,2	30,3	9,7	11,6	29,6	16,0	1,2	63,7	17,0	23,0
1998	5,2	44,8	25,0	10,2	20,7	18,1	18,2		31,0	51,6	16,5	35,2
1999	12,7	36,9	11,9	7,1	3,9	47,2	1,7	10,2	60,0	34,5	25,2	27,5
2000	15,2	41,6	41,4	44,7	11,6	16,2	15,4	11,4	35,0	20,4	15,4	



Şekil A.1. Yağmursuyu etkisi olmadan mevcut kolektörün boykesiti.

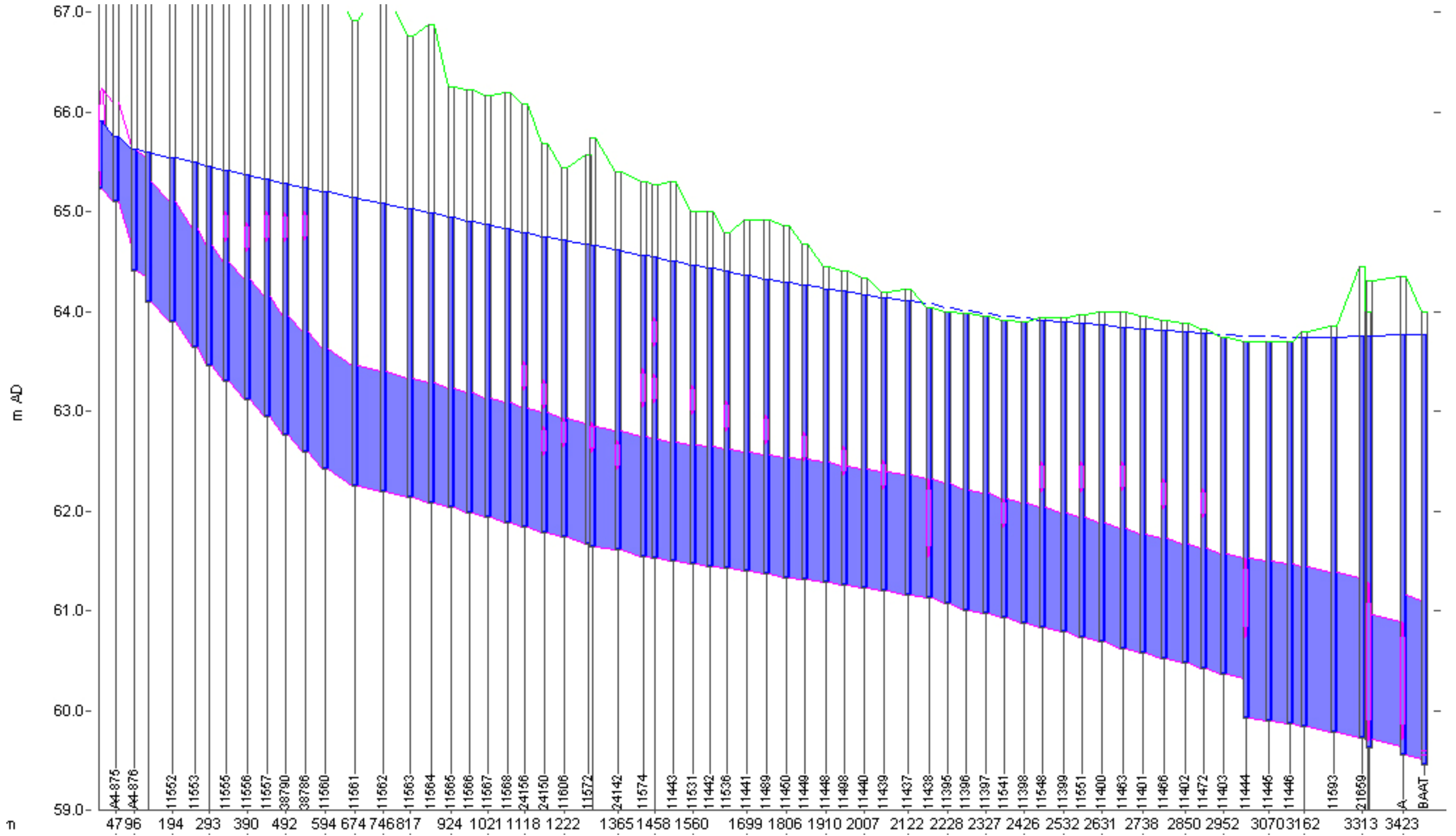


Şekil A.2. Menba havzalarının tamamının birleşik sistem olarak çalışması durumunda Altınşehir Kollektörünün boykesiti.

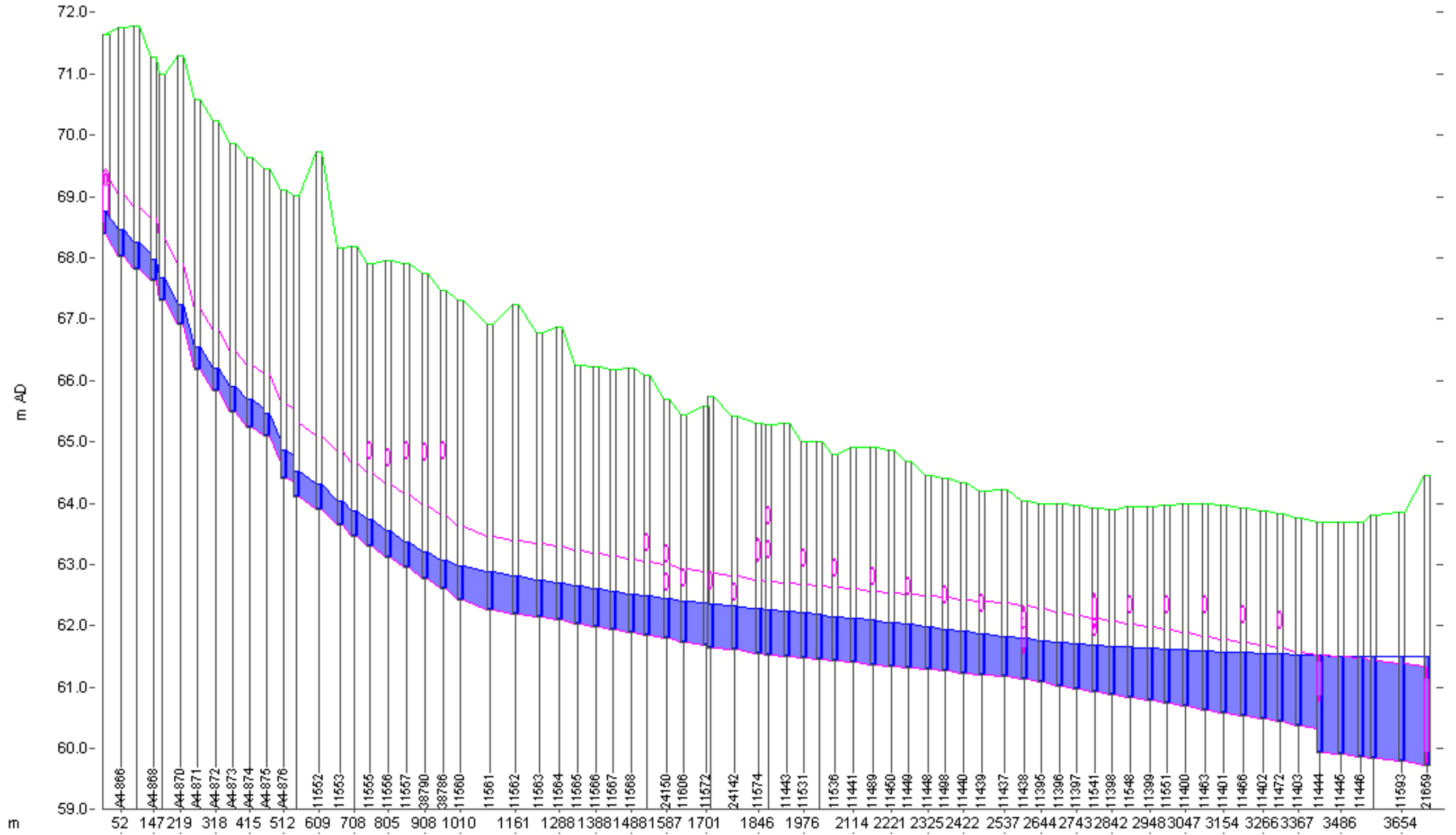


Şekil A.3. Dolu savakların sistemde bulunması durumunda Altınşehir Kollektörünün boykesiti.

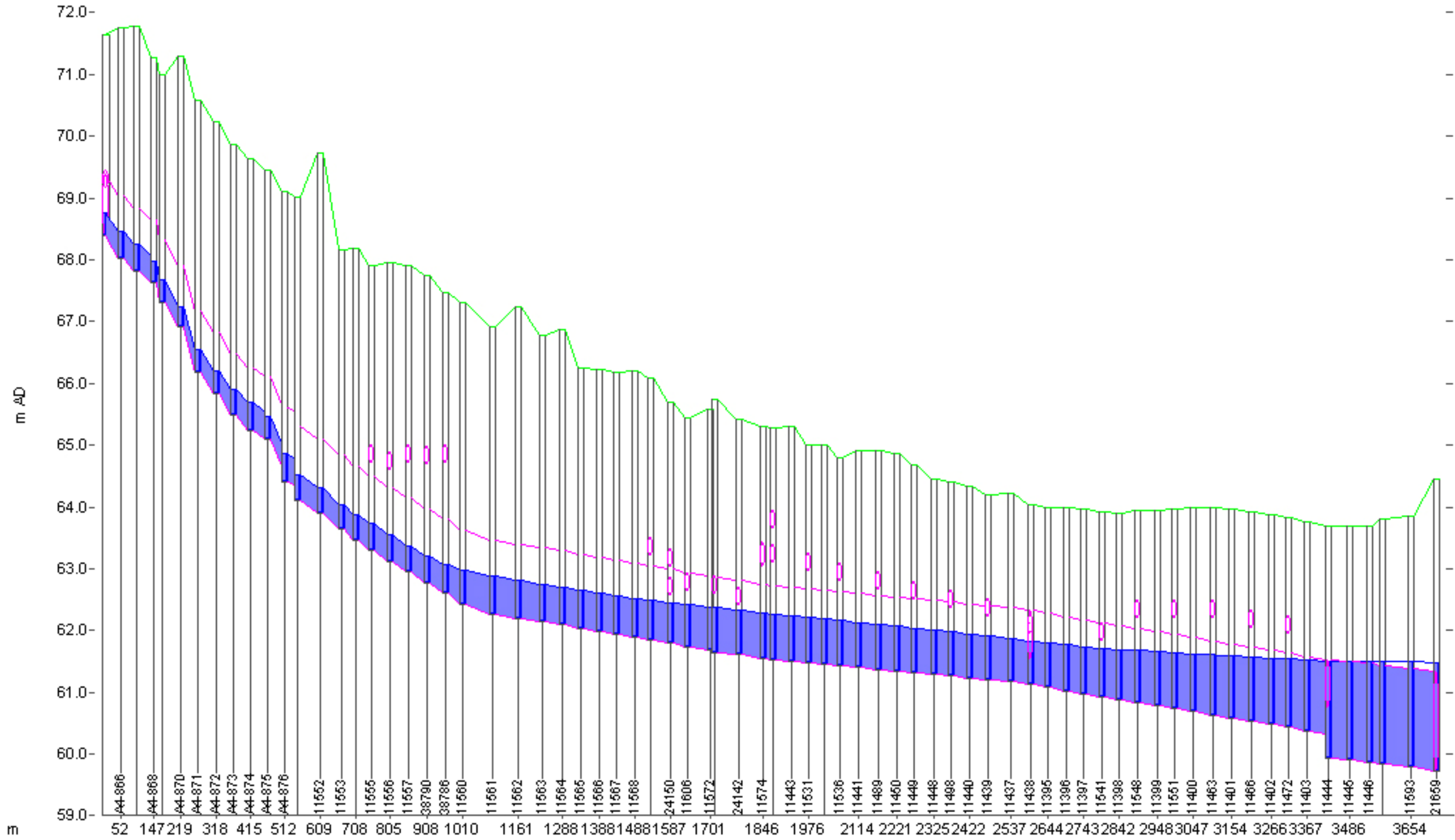




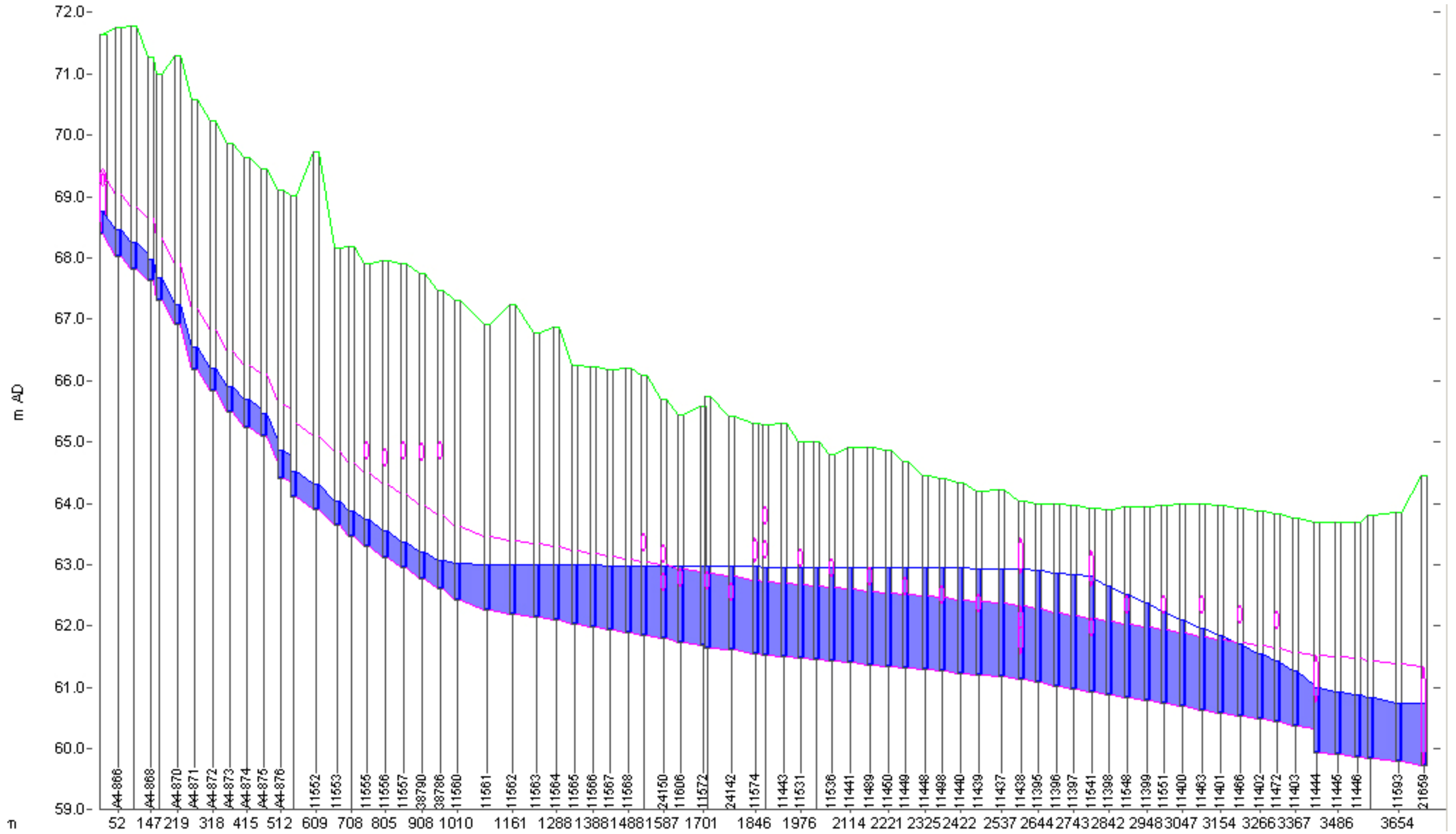
Şekil A.4. Batı AAT pompalarının çalışmaması durumunda Altınşehir kollektörünün boykesiti.



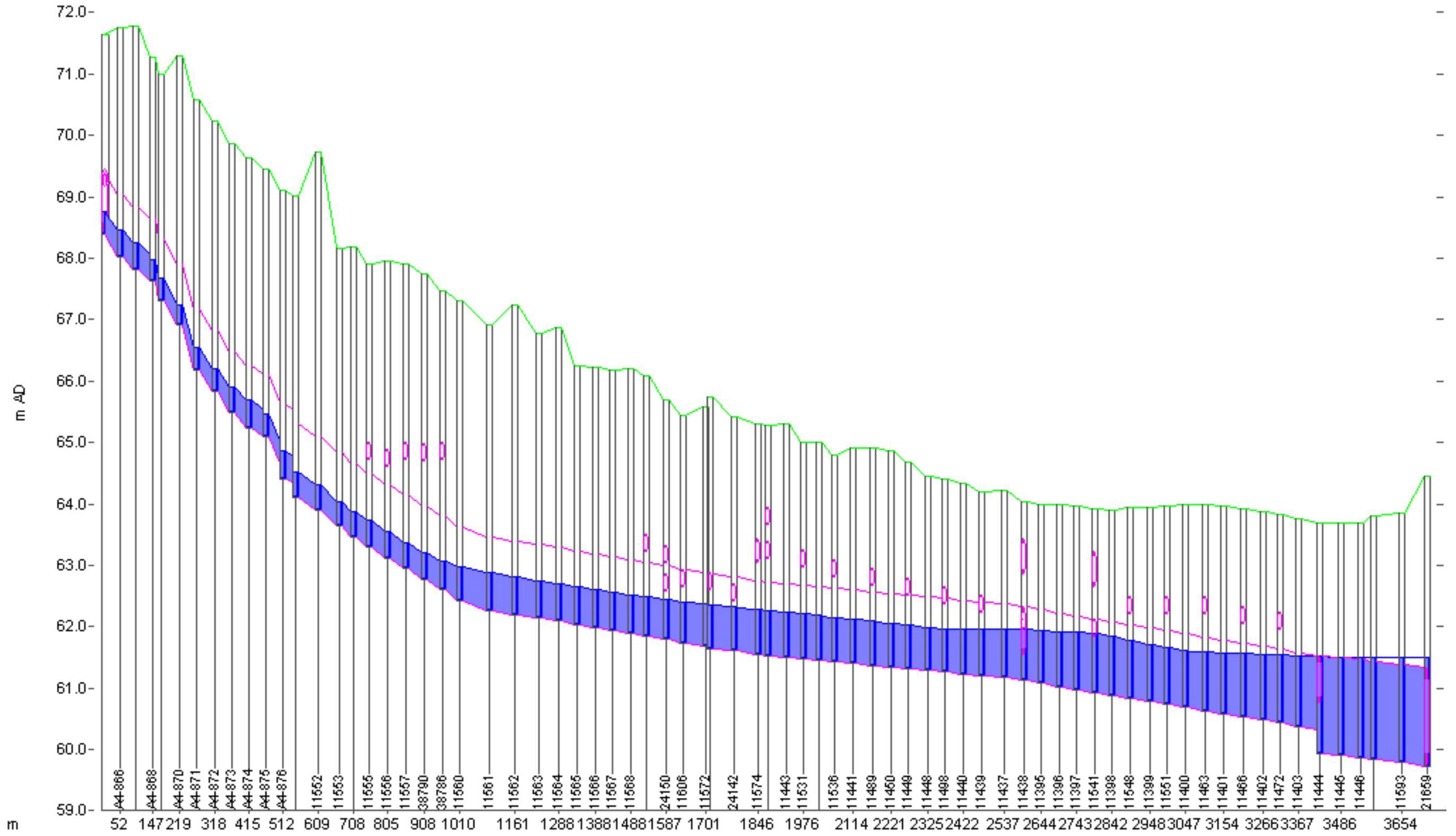
Şekil A.5. Dolu savağın gerçek zamanlı kontrol (RTC) edilmesi durumunda Altınşehir kollektörünün boykesiti.



Şekil A.6. Deşarj hattı planlanması ve savak yapılarının iptal edilmesi durumunda mevcut kolektörün boykesiti.



Şekil A.7. Deşarj hattı planlanması ve savak yapılarının iptal edilmemesi durumunda mevcut kolektörün boykesiti.



Şekil A.8. Geciktirme havuzu planlanması durumunda mevcut kolektörün boykesiti.