



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SAZLIDERE HAVZASI'NIN HİDROLOJİK
MODELLEMESİ VE SU KALİTESİ TAHMİNİ**

**Çevre Müh. Sezar GÜLBAZ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Doç. Dr. Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN**

Haziran, 2010

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SAZLIDERE HAVZASI'NIN HİDROLOJİK
MODELLEMESİ VE SU KALİTESİ TAHMİNİ**

**Çevre Müh. Sezar GÜLBAZ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

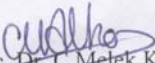
**Danışman
Doç. Dr. Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN**

Haziran, 2010

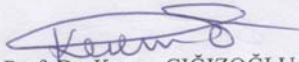
İSTANBUL

Bu çalışma 22/06/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi


Doç. Dr. C. Melek K. ALHAN (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. S. Feyza ÇINICIOĞLU
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Kerem CİGİZOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi


Prof. Dr. N. Kemal ÖZTORUN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Fahriye M. KILINÇKALE
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliđinin 4212 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımlarından dolayı öncelikle değerli hocam Sayın Doç. Dr. Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN 'a en içten dileklerle teşekkür ederim. Ayrıca yüksek lisans tez jürimde bulunarak görüş ve tavsiyeleri ile mevcut çalışmaya değerli katkılarda bulunan tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca özellikle deneylerin yapımında büyük yardımı olan Özkan KOÇALİ, Doğan GÜLBAZ, Hasahan BAKAR ve Alaattin Bey'e teşekkürü bir borç bilirim. Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerinden ötürü anneme, babama ve ablama, üniversite hayatım boyunca vermiş olduğu desteklerden dolayı Hale MAHZEMİNLI'ye, tez çalışmaları sırasında vermiş olduğu desteklerden dolayı Hatice GAZİ'ye, Uğur BOYRAZ'a ve tüm çalışma arkadaşlarıma içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmamın uygulama kısmını destekleyen ve deney ekipmanlarının alımını sağlayan İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürü borç bilirim.

Haziran, 2010

Sezar GÜLBAZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİL LİSTESİ.....	VI
TABLO LİSTESİ	VIII
SEMBOL LİSTESİ	X
ÖZET	XI
SUMMARY	XII
1. GİRİŞ	1
2. HİDROLOJİK VE HİDROLİK MODELLEME VE YÜZEYSEL AKIŞ	4
2.1. İSTATİSTİKSEL VE AMPİRİK MODELLER	4
2.2. DETERMİNİSTİK MODELLER	5
2.3. KİNEMATİK, DİFÜZYON VE DİNAMİK DALGA MODELLERİ	5
2.3.1. Süreklilik Denklemi.....	6
2.3.2. Momentum Denklemi	6
2.3.3. Kinematik Dalga Modeli.....	7
2.3.4. Difüzyon Dalga Modeli	9
2.3.5. Dinamik Dalga Modeli	10
2.3.6. Kinematik, Difüzyon ve Dinamik Dalga Denklemlerinin Çözümü.....	10
2.4. TOPRAĞA SIZAN SU MİKTARININ HESAPLANMASI.....	12
2.4.1. Green-Ampt Sızma Metodu	12
2.4.2. Horton Sızma Metodu.....	13
2.4.3. SCS Eğri Numarası Sızma Metodu	13
3. SU KALİTESİ MODELLEMESİ.....	15
3.1. EPA SWMM İLE KİRLİLİK TAŞINIMI MODELLEMESİ.....	15
3.1.1. Tam Karışımli Reaktör Denklemi	15
3.1.2. Kesikli Reaktör Denklemi	15

3.1.3. Piston Akımlı Reaktör Denklemi	16
3.2. ARAZİ KULLANIMI	16
3.2.1. Kirlilik Birikimi.....	16
3.2.1.1. Kuvvet Fonksiyonu.....	16
3.2.1.2. Üssel Fonksiyon	17
3.2.1.3. Doygunluk Fonksiyonu	17
3.2.2. Kirlilik Yıkınımı	17
3.2.2.1. Üssel Fonksiyon	17
3.2.2.2. Yıkınma Sınıflandırma Eğrisi Fonksiyonu	17
3.2.2.3. Ortalama Kirlilik Konsantrasyonu Fonksiyonu.....	17
4. EPA SWMM BİLGİSAYAR PROGRAMI.....	19
4.1. HİDROLOJİK MODELLEME	19
4.2. SU KALİTESİ MODELLEMESİ	20
5. İÇME SUYU KAYNAKLARI VE SAZLIDERE HAVZASI	22
5.1. İSTANBUL’UN İÇME SUYU KAYNAKLARI.....	22
5.2. DOĞAL DRENAJ SİSTEMLERİ-İÇME SUYU HAVZALARINDA BULUNAN DERELER (AKARSULAR)	24
5.3. AKARSULARDA (İÇME SUYU HAVZALARINDA BULUNAN DERELERDE) KİRLİLİK.....	26
5.4. AKARSULARDA (İÇME SUYU HAVZALARINDA BULUNAN DERELERDE) SU KALİTESİ	29
5.5. SAZLIDERE İÇME SUYU HAVZASI	30
5.5.1. Sazlıdere Barajı	30
5.5.2. Coğrafi Durum ve Topografik Yapısı	32
5.5.3. Tarım ve Hayvancılık.....	33
5.5.4. İkitelli (Fatih Sultan Mehmet Han) Su Arıtma Tesisi.....	34
5.5.5. Sazlıdere Havzası İle İlgili Yapılan Çalışmalar	34
5.6. SAZLIDERE İÇME SUYU HAVZASI’NIN İSTANBUL’DAKİ SU TOPLAMA HAVZALARI İÇİNDEKİ KONUMU.....	35
6.NÜFUS VE YERLEŞİM BİLGİLERİ VE GELECEĞE YÖNELİK TAHMİNLER.....	37
6.1 NÜFUS TAHMİN YÖNTEMLERİ	37
6.1.1. Aritmetik Artış Metodu	37
6.1.2. Geometrik Artış Metodu	38
6.1.3. Azalan Hızlı Nüfus Artışı Yöntemi	38
6.1.4. İller Bankası Yöntemi	39

6.2. KONTROLSÜZ NÜFUS ARTIŞININ İÇME SUYU HAVZALARINA ETKİSİ	40
6.3. SAZLIDERE HAVZASI'NDAKİ MEVCUT NÜFUS VE ARAZİ KULLANIMI ...	42
6.3.1. Arazi Kullanımı	42
6.3.1.1. <i>Beldelerin Arazi Kullanımı</i>	<i>43</i>
6.3.1.2. <i>Köy ve Mahallelerin Arazi Kullanımı</i>	<i>43</i>
6.3.2. Mevcut Nüfus.....	43
6.4. SAZLIDERE HAVZASI'NA AİT GELECEĞE YÖNELİK NÜFUS VE ARAZİ KULLANIMI TAHMİNLERİ.....	45
6.4.1. Geleceğe Yönelik Nüfus Tahminleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar	45
6.4.2. Modellenen Bölgeye Ait 2035 Yılı için Nüfus Tahmini	46
6.4.3. Geleceğe Yönelik Arazi Kullanımı Tahminleri	48
7. SAHA ÇALIŞMASI.....	49
7.1. YER TESPİTİNİN YAPILMASI	50
7.1.1 Yağış Ölçer'in Yer Tespiti.....	50
7.1.2 Açık Kanal Hız Ölçer'in Yer Tespiti.....	51
7.2. DENEY DÜZENEĞİNİN KURULMASI	52
7.2.1 Yağış Ölçer'in Kurulması.....	52
7.2.2 Açık Kanal Hız Ölçer'in Kurulması.....	53
7.3. HİDROMETEOROLOJİK VERİLERİN TOPLANMASI	54
7.3.1 Yağış Verilerinin Toplanması	54
7.3.2 Hız Verilerinin Toplanması.....	55
7.4. DERE ENKESİT ÖLÇÜMÜNÜN YAPILMASI	56
8. SAZLIDERE HAVZASI'NIN EPA SWMM İLE MODELLEMESİ	58
8.1. HİDROLOJİK MODELLEME.....	58
8.1.1.EPA SWMM ile Sazlıdere Havzası'nın Hidrolojik Modelinin Kurulması	58
8.1.2.Deney Verileri ile Model Kalibrasyonunun Yapılması.....	61
8.1.3.Deney Verileri ile Model Doğrulamasının Yapılması	64
8.2. SU KALİTESİ MODELLEMESİ.....	65
8.2.1.EPA SWMM ile Sazlıdere Havzası'nın Su Kalitesi Modelinin Kurulması.....	65
9. BULGULAR	69
9.1. HAVZADAKİ YAĞIŞ-AKIŞ İLİŞKİLERİ VE NÜFUS ARTIŞININ SU MİKTARINA ETKİSİ	70
9.2. EKSTREM DURUMLAR.....	85
9.2.1. Yerleşim Alanlarının Aşırı Artışı.....	85
9.2.2. Şiddetli Yağışlar	91

9.3. HAVZADAKİ YAĞIŞ-AKIŞ-KONSANTRASYON İLİŞKİLERİ.....	98
10. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	100
KAYNAKLAR	104
ÖZGEÇMİŞ.....	108

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Hesap ağı (Yüksel, 2000)	11
Şekil 5.1: İstanbul'un su kaynaklarının miktarlarına göre dağılımı (İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu).....	23
Şekil 5.2: Türkköse Deresi ve bu dereye bağlanan yan kollar	26
Şekil 5.3: Sazlıdere Barajı (İBB).....	31
Şekil 5.4: Sazlıdere Havzası'nın kullanım alanlarına göre dağılımı (İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu).	33
Şekil 5.5: İçme ve kullanma suyu miktarlarının kaynaklara göre dağılımı (Torun, 2008).	35
Şekil 5.6: İstanbul'un içme suyu havzaları ve konumları (İBB).....	36
Şekil 5.7: Havza koruma kuşaklarındaki yerleşmelerin dağılımı (Turgut, 2000)	36
Şekil 7.1: Elektronik Yağış Ölçer (Elektronik Plüviograf)	49
Şekil 7.2: Universal Elektronik Muline (Açık Kanal Hız Ölçer)	50
Şekil 7.3: Sazlıdere İçme Suyu Havzası'nda Yağış Ölçer' i n konulduğu bölge.....	51
Şekil 7.4: Sazlıdere İçme suyu Havzası'nda Açık Kanal Hız Ölçer'in konulduğu bölge	52
Şekil 7.5: Yağış Ölçer'in ayaklığı için çimento harçı yapımı	53
Şekil 7.6: Yağış Ölçer'in dengesinin ayarlanması.....	53
Şekil 7.7: Açık Kanal Hız Ölçer'in kurulması.....	54
Şekil 7.8: Yağış Ölçer'den veri alımı	55
Şekil 7.9: Açık Kanal Hız Ölçer'den veri alımı	56
Şekil 7.10: Türkköse Deresi üzerinde dere enkesit alanı ölçümü.....	56
Şekil 7.11: Türkköse Deresi üzerinde dere enkesit alanı.....	57
Şekil 8.1: Sazlıdere Havzası'ndaki havza parçaları ve dere segmanlarının Auto CAD bilgisayar programı ile oluşturulması.....	60
Şekil 8.2: Sazlıdere Havzası'ndaki havza parçaları ve dere segmanlarının EPA SWMM bilgisayar programına aktarılması.....	61
Şekil 8.3: 14-17 Şubat 2010 yağış serisine ait Hiyetograf ve Hidrograf.....	64
Şekil 8.4: 06-09 Mart 2010 yağış serisine ait Hiyetograf ve Hidrograf	65
Şekil 9.1: Sazlıdere Havzası'nda 2010 yılına ait mevcut yerleşim alanı (a) ve 2035 yılına ait tahmin edilen yerleşim alanı (b)	69
Şekil 9.2: Yağış Serisi I için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograflar.....	72
Şekil 9.3: Yağış Serisi I için yerleşim alanına yakın seçilmiş dere üzerindeki bir noktaya ait (Link 50) Hiyetograf ve Hidrograflar.....	73
Şekil 9.4: Yağış Serisi II için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograflar.....	75
Şekil 9.5: Yağış Serisi II için yerleşim alanına yakın seçilmiş dere üzerindeki bir noktaya ait (Link 50) Hiyetograf ve Hidrograflar.....	75
Şekil 9.6: Yağış Serisi III için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograflar.....	78
Şekil 9.7: Yağış Serisi III için yerleşim alanına yakın seçilmiş dere üzerindeki bir noktaya ait (Link 50) Hiyetograf ve Hidrograflar.....	78

Şekil 9.8: Yağış Serisi IV için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograflar.....	81
Şekil 9.9: Yağış Serisi IV için yerleşim alanına yakın seçilmiş dere üzerindeki bir noktaya ait (Link 50) Hiyetograf ve Hidrograflar.....	81
Şekil 9.10: Yağış Serisi V için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograflar.....	84
Şekil 9.11: Yağış Serisi V için yerleşim alanına yakın seçilmiş dere üzerindeki bir noktaya ait (Link 50) Hiyetograf ve Hidrograflar.....	84
Şekil 9.12: Mevcut ve Planlanan dere kesitleri için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hidrograflar	87
Şekil 9.13: Mevcut ve Planlanan dere kesitleri için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hidrograflar	89
Şekil 9.14: Mevcut ve Planlanan dere kesitleri için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hidrograflar	91
Şekil 9.15: Ekim 1978 yılına ait yağış için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograf.....	93
Şekil 9.16: Kasım 1978 yılına ait yağış için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograf.....	94
Şekil 9.17: Temmuz 1995 yılına ait yağış için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograf.....	95
Şekil 9.18: Temmuz 2005 yılına ait yağış için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograf.....	96
Şekil 9.19: Eylül 2009 yılına ait yağış için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograf.....	97
Şekil 9.20 (a): Yağış Serisi I için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Polutograf ve Hidrograflar.....	99
Şekil 20 (b): Yağış Serisi I için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Polutograf ve Hidrograflar.....	99

TABLO LİSTESİ

Tablo 5.1: Mevcut ve gelecekteki ham su kaynakları (İSKİ)	23
Tablo 5.2: İstanbul'da bulunan su arıtma tesisleri ve kapasiteleri (İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu).....	24
Tablo 5.3: Koruma kuşaklarına göre sanayi tesislerinin dağılımı (İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu).....	27
Tablo 5.4: İstanbul'da bulunan su kaynaklarının kirlenme nedenleri (İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu)	29
Tablo 5.5: Sazlıdere Barajı'na ait detaylı bilgi (İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu).....	31
Tablo 6.1: Devlet İstatistik Enstitüsü 2000 Yılı Nüfus, Sosyo- Ekonomik Verileri.....	41
Tablo 6.2: İstanbul İli İçme Suyu Havzaları'nda 1985 – 2000 Yılları arası nüfus artışı (İSKİ,2005)	42
Tablo 6.3: Sazlıdere Havzası mevcut arazi dağılımı (ha) (Akça, 2005).....	43
Tablo 6.4: Sazlıdere Havzası içindeki yerleşimlerin nüfusları (Devlet İstatistik Enstitüsü)	44
Tablo 6.5: Sazlıdere Havzası'nda 2000 yılına ait nüfus dağılımı (Devlet İstatistik Enstitüsü)	45
Tablo 6.6: Sazlıdere Havzası'nda İSKİ havzalar yönetmeliğine göre nüfus dağılımı (İSKİ)	45
Tablo 6.7: Belde belediyelerinin hazırlattığı imar planlarına göre nihai nüfusları ve 2000 yılı nüfusları (İSKİ).....	46
Tablo 6.8: Havza içindeki yerleşimlerin nüfus tahminleri	47
Tablo 7.1: Yükseklikle dere enkesit alanı arasındaki ilişkiyi veren tablo.....	57
Tablo 8.1: Alt havzalar için kalibre edilen parametreler (United States Geological Survey Water-Supply Paper)	62
Tablo 8.2: Açık kanallar (dereler) için kalibre edilen parametreler (U.S. Environmental Protection Agency, 1983)	62
Tablo 8.3: Topraktaki sızma için kalibre edilen parametreler (U.S. Environmental Protection Agency, 1983)	63
Tablo 8.4: Su kalitesi modellemesinde fonksiyonların katsayıları (U.S. Environmental Protection Agency, 1983)	67
Tablo 8.5: Su kalitesi modellemesinde kullanılan fonksiyonların hesaplamasında kullanılan değerler (Tsihrintzis and Hamid, 1998)	68
Tablo 8.6: Su kalitesi modellemesinde fonksiyonların katsayıları (Vassilios A. Tsihrintzis_ and Rizwan Hamid,1998)	68
Tablo 9.1: Grafiklerde ve tablolarda kullanılan bazı kısaltmaların açıklaması	70
Tablo 9.2: Yağış Serisi I için 2010 ve 2035 yıllarına ait mevcut ve planlanan dere kesitleri ile Türkköse Deresi'nin çıkış noktasında oluşan su ve taşkın miktarı ile yüzde değerleri.....	73

Tablo 9.3: Yağış Serisi II için 2010 ve 2035 yıllarına ait mevcut ve planlanan dere kesitleri ile Türkköse Deresi'nin çıkış noktasında oluşan su ve taşkın miktarı ile yüzde değerleri.....	76
Tablo 9.4: Yağış Serisi III için 2010 ve 2035 yıllarına ait mevcut ve planlanan dere kesitleri ile Türkköse Deresi'nin çıkış noktasında oluşan su ve taşkın miktarı ile yüzde değerleri.....	79
Tablo 9.5: Yağış Serisi IV için 2010 ve 2035 yıllarına ait mevcut ve planlanan dere kesitleri ile Türkköse Deresi'nin çıkış noktasında oluşan su ve taşkın miktarı ile yüzde değerleri.....	82
Tablo 9.6: Yağış Serisi V için 2010 ve 2035 yıllarına ait mevcut ve planlanan dere kesitleri ile Türkköse Deresi'nin çıkış noktasında oluşan su ve taşkın miktarı ile yüzde değerleri.....	85
Tablo 9.7: Mevcut ve planlanan dere kesitleri ile % 60 geçirimsiz yüzey için Türkköse Deresi'nin çıkış noktasında oluşan taşkın miktarı ile yüzde değerleri.....	87
Tablo 9.8: Mevcut ve planlanan dere kesitleri ile % 80 geçirimsiz yüzey için Türkköse Deresi'nin çıkış noktasında oluşan taşkın miktarı ile yüzde değerleri.....	89
Tablo 9.9: Mevcut ve planlanan dere kesitleri ile % 100 geçirimsiz yüzey için Türkköse Deresi'nin çıkış noktasında oluşan taşkın miktarı ile yüzde değerleri.....	91

SEMBOL LİSTESİ

Q	: Debi (L^3/T)
A	: Havza Alanı (L^2)
i	: Yağış Şiddeti (L/T)
C	: Akış Katsayısı
S_f	: Hidrolik Eğim (L/L)
S₀	: Kanal Eğimi (L/L)
n	: Manning Sürtünme Katsayısı
R	: Hidrolik Yarıçap (L)
C	: Chezy Katsayısı ($L^{1/2}/T$)
q	: Birim Debi (L^2/T)
y	: Su Derinliği (L)
f	: Sızma Hızı (L/T)
K₁	: Hidrolik İletkenlik (L/T)
c	: Dalga Hızı (L/T)
F	: Toplam Sızma Miktarı (L)
F_s	: Yüzeyin Doygunluğa Ulaşması İçin Gerekli Toplam Sızma (L)
S_u	: Kapiler Basınç (L)
M	: Başlangıç Nem Eksikliği (L/L)
K_s	: Doygun Zemin İçin Hidrolik İletkenlik (L/T)
f₀	: Tamamen Kuru Toprak İçin Sızma Kapasitesi (L/T)
f_∞	: Minimum Sızma Kapasitesi (L/T)
P	: Yağış Miktarı (L)
S	: Potansiyel Maksimum Yağış Tutulması (L)
I_a	: Başlangıçta tutulan yağış miktarı
CN	: Havza Yüzey Akış Eğri Numarası
V	: Reaktör Hacmi (L^3)
C_A	: Reaktördeki A Maddesinin Konsantrasyonu (M/L^3)
C_{Ag}	: A Maddesinin Giriş Konsantrasyonu (M/L^3)
Q_g	: Giriş Debisi (L^3/T)
Q_ç	: Çıkış Debisi (L^3/T)
C_{Aç}	: A Maddesinin Çıkış Konsantrasyonu (M/L^3)
r_A	: A Maddesinin Reaksiyon Oranı (M/LT)
N	: Gelecekteki Nüfus
N_s	: Son Nüfus Sayımına Ait Değer
N_i	: İlk Nüfus Sayımına Ait Değer
t_s	: Son Nüfus Sayımının Yapıldığı Tarih
t_i	: İlk Nüfus Sayımının Yapıldığı Tarih
t	: Nüfusu Tahmin Edilen Yıl
k_a	: Aritmetik Artış Sabiti
k_g	: Geometrik Artış Sabiti

ÖZET

SAZLIDERE HAVZASI'NIN HİDROLOJİK MODELLEMESİ VE SU KALİTESİ TAHMİNİ

İstanbul'un gelecekteki içme suyu ihtiyacının karşılanabilmesi için su kaynaklarının korunması ve geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Yıllık ortalama 55 milyon metreküp su sağlanan Sazlıdere Havzası İstanbul'un önemli içme suyu havzalarından biridir. Sazlıdere Havzası İstanbul'un kentsel sınırları dışında kalan kırsal bir bölge olmasına rağmen bu bölgedeki hızlı nüfus artışı ve bu nüfusun bölgedeki su kaynakları için oluşturduğu tehlike havzayı büyük ölçüde tehdit etmektedir. Ayrıca artan nüfus ile birlikte yerleşim alanlarındaki artış, suyun toplanma süresinde, miktarında ve hızında değişime neden olmaktadır. Meydana gelen bu değişimler sonucu Sazlıdere Havzası'nda oluşabilecek sel ve taşkınların engellenmesi, ayrıca su kalitesinin bozulmasının önlenmesi ve havzadaki su kaynaklarının korunması için özel çözüm yöntemleri araştırılmalıdır. Dolayısıyla, bu çalışma kapsamında Sazlıdere Havzası'nın Environmental Protection Agency Storm Water Management Model (EPA SWMM) (Çevre Koruma Kuruluşu Yağmur Suyu Yönetim Modeli) bilgisayar programı kullanılarak hidrolojik modelinin oluşturulması, havza üzerinde hidrometeorolojik ölçümler yapılması, oluşturulan bilgisayar modeli ile yapılan ölçümler kullanılarak geleceğe yönelik su miktarı hakkında tahminlerde bulunulması ve kontrol stratejilerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, mevcut durum için EPA SWMM ile kurulan kirlilik taşınımı modeli ile su kalitesi hakkında bilgi edinilmiş ve en iyi yönetim uygulamaları (BMP) (Best Management Practice) önerilerinde bulunulmuştur.

SUMMARY

HYDROLOGICAL MODELING AND WATER QUALITY ESTIMATION OF SAZLIDERE WATERSHED

Protecting and improving water resources play an important role in terms of meeting future drinking water demand of Istanbul. Sazlıdere Watershed, which provides an average of 55 million cubic meter of water per year, is one of the most important watersheds of Istanbul. Although there are mainly rural areas within the boundaries of Sazlıdere Watershed, increase in population density in this region is a big threat for the water resources of this watershed. With the increase in population, there is a tendency of change from rural to urban area which results in the alteration of time of concentration, water quantity, and flow rate. Because of these changes, specific solutions need to be investigated to prevent flood, overflow, and degradation of water quality in Sazlıdere Watershed. Therefore, the aims of this study are (i) making a hydrological model of Sazlıdere Watershed by using Environmental Protection Agency Storm Water Management Model (EPA SWMM); (ii) conducting hydrometeorological experiments in the watershed; (iii) predicting water quantity by using the watershed model; (iv) developing control strategies for Sazlıdere Watershed. Moreover, we investigate current condition of water quality by employing a contaminant transport model developed by EPA SWMM and suggest best management practices (BMP) as a solution option.

1. GİRİŞ

Doğal çevrim içerisinde, suyun insanlar tarafından ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan en verimli şekilde sistematik olarak kullanımı su kaynakları yönetimi olarak tanımlanmaktadır (Meriç, 2004). Su kaynaklarının miktar ve kalite açısından yeterli olmaması ve artan nüfus, gelişen sanayi ve tarım faaliyetleri sonucu aşırı kullanımı nedeniyle ortaya çıkan sorunlar su kaynaklarının en iyi şekilde yönetilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, su kaynaklarının korunması ve geliştirilmesi, sistemin sürdürülebilir olması için havza yönetiminin en iyi şekilde yapılması ve havza veriminin değerlendirilmesi gerekmektedir. Havza yönetimi ile birlikte erozyon, sel ve taşkınların önlenmesi, toplumun ihtiyaçlarını karşılayacak miktar ve kalitede su üretilmesi ve havzadaki doğal kaynakların planlanması için çeşitli çalışmaların yapılması amaçlanmaktadır (Özhan 2003). Bu amaçlar doğrultusunda yapılan çalışmalar arasında hidrolojik sistemi etkileyen olayların gözlemlenmesi, gerekli hidrolojik ölçümlerin sistematik olarak yapılması ve uygun bilgisayar programı kullanılarak simülasyon modelinin oluşturulması yer almaktadır. Özellikle hızla gelişen bilişim teknolojisi ile birlikte su kaynakları ve havza yönetiminde matematiksel modellerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Dolayısıyla, hem kentsel hem de kırsal alanlarda yağış sonucu oluşan yüzeysel akışın su kalitesi ve miktarının hidrolojik modellenmesine yönelik literatürde geniş çalışmalar bulunmaktadır (Kazezyılmaz-Alhan ve diğ., 2007). Bu çalışmalar kapsamında kanal akımları ve havzaların modellenmesi, su kaynakları sistemlerinin planlanması ve korunması, geleceğe yönelik risk analizlerinin yapılması ve çözüm önerilerinin oluşturulması için çeşitli bilgisayar modelleri kullanılmıştır.

Su kaynaklarının korunması ve geliştirilmesi bütün dünya için büyük önem taşımaktadır. Özellikle büyük kentlerde kullanılan suyun fazla olması kaynakların önemini daha da arttırmaktadır. Örneğin İstanbul'un yaklaşık bir günlük su ihtiyacı 2 milyon m³ tür (İSKİ). Bu ihtiyacın karşılanabilmesi için çeşitli su kaynakları kullanılmaktadır. Bu kaynaklar arasında Avrupa ve Anadolu Yakası'nda bulunan Alibeyköy Barajı, Terkos Gölü, Büyükçekmece Barajı, Sazlıdere Barajı, Ömerli Barajı,

Elmalı Barajı, Kazandere Barajı, Papuçdere Barajı, Darlık Barajı ve Melen gibi önemli su kaynakları yer almaktadır. Bu kapsamda, ortalama yıllık 55 milyon m³ su sağlanan Sazlıdere Havzası İstanbul'un önemli içme suyu havzalarından biridir (İSKİ). Fakat Sazlıdere Havzası İstanbul'un kentsel sınırları dışında kalan kırsal bir bölge olmasına rağmen bu bölgedeki hızlı nüfus artışı ve bu nüfusun bölgedeki su kaynakları için oluşturduğu tehlike büyük ölçüde havzayı tehdit etmektedir. Bu amaçla Sazlıdere'nin azot ve fosfor yükünü en iyi derecede temsil edeceği düşünülen biri havza sınırları içerisinde, diğeri Küçükçekmece Gölü'ne yakın Sazlıdere üzerinde bulunan iki nokta belirlenmiş ve belirli aralıklarla bu noktalardan numuneler alınarak toplam fosfor ve azot miktarları belirlenmiş ve su kalitesi incelenmiştir (Başer, 2006). Ayrıca artan nüfus ile birlikte yerleşim alanlarındaki değişim, suyun toplanma süresinde, miktarında ve hızında değişime neden olmaktadır. Meydana gelen bu değişimler sonucunda Sazlıdere Havzası'nda oluşabilecek sel ve taşkınların engellenmesi, ayrıca su kalitesinin ve havzadaki su kaynaklarının korunması için havzayı tehdit eden evsel ve endüstriyel atık suların arıtılması için çeşitli öneriler sunulmuştur (Akça, 2005).

Literatürde yağış sonucu oluşan yüzeysel akışın Environmental Protection Agency Storm Water Management Model (EPA SWMM) (Çevre Koruma Kuruluşu Yağmur Suyu Yönetim Modeli) adlı bilgisayar modeli kullanılarak hidrolojik ve su kalitesi modeli örneklerine rastlanmaktadır (Gülbaz ve Kazezyılmaz-Alhan, 2008; Chang ve diğ., 2008). Örneğin İspanya'nın Santander ilinde seçilen bir havza üzerinde yağış sonucu oluşan yüzeysel akış incelenmiş ve çıkış noktasından su numuneleri alınarak Askıda Katı Madde (SS), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Toplam Kjeldahl Azot (TKN) ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar simülasyon modelinin kalibrasyonu ve doğrulanmasında kullanılarak seçilen alana ait bilgisayar modeli oluşturulmuştur (Temprano ve diğ., 2006). Yapılan çalışmalarda oluşturulan modeller, çeşitli metotlar kullanılarak ya da deneme yanılma yöntemiyle kalibre edilmekte (Haiping, Yamada, 1996) daha sonra oluşturulan model doğrulanmaktadır. Bu kapsamda EPA SWMM, su miktarı ve su kalitesi modellemesinde kullanılan literatürde kabul görmüş bir programdır (Tsihrintzis and Hamid, 1998).

Bu tez kapsamında, EPA SWMM programı kullanılarak Sazlıdere Havzası'nın hidrolojik modeli oluşturulmuş, havza üzerinde hidrometeorolojik ölçümler yapılmış,

oluşturulan bilgisayar modeli ile yapılan ölçümler kullanılarak geleceğe yönelik su miktarı hakkında tahminlerde bulunulmuş ve geliştirilebilecek kontrol stratejileri araştırılmıştır. Ayrıca, artan nüfus ile birlikte yerleşim alanlarında meydana gelen değişimin su miktarı ve akış üzerindeki etkisi incelenmiş ve mevcut durum için EPA SWMM ile su kalitesi modellemesi yapılarak ön sonuçlar elde edilmiştir.

2. HİDROLOJİK VE HİDROLİK MODELLEME VE YÜZEYSEL AKIŞ

Günümüzde yağış sonucu oluşan yüzeysel akışın miktarı ve kalitesinin hesaplanabilmesi için birçok model geliştirilmiştir. Bu bölümde literatürde mevcut olan modellerin bir özeti yapılmıştır.

2.1. İSTATİSTİKSEL VE AMPİRİK MODELLER

Yağmur suyu debi ve miktarının belirlenmesinde regresyon modelleri üzerine kurulu olan istatistiksel modeller bulunmaktadır. 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 (Bidwell, 1971).

Regresyon modelleri deterministik modeller için yeterli veri bulunmadığında kullanılan, genel sonuçlar veren modellerdir. API (Antecedent Precipitation Index) regresyon modeli kullanılarak yağmur suyu 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 Metot'tur (Efe, 2006). Rasyonel metot akarsu yapılarının projelendirilmesinde akarsuda ki maksimum debinin belirlenmesinde kullanılır. Alanı A olan bir havzaya düşen i şiddetinde yağışın meydana getireceği maksimum Q debisi şu formülle hesaplanır (Bayazıt, 1999):

$$Q = C i A \quad (2.1)$$

Rasyonel metot akarsu debisinin hesaplanmasında kullanılan en yaygın ve en basit olan metottur.

Burada Q akışa geçen debi (L^3/T), A havza alanı (L^2), i yağış şiddeti (L/T) ve C akış katsayısı olarak tanımlanır.

2.2. DETERMİNİSTİK MODELLER

Deterministik modeller korunum kanunlarını esas almaktadır. Bu kanunlar maddenin (kütlenin) korunumu (süreklilik), enerjinin korunumu ve momentumun korunumu olarak bilinmektedir. Birçok analizlerde tek boyutlu (1D) akış dikkate alınmaktadır. Yağmursuyu drenaj modellerinde kullanılan deterministik modeller hidrolojik veya hidrolik modeller olarak sınıflandırılmaktadır. Hidrolojik modellerin sadece süreklilik denkleminin çözümünü içermelerine karşılık hidrolik modeller süreklilik denkleminin yanında momentum veya enerji denklemlerinden birini daha çözümden kullanırlar. Hidroloji ve hidrolik arasındaki ayrılık modellenen proses ile belirlenir. Örneğin yağış-akış prosesi hidrolojik bir proses olarak tanımlanırken, borulardaki akımlar bir hidrolik 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 denklemi bu akış tanımlanırken çözülmüştür. Dinamik denklemler (momentum ve enerji) ikinci derece öncelikli olarak kabul edilmiştir. Yüzeysel akışın modellenmesinde kullanılan süreklilik ve dinamik denklem takımlarının çözümleri için yeni teknikler çıktıkça ve bilgisayar teknolojisi de işin içine girince bu ayrım çok net olmaktan çıkmıştır.

2.3. KİNEMATİK, DİFÜZYON VE DİNAMİK DALGA MODELLERİ

Kinematik, difüzyon ve dinamik dalga modelleri deterministik modellerdir. Aşağıda her bir model detaylı olarak anlatılmıştır.

2.3.1. Süreklilik Denklemi

Serbest yüzeyli kararsız akım denklemleri, kütle ve momentumun korunumu kanunlarına dayanan süreklilik ve hareket denklemlerinden oluşmaktadır. Kullanılan süreklilik denklemi (Chow, Maidment, Mays, 1988);

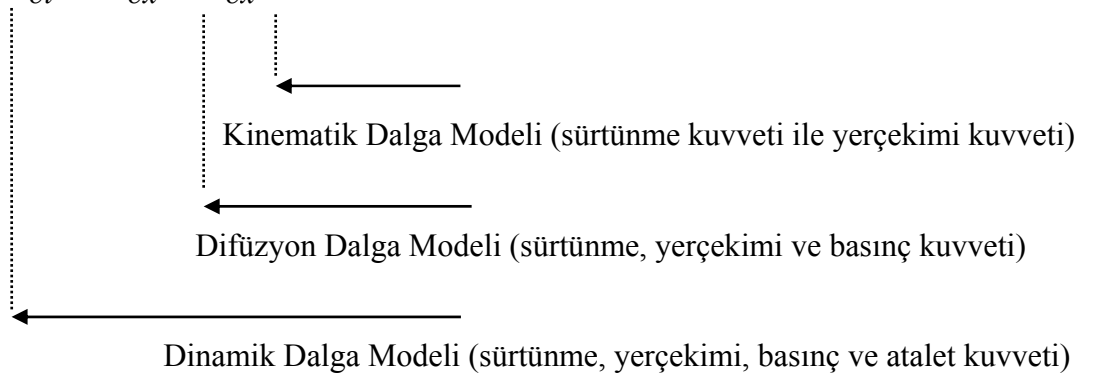
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (2.2)$$

Burada Q debi (L^3/T), x uzunluk (L), A alan (L^2) ve t zaman (T) olarak tanımlanır.

2.3.2. Momentum Denklemi

Yüzeysel akışı hesaplarırken, yağış ve havza girişindeki su kaynakları giriş debisini, sızma, buharlaşma ve yüzeysel akış ise çıkış debisini oluşturmaktadır. Meydana gelen akarsuyun ilerlemesi sırasında basınç, atalet, yerçekimi ve sürtünme kuvveti etkili olmaktadır. Oluşan bu kuvvetlerin hesaplanmasında ve akarsuyun analiz edilmesinde süreklilik ve momentum denklemleri kullanılmaktadır. Akarsuyun ilerlemesinde etkili olan bütün bu kuvvetler dikkate alınarak Kinematik, Difüzyon ve Dinamik Dalga Teoremleri oluşturulmuş ve açık kanallarda ötelenen debi analiz edilmiştir. Aşağıda akım üzerinde etkili olan kuvvetlere göre momentum denklemi ile modellerin sınıflandırılması gösterilmektedir (Chow, Maidment, Mays, 1988).

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial Y}{\partial x} + g(S_f - S_0) = 0 \quad (2.3)$$



Burada V su hızı (L/T), g yerçekimi ivmesi (L^2/T), Y su derinliği (L), S_f hidrolik eğim (L/L) ve S_0 kanal eğimi (L/L), x uzunluk (L) ve t zaman (T) olarak tanımlanır.

Bir akarsuyun ilerlemesi sırasında basınç, atalet, yerçekimi ve sürtünme kuvvetleri etkili olmaktadır. Oluşan bu kuvvetlerin hesaplanmasında ve akarsuyun analiz edilmesinde süreklilik ve momentum denklemlerinden yararlanılarak boru ve kanallarda akımı ötelemek için kinematik, difüzyon ve dinamik dalga öteleme metotları kullanılmaktadır. Akarsuyun ilerlemesinde etkili olan bütün bu kuvvetler dikkate alınarak dinamik dalga teoremi oluşturulmuş ve açık kanallarda ötelenen debi analiz edilmiştir. Literatürde dinamik dalga denklemlerinin çözümü ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Ying ve diğ. 2004; Crossley ve diğ. 2003; Litrico ve Fromion 2004; Dulhoste ve diğ. 2004; Lackey ve Sotiropoulos 2005). Fakat dinamik dalga teoreminde yer alan denklemlerin karmaşık olmasından dolayı bazı varsayımlar yapılarak dinamik dalga denklemlerinden daha pratik olan difüzyon ve kinematik dalga denklemleri elde edilmiştir. Böylelikle denklemler daha sade hale getirilmiş ve hesaplamalarda kolaylık sağlanmıştır. Dinamik Dalga Teoremi'nde bulunan atalet kuvveti ihmal edilerek Difüzyon Dalga Teoremi, buna ek olarak basınç kuvveti ihmal edilerek de kinematik dalga teoremi oluşturulmuştur. Kinematik dalgalar kanal boyunca ilerlerken akıma ters yönde yayılmaz, ancak şekil değiştirir. Ayrıca Kinematik dalga denklemlerinin çözümü için de birçok metot geliştirilmiştir (Kazezyılmaz-Alhan ve Medina, 2007; Lal 1998; Barry ve Bajracharya 1995; Akan ve Yen 1981).

2.3.3. Kinematik Dalga Modeli

Kinematik dalga modelinde süreklilik ve momentum denklemleri birleştirilerek tek bir kısmi diferansiyel denklem halinde ve momentum denkleminde bulunan basınç değişimi ve ivme terimleri ihmal edilerek yazılır. Dinamik öteleme metoduna kıyasla daha basit bir hidrolik öteleme metodu olan kinematik dalga modelinde dinamik dalga modelinin momentum denkleminde yer alan basınç ve atalet kuvvetleri ihmal edilir ve yerçekimi kuvveti ile sürtünme kuvveti birbirini dengeler ($S_f = S_o$). Sonuç olarak kinematik dalga modelinde momentum denklemini $Q = \alpha A^m$ halini alır. Su hızı ile taban eğimi ve sürtünme arasındaki ilişki çoğunlukla Manning veya Chezy formülüyle verilir (Ponce, 1989). Manning Denklemi:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{S_0} \quad (2.4)$$

Chezy Denklemi:

$$V = C\sqrt{RS_0} \quad (2.5)$$

Burada n Manning sürtünme katsayısı, R hidrolik yarıçap (L) ve C Chezy katsayısı ($L^{1/2}/T$) olarak tanımlanır. Kinematik dalga modelinde süreklilik ve momentum denklemleri birleştirilerek tek bir kısmi diferansiyel denklem halinde açık kanallar için aşağıdaki gibi yazılır:

Süreklilik Denklemi

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (2.6)$$

$$S_f = S_0 \quad (2.7)$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \\ Q = \alpha A^m \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\partial A}{\partial t} + \alpha \frac{\partial (A^m)}{\partial x} = 0 \quad (2.8)$$

Burada P ıslak çevre (L) olmak üzere türbülanslı akım için α katsayısı şu şekildedir:

$$\text{Manning:} \quad \alpha = \frac{1}{n} \frac{\sqrt{S_0}}{P^{2/3}} \quad m = \frac{5}{3} \quad (2.9)$$

$$\text{Chezy:} \quad \alpha = C \frac{\sqrt{S_0}}{\sqrt{P}} \quad m = \frac{3}{2} \quad (2.10)$$

Kinematik dalga denklemi tabaka akışı için ise aşağıdaki şekilde verilir:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = i - f \quad (2.11)$$

$$q = \alpha y^m \quad (2.12)$$

Burada q birim debi (L^2/T), y su derinliği (L), i yağış şiddeti (L/T), f sızma hızı (L/T), t zaman (T) ve x kanal boyunca olan uzunluk (L) olarak tanımlanır. Kinematik Dalga

Modeli için analitik ve nümerik çözüm yöntemleri bulunmaktadır (Chow, Maidment, Mays, 1988).

2.3.4. Difüzyon Dalga Modeli

Difüzyon dalga modeli için süreklilik ve momentum denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = i - f \quad (2.13)$$

$$g \frac{\partial Y}{\partial x} + g(S_f - S_0) = 0 \quad (2.14)$$

$$S_f = S_0 - \frac{\partial Y}{\partial x} \quad (2.15)$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2} \quad (\text{Manning}) \rightarrow V = \frac{1}{n} y^{2/3} (S_0 - \frac{\partial Y}{\partial x})^{1/2} \rightarrow V = \frac{1}{n} y^{m-1} (S_0 - \frac{\partial Y}{\partial x})^{1/2} \quad (2.16)$$

$$q = Vy = \frac{1}{n} y^{5/3} (S_0 - \frac{\partial Y}{\partial x})^{1/2} \rightarrow q = \alpha y^m \quad m=5/3 \rightarrow \alpha = \frac{1}{n} \sqrt{S_0 - \frac{\partial Y}{\partial x}} \quad (2.17)$$

Burada n Manning sürtünme katsayısı ($T / L^{1/3}$), R hidrolik yarıçap (L), q birim debi (L^2/T), y su derinliği (L), i yağış şiddeti (L/T), f sızma hızı (L/T), t zaman (T) ve x kanal boyunca olan uzunluk (L), g yerçekimi ivmesi (L^2/T), S_f hidrolik eğim (L/L) ve S_0 kanal eğimi (L/L) olarak tanımlanır.

Yukarıdaki denklem takımı birleştirilince ikinci dereceden tek bir kısmi diferansiyel denklem ifade edilir:

$$c \frac{\partial Y}{\partial x} - K_1 \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} + \frac{\partial Y}{\partial t} = i - f \quad (2.18)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial t} + c \frac{\partial Y}{\partial x} = K_1 \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} + (i - f) \quad (2.19)$$

Burada K_1 hidrolik iletkenlik (L/T), c dalga hızı (L/T) olarak verilmiştir.

Difüzyon Dalga Modeli için analitik ve nümerik çözüm yöntemleri bulunmaktadır (Eagleson, 1970).

2.3.5. Dinamik Dalga Modeli

Saint Venant denklemleri olarak da bilinen dinamik dalga denklemleri tabaka akışı ve akarsu ötelenmesi çözümünde kullanılır ve süreklilik ve momentum denklemlerinden oluşan dinamik dalga denklemleri şu şekildedir (Eagleson, 1970):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (\text{Süreklilik Denklemi}) \quad (2.20)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial Y}{\partial x} + g(S_f - S_0) = 0 \quad (\text{Momentum Denklemi}) \quad (2.21)$$

Burada Q debi (L^3/T), A akış kesiti (L^2), g yerçekimi ivmesi (L^2/T), V su hızı (L/T), Y su derinliği (L), S_f hidrolik eğim (L/L) ve S_0 kanal eğimi (L/L), x uzunluk (L) ve t zaman (T) olarak tanımlanır. Dinamik Dalga Modelinin sadece nümerik çözüm yöntemleri bulunmaktadır (Eagleson, 1970).

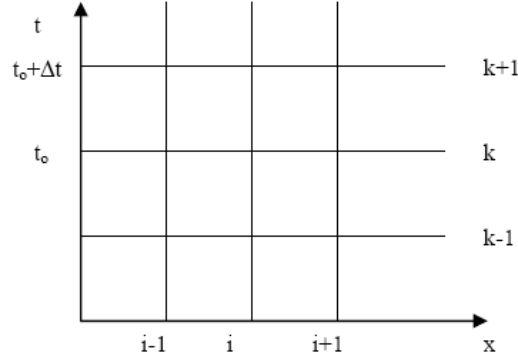
2.3.6. Kinematik, Difüzyon ve Dinamik Dalga Denklemlerinin Çözümü

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 memba ve mansap kesitlerinde sınır şartlarının (hız veya su seviyesi) bilinmesi gerekmektedir. Genellikle akım hızı (veya debi) kanalın memba 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 Δx uzunluktaki eşit parçalara ayrılır. Her parçanın sonu hesaplanacak olan düğümler veya ağ noktalarıdır. Kanal N parçaya ayrılır ve ilk düğüme memba kesitine 1 numarası verilirse, mansaptaki son düğüm N+1 olur. Hesaplamalar bu zaman aralıklarında yapılır. Şekilde görülen x-t düzlemi hesap ağı olarak isimlendirilir. Sonlu farklar şeması iki farklı şema kullanılarak çözümlenebilir.



Şekil 2.1: 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 ağ noktalarındaki bilinenler temel 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 birçok farklı yöntemle oluşturulabilir. Ayrıca şemadaki ağ noktalarının ve her bir ağ noktasındaki bağımlı değişkenlerin sayısına ve kullanılan katsayılara 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).

1. Prerissmann tipi şema; her ağ noktasında iki bağımlı değişken ve konum yönünde iki ağ noktası (ayrık olmayan ağ)
2. Abbot – Ionescu tipi şema; her ağ noktasında bir bağımlı değişken ve konum yönünde üç ağ noktası (ayrık ağ)
3. Vasiliev tipi şema; her ağ noktasında iki bağımlı değişken ve konum yönünde üç ağ noktası (ayrık olmayan ağ)

2.4. TOPRAĞA SIZAN SU MİKTARININ HESAPLANMASI

Yeryüzüne düşen yağışın bir kısmı yerçekimi, kapiler ve moleküler gerilmeler etkisiyle toprak yüzeyinden zeminin içine doğru süzülür, bu olaya sızma (*infiltrasyon*) denir. Sızan su önce zemin nemini artırır ve yüzey altı akışını meydana getirir, geriye kalanı da derinlere sızarak yer altı suyuna karışır. Sızma hem yüzeysel akış miktarını bir kayıp şeklinde etkilemesi, hem de zemin nemini meydana getirmesi ve yer altı suyunun en önemli kaynağı olması bakımından önem taşır. Bu bakımdan zemine sızan su miktarının hesabı büyük önem taşır (Bayazıt,1999). Toprağa sızan suyun hesaplanmasında çeşitli metotlar mevcuttur.

2.4.1. Green-Ampt Sızma Metodu

Yeşil ve sulak alan modellerinde sızmayı hesaplamak için Green-Ampt metodu kullanılır ve denklemi şu şekilde verilir:

$$\underline{F < F_s \text{ için: } i > K_s \text{ ise } F_s = \frac{S_u M}{i / K_s - 1}, i \leq K_s \text{ ise } f = i \text{ ve } F_s \text{ hesaplanmaz.}} \quad (2.22)$$

$$\underline{F \geq F_s \text{ için: } f = f_p \text{ ve } f_p = K_s \left(1 + \frac{S_u M}{F} \right)} \quad (2.23)$$

Burada f sızma hızı (L/T), f_p sızma kapasitesi (L/T), i yağış şiddeti (L/T), F toplam sızma miktarı (L), F_s yüzeyin doyumluğa ulaşması için gerekli toplam sızma (L), S_u kapiler

basınç (L), M başlangıç nem eksikliği (L/L) ve K_s doymun zemin için hidrolik iletkenlik (L/T) olarak verilmiştir.

2.4.2. Horton Sızma Metodu

Genellikle yerleşim alanlarının olduğu bölgelerde sızmayı hesaplamak için Horton metodu kullanılır ve denklemini şu şekilde verir:

$$f = f_{\infty} + (f_0 - f_{\infty})e^{-\alpha t} \quad (2.24)$$

Burada f sızma hızı (L/T), f_0 tamamen kuru toprak için sızma kapasitesi (L/T), f_{∞} minimum sızma kapasitesi (L/T) olarak verilmiştir.

2.4.3. SCS Eğri Numarası Sızma Metodu

SCS Metodu (Curve Number Method, SCS CN) sızmanın hesaplanması için de kullanılan bir metottur (Usul, 2005). Bu metot Amerika Birleşik Devletleri Toprak Muhafazası Kurumu (Soil Conservation Service, SCS) tarafından geliştirilen ‘‘Yüzey Akışı Eğri Numarası Yöntemi’’ (Curve Number Method, SCS CN) bütün faktörlerin dikkate alınarak oluşturulduğu ve dünyada yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (SCS, 1956; 1971). Ayrıca yöntemin kullanılmasında uyumlu değişikliklere gidilmiştir (Boonstra, 1994). Bu yöntem ile yüzey akışı miktarının güvenli bir şekilde hesaplanmasında en önemli husus yüzey akışı eğri numarasının (CN) belirlenmesidir (Istanbulluoglu, Albut, Konukcu, Sener, Kocaman, 2007).

Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Toprak Muhafazası Kurumu (Soil Conservation Service, SCS) tarafından geliştirilen ‘‘Yüzey Akışı Eğri Numarası Yöntemi’’ne (Curve Number Method, SCS-CN) göre düşen yağış ile yüzey akışı arasında bir ilişki mevcuttur.

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \quad (2.25)$$

Burada, F sızma miktarı (mm), S potansiyel maksimum yağış tutulması (mm); Q yüzey akışı miktarı (mm); P yağış miktarı (mm) ve I_a başlangıçta tutulan yağış miktarı (mm) olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca süreklilik prensibinden;

$$P = Q + I_a + F \quad (2.26)$$

eşitliği yazılabilir. Burada başlangıçta tutulan yağış miktarının,

$$I_a = 0.2 S \quad (2.27)$$

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (2.28)$$

eşitliği elde edilmektedir.

Eşitlikte yer alan potansiyel maksimum yağış tutulması, aşağıdaki eşitlik kullanılarak havza yüzey akış eğri numarasından hesaplanmıştır.

$$S = \frac{2540}{CN} - 25.4 \quad (2.29)$$

Havza yüzey akış eğri numarası (CN), havzaya ait toprak, topografya, arazi kullanma, bitki örtüsü, ekim şekli ve toprak koruma önlemlerinin dikkate alınarak belirlendiği, 0 ile 100 arasında değişen bir sayıdır. Yüzey akışı hesaplanan yağış öncesi 30 gün içerisinde düşen yağış miktarı 36–53 mm arasında olması CN II, bundan küçükse CN I ve büyükse CN III olmaktadır (Boonstra, 1994). Önceki 30-günlük toprak nem içeriğinin bir diğerine dönüştürülmesinde aşağıdaki eşitlikler kullanılmaktadır (SCS, 1975; Chow et al., 1988).

$$CN I = \frac{4.2 CN II}{10 - 0.058 CN II} \quad (2.30)$$

$$CN III = \frac{23 CN II}{10 + 0.13 CN II} \quad (2.31)$$

3. SU KALİTESİ MODELLEMESİ

3.1. EPA SWMM İLE KİRLİLİK TAŞINIMI MODELLEMESİ

Su kalitesi ötelemesi, kirlilik taşınımını modeller ve akımın iletildiği kanalları bir reaktör olarak varsayar. Bu varsayım üzerine, su kalitesinin hesabı Kesikli Reaktör, Piston Akımlı Reaktör ve Tam Karışımli Reaktör fonksiyonlarıyla ifade edilir. Üç fonksiyonda öteleme zaman aralıkları aynı seçildiğinde çok yakın sonuçlar vermektedir. Nehir, göl, rezervuar gibi su yapılarının modellemesinde sıkça tercih edilen ve EPA SWMM’de kullanılan öteleme metodu tam karışımli reaktördür. Üç tip reaktör çeşidinin denklemleri aşağıda verilmiştir

3.1.1. Tam Karışımli Reaktör Denklemi

Tam Karışımli Reaktör denklemi şu şekildedir;

$$\frac{d(VC_A)}{dt} = Q_g.C_{Ag} - Q_ç.C_{Aç} \quad (3.1)$$

Burada V , reaktör hacmi, (L^3); C_A reaktördeki A maddesinin konsantrasyonu, (M/L^3); C_{Ag} , A maddesinin giriş konsantrasyonu, (M/L^3); Q_g , giriş debisi, (L^3/T); $Q_ç$ çıkış debisi, (L^3/T); $C_{Aç}$ A maddesinin çıkış konsantrasyonu, (M/L^3) olarak tanımlanır.

3.1.2. Kesikli Reaktör Denklemi

Kesikli Reaktör denklemi şu şekildedir;

$$V \cdot \frac{dC_A}{dt} = r_A \cdot v \quad (3.2)$$

Burada V reaktör hacmi (L^3), C_A reaktördeki A maddesinin konsantrasyonu (M/L^3), v reaksiyon hızı (L/T), r_A A maddesinin reaksiyon oranı (M/LT) olarak tanımlanır.

3.1.3. Piston Akımlı Reaktör Denklemi

Piston Akımlı Reaktör ise şöyledir;

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} \Delta V = (Q \cdot C_A)_x - (Q \cdot C_A)_{x+\Delta x} \pm r_A \Delta V \quad (3.3)$$

Burada ΔV hacim değişikliği (L^3), r_A A maddesinin reaksiyon oranı (M/LT), v reaksiyon hızı (L/T) olarak tanımlanır.

3.2. ARAZİ KULLANIMI

EPA SWMM, istenilen sayıda farklı kirletici maddenin taşınımını modelleyebilmektedir. Bu modelleme her bir arazi parçası için ayrı ayrı yapılabilir. Arazi kullanımı opsiyonu ile havza modelindeki havza parçalarının, arazi türlerini ve gelişme gösterdikleri yerleşim türünü tanımlamak mümkündür. Mesela çalışılan havza üzerinde yaşam alanı, endüstriyel alan, tarım alanı v.s. tanımlanabilir. Bu şekilde toprağın üzerindeki kirlilik maddesi birikimi ve yıkanmasının arazi türüne göre değişimi ve bunun sonuca etkisi gerçeğe en yakın şekilde modellenmiş olur.

Her arazi türü için kirliliğin birikme ve yıkanmasının modellenmesi gerekir. Kirlilik Birikimi Fonksiyonu, kuru havalarda yüzeyde biriken kirliliği hesaplar. Kirlilik Yıkınımı Fonksiyonu ise yağışlı günlerde yüzeyde oluşan yüzeysel akışla sürüklenen kirliliği hesaplar. Böylelikle arazi türleriyle kirletici maddeler ve su kaynakları etkileşimi sağlanabilmektedir.

3.2.1. Kirlilik Birikimi

Kirlilik Birikimi üç farklı fonksiyon ile tanımlanır.

3.2.1.1. Kuvvet Fonksiyonu

Bu fonksiyonda, birikme (B), maksimum sınıra erene kadar geçen sürede orantılı olarak artış gösterir:

$$B = \min (C_1, C_2 t^{C_3}) \quad (3.4)$$

Burada C_1 mümkün olan maksimum birikme miktarı, C_2 sabit birikme değeri ve C_3 zaman katsayısı olarak tanımlanır.

3.2.1.2. Üssel Fonksiyon

Birikme fonksiyonu üssel bir artış olarak ilerler ve maksimum sınıra ulaşır. Denklem şu şekildedir:

$$B = C_1(1 - e^{-C_2 t}) \quad (3.5)$$

Burada C_1 mümkün olan maksimum birikme miktarı, C_2 sabit birikme değeri ($1/T$) olarak tanımlanır.

3.2.1.3. Doygunluk Fonksiyonu

Bu fonksiyonda, birikme lineer bir değerle başlar ve doygunluk değerine ulaşınca kadar azalır. Denklem şu şekildedir:

$$B = (C_1 t) / (C_2 + t) \quad (3.6)$$

Burada C_1 mümkün olan maksimum birikme miktarı, C_2 yarı doygunluk sabiti (maksimum birikmenin yarısına kadar geçen gün sayısı) olarak tanımlanır.

3.2.2. Kirlilik Yıkanımı

Yıkanma, belirlenen arazi türü için yağışlı havalarda meydana gelmektedir ve aşağıda verilen fonksiyonlardan biri ile hesaplanabilmektedir. Kirlilik Yıkanımı üç tür fonksiyon ile tanımlanır.

3.2.2.1. Üssel Fonksiyon

$$W = C_1 q C_2 B \quad (3.7)$$

Burada C_1 yıkanma sabiti, C_2 yıkanma üssü, q birim alan için akış değeri (L/T) ve B kirlilik birikmesi (M) olarak tanımlanır.

3.2.2.2. Yıkanma Sınıflandırma Eğrisi Fonksiyonu

$$W = C_1 Q^{C_2} \quad (3.8)$$

Burada C_1 yıkanma sabiti, C_2 yıkanma üssü ve Q seçilen akış birimindeki akış miktarı olarak tanımlanır.

3.2.2.3. Ortalama Kirlilik Konsantrasyonu Fonksiyonu

$$W = C_1 D \quad (3.9)$$

Ortalama Kirlilik Konsantrasyonu Fonksiyonu $W = C_1 \cdot Q^{C_2}$ formülü ile hesaplanmaktadır. Burada C_1 yıkanma sabiti, C_2 yıkanma üssü ve Q seçilen akış birimindeki akış debisi olarak tanımlanmaktadır. Fakat C_2 yıkanma üssünün 1 alınması durumunda fonksiyon $W = C_1 \cdot D$ olarak gösterilmektedir. Aynı şekilde D akış debisi olmaktadır.

4. EPA SWMM BİLGİSAYAR PROGRAMI

Hidroloji alanında kullanılan bilgisayar modelleri Stanford Watershed Model ile başlamış ve sonrasında yağmurun akışa geçen miktarını ve kalitesini modelleyerek simülasyonunu yapabilen yazılımlar 1970'li yılların başlarında Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US-Environmental Protection Agency) tarafından hazırlanarak kullanılmaya başlanmıştır. Yıllar içinde daha pek çok, çeşitli komplekslikte hidrolik ve hidrolojik modeller geliştirilmiştir (Zoppou, 1999). Geliştirilen bu modellerden birisi "Environmental Protection Agency Storm Water Management Model (EPA SWMM)" Çevre Koruma Kuruluşu Yağmur Suyu Yönetim Modeli'dir.

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 yağmur suyu yüzeysel akış modeli deterministik modeldir (Zoppou, 1999).

4.1. HİDROLOJİK MODELLEME

Environmental Protection Agency Storm Water Management Model, EPA SWMM, yağmur suyu sonucu oluşan yüzeysel akışın dinamik simülasyonunu yapan bir bilgisayar programıdır. Süreksiz (örneğin bir günlük) veya sürekli (örneğin bir senelik) yağış sonucu oluşan yüzeysel akışın su miktarını ve su kalitesini modeller. SWMM programı ilk olarak 1971 yılında oluşturulmuş ve günümüze gelen süreç içerisinde zamanla geliştirilmiş deterministik bir modeldir. Dünyada yaygın olarak, plan, analiz ve yağış ile oluşan akışın kontrolü, kentsel alanlarda kanalizasyon sistemleri ve tüm bunlara benzer diğer drenaj yolu ve açık kanal akımlarının modellenmesi için kullanılır (Huber and Dickinson, 1988, Rossman; 2005).

EPA SWMM yağmur verilerini kullanarak havza parçaları üzerinde oluşan yüzeysel akışı hesaplar. Daha sonra yüzeysel akışı boru, açık kanal, hazne, su deposu ve pompa gibi elemanların bulunduğu taşıma sisteminin içerisinde öteletir. EPA SWMM, havza sisteminde bulunan her havza parçası üzerinde oluşan yüzeysel akışın miktarını ve kalitesini, her boru ve kanal içinde oluşan akımın debisini, derinliğini ve kirlilik konsantrasyonunu hesaplar. Havzanın eğimi, havza üzerindeki akış yönü, havzanın geçirimsizliği, borular ve kanalların uzunluğu, yüksekliği, eğimi, en kesiti vb. havza sistemini karakterize eden bilgiler ve hiyetrograf (yağış şiddetinin zamana göre değişimi) EPA SWMM programına girdi olarak verilir; hidrograf (debinin zamana göre değişimi) ve polutograf (konsantrasyonun zamana göre değişimi) ise program çıktısı olarak elde edilir.

EPA SWMM içerisinde yapılan yüzeysel akış ve debi hesapları, kütle, momentum ve enerji korunumu prensiplerine dayanır. Yüzeysel akışı hesaplarırken, yağış ve havza girişindeki su kaynakları giriş debisini, sızma, buharlaşma ve yüzeysel akış ise çıkış debisini oluşturur. Boru ve kanallarda akımı ötelemek için üniform akım, kinematik ve dinamik dalga öteleme seçenekleri vardır. Üniform akım en basit öteleme metodudur ve debi ile derinlik arasındaki ilişki Manning denklemi ile verilir. Kinematik dalga denklemi ise momentum denkleminde bulunan basınç değişimi ve ivme terimlerinin ihmal edilerek yazılmış halidir. Dinamik dalga ile ötelemede ise St. Venant denklemleri olarak bilinen denklem takımı çözümlenerek elde edilir. EPA SWMM programında sızma hesabı için Entegre Horton Metodu, Green-Ampt Metodu veya SCS Eğri-Numarası Metodu olmak üzere üç farklı opsiyon vardır.

4.2. SU KALİTESİ MODELLEMESİ

EPA SWMM su kalitesi ötelemesini tam karışımli reaktör denklemi ile hesaplar. EPA SWMM içerisinde noktasal ve noktasal olmayan kirleticiler tanımlanabilmektedir. Noktasal olmayan kirleticileri tanımlayabilmek için her havza parçası içinde arazi kullanımı ve her arazi kullanımına ait kuru havalarda yüzeyde biriken kirliliği hesaplayacak Kirlilik Birikimi Fonksiyonu ile yağışlı günlerde yüzeyde oluşan yüzeysel akışla sürüklenen kirliliği hesaplayacak Kirlilik Yıkınımı Fonksiyonu oluşturulur. EPA

SWMM'de noktasal kirleticiler ise tek bir noktadan anlık veya sürekli kaynak olarak tanımlanır. EPA SWMM, istenilen sayıda farklı kirletici maddenin taşınımını modelleyebilmektedir. Bu modelleme her bir arazi parçası için ayrı ayrı yapılabilir. Arazi kullanımı opsiyonu ile havza modelindeki havza parçalarının, arazi türlerini ve gelişme gösterdikleri yerleşim türünü tanımlamak mümkündür. Mesela çalışılan havza üzerinde yaşam alanı, endüstriyel alan, tarım alanı v.s. tanımlanabilir.

5. İÇME SUYU KAYNAKLARI VE SAZLIDERE HAVZASI

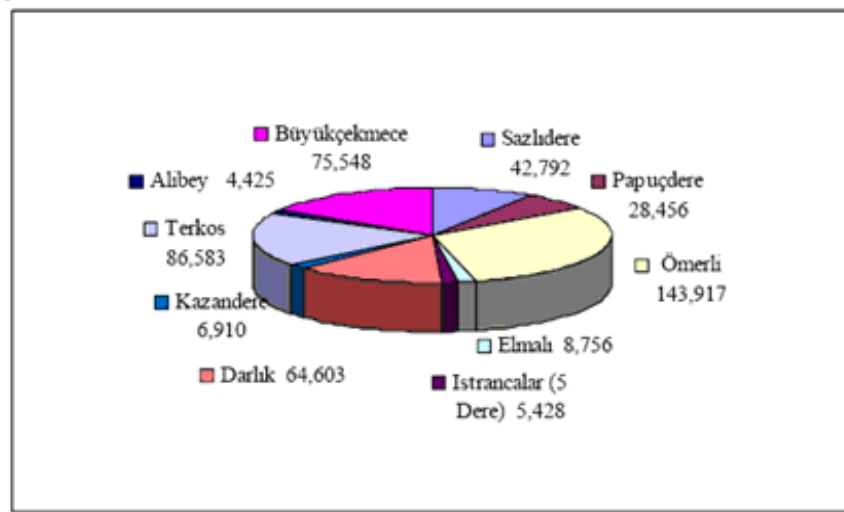
5.1. İSTANBUL'UN İÇME SUYU KAYNAKLARI

Türkiye'nin en büyük kenti olan İstanbul'da kentsel alanların çok hızlı bir şekilde genişlemesi, plansız yapılaşma ve sanayileşmeye ve bunun sonucunda da su rezervuarlarının ve yer altı sularının hızla kirlenmesine sebep olmuştur. Hızla artan nüfusa sınırlı su rezervuarlarıyla, su temin etmede problemlere yol açmıştır. 2004 yılı itibarı ile İSKİ tarafından İstanbul'a günde ortalama 1.800.000 m³ su verilmekte olup, su verme kapasitesi ise yaklaşık 3.000.000 m³ tür (İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu).

İstanbul'un içme suyu kaynakları, Anadolu yakasında; 859 km² su toplama alanı ile İstanbul'a en fazla su sağlayan ve diğer kaynaklar arasındaki toplam payı % 31.8 olan Ömerli Barajı, 85 km² su toplama alanına sahip ve İstanbul'a % 2.6 oranında su sağlayan Elmalı Barajı (Seddeleri) ve % 16.5 oranında su sağlayan Darlık havzası yer almaktadır. İstanbul'un Avrupa yakasında ise 619 km² su toplama alanına sahip ve sağlanan suyun % 22.2'sini sağlayan Terkos Gölü, 620 km² havza alanına sahip ve şehir içme suyunun % 17'sini sağlayan Büyükçekmece Gölü, 170 km² havza alanına sahip ve şehrin içme suyunun % 6.6'sını karşılayan Alibeyköy Barajı ve 165 km² havza alanı ile Sazlıdere Havzası bulunmaktadır. Ayrıca Istranca dereleri üzerine 7 adet su kaynağı (Pabuçdere Barajı, Kazandere Barajı, Sultanbahçedere Barajı, Elmalıdere Regülatörü, Büyükdere Barajı, Kuzuludere Barajı ve Düzdere Göleti) kurulmuştur (İSKİ). Belirtilen bu su kaynaklarına ait arıtım tesisleri Tablo 5.2 de yer verilmiştir. Ayrıca Şekil 5.1 ve Tablo 5.1 de su kaynakları ile ilgili durum özetlenmiştir.

Tablo 5.1: Mevcut ve gelecekteki ham su kaynakları (İSKİ).

KAYNAK	Ortalama Giren Akım (10 ⁶ m ³ /yıl)	Rezervuar Hacmi (10 ⁶ m ³)	Emniyetli Su Verimi (10 ⁶ m ³ /yıl)
Avrupa Yakası			
Terkos Gölü	162.7	145	142
Alibeyköy Barajı	67.4	35	36
Büyükçekmece Barajı	108.8	162	70
Sazlıdere Barajı	49.2	61	55
Istranca 1. ve 2. Kademe	235.2	146	181
Istranca 3. ve 4. Kademe	129.7	128	100
Küçükçekmece Gölü	37.3		30
Asya Yakası			
Elmalı Barajı	14.1	10	15
Ömerli Barajı	242.3	235	220
Darlık Barajı	96.4	107	97
Kirazdere Barajı	151.8	55	20
Yeşilçay Regülatörü	168.4		145
Büyük Melen	1373.5	1046	1687



Şekil 5.1: İstanbul'un su kaynaklarının miktarlarına göre dağılımı (İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu)

Tablo 5.2: İstanbul'da bulunan su arıtma tesisleri ve kapasiteleri (İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu)

Tesisler	Kapasite (m ³ /yıl)	Planlanan Kapasite (m ³ /yıl)	Kaynak Havzaları	Notlar
Büyükçekmece	400 000	-	Büyükçekmece	Tesis çıkışı mansaptaki iletim hatları tarafından 280 000 m ³ /gün ile sınırlıdır.
Kağıthane	500 000	650 000	Istranca, Terkos, Alibeyköy	Kapasite artırılmış su kalitesi ile sınırlıdır. Hidrolik maksimum kapasite 800 000 m ³ /gündür.
İkitelli (FSMH)	400 000	1 050 000	Istranca, Terkos, Sazlıdere	Ham su iletim sistemlerinin tamamlanması beklenmektedir.
Ömerli	1 070 000	350 000 m ³ /gün kapasiteli 4 ünite ilavesi Yeşilçay ünitesi 500 000 kapasiteli ünite	Ömerli, Darlık	
Elmalı	15 000	50 000	Elmalı	Kapasite ham su kalitesi ile sınırlıdır. Maksimum 50 000 m ³ /gün dür.

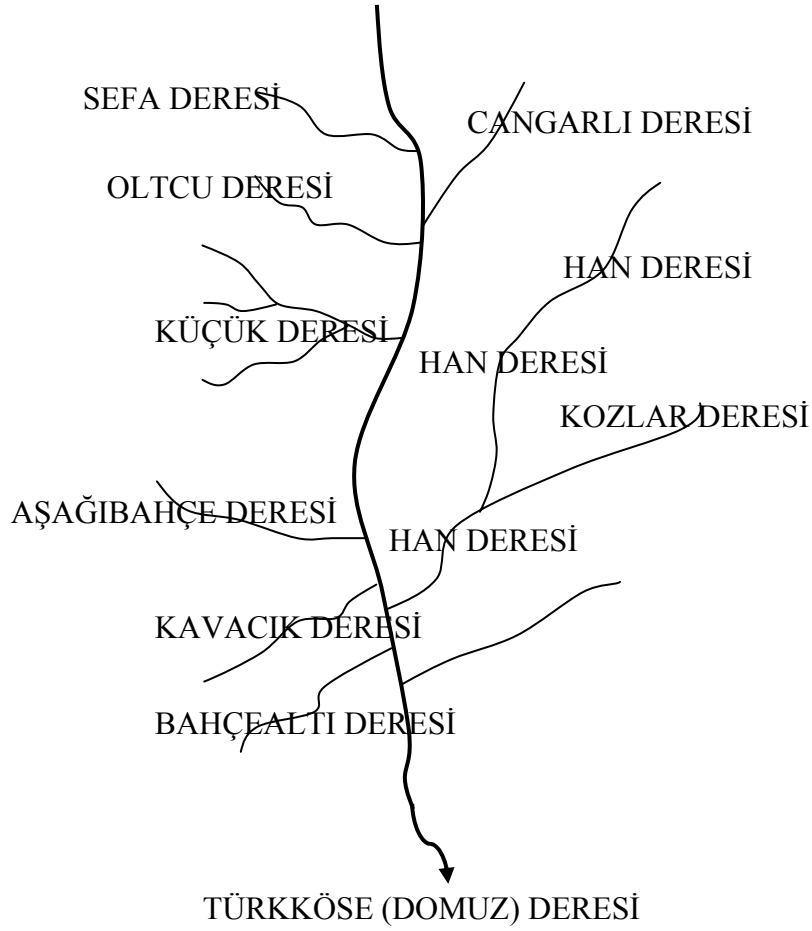
5.2. DOĞAL DRENAJ SİSTEMLERİ-İÇME SUYU HAVZALARINDA BULUNAN DERELER (AKARSULAR)

İstanbul metropoliten alanı içerisinde bulunan akarsuların gerek uzunlukları gerekse havzaların büyüklükleri çok farklıdır. Bunlar Terkos Havzası, Sazlıdere Havzası, Büyükçekmece Havzası, Elmalı Havzası, Ömerli Havzası ve Darlık Havzasıdır. İçerisinde akarsularla beslenen göl, gölet ve barajlar bulunan söz konusu havzaların

ölçümleri düzenli olarak gerçekleştirilmektedir. Derelerin su kapasiteleri DSİ 14. Bölge Müdürlüğüne, tespit edilmiş ölçüm istasyonlarında periyodik ölçümlerle belirlenmektedir. Derelerin debileri düşük ve düzensizdir. Derelerin bazılarında yazın kuruma görülmektedir.

Sazlıdere Havzası'nda bulunan ve barajı besleyen ana dereler Kanlıgil Deresi, Derbent Deresi, Baklalı Deresi, Boyalık Deresi, Dursunköy Deresi, Mandıra Deresi, Kaldırım çoban Deresi ve Türkköse Deresi'dir. Havzada bulunan bu dereler arasında Domuzdere olarak da bilinen Türkköse Deresi geniş bir su toplama alanına sahip olmakla birlikte bugün itibariyle bölgedeki yerleşim yerlerinden gelen atık sular sebebiyle ciddi boyutlarda kirliliğe maruz kalmaktadır. Bu sebeple, Türkköse Deresi'nin Sazlıdere Baraj Gölü'ne taşıdığı su, atık su kanalı ile havzanın dışında bir bölgeye aktarılarak göle ulaşması engellenmekte ve su kaynaklarının kaybolmasına sebep olmaktadır. Bu durum, havzanın diğer alanları için de tehlike oluşturmaktadır (İBB).

Bu tez çalışmasında modellenecek bölge Sazlıdere Havzası'nın Türkköse deresini besleyen kısmı ile Şekil 5.2'de gösterilen Türkköse Deresi ve bu dereye bağlanan yan kollar sırası ile Sefa Deresi, Cangarlı Deresi, Oltcu Deresi, Küçük Deresi, Aşağıbahçe Deresi, Han Deresi, Kozlar Deresi, Kavacık Deresi ve Bahçealtı Deresi'dir.



Şekil 5.2: Türkköse Deresi ve bu dereye bağlanan yan kollar

5.3. AKARSULARDA (İÇME SUYU HAVZALARINDA BULUNAN DERELERDE) KİRLİLİK

İstanbul Metropoliten alanı kullanma ve içme suyunu yüzeysel sulardan sağlamaktadır. Bu kaynaklar günümüzde hizmette olan göl ve barajlardan oluşmaktadır. Havzalar yaklaşık 250 km uzunluğunda, 100 km genişliğinde bir alanın içerisinde yer almaktadır. İçme suyu havzaları içerisinde 101 yerleşim alanı bulunmaktadır. (T.C. Çevre Bakanlığı–1995)

Tablo 5.3 incelendiğinde su havzalarında yer alan toplam 1663 sanayi tesisinin 41 adedi göl, 515 adedi dere alanında olmak üzere toplam 556 adet sanayi tesisinin mutlak koruma bandında yer aldığı görülmektedir.

Tablo 5.3: Koruma kuşaklarına göre sanayi tesislerinin dağılımı (İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu)

	GÖL				DERE		
	Mutlak	Kısa	Orta	Uzak	Mutlak	Kısa	Toplam
Terkos	1	2		6	7	1	17
Alibeyköy	6	6	14	247	216	64	553
Büyükçekmece	16	23	13	77	60	68	257
Elmalı	5		1	78	36	40	160
Ömerli	3	5	10	226	156	133	533
Sazlıdere	10	7	7	43	40	36	143
Toplam	41	43	45	677	515	142	1663

Bu tesislerin koruma bandında bulunmaması gerekirken faaliyetlerine devam etmeleri sorunları daha da artırmaktadır. Tesislerden yarısından fazlası dere ve baraj mutlak koruma bandında olması sebebiyle kirlenme boyutlarını arttırmaktadır.

İçme suyu havzalarında plansız bir şekilde yapılaşan yerleşimler de mevcuttur. İçme suyu havzalarında bulunan toplam nüfusun % 38'inin bulunduğu Ömerli havzasında nüfus artışının en önemli nedeni Sultanbeyli yerleşimidir. Avrupa yakasında nüfus artışı az ancak Alibeyköy ve Sazlıdere Havzaları'nda bu artış oldukça fazladır.

Ayrıca bu havzalarda bulunan hayvansal atık üreten çiftliklerde dereler ve barajlarda kirlilik yükünü daha da arttırmaktadır. Tarımsal etkinliklerin fazla olduğu bölgelerde aşırı ve bilinçsiz suni gübre kullanımı, söz konusu kirlenmeyi fazlaştırmaktadır. Bazı havzalarda bulunan çöp alanlarından kaynaklanan sızıntı suları dereler ve yer altı sularını olumsuz etkilemektedir. Açık maden işletmeciliği yapılan havzalarda bitki örtüsü, topoğrafik yapı ve su kalitesi zarar görmektedir. Havzalarda eğime göre toprak erozyonu da görülmektedir. Özellikle Elmalı ve Ömerli havzalarının erozyona duyarlı oldukları tespit edilmiştir.

Havzalarda olumsuz etki yapan diğer bir önemli faktörde havzaların çevresinden geçen karayollarından geçen kirletici emisyonlarıdır. Araçların geçişleri özellikle NOX, HC, CO ve kurşun kirlenmesine sebebiyet vermektedir. Mevcut fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik test sonuçlarının esas alınarak, yönetmeliklerin sıkı bir yorumundan sonra, kaynakların birçoğunun genel su temini için artık kabul edilemez hale gelme riski

taşıdığı veya halen kabul edilemez durumda olduğu sonucuna varılmaktadır. Ancak birçok durumda izleme verileri çok sınırlıdır ve sonuçların temsil edici olduğu kesin değildir. Buna rağmen sonuçlar, İstanbul'un mevcut ve gelecekteki kaynaklarının birçoğunun elverişsizliği konusunda uyarı niteliğindedir ve daha düzenli ve kapsamlı bir su kalitesi izleme programının yürütülmesi için yeterli kaynakların ayrılması ihtiyacını vurgulamaktadır (İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu).

Mevcut kaynaklar içinde kirlenme nedeniyle en fazla risk altında bulunan havzalar Alibeyköy, Elmalı, Ömerli ve Büyükçekmece'dir. Alibeyköy'e ait olan verilerin IV. sınıf seviyesinde fosfor değeri göstermesine rağmen, yönetmelikler sadece I. ve II. sınıf'ın içme suyu temini için kullanılmasına izin vermektedir. DSİ' ye göre daha yeni veriler, kaynağın genel olarak kabul edilebilir olduğunu göstermiştir. Elmalı rezervuarında da fosfor konsantrasyonları III. sınıf seviyelerine ulaşırken, amonyak IV. sınıf seviyesindedir (İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu).

Rezervuara akan derelerde yüksek BOİ ve KOİ konsantrasyonları kaydedilmiştir. DSİ'nin son yıllardaki ötrofikasyon oluşum raporları bu konuya dikkat edilmesi gerektiğini vurgularken, IV. sınıf bir fosfor konsantrasyonunun gözlenmesine rağmen, Ömerli rezervuarı ortalama olarak yönetmeliklerle uyumlu olmuştur. Büyükçekmece rezervuarı için tüm parametreler II. sınıf veya daha altındadır fakat su derinliğinin sığ olması, burayı yaz mevsiminde alglerin büyümesine uygun hale getirmektedir (İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu).

Halen geliştirilmekte olan kaynaklarla ilgili olarak rezervuarın çevrilmesinden önce Sazlıdere Deresi'nden alınan sınırlı numuneler, IV. sınıf konsantrasyonlarının, klorür, toplam fosfor, amonyak ve KOİ açısından aşıldığı, düşük bir kalite olduğunu göstermiştir. Bunun başlıca nedeni, havza içindeki kentsel gelişimden kaynaklanan evsel atık sudur ve Sazlıdere rezervuarının korunmasına yönelik olarak kanalizasyon altyapısının acil olarak yapılması gerekmektedir. İstranca dereleri belli parametreler açısından kabul edilemez seviyeler ortaya koymaktadır, fakat mevcut veriler sınırlı ve çelişkilidir ve anlamlı sonuçların çıkarılması için yetersizdir. Yeşilçay kaynakları genel olarak II. sınıftır. Fakat klorür, toplam fosfor ve amonyak açısından bazen IV. sınıf seviyeleri kaydedilmiştir. İlave olarak, Yeşilçay kaynaklarının büyüğü olan Göksu

Deresi'nde (İsaköy regülatörü) IV. sınıf koliform konsantrasyonları ölçülmüştür. Melen Çayı'nda, kabul edilemez düzeyde amonyak ve demir konsantrasyonları görülmüştür. Gerek Melen, gerekse Yeşilçay için üst kesimlerdeki tarımın su kalitesi üzerinde muhtemelen önemli bir etkisi olmaktadır (İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu).

5.4. AKARSULARDA (İÇME SUYU HAVZALARINDA BULUNAN DERELERDE) SU KALİTESİ

Mevcut ve gelecekteki su kaynaklarının su kalitesi incelenerek, Çevre Kanunu'nun Su Kirliliği Kontrol Yönetmelikleri'ndeki içme suyu kaynakları için belirlenen sınıflandırmalarla karşılaştırılması sonucunda, mevcut fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik test sonuçlarının esas alınarak, kaynakların birçoğunun genel su temini için artık kabul edilemez hale gelme riski taşıdığı veya halen kabul edilemez durumda olduğu sonucuna varılmıştır. Halen geliştirilmekte olan kaynaklarla ilgili olarak rezervuarın çevrilmesinden önce Sazlıdere Deresi'nden alınan sınırlı numuneler, IV. sınıf konsantrasyonlarının, klorür, toplam fosfor, amonyak ve KOİ açısından aşıldığı, düşük bir kalite olduğunu göstermiştir. Bunun başlıca nedeni, havza içindeki kentsel gelişimden kaynaklanan evsel atık sudur ve Sazlıdere rezervuarının korunması düşünülüyorsa acil olarak gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Tablo 5.4'te su kirliliği gözlemlenen derelerdeki kirlilik nedenleri verilmektedir.

Tablo 5.4: İstanbul'da bulunan su kaynaklarının kirlenme nedenleri (İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu)

	Evsel	Endüstriyel	Doğal ya da insan kaynaklı erozyon	Tarımsal faaliyet
Terkos	X		X	X
Alibeyköy	X	X	X	
Sazlıdere	X	X	X	X
Ömerli			X	X
Elmalı	X		X	
Büyükçekmece	X	X	X	X
Küçükçekmece	X	X	X	X

Tablo 5.4 incelendiğinde dere ve göllerin kalitesini olumsuz yönde etkileyen etmenlerin çoğunlukla evsel, endüstriyel ve erozyon kaynaklı kirlilik olduğu görülmektedir. Su kaynaklarında kalitenin sağlanması için kirliliğinin engellenmesine yönelik çalışma

yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda, dere ve göl kenarlarında oluşan plansız, kaçak yapılaşma önlenmeli, mevcut yapılaşmalar bir plan dahilinde kaldırılmalı, su kaynakları ve bu havzaların toplama havzaları çevresinde bulunan yapılaşma ve sanayi tesislerinin atık sularını toplayacak ve arıtma tesisi ile sonlanacak bölgesel kanalizasyon sisteminin projelendirilmesi ve atık suyun alıcı ortam standartlarında arıtıldıktan sonra alıcı ortama deşarjı, mevcut arıtma tesislerinin eski olanlarının son teknolojilere göre yenilenmesi, özellikle su havzalarında ekolojik tarımın yetkili kurumlarca (Örn: İSKİ, Tarım İl Müdürlüğü) desteklenmeli, bu bölgelerde pestisit ve gübre kullanımının yasaklanması ve kademeli olarak, bölge halkını mağdur etmeksizin, ekolojik tarıma geçilmesi, vahşi depolama alanlarının rehabilite edilerek mevcut atıkların düzenli depolama alanlarına aktarılması için düzenlemeler yapılması gerekmektedir (İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu).

5.5. SAZLIDERE İÇME SUYU HAVZASI

5.5.1. Sazlıdere Barajı

Avrupa yakasında bulunan ve Küçükçekmece gölüne dökülen Sazlıdere üzerine DSİ tarafından inşa edilmiş ve 01.03.1996 tarihinden itibaren barajda su tutulmaya başlanmıştır. Sazlıdere Barajı TEM şehirlerarası otoyolunun kuzeyinde, Sazlıdere üzerinde ve Küçükçekmece Gölü membasının yaklaşık 6 km uzağında kurulmuştur. Rezervuar doğu-batı yönünde 20 km uzunluğa, kuzey-güney yönünde ise 9 km genişliğe sahiptir. Sazlıdere Barajı'nın yeri Şekil 5.3'de gösterilmiş ve Tablo 5.5'de baraja ait detaylı bilgi verilmiştir. İstanbul'un önemli içme suyu havzalarından biri olan Sazlıdere Havzası'ndaki Sazlıdere Barajı yıllık 55 milyon m³ su ile İstanbul'un yaklaşık 1 aylık su ihtiyacını karşılamaktadır. 165 km² drenaj alanına sahip Sazlıdere Havzası'nda toplanan sular terfi merkezi, isale hatları vasıtasıyla İkitelli Fatih Sultan Mehmet Han Arıtım Tesisi'nde arıtılarak Küçükçekmece, Bağcılar, Bahçelievler, Bakırköy, Güngören, Esenler, Gaziosmanpaşa, Bayrampaşa, Eyüp gibi yerleşim bölgelerine gönderilmektedir. Dolayısıyla İstanbul için büyük öneme sahip Sazlıdere İçme Suyu Havzası'nın korunması İstanbul için büyük önem taşımaktadır.



Şekil 5.3: Sazlıdere Barajı (İBB)

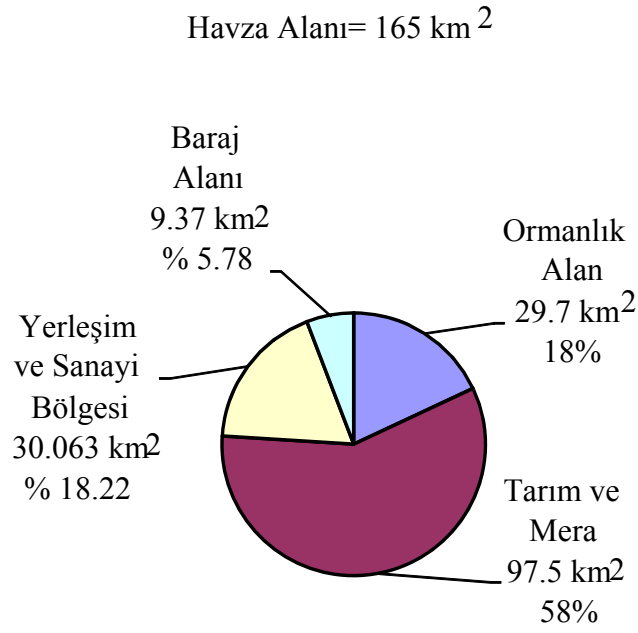
Tablo 5.5: Sazlıdere Barajı'na ait detaylı bilgi (İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu).

Göl/Rezervuar/Gölet Adı		Sazlıdere Barajı
Bulunduğu Havza		Marmara
Alt Havza		Sazlıdere
Yüz ölçümü	Göl Alanı	11.8 km ²
	Yağış Alanı	165 km ²
Rakım (m)		4.0 m
Korunma Statüsü		İçme suyu barajı (SKKY'ne göre)
Kullanım Amacı		İçme suyu
Derinlik	Maksimum Derinlik (m)	21.6 m
	Ortalama Derinlik (m)	10.8 m
Ortalama su sıcaklığı (°C)		15.4 °C
Hacim (m ³)		91 600 000 m ³ /yıl
Göle Etki Eden Kirlilik Kaynakları (Evsel, Endüstriyel, Tarımsal)		Evsel + Tarımsal
Jeolojisi		Kiltaşı, marn, grovak, killi şist, ve alüvyon. Alüvyon kalınlığı 25 m
Göl Tipi (Oligotrofik, Mezotrofik, Ötrofik)		Mezotrofik (Fosfor değerine göre)
Göle Gelen Akarsular ve Yıllık Ortalama Debileri —Bulunduğu İlçe		Çatalca – Sazlıdere, Dursunköy Q=0.41 m ³ /sn Arnavutköy – Sazlıdere, Haraççı Q=0.17 m ³ /sn
Konumu	Koordinatları	
	Mansaptan Uzaklığı (km)	7.75

Sazlıdere Havzası, evsel ve endüstriyel atık suların arıtılmadan bölgeye verilmesinden dolayı risk altında olan havzalar arasındadır. Sazlıdere Rezervuarı su kalitesi bakımından I. ve II. Sınıf kriterlerin sınır değerlerinde bulunmaktadır. Ayrıca Sazlıdere Gölü'nü besleyen derelerde su kalitesinin III ve IV. sınıfa yöneldiği görülmektedir. Baraj ve derelerdeki su kalitesinin bozulmasının en büyük nedeni civardaki yerleşimlerden gelen evsel ve endüstriyel atık sulardır (Akça, 2005).

5.5.2. Coğrafi Durum ve Topoğrafik Yapı

Sazlıdere Havzası İstanbul'un Avrupa yakasında, Durusu (Terkos) Gölü'nün güneydoğusunda, Küçükçekmece Gölü'nün kuzeydoğusunda ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 5.6). Sazlıdere baraj yerinin toplam drenaj alanı 165 km² dir. Bu alanın % 58'ini tarım arazileri ve meralar, % 18.22 lik bir kısmını yerleşim ve sanayi alanları, % 18'ini ormanlık alanlar ve % 5.78' ini baraj alanı oluşturmaktadır (Şekil 5.4). Sazlıdere Barajı yağış alanı, doğuda Küçükçekmece Gölü'ne dökülen Hasanoğlu (Balıklı) deresinin, kuzeyde Terkos gölünün, batıda ise yine Küçükçekmece gölüne dökülen Ispartakule (Hadımköy) deresinin yağış alanları ile çevrilidir. Havza arazisi engebeli bir yapıya sahip olup üzerinde alçak tepecikler bulunmaktadır. Havzanın denizden olan yüksekliği rezervuarların olduğu yerlerde 6–20 m arasında olup kuzey ve güneydeki topoğrafik sınırlarda 170 m' ye ulaşmaktadır. Havzanın büyük bir kısmında arazi morfolojisi, erozyon ile aşınan malzemenin sularla taşınıp birikmesi şeklindedir (Akça, 2005).



Şekil 5.4: Sazlıdere Havzası' nın kullanım alanlarına göre dağılımı (İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu).

5.5.3. Tarım ve Hayvancılık

Bölgede hızla gelişen yapılaşma sebebiyle tarım faaliyetleri baskı altında kalmakta ve tarım sahaları gün geçtikçe daralmaktadır. Havzadaki alanların toprak mülkiyeti, tarımsal büyüklükleri göz önüne alındığında, küçük topraklı ailelerin büyük çoğunlukta olduğu, bunu orta büyüklükteki işletmelerin izlediği görülmektedir. Bu havzadaki tarım sektörünü küçük ve orta dereceli işletmelerin teşkil ettiğini göstermektedir.

Havzada tarımda kullanılan arazi toplam havza alanının %32'sini oluşturmaktadır. Kullanılan araziler tarla arazisi, meyve ve diğer uzun ömürlü bitkilerin kapladığı alanlar, sebze ve çiçek bahçelerinden meydana gelmektedir. Tarımda verimin artması havza alanında sürüme elverişli verimli alanların çokluğu ve bölgelerdeki yağış miktarı, yağış rejimi ve su dengesi gibi etmenlere bağlıdır. Ayrıca verimi arttırmak için zirai ilaçlar kullanılmaktadır. Kullanılan zirai ilaç çeşitleri üre (% 46 N içerir), % 21 sülfat ve % 33 NH₄-N, 20.20.0 kompoze, 15.15.0 kompoze ve DAP (Di Amonyum Fosfat) gübrelere sahiptir. Sazlıdere Barajı mutlak koruma ve kısa mesafeli koruma alanlarında zirai ilaçlama ve suni gübre kullanımı yasaklanmıştır. Diğer yerlerde kontrollü olarak tarımda

ilâçlama yapılabilir (Akça, 2005). Fakat kontrolsüz ve izinsiz yapılan tarım faaliyetleri, kullanılan zirai ilaçlar nedeniyle baraj gölünde risk oluşturmaktadır.

Hayvancılık ise tarım faaliyetleri gibi bölgede yaşayan çoğunlukla köylüler tarafından yapılmaktadır. Genellikle aileler bütçelerine uygun olarak büyük ve küçükbaş hayvan yetiştirmektedirler. Yetiştirilen hayvanlar ailenin geçimi için ek gelir oluşturduğu gibi, bazı aileler için tek geçim kaynağıdır. Yapılan kontrolsüz tarım faaliyetleri gibi, hayvancılığın da kontrolsüz ve yoğun bir şekilde yapılması ve dolayısıyla yerleşim alanlarının bu bölgelerde yoğunlaşması Sazlıdere Baraj gölüne gelen su kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

5.5.4. İkitelli (Fatih Sultan Mehmet Han) Su Arıtma Tesisi

Nihai olarak 1 050 000 m³/gün'lük toplam kapasiteye ulaşmak üzere üç aşama halinde genişletilmesi planlanmış ve esas olarak merkezi bölgelere hizmet vermektedir. Tesisler Terkos ve Sazlıdere'den su almaktadır (Küçükçekmece Gölü'nden Sazlıdere'ye, Istranca Dereleri'nden Terkos'a ham su transferi planlanmaktadır). Terkos' tan gelen ham su sistemi, İkitelli 2. Aşama işletmeye alındığında ikinci bir boru hattı ile takviye edilmiş olmaktadır (İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu).

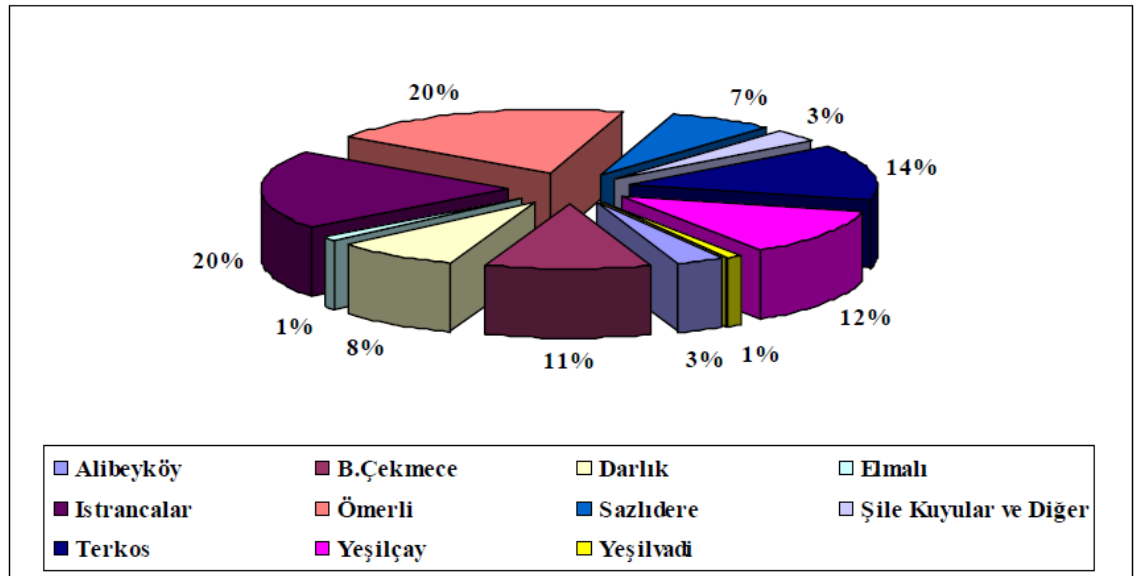
5.5.5. Sazlıdere Havzası İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Sazlıdere Havzası içme suyu temini bakımından son derece önemli bir yer teşkil ettiğinden ulusal alanda Sazlıdere Havzası'nın hidrolojik ve su kalitesini inceleyen pek çok çalışma yapılmıştır. Ongun (1991) Sazlıdere deresindeki kimyasal kirlenmeleri analiz etmiştir. Bayraktar (2002) Sazlıdere Barajı'nın su toplama havzasını çok zamanlı olarak incelemiş ve mutlak, kısa, orta, 2000- 5000 ve uzak koruma alanlarını ayrı ayrı irdeleyerek değişimleri gözlemlemiştir. Eynur (2004) gövde altından su kaçakları problemleri ile karşılaşılan Sazlıdere Barajı için "sonlu farklar metodu" nun kullanıldığı bir analiz ile çeşitli akıtma perde boyu alternatifleri için sızma miktarları ve optimum perde boyunu hesaplamıştır. Akça (2005) Sazlıdere havzası ve havzadaki su kalitesi hakkında detaylı bilgi toplamış ve mevcut su kalitesini belirleyerek su kalitesinin iyileştirilmesine yönelik çeşitli öneriler sunmuştur. Baser (2006) Küçükçekmece Gölü ve havzası için oluşturulmaya çalışılan Çevre Yönetim Modeli çalışmaları kapsamında Sazlıdere'nin Küçükçekmece Gölü'ne taşıdığı azot ve fosfor yükünü belirlemek için

çeşitli noktalardan alınan numunelerle deneyler yapmıştır. Bu çalışma sonucunda Sazlıdere ile Küçükçekmece Gölü'ne önemli miktarda azot ve fosfor yükünün taşındığı ve bu yükün son yıllarda sonbahar mevsiminde Küçükçekmece Gölü'nde görülen alg patlamaları üzerinde etkisinin olduğu bildirilmiştir.

5.6. SAZLIDERE İÇME SUYU HAVZASI'NIN İSTANBUL'DAKİ SU TOPLAMA HAVZALARI İÇİNDEKİ KONUMU

Sazlıdere İçme Suyu Havzası'nın İstanbul'daki içme suyu toplama havzaları içerisindeki konumu sağladığı su miktarı ve sağlanan suyun kalitesi açısından büyük önem taşımaktadır. Şekil 5.5'de Sazlıdere Havzası ve İstanbul'a su sağlayan diğer su kaynakları hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca havzanın konumu İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlanan harita ile şekil 5.6'da gösterilmiştir.



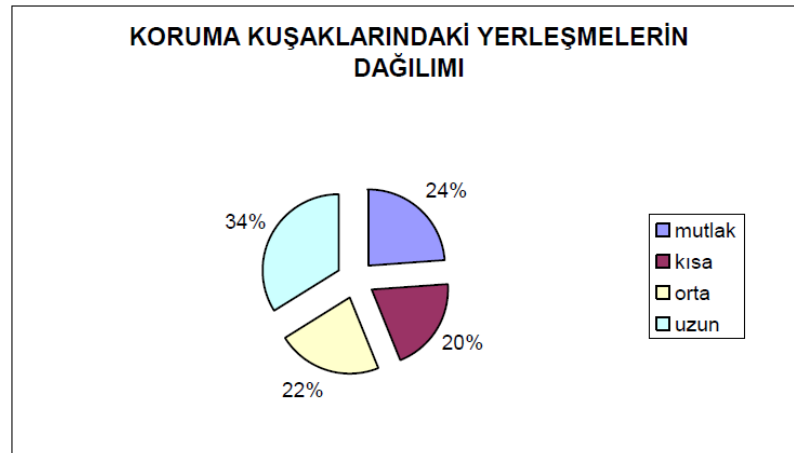
Şekil 5.5: İçme ve kullanma suyu miktarlarının kaynaklara göre dağılımı (Torun, 2008).



Şekil 5.6: İstanbul'un içme suyu havzaları ve konumları (İBB)

İstanbul'un içme suyu havzaları toplam 248370 ha'dır. Toplam alan içerisinde en geniş alana sahip olan havza Terkos Havzası olup bunu sırasıyla Büyükçekmece, Ömerli, Darlık, Sazlıdere, Alibey ve Elmalı Havzaları izlemektedir (Torun, 2008).

İçme suyu havzaları için büyük tehlike teşkil eden kontrolsüz yerleşim özellikle son yıllarda İstanbul için büyük sorun haline gelmiştir. Şekil 5.7'de de görüldüğü üzere belediyelerin % 24'ü mutlak koruma kuşağında, % 20'si kısa mesafeli koruma kuşağında, % 22'si orta mesafeli koruma kuşağında ve % 34'ü de uzun mesafeli koruma kuşağında bulunmaktadır (Turgut, 2000)



Şekil 5.7: Havza koruma kuşaklarındaki yerleşmelerin dağılımı (Turgut, 2000)

6.NÜFUS VE YERLEŞİM BİLGİLERİ VE GELECEĞE YÖNELİK TAHMİNLER

6.1 NÜFUS TAHMİN YÖNTEMLERİ

Geleceğe yönelik yapılan nüfus tahminlerinde kullanılan başlıca yöntemler: Aritmetik Artış Metodu, Geometrik Artış Metodu, Azalan Hızlı Nüfus Artışı Yöntemi, İller Bankası Yöntemidir.

6.1.1. Aritmetik Artış Metodu

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

$$\frac{dN}{dt} = k_s \quad (6.1)$$

Şeklinde gösterilir ve denklemin çözülmesiyle:

$$N = N_s + \frac{N_s - N_t}{t_s - t_t} (t - t_s) \quad (6.2)$$

herhangi bir zamandaki nüfusu bulmak için yukarıdaki bağıntı elde edilir:

Burada;

N: gelecekteki nüfus,

N_s : son nüfus sayımına ait değer,

N_t : ilk nüfus sayımına ait değer,

t_s : son nüfus sayımının yapıldığı tarih,

t_t : ilk nüfus sayımının yapıldığı tarih,

t: nüfusu tahmin edilen yıl,

k_a : aritmetik artış sabiti olarak ifade edilmektedir.

6.1.2. Geometrik Artış Metodu

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

$$\frac{dN}{dt} = k_g N \quad (6.3)$$

Şeklinde gösterilir ve denklemin çözülmesiyle:

$$\log N = \log N_s + \frac{\log N_s - \log N_t}{t_s - t_t} (t - t_s) \quad (6.4)$$

herhangi bir zamandaki nüfusu bulmak için yukarıdaki bağıntı elde edilir:

Burada;

N: gelecekteki nüfus,

N_s : son nüfus sayımına ait değer,

N_t : ilk nüfus sayımına ait değer,

t_s : son nüfus sayımının yapıldığı tarih,

t_t : ilk nüfus sayımının yapıldığı tarih,

t: nüfusu tahmin edilen yıl,

k_g : geometrik artış sabiti olarak ifade edilmektedir.

6.1.3. 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.

$$\frac{dN}{dt} = k_d (N_d - N) \quad (6.5)$$

Bu metot 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.

6.1.4. İller Bankası Yöntemi

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

Çoğalma emsali;

$$P = \left\{ \sqrt[a]{\frac{N_s}{N_t}} - 1 \right\} \times 100 \quad (6.6)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada;

p: çoğalma emsali,

N_s : şehir veya kasabanın son nüfus sayımı,

N_t : şehir veya kasabanın ilk nüfus sayım neticesi,

a: iki nüfus sayımı arasındaki sene adedi

olarak ifade edilmektedir. 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:

$$N_{30+n} = N_y \times \left(1 + \frac{P}{100} \right)^{30+n} \quad (6.7)$$

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 mutabakata varılması gerektiği talimatnamede belirtilmiştir. (İller Bankası, 1996)

6.2. KONTROLSÜZ NÜFUS ARTIŞININ İÇME SUYU HAVZALARINA ETKİSİ

İstanbul'da nüfusun hızlı bir şekilde artması ve özellikle son 10–15 yıl içinde artan bu nüfusta bir patlama yaşanmasına özellikle dikkat çekilmektedir. Nüfusun, dolayısıyla yapılaşmanın kent çeperlerine ve havzalara doğru yayılma eğilimi göstermesi kent içi yaşam alanlarının bilinçsizce tüketilmesi ile doğrudan ilişkilidir. Mevcut kentsel yerleşmelerin tüketilmesi, nüfusu ve yapı sektörünü kent çeperlerine ve su havzalarına doğru çekmektedir. Bu alanlarda bir yandan planlı ve kentten izole edilmiş yaşam alanları yaratılırken, diğer yandan kent merkezinden uzak, dolayısıyla denetimsiz olmanın avantajlarını fırsat bilen yasadışı yapılaşmayı da artırmaktadır. Arazi değerlerinin bu gelişim modeli sonucu hızla yükselmesi, yapı ve arazi sektörü açısından bu alanları yeni rant alanları haline getirmektedir (Özden, 2004).

Kısacası özellikle son 20 yıllık süreçte meydana gelen yoğun nüfus artışı ve yapılaşma sonucu İstanbul'da içme suyu havzaları ve kaynakları ciddi bir kirlenme ile karşı karşıyadır. Öztaş (1997)'a göre İstanbul'daki su toplama havzalarında oluşan ve yaşanan sorunların ana bileşenlerini yasal, idari, mali, teknik, sosyal ve çevresel konular oluşturmaktadır.

Bunun temelinde içme suyu havzalarına yönelik yapılan çalışmaların koordineli olarak yapılmaması ve yerleşim alanlarının planlamasında yapılan yanlışlıklar yer almaktadır. Dolayısıyla su toplama havzalarının doğru hedefler kapsamında, doğru zamanda ve doğru yerde işletilmesi mümkün olamamakta, dolayısıyla sonradan getirilen düzenlemelerden de herhangi bir yarar sağlanamamaktadır. Böylece neredeyse tüm su alanlarında; zaten düzensiz yapılaşma ve kentleşme yanlısını yaşayan insan çevresi ile yapay ve doğal çevresine, sulardaki miktar ve kalite bozulmaları da eklenmektedir. Sonuçta artan oranlarda sağlık, mühendislik ve çevre sorunları oluşmasına, yer üstü ve yer altı su kaynaklarının açıkça yok edilmesine ve giderilemeyen ya da giderilmesi

ekonomik limitleri alt üst eden çevre sorunları doğmasına neden olmaktadır (Torun, 2008).

Tablo 6.1: Devlet İstatistik Enstitüsü 2000 Yılı Nüfus, Sosyo- Ekonomik Verileri.

Belediye	1985–1990			1990–2000			1980–2000		
	1985 Yılı Nüfusu	5 Yıllık	Yıllık Ortalama	1990 Yılı Nüfusu	10 Yıllık	Yıllık Ortalama	2000 Yılı Nüfusu	20 Yıllık	Yıllık Ortalama
Arnavutköy (Alibeyköy- Sazlıdere)	4182	405.6	38.3	21143	77.6	5.9	37556	1591	15.2
Taşoluk (Alibeyköy- Sazlıdere)	747	238.3	27.6	2527	307.9	15.1	10307	1649.9	15.4
Haraççı (Alibeyköy- Sazlıdere)	897	197.8	24.4	2671	265.1	13.8	9751	1208.9	13.7
Hadımköy (Büyükçekmece- Sazlıdere)	6060	7	1.4	6486	58.1	4.7	10253	106	3.7
İSTANBUL İLİ	5842985	23.1	4.3	7195773	39.2	3.4	10018735	111.3	3.8

Yapılan nüfus sayımlarında özellikle 1980’li yıllardan itibaren İstanbul İli’nde yüksek seviyede bir nüfus artışı olduğu görülmektedir. Bunun başlıca nedeni ise genellikle ekonomik şartlar nedeniyle İstanbul’a yapılan göçlerdir. Anadolu’nun hemen hemen bütün bölgelerinden almış olduğu göçler, İstanbul’da ülke ortalamasına oranla daha yüksek seviyede nüfus artışı ve bunun neticesinde de kontrol edilemeyen bir yapılaşmanın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Yapılaşmanın en çok arttığı bölgelerin içinde su havzalarının koruma alanları da bulunmaktadır. Bunun en büyük nedeni denetimlerin yetersiz olması ve bazen göz yumulmasıdır. Yönetmeliklerle getirilen sınırlamalar ve yasaklamalara rağmen su havzalarındaki nüfus artışı ve kontrol dışı kaçak yapılaşmanın önüne geçilememiştir. Aşağıda sunulan tabloda (İSKİ, 2005) 1985–2000 yılları arasında İstanbul İli içme suyu havzalarında meydana gelen nüfus artışı görülmektedir. Sazlıdere Havzası’nın 1997 yılında 20081 olan nüfusu 2000 yılında yüzde 45 lik bir artışla 29113 olmuştur. Tablo 6.2’de de görüldüğü üzere diğer

havzalardaki nüfus artışları ile Sazlıdere İçme suyu Havzası son yıllardaki nüfus artışı ciddi farklılık göstermektedir. Bu durum Havza'da meydana gelen artışın kontrol altına alınması gerektiğini göstermektedir.

Tablo 6.2: İstanbul İli İçme Suyu Havzaları'nda 1985 – 2000 Yılları arası nüfus artışı (İSKİ,2005)

HAVZA	1985 YILI NÜFUSU	NÜFUS ARTIŞ ORANI (%)	1990 YILI NÜFUSU	NÜFUS ARTIŞ ORANI (%)	1997 YILI NÜFUSU	NÜFUS ARTIŞ ORANI (%)	2000 YILI NÜFUSU
Büyükçekmece	58015	38.5	80341	35.4	108789	10.5	120269
Terkos	18889	11.2	21001	1	21206	6.4	22562
Alibeyköy	8848	279.8	33609	108.6	70119	19.34	83687
Ömerli	36939	322.2	155970	82.4	284550	35.8	386569
Elmalı	44745	136.2	105673	57	165863	0.49	247062
Sazlıdere	6104	67.7	10238	96.1	20081	45	29113
Toplam	173540	134.4	406832	65	67068	32.6	889262

6.3. SAZLIDERE HAVZASI'NDAKİ MEVCUT NÜFUS VE ARAZİ KULLANIMI

6.3.1. Arazi Kullanımı

Arazi kullanımları, Sazlıdere Havzası arakesiti civarındaki mevcut şehirleşmiş bölgenin sınırları içinde yapılaşmaya, İSKİ Havzalar Koruma çerçevesinde imkan tanıma maksadını gütmektedir. Tablo 6.3'de görüldüğü gibi 1155.80 hektar büyüklüğündeki yerleşik alan havza toplam alanının % 6.85'i büyüklüğündedir. Açık araziler, sanayi, ticaret ve diğer yeşil alanlar veya yapılaşma olmayan bölgeler havzaların yaklaşık % 69'u, ormanlık alanlar ise % 18.32'sini teşkil etmektedir. Geri kalan %5.87'lik kısmını ise Sazlıdere Barajı'nın maksimum su yüzeyindeki Rezervuar alanını kaplamaktadır.

Tablo 6.3: Sazlıdere Havzası mevcut arazi dağılımı (ha) (Akça, 2005)

Arazi Kullanım Kategorisi	Sazlıdere Havzası (ha)	Yüzdesi
Yerleşik Alanlar	1155.8	6.85
Yerleşik Dışı İmara Açık Alanlar	928.28	5.50
Sanayi, Ticaret ve Diğer Alanlar	892.92	5.29
Tarım ve Otlak Olarak Kullanılan Açık Alanlar	9817.73	58.17
Ormanlık ve Fundalık Alan	3091.60	18.32
Rezervuar Maksimum Su Yüzeyi	990.65	5.87
Toplam	16876.98	100

6.3.1.1. Beldelerin Arazi Kullanımı

Havza sınırları içinde bulunan beldeler arasında nüfus olarak en büyüğü Arnavutköy Beldesinde yerleşim Belde alanının tamamına yayılmış bulunmaktadır. Haraççı Beldesi'nin % 33'lük alanları mevcut iskan sahası , % 67'lik kısmı ise yerleşime müsait alan olarak ifade edilebilir. Taşoluk Beldesi'nin belde sınırı, Haraççı dışındaki diğer beldelere nazaran daha geniştir. Toplam alanın yaklaşık % 46'lık kısmı yerleşik alandır ve imar planlarına göre % 54'lük kısım ise imara açık alanlardır.

6.3.1.2. Köy ve Mahallelerin Arazi Kullanımı

Sazlıdere Havzası'nda hakim olan arazi kullanımının yerleşimlerin dışında kalan tarım ve otlak olarak kullanılan boş araziler olduğu gözükmektedir. Sazlıdere Havzası'nda bulunan bu boş arazilerin baraj koruma kuşaklarına göre dağılımı (ha) ve bunların havzanın "yerleşik alan + boş alanlar" toplamına oranı ile Havzadaki boş alanlar Sazlıdere Havzasının % 58'ini oluşturmaktadır (Akça, 2005).

6.3.2. Mevcut Nüfus

İstanbul Büyükşehir Belediyesi hudutları içinde bulunan yirmi dört havzadan beş tanesi şehre içme suyu temin edilen su rezervuarları olmaları nedeniyle koruma altına alınmıştır. Bu koruma alanları, içme suyu kaynaklarını kirlilikten korumak üzere, özel çevre yönetmeliklerinin uygulandığı, İSKİ sorumluluğundaki alanlardır. Sazlıdere Havzası atık su debi tahminleri, burada yasayan nüfusun projeksiyonları sonrası geliştirilecektir. Dolayısıyla nüfus tahmini yapabilmek için havza içinde bulunan yerleşimlerin geçmiş yıllara ait nüfuslarını bilmek gerekmektedir.

Havza alanında bulunan yerleşimlerde 1997 sayımına göre Sazlıdere Havzası'nda yaklaşık 33489 kişi yaşamaktadır. Havzadaki yerleşimlerin nüfusları 1980 yılından 2000'e kadar Tablo 6.4'te verilmiştir. Bu değerlere bakıldığında Havzadaki beldelerin nüfusu 1980–1997 arasında 8 ila 15 katına çıkmıştır. Mahalle ve köylerde ise bir kısmında sabit kalırken bir kısmında 1.6–1.75 katına çıkmıştır. Havzadaki yerleşimlerden bazılarının havza dışında da alanı bulunduğundan bu yerlerin havza alanındaki nüfusları yaklaşık değerlerdir. Devlet İstatistik Enstitüsü tarafından yapılan havzadaki mevcut nüfusun belde ve köyler arasındaki dağılımı Tablo 6.5'te verilmiştir. İSKİ'nin Havza Koruma Yönetmeliği'ne (21.02.2003 tarihli) göre hesaplanan ve planlanan nüfuslar Tablo 6.6 'da görülmektedir.

Tablo 6.4: Sazlıdere Havzası içindeki yerleşimlerin nüfusları (Devlet İstatistik Enstitüsü)

		1980	1985	1990	1997	2000
GOP	Çilingir Köyü	520	550	612	884	867
	Hacımaşlı Köyü	245	283	326	377	431
	Tayakadın Köyü	678	935	1097	1853	2300
K.ÇEKMECE	Kayabaşı Köyü	1095	1425	9190	10000	400
	Şamlar Köyü	681	713	798	850	1100
ARNAVUTKÖY		740	1394	7048	11302	12279
Haraççı Beldesi		745	897	2671	6471	11970
Taşoluk Beldesi		442	560	1895	5949	7669
HADIMKÖY MÜCAVİR ALANI		Havza içinde yerleşim yok				
ÇATALCA	Sazlıbosna Köyü	981	1073	1198	1725	1800
	Baklalı Köyü	368	407	586	651	600
	Boyalık Köyü	476	495	485	868	750
	Dursun Köyü	543	558	635	576	600
TOPLAM		7514	9290	26541	41506	40766

Tablo 6.5: Sazlıdere Havzası'nda 2000 yılına ait nüfus dağılımı (Devlet İstatistik Enstitüsü)

Sazlıdere Havzası		
Mevcut Nüfus	Toplam	38829
	Beldeler	31918
	Köy ve Mahalleler	6911

Tablo 6.6: Sazlıdere Havzası'nda İSKİ havzalar yönetmeliğine göre nüfus dağılımı (İSKİ)

Sazlıdere Havzası		
İSKİ Havza Yönetimi Nüfus	Toplam	45043
	Beldeler	40075
	Köy ve Mahalleler	4968

6.4. SAZLIDERE HAVZASI'NA AİT GELECEĞE YÖNELİK NÜFUS VE ARAZİ KULLANIMI TAHMİNLERİ

6.4.1. Geleceğe Yönelik Nüfus Tahminleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Mevcut nüfus bilgilerini baktığımızda Havzadaki yerleşimlerin 1980 senesindeki nüfusu ile 2000 yılları arasında geçen 20 yıllık zaman içerisinde nüfusun 6 962'den 38 829'a ulaştığı görülmektedir. 20 yıllık bir zaman diliminde havzada ikamet edenlerin sayısı yaklaşık 6 kat artmıştır. Bu artış köy yerleşimlerinde 2 katını geçmezken Beldelerde 16–17 kat civarındadır. İstanbul geneli için daha önceki Mastır Plan Çalışmalarında da nüfus tahminleri yapılmış, fakat bu tahminler genelde İstanbul'un büyümesinin altında kalmıştır. Belde Belediyeleri tarafından hazırlatılan, ancak İSKİ tarafından uygun görülmeyip onaylanmayan İmar planlarındaki nüfus yoğunlukları dikkate alınarak hesaplanmış nüfuslar yoğunluklar ile birlikte Tablo 6.7'de görülmektedir. Bu çizelgeden de görüldüğü gibi Beldelerin hazırlattığı İmar Planlarına göre nüfus 351 309 olup 2000 yılı toplam nüfusunun (38 829) yaklaşık 9 katı gibi bir değere çıkmaktadır.

Havzanın tamamının İSKİ Havzalar Koruma Yönetmeliğine göre dolacağı varsayılırsa müsaade edilebilecek nüfus 45 043 kişidir. Görüldüğü gibi taslak imar planlarında teklif edilen nüfus ile İSKİ Havza Koruma Yönetmeliğine göre müsaade edilen nüfus

arasındaki fazla nüfusun (meydana gelen gelişme ve beldelerin durumları da dikkate alınarak) ancak belli bir oranına müsaade edilebileceği ve bu değerlere göre hazırlanması havzalardaki alt yapı (su ve kanalizasyon) projelerinin hazırlanmasında bu müsaade olunan nüfusların dikkate alınması İSKİ yetkililerinin de onayı ile uygun görülmüştür. Ancak bu yaklaşımlarda mutlak mesafeli koruma sınırları içerisinde hiçbir yerleşim ve işyerinin kalmaması görüşü kesinlik kazanmıştır. Nüfus tahminleri hazırlanırken yerleşimler tek tek ele alınarak incelenmiştir. Gelecekteki nihai nüfuslar, yerleşimlerin önceki yıllara ait nüfus artış hızları ve yapılaşma durumları, atık suların dere yataklarına verilmeksizin, arıtma tesislerine iletilebilme imkanları dolayısıyla çevrenin korunabilmesi hususları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Sazlıdere Havzası'nda bulunan Beldeler hem buldukları yer (1. ve 2. Uzun Mesafeli Koruma) itibariyle hem de birbirleriyle yan yana olmaları nedeniyle atık sularının uzaklaştırılmasında fazla güçlüklerle karşılaşmayacağı göz önünde bulundurularak nüfuslar belli bir oranda arttırılmış bu tabloda tespit edilen nihai nüfuslar sabit tutulmuşlardır. Ayrıca İSKİ tarafından yapılan toplantılar sonucu onaylanan nüfus tahminleri sonucu, havzada nüfusun 2035 yılında 76 730 kişide dondurulması düşünülmektedir.

Tablo 6.7: Belde belediyelerinin hazırlattığı imar planlarına göre nihai nüfusları ve 2000 yılı nüfusları (İSKİ)

Beldeler	Yoğunluk (Kişi/ha)	Koruma Alanı	Alan (ha)	İmar Pl. göre nüfus	2000 yılı Nüfusu
ARNAVUTKÖY	200	I. Uzun	181.10	36 220	
	Toplam		181.10	36 220	12279
TAŞOLUK	100	II. Uzun	133.42	13 342	
	250	I. Uzun	637.18	159 295	
	400	I. Uzun	112.25	44 900	
	Toplam		882.85	217 537	7669
HARAÇÇI	145	Orta	137.36	20 000	
	75	I. Uzun	666.11	48 000	
Toplam			803.47	68 000	11970
HADIMKÖY	250	I. ve II. Uzun	118.21	29 552	-
	Toplam		118.21	29 552	-

6.4.2. Modellenen Bölgeye Ait 2035 Yılı için Nüfus Tahmini

Bu tez kapsamında İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin kontrollü nüfus artışı tahminleri ile 76 730 nüfusa ulaşan Sazlıdere Havzası için yapılan nüfus tahmininde 2035 yılında olması muhtemel olan nüfus 127621 olarak hesaplanmıştır. Bu durum

Tablo 6.8’de gösterilmiştir. Nüfus tahmini İller Bankası Yöntemi esas alınarak yapılmıştır. Yapılan nüfus tahmininde Tablo 6.8’de görülen sonuçlar modellenen alan için ayrı olarak da hesaplanmış ve gösterilmiştir. Bunun nedeni bir sonraki aşamada bu bölgede yerleşim alanlarında öngörülen artışı tahmin edebilmek ve EPA SWMM bilgisayar programı ile geçirimsiz yüzeylerin diğer bir ifade ile yerleşim alanlarının su miktarı ve kalitesi üzerindeki etkisinin incelenmesidir. Özellikle bu aşamada tahmin edilen nüfus ve arazi kullanımı hesabı analizlerde kullanılmış ve elde edilen çıktılarına bulgular kısmında yer verilmiştir.

Tablo 6.8: Havza içindeki yerleşimlerin nüfus tahminleri

	1980	1985	1990	1997	2000	2035 yılı nüfus tahmini
GOP						
Çilingir Köyü	520	550	612	884	867	
Hacımaşlı Köyü	245	283	326	377	431	
Tayakadın Köyü	678	935	1097	1853	2300	
K.ÇEKMECE						
Kayabaşı Köyü	1095	1425	9190	10000	400	
Şamlar Köyü	681	713	798	850	1100	
ARNAVUTKÖY						
Haraçcı Beldesi	745	897	2671	6471	11970	
Taşoluk Beldesi	442	560	1895	5949	7669	
MODELLENEN ALAN						
TOPLAMI	5146	6757	23637	37686	37016	115876
HADIMKÖY						
MÜCAVİR ALANI						
ÇATALCA						
Sazlıbosna Köyü	981	1073	1198	1725	1800	
Baklalı Köyü	368	407	586	651	600	
Boyalık Köyü	476	495	485	868	750	
Dursun Köyü	543	558	635	576	600	
GENEL TOPLAM	7514	9290	26541	41506	40766	127621

6.4.3. Geleceğe Yönelik Arazi Kullanımı Tahminleri

Yapılan nüfus tahminleri neticesinde Sazlıdere Havzası'nda 2035 yılında nüfus 127 621 olarak öngörülmüştür. Ayrıca Tablo 6.8'de görüldüğü gibi bilgisayar programı ile modellenen alanda bulunan nüfus yapılan tahmin sonucu 115 876 olarak tespit edilmiştir. Bu çalışma havzada oluşan yerleşim alanlarındaki değişimi tahmin etmek amacıyla yapılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucu Sazlıdere Havzası'nda modellenen alanda mevcut nüfus ile yerleşim alanı (geçirimsiz alan) yaklaşık % 9 civarındadır. Nüfus artışı dikkate alınarak 2035 yılında yerleşim alanlarının yaklaşık % 20 olacağı hesaplanmıştır.

7. SAHA ÇALIŞMASI

Bu tez çalışmasında sahada hidrometeorolojik ölçümler yapılmıştır. Havzada yağış ölçümünü yapmak amacıyla bir adet Elektronik Yağış Ölçer (Elektronik Plüviograf) (Şekil 7.1) ve debi ölçümü için bir adet Universal Elektronik Muline (Açık Kanal Hız Ölçer) (Şekil 7.2) adlı ekipmanlar İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'nin desteği ile satın alınmıştır. Gerekli ekipmanların alımından sonra sahada araştırmalar yapılarak ölçüm yapılacak ekipmanlar için uygun yer tespitinde bulunulmuştur.



Şekil 7.1: Elektronik Yağış Ölçer (Elektronik Plüviograf)



Şekil 7.2: Universal Elektronik Muline (Açık Kanal Hız Ölçer)

7.1. YER TESPİTİNİN YAPILMASI

Yağış ve Debi Ölçümü yapmak amacıyla Sazlıdere İçme suyu Havzası'nda kapsamlı yer araştırması yapılmıştır. Özellikle kullanılan aletlerin çalınma ve hasar görme riski çok yüksek olduğundan yer tespiti konusunda uzun süre saha araştırması yapılmıştır.

7.1.1 Yağış Ölçer'in Yer Tespiti

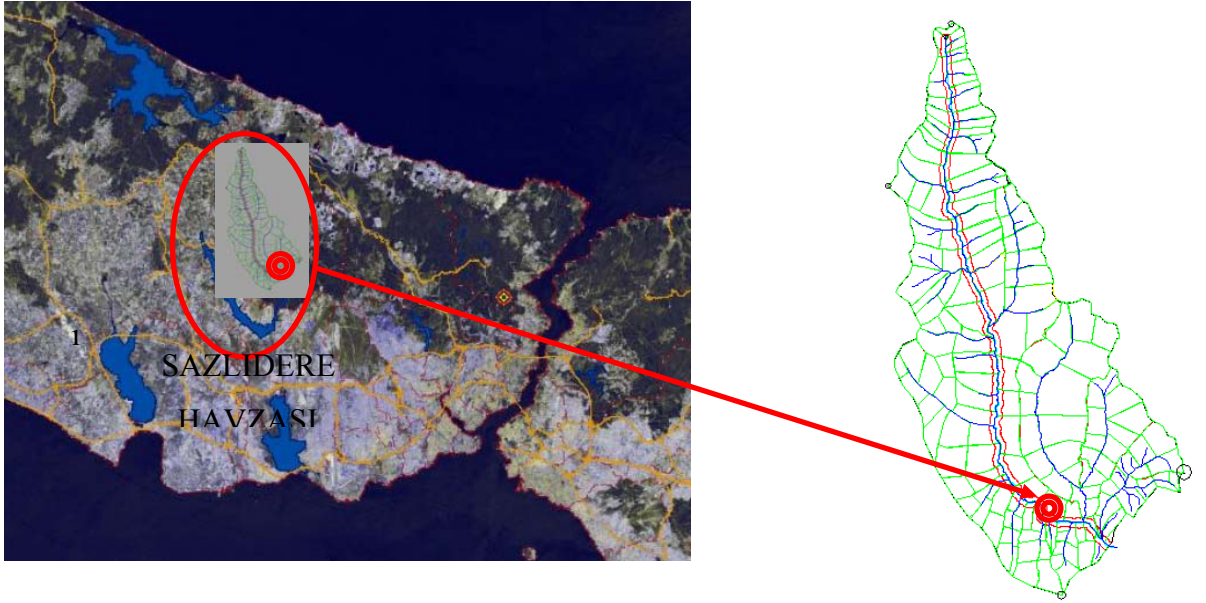
Sazlıdere İçme suyu Havzası'nda yapılan modelleme çalışmasında kullanılmak üzere havzaya ait yağış verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla Yağış Ölçer'in havza içerisinde bölgeye yağın yağış miktarı hakkında doğru bilgi verebilecek yere yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu anlamda Yağış Ölçer Şekil 7.3'de görülen Sazlıdere Havzası içerisinde Gaziosmanpaşa (Yeni Arnavutköy) İlçesi Haraççı Mahallesi'nde bulunan beş katlı çatısı düz olan bir binanın üzerine yerleştirilmiştir. Yer tespitinde özellikle Yağış Ölçer'in su toplama haznesinin etrafında gelen yağışı engelleyebilecek cisimlerin olmamasına dikkat edilmiştir. Buna ek olarak Yağış Ölçer'in sürekli arazide bulunması zorunlu olduğundan ve çalınma riski taşıdığından dolayı yüksek bir yere konulması tercih edilmiştir ve konu ile ilgili olarak üretici firma ile görüşülmüş ve onay alınmıştır.



Şekil 7.3: Sazlıdere İçme Suyu Havzası'nda Yağış Ölçer'in konulduğu bölge

7.1.2 Açık Kanal Hız Ölçer'in Yer Tespiti

Yapılan çalışmada, bilgisayar modelinin kalibrasyonunun yapılması, modelin doğrulanması ve geleceğe yönelik doğru tahminlerde bulunabilmesi amacıyla Sazlıdere İçme suyu Havzası'nın çıkışında meydana gelen akış miktarının bilinmesi gerekmektedir. Dolayısıyla Havzanın çıkışında meydana gelen debinin ölçülmesi amacıyla suyun hızı ve derinin (Türkköse Deresi) farklı derinliklerdeki enkesit alanı ölçümleri yapılmıştır. Yapılan bu ölçümler ile $Q = v \times A$ (Q =Akış Debisi, v =Akış Hızı, A =Enkesit Alanı) formülü kullanılarak debi hesaplanmış ve havzanın çıkışında yağış boyunca oluşan debi bulunmuştur. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için Üniversal Elektronik Muline (Açık Kanal Hız Ölçer) ile meydana gelen akış debisini ölçmek amacıyla uygun yer aranmıştır. İlk olarak seçilen iki bölge Açık Kanal Hız Ölçer'in montajının zorluğu nedeniyle iptal edilmiş ve daha sonra Şekil 7.4'te görülen alanda Türkköse Deresi üzerindeki bölgenin uygun olduğuna karar verilerek bu bölgede suyun hızı ölçülmüştür.



Şekil 7.4: Sazlıdere İçme suyu Havzası'nda Açık Kanal Hız Ölçer'in konulduğu bölge

7.2. DENEY DÜZENEGİNİN KURULMASI

7.2.1 Yağış Ölçer'in Kurulması

Yağış Ölçer Sazlıdere Havzası içerisinde Gaziosmanpaşa (Yeni Arnavutköy) İlçesi Haraççı Beldesi Karlıbayır Şehitlik Mevki Çınar Mahallesi 3026/4 Sokakta bulunan beş katlı ve çatısı düz olan bir binanın üzerine kurulmuştur. Yağış Ölçer'in sabit bir şekilde düz durması ve şiddetli rüzgarın etkisiyle devrilmemesi için binanın üzerinde bir leğen içerisinde çimento ve kum ile harç hazırlanmış (Şekil 7.5) ve Yağış Ölçer'in ayaklığı sabitlenmiştir. Daha sonra kullanılan denge terazisiyle monte edilecek ayaklığın dengesi yapılmış (Şekil 7.6) ve Yağış Ölçer'in dengeli bir şekilde kurulumu sağlanmıştır. Ayrıca haznede meydana gelebilecek donma riskine karşı Yağış Ölçer'e 25 metre uzunluğunda bir kablo ile karşı binadan elektrik bağlanmıştır.



Şekil 7.5: Yağış Ölçer'in ayaklığı için çimento harcı yapımı



Şekil 7.6: Yağış Ölçer'in dengesinin ayarlanması

7.2.2 Açık Kanal Hız Ölçer'in Kurulması

Açık Kanal Hız Ölçer Sazlıdere Havzası içerisinde Gaziosmanpaşa (Yeni Arnavutköy) İlçesi Haraççı Mahallesi'nde bulunan Haraççı Köprüsü'nün 500 metre aşağısına (Sazlıdere Barajı'na doğru) kurulmuştur. Açık Kanal Hız Ölçer'in kurulumunda çok fazla zaman ve emek harcanmıştır. Bunun nedeni derede yaklaşık 5 metre genişliğinde 1 metre derinliğinde bir suyun akması, dolayısıyla derenin ortasına ekipmanın güçlükle

monte edilmesidir. İlk olarak Açık Kanal Hız Ölçer Türkköse Deresi üzerinde sabitlenmiş olan su borusunun önünde yere çakılmış sonrasında özel olarak hazırlanmış bağlama demiriyle su borusuna sıkıca bağlanmıştır. Böylelikle Hız Ölçer'e ait pervanenin suyun akışıyla ya da herhangi bir cismin etkisiyle sağa ve sola dönmesi de engellenmiştir. Yapılan bu işlem için kenardan iki adet uzun kalas borunun üzerine uzatılmış ve ekipmanın kurulumu sağlanmıştır (Şekil 7.7).



Şekil 7.7: Açık Kanal Hız Ölçer'in kurulması

7.3. HİDROMETEOROLOJİK VERİLERİN TOPLANMASI

7.3.1 Yağış Verilerinin Toplanması

Yağış Ölçer içerisinde bulunan ve 0.2 mm hassasiyete sahip kefe ile salınım mekanizmasıyla çalışmaktadır. Yağış ilk olarak su toplama haznesinde toplanmakta ve oradan 0.2 mm hassasiyete sahip kefeye dolmaktadır. Kefede dolmaya başlayan su 0.2 mm olduğunda kefe ağırlıktan dolayı diğer tarafa doğru salınım hareketini gerçekleştirmektedir. Bu salınım esnasında kurulan mekanizma ile Yağış Ölçer içerisindeki otomatik kaydediciye sinyal gönderilmekte ve gönderilen sinyaller tarih, saat ve dakika olarak otomatik kaydedici tarafından kayıt edilmektedir. Dolayısıyla yağış verileri istenildiği zaman dizüstü bilgisayar ile veya küçük taşınabilir hafıza kartları ile Yağış Ölçer içerisindeki otomatik kaydediciden temin edilebilmektedir. Şekil 7.8'de görüldüğü üzere Yağış Ölçer'in dış kapağı açılarak içerisinde bulunan otomatik kaydediciden yağış verileri hafıza kartı ile temin edilebilir.



Şekil 7.8: Yağış Ölçer'den veri alımı

7.3.2 Hız Verilerinin Toplanması

Açık Kanal Hız Ölçer (Elektronik Muline) içerisinde otomatik kaydedici olmadığından dolayı suyun hızını ölçmek için 5 dakika aralıklarla dijital ekrandan (Counter) suyun hızı kaydedilmiştir. Ayrıca akış hızından yararlanılarak debi hesabı yapılacağından dolayı kaydedilen tarih, saat ve dakikadaki suyun hızının yanına suyun o andaki yüksekliği de aynı anda kaydedilmiştir. Akış hızını ve yüksekliğini doğru ölçmek ve oluşacak hidrografi yakalayabilmek için çok sahada uzun süre oldukça yorucu ve zahmetli ölçümler yapılmıştır. Yapılan hız ölçümlerinde Açık Kanal Hız Ölçer otomatik kayıt yapma özelliğine sahip değildir. Dolayısıyla yapılan ölçümler öncelikle hava tahmin raporları takip edilerek ve daha sonrasında yağış esnasında alana gidilip arabanın içerisinde beklenerek yapılmıştır (Şekil 7.9).



Şekil 7.9: Açık Kanal Hız Ölçer'den veri alımı

7.4. DERE ENKESİT ÖLÇÜMÜNÜN YAPILMASI

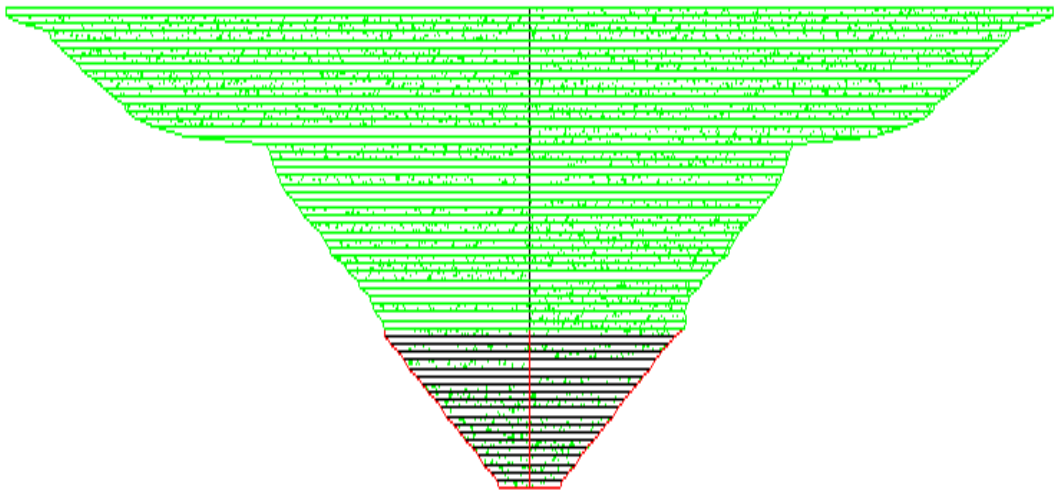
Açık Kanal Hız Ölçer (Üniversal Elektronik Muline) ile suyun hızı ve aynı anda suyun derinliği ölçülerek kaydedilmiştir. Ayrıca 15 metre uzunluğunda bir mezura alınarak derenin tabandan 1 metre yüksekliğinden başlayarak her 5 cm de bir genişliği ölçülmüştür (Şekil 7.10). Daha sonra ölçüm yapılan bölgede yükseklikle dere enkesit alanı arasında ilişki bulunan bir tablo Auto CAD bilgisayar programı ile hazırlanmış (Tablo 7.1) ve debi hesabında kullanılmıştır.



Şekil 7.10: Türkköse Deresi üzerinde dere enkesit alanı ölçümü

Tablo 7.1: Yükseklikle dere enkesit alanı arasındaki ilişkiyi veren tablo

SU DERİNLİĞİ (m)	ÜST YÜZEY GENİŞLİĞİ (m)	EN KESİT ALANI (m ²)	SU DERİNLİĞİ (m)	ÜST YÜZEY GENİŞLİĞİ (m)	EN KESİT ALANI (m ²)
1.05	3.38	2.12	2.05	5.68	6.64
1.1	3.4	2.29	2.1	5.7	6.93
1.15	3.47	2.46	2.15	5.8	7.21
1.2	3.52	2.63	2.2	7.57	7.55
1.25	3.72	2.82	2.25	8.24	7.94
1.3	3.8	3.00	2.3	8.64	8.37
1.35	4	3.20	2.35	8.85	8.80
1.4	4.1	3.40	2.4	8.94	9.25
1.45	4.35	3.61	2.45	9.18	9.70
1.5	4.43	3.83	2.5	9.37	10.16
1.55	4.52	4.06	2.55	9.6	10.64
1.6	4.61	4.28	2.6	9.85	11.12
1.65	4.81	4.52	2.65	9.95	11.62
1.7	4.98	4.76	2.7	10.16	12.12
1.75	5.08	5.02	2.75	10.3	12.63
1.8	5.2	5.27	2.8	10.5	13.15
1.85	5.35	5.54	2.85	10.6	13.68
1.9	5.45	5.81	2.9	11.2	14.23
1.95	5.55	6.08	2.95	11.3	14.79
2	5.6	6.36	3	11.5	15.37



Şekil 7.11: Türkköse Deresi üzerinde dere enkesit alanı

8. SAZLIDERE HAVZASI'NIN EPA SWMM İLE MODELLEMESİ

Çalışmanın modelleme aşamasına başlamadan önce EPA SWMM bilgisayar programında kullanılacak olan bilgiler için detaylı araştırmalar yapılmıştır. Bu kapsamda modelleme çalışması için gerekli veriler çeşitli devlet kuruluşlardan temin edilmiştir. Aşağıda temin edilen veriler ve kurumları belirtilmiştir;

İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ)

Sazlıdere Havzası'nın 1/5000 ölçekli topoğrafik haritası,
Hava fotoğrafı destekli hazırlanmış 1/5000 ve 1/25000 ölçekli yerleşim planı haritası,
Havzada bulunan kuru ve taban akışı olan derelerin dere aksları,
Sazlıdere Barajı'na ait mutlak, kısa mesafe ve orta mesafe koruma kuşakları,
Havzada bulunan derelere ait dere koruma kuşakları,
Havzada bulunan derelere ait en kesit ve dere uzunlukları,
Bölgedeki yerleşim durumunu gösteren haritalar,
Proje aşamasındaki planlanan yağmur suyu drenaj sistemi haritaları.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB)

Sazlıdere Havzası'nda bulunan yerleşim alanlarına ait nüfus ve yerleşim bilgileri,
Su kaynaklarının ve içme suyu havzalarının genel görünümü.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ)

Sazlıdere Barajı'nın zemin özelliklerini gösteren haritalar,
Bölgenin zemin özelliklerini gösteren haritalar.

8.1. HİDROLOJİK MODELLEME

8.1.1.EPA SWMM ile Sazlıdere Havzası'nın Hidrolojik Modelinin Kurulması

EPA SWMM bilgisayar programında Sazlıdere İçme suyu Havzası'nın Türkköse Deresi'ne dökülen alanının hidrolojik modeli İSKİ, İBB ve DSİ'den temin edilen bilgiler kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada modellenen Sazlıdere Havzası'na ait eş

yükselti haritası kullanılarak modellenen havza 177 adet havza parçasına bölünmüştür. Dolayısıyla 16500 hektar su toplama alanına sahip Sazlıdere İçme suyu Havzası'nın 3941 hektarlık (39 km²) dördte birlik bölümü 177 adet farklı büyüklükteki alt havzalara bölünerek modellenmiştir. Yapılan bu bölünme çalışmasından sonra havza parçalarının genişlikleri, alanları ve eğimleri hesaplanacağından, oluşturulan havza parçalarının mümkün olduğunca kare veya dikdörtgen şeklinde olmasına özen gösterilmiştir. Her havza parçasını EPA SWMM programında tanımlamak için havza parçalarına ait eğim, alan ve genişlik değerleri AutoCAD bilgisayar programı kullanılarak hesaplanıp programa girilmiştir. Daha sonra bütün havza parçaları için İSKİ'ye ait hava fotoğrafı destekli hazırlanmış 1/5000 ve 1/25000 ölçekli yerleşim planı kullanılarak yerleşim alanlarının yüzdeleri belirlenmiş ve programa girilmiştir. Ayrıca havzada bulunan geçirimsiz ve geçirimsiz alanlara ait kalibrasyon sonucu belirlenecek sabit katsayılar için başlangıç değerleri EPA SWMM programına ait kullanım kılavuzu ve literatürdeki kaynaklar kullanılarak seçilmiştir.

Yağış sırasında havzada meydana gelen sızma miktarı ise Horton Metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Sızma miktarını bulmak için zemin cinsine bağlı olarak değişen porozite, hidrolik iletkenlik ve kapiler basınç parametreleri kullanılmıştır. Kullanılan bu parametrelerin değerleri için yine EPA SWMM kullanma kılavuzu ve literatürdeki kaynaklardan yararlanılmıştır.

Şekil 8.1'de görülen yeşil çizgilerle belirlenmiş havza parçalarının modelde oluşturulmasından sonra bu havza parçaları üzerinde yağış sonrası oluşan yüzeysel akış sularının toplandığı 171 adet birleşim noktası (junction) topoğrafik harita kullanılarak tespit edilmiştir. Tespit edilen bütün birleşme noktalarının yükseklikleri eşyükselti haritaları kullanılarak belirlenip programa girilmiştir.

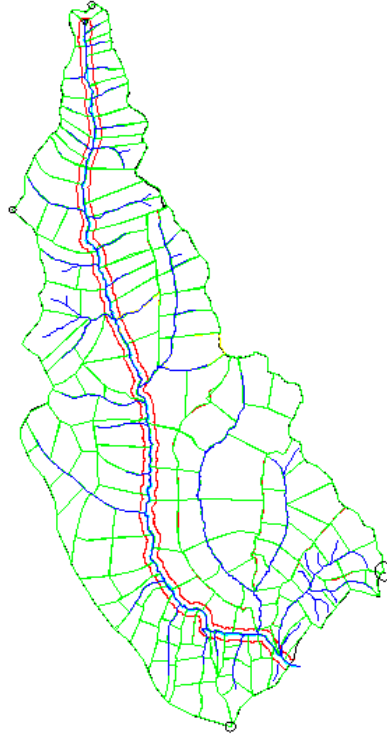
Yağış sonucu oluşan yüzeysel akış birleşim noktalarında toplanarak şekil 8.1'de mavi çizgilerle görülen açık kanallar (dereeler) vasıtasıyla Sazlıdere Barajı'na doğru akmaktadır. Modellemenin bu aşamasında İSKİ'den alınan kuru ve taban akışı olan derelerin dere aksları ve topoğrafik haritadan yararlanılarak açık kanalların konumları, enkesitleri ve uzunlukları belirlenmiştir. Bu kapsamda bilgisayar modelinde yaklaşık 15 km uzunluğunda ana dere (Türkköse Deresi) olmak üzere yan kollarla birlikte toplamda

44 km uzunluğunda dere modellenmiştir. Daha sonra yüzeysel akışın açık kanalları izleyerek göle ulaştığı çıkış noktası belirlenmiştir.

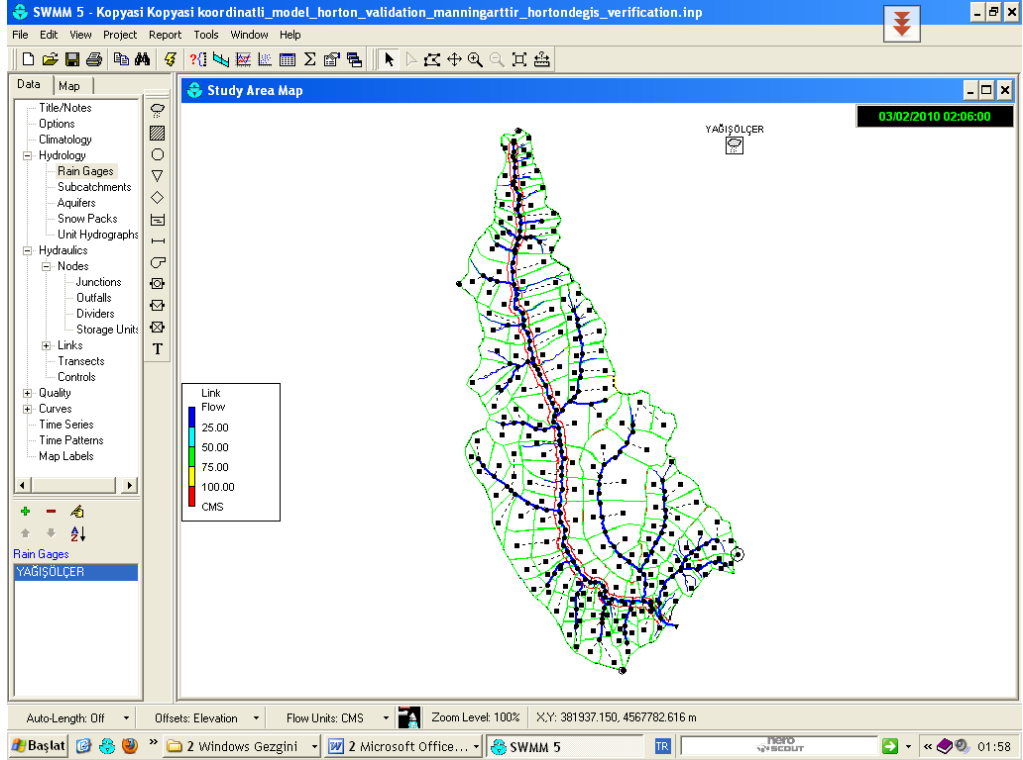
Yüzeysel akış ve kanallardaki debi hesaplamaları için sürtünme, yerçekimi ve basınç kuvvetini esas alan difüzyon dalga öteleme metodu kullanılmıştır.

Arnavutköy Haraççı beldesinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen yağış verileri alınarak uygun formatta hazırlanmış ve bilgisayar programına girilmiştir. Bu kapsamda farklı zamanlarda olan yağış serileri kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada iki adet kesikli yağış serisi modelin kalibre edilmesi için, iki adet kesikli yağış serisi modelin doğrulanması için ve beş adet kesikli yağış serisi ise havzada oluşan akışla ilgili tahmin yapılması için kullanılmıştır. Yağışlar ortalama 4 ile 10 günlük süreler arasında meydana gelmektedir.

Şekil 8.2’de Sazlıdere İçme suyu Havzası’nın EPA SWMM programı ile oluşturulmuş modeli görülmektedir. Burada yeşil çizgilerle gösterilen alanlar 177 adet havza parçası (alt havza) sınırlarını, siyah noktalar yüzeysel akışın toplandığı 171 adet birleşim noktasını ve mavi çizgiler ise 173 adet açık kanalları (dereleri) göstermektedir.



Şekil 8.1: Sazlıdere Havzası’ndaki havza parçaları ve dere segmanlarının Auto CAD bilgisayar programı ile oluşturulması



Şekil 8.2: Sazlıdere Havzası'ndaki havza parçaları ve dere segmanlarının EPA SWMM bilgisayar programına aktarılması

8.1.2. Deney Verileri ile Model Kalibrasyonunun Yapılması

Sazlıdere Havzası için oluşturulan hidrolojik modelin kalibrasyonu modelleme çalışmasının en uzun aşamalarından biri olmuştur. Bunun nedeni EPA SWMM bilgisayar modelinin otomatik kalibrasyon opsiyonunun olmamasıdır. Dolayısıyla literatürden ve programın kullanım kılavuzundan yararlanılarak kalibrasyon uzun uğraşlar sonucunda başarı ile yapılmıştır. Şekil 8.3'de kalibrasyon için kullanılmış olan deney sonucu elde edilen debi verileri ile hidrolojik modelden elde edilen kalibrasyondan sonraki debi eğrisi görülmektedir. Grafikten görüldüğü üzere yapılan ölçümle model sonucu elde edilen debi değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Kalibrasyon için 14–17 Şubat 2010 tarihinde meydana gelen 4 günlük yağış ve bu yağış sonucu oluşan akış havzaya kurulan ölçüm aletleri ile ölçülmüş ve elde edilen veriler programda kullanılmıştır.

Çalışmanın kalibrasyon aşamasından önce EPA SWMM bilgisayar programında tanımlanması gereken “geçirimsizlik alanı yüzdesi”, “Manning sürtünme katsayısı” “hidrolik iletkenlik” gibi değerler literatürdeki aralıklarına uygun olarak seçilerek modele girildi. Daha sonra girilen değerler literatürdeki aralıklara uygun olarak model

saha ölçümlerine yakın debi değerleri verene kadar değiştirildi ve modelin kalibrasyonu tamamlandı. Kalibrasyon sırasında, kalibre edilen değerler aşağıda verilmiş olan tablolarda detaylı olarak anlatılmıştır (Tablo 8.2-Tablo 8.3). Alt havzalar için kalibre edilen parametreler literatürden yararlanılarak bulunmuş ve Tablo 8.1 'de gösterilmiştir (Guide for selecting Manning's Rughness Coefficients for natural channels and flood plains United States Geological Survey Water-Supply Paper).

Tablo 8.1: Alt havzalar için kalibre edilen parametreler (United States Geological Survey Water-Supply Paper)

		Literatürdeki Aralığı	İlk Seçilen Değeri	Kalibrasyondan Sonraki Değeri
N-impervious (geçirimsiz yüzeyler için pürüzlülük katsayısı)		0.002–0.019	0.002	0.005
N-pervious (geçirimli yüzeyler için pürüzlülük katsayısı)	Çayırılık Alanlar	0.002–0.019	0.002	0.002
	Ormanlık Alanlar	0.002–0.019	0.002	0.0025
D store-impervious (geçirimsiz yüzeyler için tutulan su yüksekliği)		-	1.27 mm	0.127 mm
D store-pervious (geçirimli yüzey için tutulan su yüksekliği)	Çayırılık Alanlar	-	2.54 mm	0.15 mm
	Ormanlık Alanlar	-	3.5 mm	0.175 mm

Tablo 8.2: Açık kanallar (dereler) için kalibre edilen parametreler (U.S. Environmental Protection Agency, 1983)

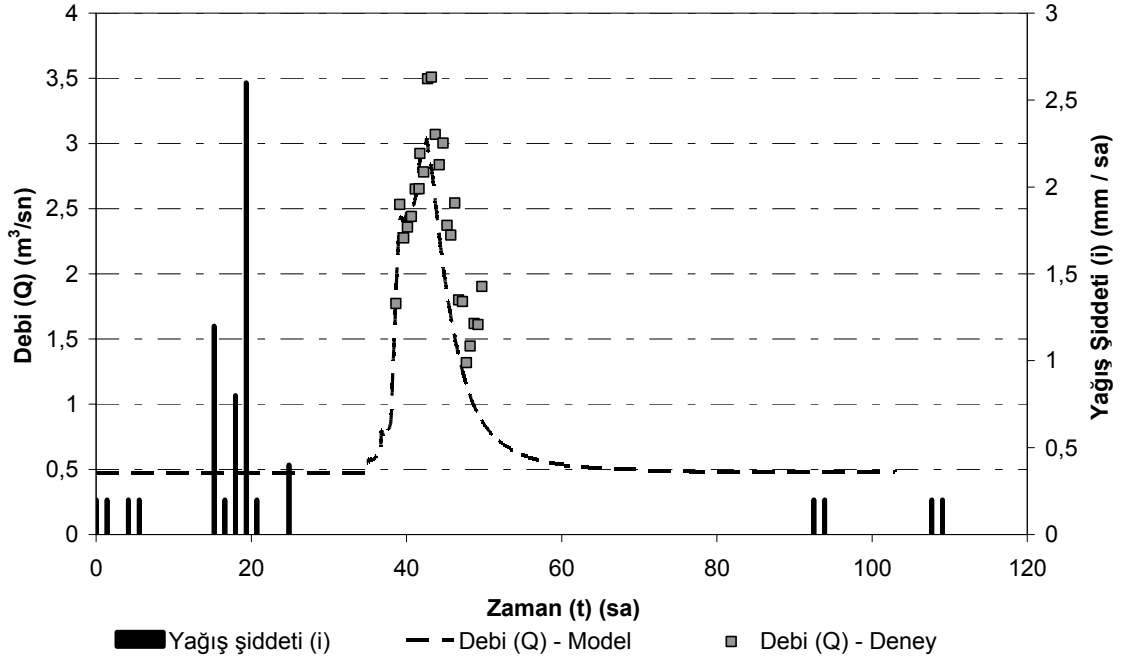
	Literatürdeki Aralığı	İlk Seçilen Değeri	Kalibrasyondan Sonraki Değeri
Roughness (n) (Manning sürtünme katsayısı)	0.04–0.14	0.05	0.12

Tablo 8.3: Topraktaki sızma için kalibre edilen parametreler (U.S. Environmental Protection Agency, 1983)

	Literatürdeki Aralığı	İlk Seçilen Değeri	Kalibrasyondan Sonraki Değeri
Maximum infiltration rate (Maksimum sızma hızı)		0.8 mm/sa	0.6 mm/sa
Minimum infiltraiton rate (Minimum sızma hızı) (Hidrolik iletkenlik)	0.254–120 mm/sa	0.5 mm/sa	0.508 mm/sa
Decay constant (Azalma sabiti)	2–7 (1/gün)	3 (1/gün)	6 (1/gün)
Drying time (Zeminin kuruması için gereken zaman)	2–14 gün	8 gün	14 gün

Çalışmanın kalibrasyon aşamasında model sonuçları ile sahada elde edilen verileri yakalayabilmek için birçok deneme yapılmıştır. Bu kapsamda özellikle geçirimsiz ve geçirimli yüzey pürüzlülük katsayısının, yüzeyde tutulan suyun yüksekliğinin, kanallardaki (derelerdeki) Manning pürüzlülük katsayısının ve topraktaki sızmayı etkileyen hidrolik iletkenliğin diğer parametrelere göre çok daha etkin olduğu görülmüştür. Örneğin geçirimsiz ve geçirimli yüzey pürüzlülük katsayısının küçülmesi ile model sonucunda elde edilen debi artmaktadır. Aynı şekilde yüzeyde tutulan suyun yüksekliğinin azalması ile havzada oluşan yüzeysel akış artacağından model sonucunda elde edilen debi yine artmaktadır. Kanallardaki (derelerdeki) Manning pürüzlülük katsayısının artışı çıkış noktasında meydana gelen debide azalmaya neden olmaktadır. Özellikle Sazlıdere Havzası'nda bulunan Türkköse Deresi ormanlık ve çayırılık alanlardan geçtiği için Manning pürüzlülük katsayısı için büyük bir değer alınmıştır. Ayrıca toprakta meydana gelen sızmanın Horton Sızma Denklemi ile hesaplanabilmesi için kullanılan hidrolik iletkenlik arttıkça topraktaki sızma artmakta ve çıkış noktasında meydana gelen debi azalmaktadır. Şekil 8.3'de 14–17 Şubat 2010 tarihinde yağın yağmur sonucu çıkış noktasında oluşan debinin model ve deney sonuçları görülmektedir.

Yağış serisine ait Hiyetograf ve oluşan Hidrograf

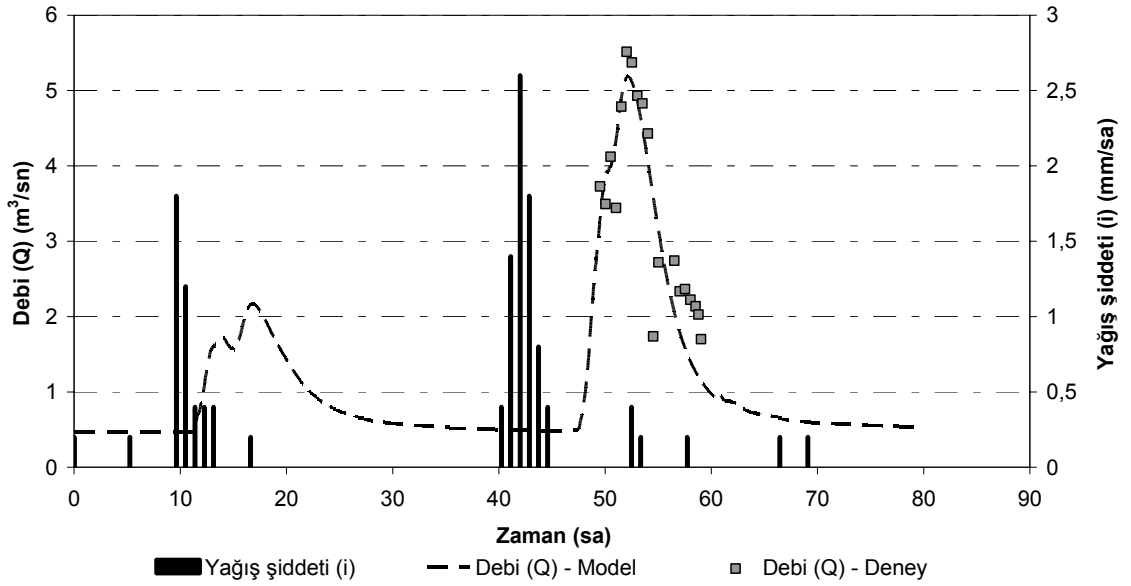


Şekil 8.3: 14-17 Şubat 2010 yağış serisine ait Hiyetograf ve Hidrograf

8.1.3. Deney Verileri ile Model Doğrulamasının Yapılması

Kalibre edilmiş hidrolojik modelin doğrulanması için 06–09 Mart 2010 tarihinde meydana gelen 4 günlük yağış ve bu yağış sonucu oluşan akış aynı şekilde havzaya kurulan ölçüm aletleri ile ölçülmüş ve programda kullanılmıştır. Çalışmanın bu aşamasında EPA SWMM bilgisayar programı ile oluşturulan modele sadece 06–09 Mart tarihlerinde yağan yağış şiddeti girilmiş ve model çalıştırılarak yüzeysel akış için sonuçlar elde edilmiştir. Bu tarihler arasında sahada elde edilmiş veriler ile model sonuçları Şekil 8.4’de gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere model sonuçları ile deney sonuçları birbirine oldukça yakın sonuçlar vermektedir.

Yağış serisine ait Hiyetograf ve oluşan Hidrograf



Şekil 8.4: 06–09 Mart 2010 yağış serisine ait Hiyetograf ve Hidrograf

8.2. SU KALİTESİ MODELLEMESİ

8.2.1.EPA SWMM ile Sazlıdere Havzası'nın Su Kalitesi Modelinin Kurulması

Çalışmanın su kalitesi aşamasında modellenen havza üzerinde noktasal olmayan kaynaklar değerlendirilerek modelleme yapılmıştır. Dolayısıyla Hidrolojik Modelleme aşamasında belirtilen 177 alt havza üzerinde Kirlilik Birikimi ve yüzeysel akış ile birlikte çıkışa doğru taşınması modellenmiştir.

Bu kapsamda modellenen yaklaşık 40 km²'lik alan kullanım alanlarına göre 3 farklı kategoriye ayrılmıştır. Ayrılan bu üç farklı kullanım alanı “Ormanlık Alanlar”, “Seyrek Yerleşim Alanları” ve “Sık Yerleşim Alanları” olarak adlandırılmıştır. Bu şekilde arazi türüne göre yüzeyde birikecek kirlilik maddesi ve yüzeysel akışla sürüklenmesi modellenmiş olmaktadır. Her alt havzaya uygun kullanım alanı programda tanıtılmıştır. Bütün alt havzalar için 3 farklı arazi türü İSKİ'den alınan harita ile Google Earth ve İstanbul Büyükşehir Belediye'sinin internette bulunan haritası kullanılarak oluşturulmuştur. Sonuç olarak bütün alt havzalarda 3 farklı arazi kullanımı her alt havzada kapladığı alan oranında yüzde olarak girilmiştir.

Çalışmanın su kalitesi tahmin aşamasında analizler için iki adet kirlilik parametresi tanımlanmıştır. Tanımlanan kirlilik parametreleri “Toplam Kjeldahl Azotu” (TKN) ve “Toplam Askıda Katı Madde” (TSS) olarak belirlenmiştir. Ayrıca su kalitesi modellemesi aşamasında her arazi türü için su kalitesi modellemesinde belirtilen kirliliğin birikme ve yıkanmasına ait modelleme yapılmıştır. Bu kapsamda “Ormanlık Alanlar” için Kirlilik Birikimi Üssel Fonksiyon ile Kirlilik Yıkanımı da Ortalama Kirlilik Konsantrasyonu Fonksiyonu ile tanımlanmıştır. “Seyrek Yerleşim Alanları” ve “Sık Yerleşim Alanları” için ise Kirlilik Birikimi Kuvvet Fonksiyonu ile Kirlilik Yıkanımı da Yıkanma Sınıflandırma Eğrisi Fonksiyonu ile tanımlanmıştır.

Su kalitesi modellemesi için literatürde çeşitli kaynaklardan faydalanılmıştır. Bu aşamada modelde Kirlilik Birikimi ve Kirlilik Yıkanımı için kullanılan fonksiyonlarda bulunan katsayılar için literatürden yararlanılmıştır. Kullanılan katsayılar seçilen fonksiyonların farklı olmasından dolayı “Ormanlık Alanlar” için ve “Seyrek Yerleşim Alanları” ve “Sık Yerleşim Alanları” için farklılıklar göstermektedir.

Ormanlık Alanlar için Katsayıların Hesaplanması:

Kirlilik Birikimi için Üssel Fonksiyon kullanılmıştır. Kullanılan fonksiyon için sabit değerler Tablo 8.4’te belirtilmiştir. Üssel fonksiyon $B = C_1 \cdot (1 - e^{-C_2 \cdot t})$ formülü ile hesaplanmaktadır. Burada $C_1 =$ mümkün olan maksimum birikme miktarı, $C_2 =$ sabit birikme değeri olarak tanımlanmaktadır.

Kirlilik Yıkanımı için Ortalama Kirlilik Konsantrasyonu Fonksiyonu kullanılmıştır. Kullanılan fonksiyon için katsayılar Tablo 8.4’te belirtilmiştir. Ortalama Kirlilik Konsantrasyonu Fonksiyonu $W = C_1 \cdot Q^{C_2}$ formülü ile hesaplanmaktadır. Burada C_1 yıkanma sabiti, C_2 yıkanma üssü ve Q seçilen akış birimindeki akış debisi olarak tanımlanmaktadır. Fakat C_2 yıkanma üssünün 1 alınması durumunda fonksiyon $W = C_1 \cdot D$ olarak gösterilmektedir. Aynı şekilde D akış debisi olmaktadır.

Bu kısımda katsayıları bulmak için EPA SWMM bilgisayar programından yararlanılmış ve katsayılar Tablo 8.4’te gösterilmiştir.

Tablo 8.4: Su kalitesi modellemesinde fonksiyonların katsayıları (U.S. Environmental Protection Agency, 1983)

	Kirlilik Birikimi C1 Maksimum birikme miktarı	Kirlilik Birikimi C2 Sabit birikme değeri	Kirlilik Yıkanımı C2 Yıkanma üssü	Kirlilik Yıkanımı C1 Yıkanma sabiti
Ormanlık Alan (Forest)				
TSS	2	1	1	540
TKN	1	1	1	3.04

Seyrek Yerleşim Alanları ve Sık Yerleşim Alanları için Katsayıların Hesaplanması:

Seyrek ve Sık Yerleşim Alanları için katsayılar seçilirken literatürden yararlanılmış ve yağış yüksekliğine bağlı olarak hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 8.5'te verilen alfa ve beta değerleri ile yağış yüksekliği ("P" mm) kullanılarak $Z = \alpha x P + \beta$ formülünden ilgili katsayılar hesaplanmıştır. Burada alfa ve beta tabloda verilen değerler, P ölçülen yağış şiddeti ve Z ilgili katsayıyı göstermektedir.

Kirlilik Birikimi için Kuvvet Fonksiyonu kullanılmıştır. Kullanılan fonksiyon için katsayılar Tablo 8.6'da belirtilmiştir. Kuvvet fonksiyonu $B = \min(C_1, C_2 t^{C_3})$ formülü ile hesaplanmaktadır. Bu fonksiyonda, $C_1 =$ mümkün olan maksimum birikme, $C_2 =$ sabit birikme değeri ve $C_3 =$ zaman katsayısı olarak tanımlanmaktadır.

Kirlilik Yıkanımı için Yıkanma Sınıflandırma Eğrisi Fonksiyonu kullanılmıştır. Kullanılan fonksiyon için katsayılar Tablo 8.6'da belirtilmiştir. Yıkanma Sınıflandırma Eğrisi Fonksiyonu $W = C_1 \cdot Q^{C_2}$ formülü ile hesaplanmaktadır. Burada C_1 yıkanma sabiti, C_2 yıkanma üssü ve Q seçilen akış birimindeki akış miktarı olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca hesaplamada kullanılan Toplam Yağış Yüksekliği "P" Yağış Ölçer ile kaydedilmiş ve 93.6 mm olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak literatürden yararlanılarak birikme ve yıkanma fonksiyonlarına ait katsayılar hesaplanmış ve Tablo 8.6'da gösterilmiştir.

Tablo 8.5: Su kalitesi modellemesinde kullanılan fonksiyonların hesaplamasında kullanılan değerler (Tsihrintzis and Hamid, 1998)

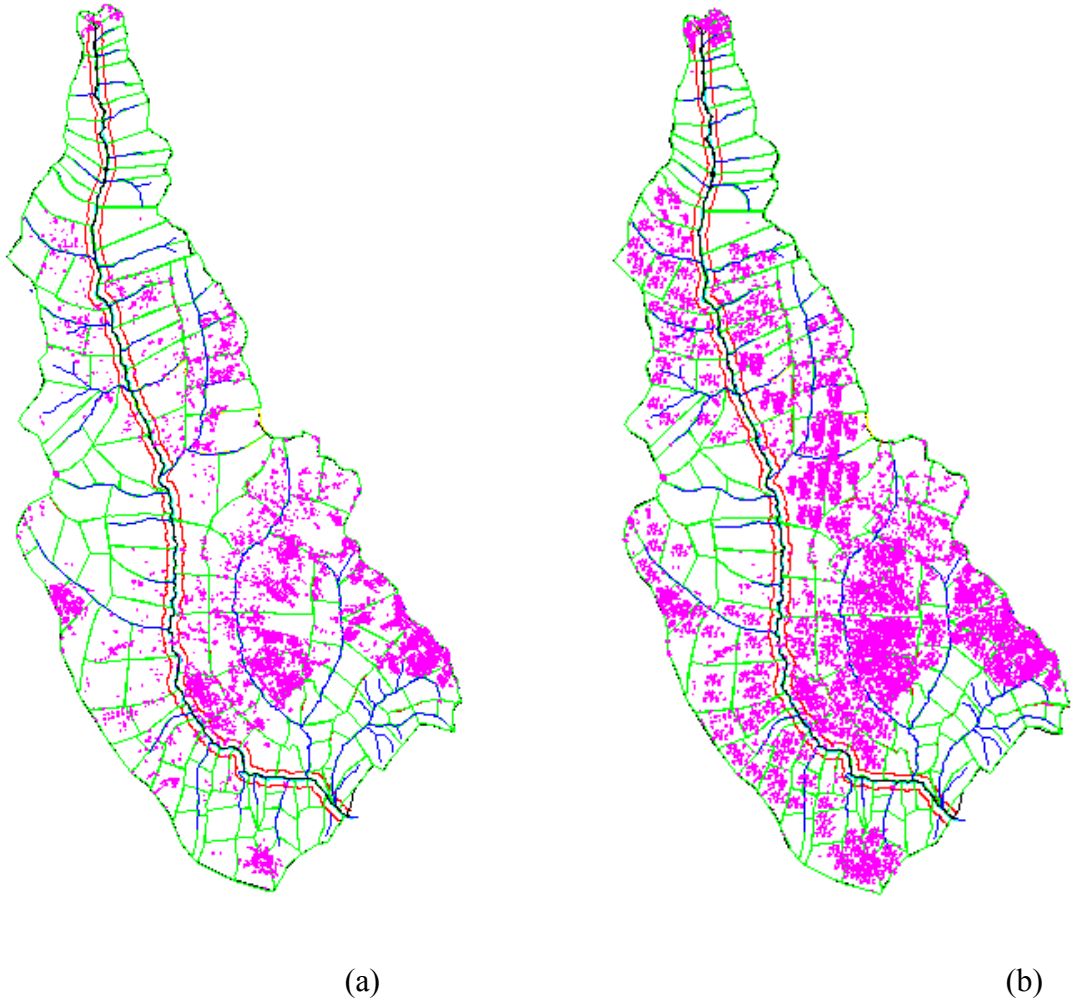
	α	β	α	β	α	β	α	β
Seyrek Yerleşim Alanları (Low Density Residential Land Use)								
TSS	0.026	1.3001	0.0266	1.093	-0.0169	1.9679	3.9465	134.64
TKN	0.0106	0.1301	0.0031	0.086	-0.0086	0.8596	0.027	1.0058
Sık Yerleşim Alanları (High Density Residential Land Use)								
TSS	0.0486	0.9904	0.0625	0.3468	-0.0148	2.2513	10.578	414.24
TKN	-0.0033	0.5941	0.0038	0.1765	0.0055	0.44	0.0065	0.8927

Tablo 8.6: Su kalitesi modellemesinde fonksiyonların katsayıları (Vassilios A. Tsihrintzis_ and Rizwan Hamid,1998)

	Kirlilik Birikimi C3 Zaman katsayısı	Kirlilik Birikimi C2 Sabit birikme değeri	Kirlilik Yıkanımı C2 Yıkanma üssü	Kirlilik Yıkanımı C1 Yıkanma sabiti
Seyrek Yerleşim Alanları (Low Density Residential Land Use)				
TSS	3.7337	3.58276	0.38606	504.0324
TKN	1.12226	0.37616	0.05464	3.533
Sık Yerleşim Alanları (High Density Residential Land Use)				
TSS	5.53936	6.1968	0.86602	1404.3408
TKN	0.28522	0.53218	0.9548	1.5011

9. BULGULARAR

Sazlıdere Havzası'nda mevcut nüfus incelenmiş ve 2035 yılında olması beklenen nüfus tahmini bölüm 6.4.2 de anlatıldığı gibi yapılmış ve buna bağlı olarak nüfus artışının su miktarına olan etkisi incelenmiştir. Aynı şekilde 2010 yılına ait yerleşim alanları İSKİ'den alınan haritalar kullanılarak şekil 9.1 (a)'da gösterilmiştir. Şekilde görülen mavi çizgiler dereleri yeşil çizgiler havza parçalarının pembe alanlar ise yerleşim alanlarını göstermektedir. Aynı şekilde şekil 9.1 (b)'de pembe alanların artışıyla 2035 yılında tahmin edilen yerleşim alanlarındaki artış gösterilmiştir.



Şekil 9.1: Sazlıdere Havzası'nda 2010 yılına ait mevcut yerleşim alanı (a) ve 2035 yılına ait tahmin edilen yerleşim alanı (b)

9.1. HAVZADAKİ YAĞIŞ-AKIŞ İLİŞKİLERİ VE NÜFUS ARTIŞININ SU MİKTARINA ETKİSİ

Çalışmanın bu aşamasında havzadaki mevcut durum için farklı yağışlar altında oluşan akışlar ve nüfus artışının akışa olan etkisi incelenmiştir. Bahsedilen analizleri yapmak için havzaya kurulan yağış ölçüm istasyonunda Aralık 2009-Mart 2010 tarihleri arasında kaydedilmiş 5 adet kesikli yağış serisi alınmıştır. Nüfus artışının su miktarına olan etkisi, nüfus artışının yerleşim alanlarında bir artışa sebep olacağı ve dolayısıyla geçirimsiz yüzeylerin artacağı kabulü ile modele yansıtılmıştır. Ölçülen yağış serileri kullanılarak elde edilen sonuçlar aşağıda 5 ayrı başlık altında sunulmuştur. Örneklerde verilen grafiklerde ve tablolarda kullanılan bazı kısaltmalar Tablo 9.1’de verilmiştir.

Ayrıca programda kullanılan bazı terimlerin açıklaması şu şekildedir:

Link = Açık Kanal, Dere

Junction = Birleşim Noktası

Subcatchment = Havza Parçası (Alt Havza)

Tablo 9.1: Grafiklerde ve tablolarda kullanılan bazı kısaltmaların açıklaması

Link 75	Modellenen alanın çıkış noktası
Link 50	Modellenen alan içerisinde yerleşim alanlarına yakın olarak seçilmiş dere üzerindeki bir nokta
Q75	Modellenen alanın çıkış noktasında görülen debi (m^3/sn)
Q50	Modellenen alan içerisinde yerleşim alanlarına yakın olarak seçilmiş noktada görülen debi (m^3/sn)
Q75_2010_mevcut	<u>Mevcut dere kesitleri</u> kullanılarak oluşturulan modelde 2010 yılındaki nüfus için Link 75’te (çıkış noktasında) görülen debi (m^3/sn)
Q50_2010_mevcut	<u>Mevcut dere kesitleri</u> kullanılarak oluşturulan modelde 2010 yılındaki nüfus için Link 50’te görülen debi (m^3/sn)
Q75_2035_mevcut	<u>Mevcut dere kesitleri</u> kullanılarak oluşturulan modelde 2035 yılına ait tahmin edilen nüfus için Link 75’te (çıkış noktasında) görülen debi (m^3/sn)
Q50_2035_mevcut	<u>Mevcut dere kesitleri</u> kullanılarak oluşturulan modelde 2035 yılına ait tahmin edilen nüfus için Link 50’de görülen debi (m^3/sn)
Q75_2010_planlanan	Yapımı <u>planlanan dere kesitleri</u> kullanılarak oluşturulan modelde 2010 yılındaki nüfus için Link 75’te görülen debi (m^3/sn)

Q50_2010_planlanan	Yapımı <u>planlanan dere kesitleri</u> kullanılarak oluşturulan modelde <i>2010 yılındaki</i> nüfus için Link 50'de görülen debi (m ³ /sn)
Q75_2035_planlanan	Yapımı <u>planlanan dere kesitleri</u> kullanılarak oluşturulan modelde <i>2035 yılına</i> ait tahmin edilen nüfus için Link 75'te görülen debi (m ³ /sn)
Q50_2035_planlanan	Yapımı <u>planlanan dere kesitleri</u> kullanılarak oluşturulan modelde <i>2035 yılına</i> ait tahmin edilen nüfus için Link 50'de görülen debi (m ³ /sn)

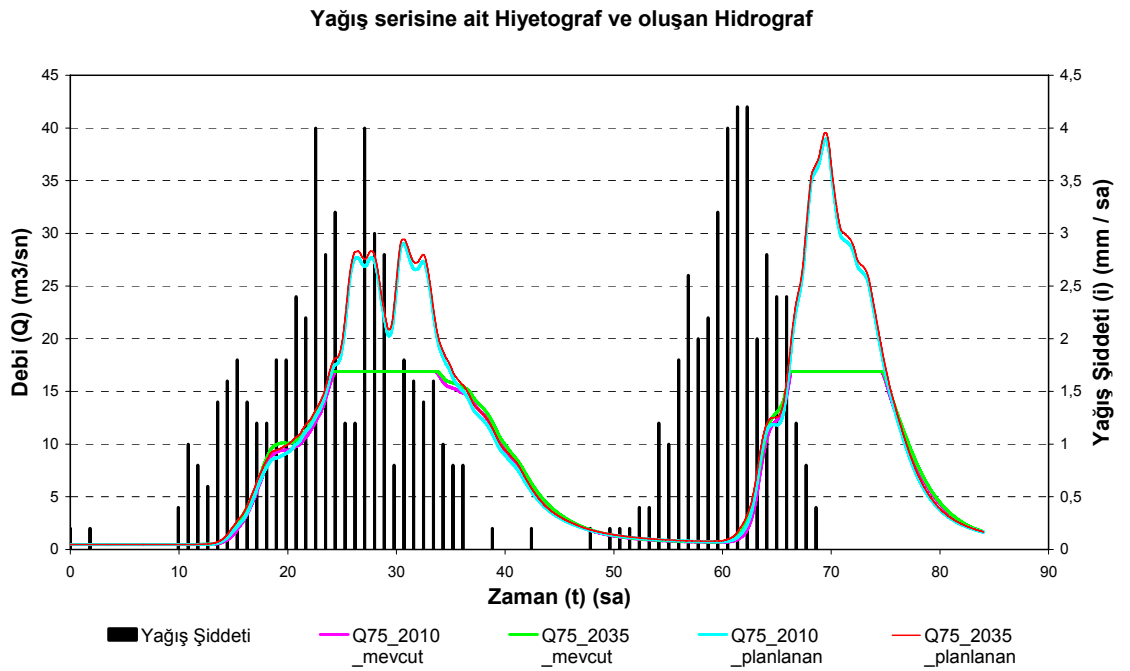
Yağış Serisi I

10-13Aralık 2009 tarihleri arasında ölçülmüş ve yaklaşık 85 saat (3.5 gün) kadar süren yağış sonucu oluşan akışlar oluşturulan hidrolojik model ile tahmin edilmiştir. Şekil 9.3'de 10-13Aralık 2009 tarihleri arasında yağan yağış sonucu yerleşim alanına yakın seçilmiş dere üzerindeki bir noktaya ait (Link 50) Hiyetograf ve Hidrograflar görülmektedir.

Şekil 9.2' de 10-13Aralık 2009 tarihleri arasında yağan yağış sonucu havzanın çıkış noktasında hesaplanmış olan debinin zamana göre değişimi görülmektedir. Bu grafikte "Q75_2010_mevcut" olarak gösterilen hidrograf mevcut dere kesitleri kullanılarak *2010* yılındaki nüfus ve buna bağlı yerleşim alanı esas alınarak elde edilmiştir. Ayrıca çıkış noktası için yine 2010 yılına ait nüfus göz önünde bulundurularak yapılması planlanan genişletilmiş dere kesitleri kullanılmış ve modelde oluşturulan ana derede toplanan maksimum su miktarı tespit edilmiştir (Q75_2010_planlanan). Daha sonra oluşturulan hidrografların altında kalan alan hesaplanarak dereye akan maksimum su miktarı ve mevcut durumda çıkış noktasından geçen su miktarı hesaplanmıştır. Dolayısıyla hesaplanan bu değerler arasındaki fark taşkına neden olan su miktarı olarak değerlendirilmiştir. Şekil 9.2'den görüldüğü gibi dere kesitlerinin mevcut durumu için 25–35 ve 66–75 saatleri arasında açık kanal dolu olarak akmaktadır, dolayısıyla bu saatler arasında olası bir taşkın söz konusudur. Sonuç olarak, 2010 yılına ait nüfus göz önüne alındığında yağış sonucu havza üzerinde akışa dönüşen toplam su hacmi 2793810 m³ ve bunun mevcut dere kesitleri ile taşınamayan yani taşkına dönüşen kısmı ise 656823 m³ yani toplam su hacminin % 23.5'i olarak hesaplanmıştır. 2035 yılına ait nüfus göz önüne alındığında ise yağış sonucu havza üzerinde akışa dönüşen toplam su hacmi 2902502 m³ ve bunun mevcut dere kesitleri ile taşınamayan yani taşkına dönüşen kısmı ise 699132 m³ yani toplam su hacminin % 24.1'i olarak hesaplanmıştır. Ancak oluşturulan modelde planlanan dere kesitleri kullanıldığında bu kesitlerin 2035

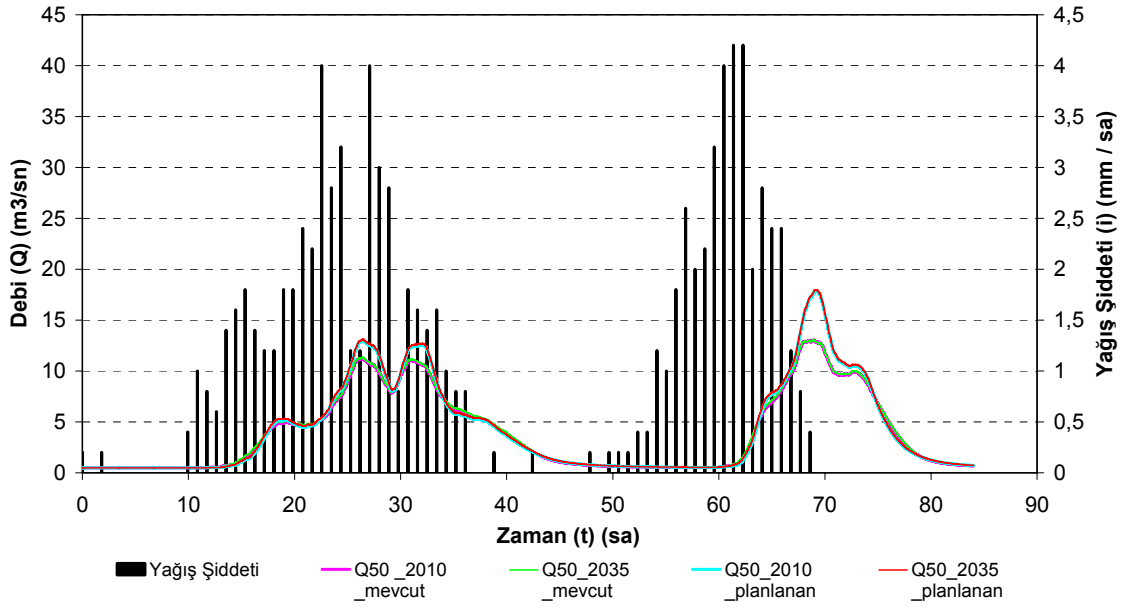
yılında nüfus artışından dolayı Türkköse Deresi'nde artması beklenen akışı taşıyabildiği ve herhangi bir taşkın olmayacağı sonucuna varılmıştır.

Nüfus artışının su miktarına olan etkisine bakıldığında 2010 ve 2035 yıllarında oluşan toplam su miktarı arasındaki fark 108692 m³ olarak hesaplanmıştır. Bu miktar toplanan suyun % 3.9'unu oluşturmaktadır. Ancak, bu farkın yalnızca 42309 m³ lük kısmı oluşacak taşkın miktarındaki artışı göstermektedir. Dolayısıyla nüfus artışından dolayı Türkköse Deresi'nde meydana gelecek taşkın % 6.4 daha artacağı görülmektedir (Tablo 9.2).



Şekil 9.2: Yağış Serisi I için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograflar

Yağış serisine ait Hiyetograf ve oluşan Hidrograf



Şekil 9.3: Yağış Serisi I için yerleşim alanına yakın seçilmiş dere üzerindeki bir noktaya ait (Link 50) Hiyetograf ve Hidrograflar

Tablo 9.2: Yağış Serisi I için 2010 ve 2035 yıllarına ait mevcut ve planlanan dere kesitleri ile Türkköse Deresi'nin çıkış noktasında oluşan su ve taşkın miktarı ile yüzde değerleri.

	Su miktarı (m ³)	%
Link75_2010_planlanan	2793810	
Link75_2010_mevcut	2136987	
2010 Yılı Taşkın Miktarı	656823	23.5
Link75_2035_planlanan	2902502	
Link75_2035_mevcut	2203370	
2035 Yılı Taşkın Miktarı	699132	24.1
2010–2035 yılları için su miktarındaki artış	108692	3.9
2010–2035 yılları için taşkındaki artış	42309	6.4

Yağış Serisi II

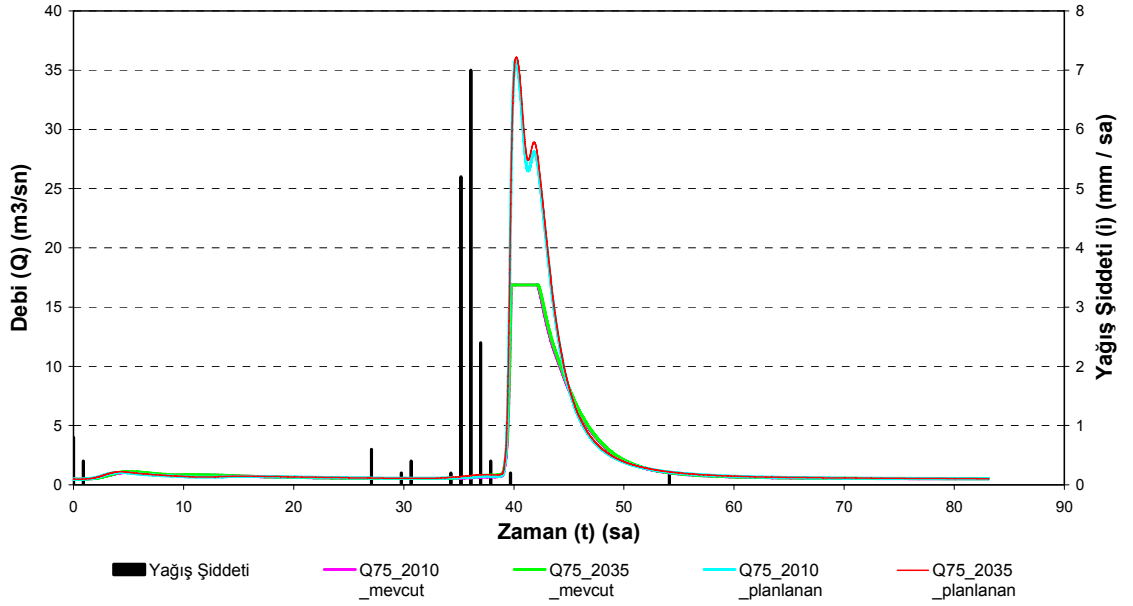
26–29 Aralık 2009 tarihleri arasında ölçülmüş ve yaklaşık 3 gün kadar süren yağış sonucu oluşan akışlar oluşturulan hidrolojik model ile tahmin edilmiştir. Şekil 9.5’de 10-13Aralık 2009 tarihleri arasında yağın yağış sonucu yerleşim alanına yakın seçilmiş dere üzerindeki bir noktaya ait (Link 50) Hiyetograf ve Hidrograflar görülmektedir.

Şekil 9.4’de 26-29Aralık 2009 tarihleri arasında yağın yağış sonucu havzanın çıkış noktasında hesaplanmış olan debinin zamana göre değişimi görülmektedir. Bu grafikte “Q75_2010_mevcut” olarak gösterilen hidrograf mevcut dere kesitleri kullanılarak 2010 yılındaki nüfus ve buna bağlı yerleşim alanı esas alınarak elde edilmiştir. Ayrıca çıkış noktası için yine 2010 yılına ait nüfus göz önünde bulundurularak yapılması planlanan genişletilmiş dere kesitleri kullanılmış ve modelde oluşturulan ana dereye toplanan maksimum su miktarı tespit edilmiştir. (Q75_2010_planlanan) Daha sonra oluşturulan hidrografların altında kalan alan hesaplanarak dereye akan maksimum su miktarı ve mevcut durumda çıkış noktasından geçen su miktarı hesaplanmıştır. Dolayısıyla hesaplanan bu değerler arasındaki fark taşkına neden olan su miktarı olarak değerlendirilmiştir. Şekil 9.4’den görüldüğü gibi dere kesitlerinin mevcut durumu için 39-42 saatleri arasında açık kanal dolu olarak akmaktadır, dolayısıyla bu saatler arasında olası bir taşkın söz konusudur. Sonuç olarak, 2010 yılına ait nüfus göz önüne alındığında yağış sonucu havza üzerinde akışa dönüşen toplam su hacmi 566995 m^3 ve bunun mevcut dere kesitleri ile taşınamayan yani taşkına dönüşen kısmı ise 170163 m^3 yani toplam su hacminin % 30’u olarak hesaplanmıştır. 2035 yılına ait nüfus göz önüne alındığında ise yağış sonucu havza üzerinde akışa dönüşen toplam su hacmi 583849 m^3 ve bunun mevcut dere kesitleri ile taşınamayan yani taşkına dönüşen kısmı ise 176625 m^3 yani toplam su hacminin % 30.5’i olarak hesaplanmıştır. Ancak oluşturulan modelde planlanan dere enkesitleri kullanıldığında bu enkesitlerin 2035 yılında nüfus artışından dolayı Türkköse Deresi’nde artması beklenen akışı taşıyabildiği ve herhangi bir taşkın olmayacağı sonucuna varılmıştır.

Nüfus artışının su miktarına olan etkisine bakıldığında 2010 ve 2035 yıllarında oluşan toplam su miktarı arasındaki fark 16854 m^3 olarak hesaplanmıştır. Bu miktar toplanan suyun % 3 ‘ünü oluşturmaktadır. Ancak, bu farkın yalnızca 6462 m^3 lük kısmı oluşacak

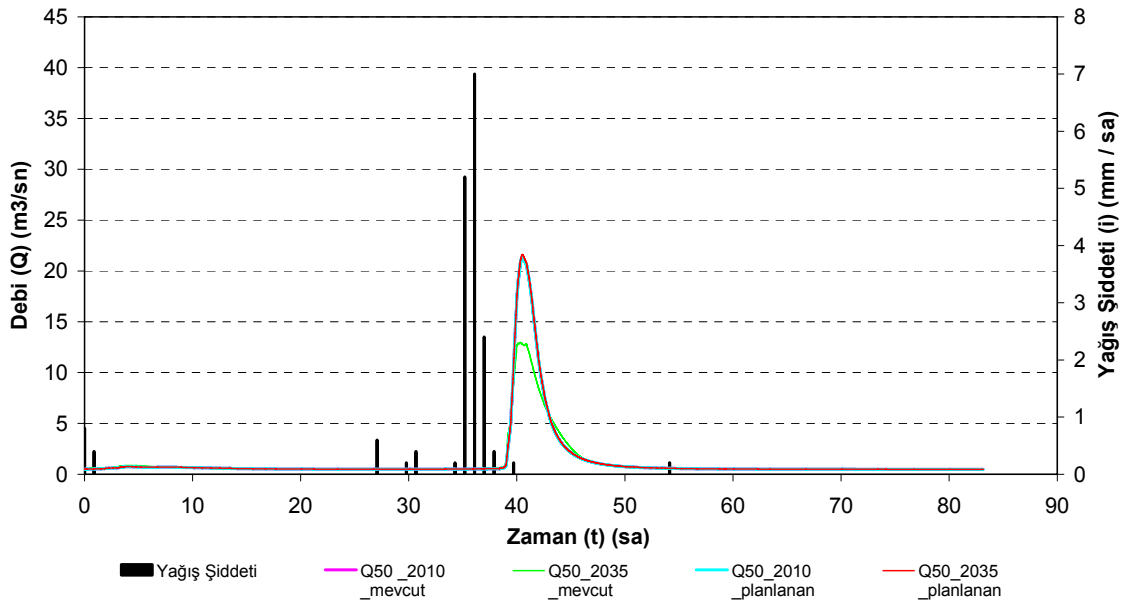
taşkın miktarındaki artışı göstermektedir. Dolayısıyla nüfus artışından dolayı Türkköse Deresi'nde meydana gelecek taşkın % 3.8 daha artacağı görülmektedir (Tablo 9.3)

Yağış serisine ait Hiyetograf ve oluşan Hidrograf



Şekil 9.4: Yağış Serisi II için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograflar

Yağış serisine ait Hiyetograf ve oluşan Hidrograf



Şekil 9.5: Yağış Serisi II için yerleşim alanına yakın seçilmiş dere üzerindeki bir noktaya ait (Link 50) Hiyetograf ve Hidrograflar

Tablo 9.3: Yağış Serisi II için 2010 ve 2035 yıllarına ait mevcut ve planlanan dere kesitleri ile Türkköse Deresi'nin çıkış noktasında oluşan su ve taşkın miktarı ile yüzde değerleri.

	Su miktarı (m ³)	%
Link75_2010_planlanan	566995	
Link75_2010_mevcut	396832	
2010 Yılı Taşkın Miktarı	170163	30.0
Link75_2035_planlanan	583849	
Link75_2035_mevcut	407224	
2035 Yılı Taşkın Miktarı	176625	30.3
2010–2035 yılları için su miktarındaki artış	16854	3.0
2010–2035 yılları için taşkındaki artış	6462	3.8

Yağış Serisi III

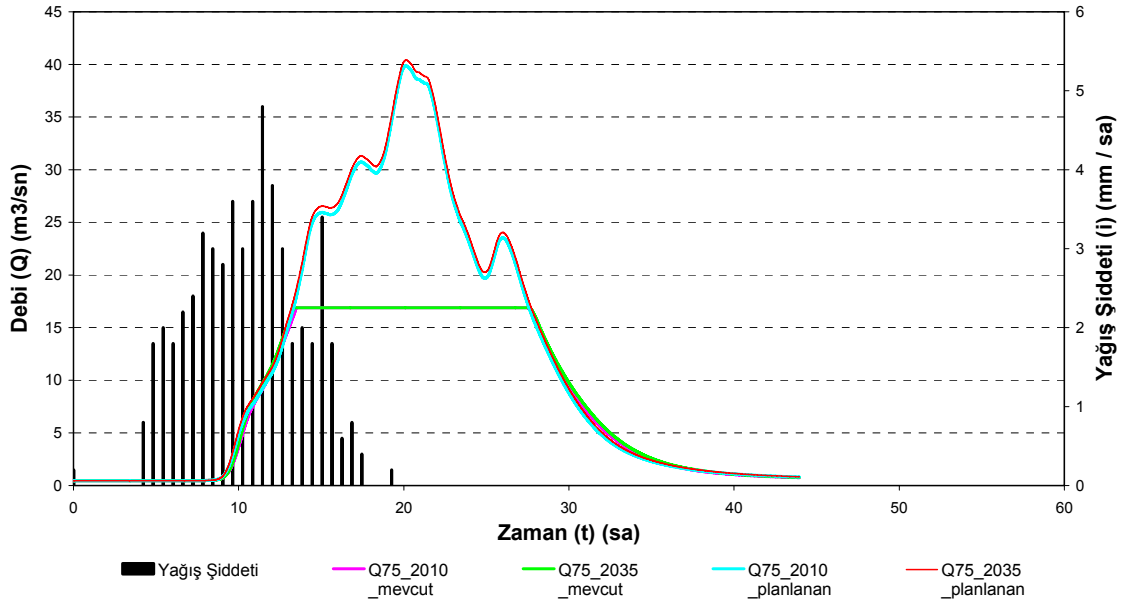
22–23 Ocak 2010 tarihleri arasında ölçülmüş ve yaklaşık 2 gün kadar süren yağış sonucu oluşan akışlar oluşturulan hidrolojik model ile tahmin edilmiştir. Şekil 9.7’de 10-13Aralık 2009 tarihleri arasında yağın yağış sonucu yerleşim alanına yakın seçilmiş dere üzerindeki bir noktaya ait (Link 50) Hiyetograf ve Hidrograflar görülmektedir.

Şekil 9.6’da 22–23 Ocak 2010 tarihleri arasında yağın yağış sonucu havzanın çıkış noktasında hesaplanmış olan debinin zamana göre değişimi görülmektedir. Bu grafikte “Q75_2010_mevcut” olarak gösterilen hidrograf mevcut dere kesitleri kullanılarak 2010 yılındaki nüfus ve buna bağlı yerleşim alanı esas alınarak elde edilmiştir. Ayrıca çıkış noktası için yine 2010 yılına ait nüfus göz önünde bulundurularak yapılması planlanan genişletilmiş dere kesitleri kullanılmış ve modelde oluşturulan ana derede toplanan

maksimum su miktarı tespit edilmiştir. (Q75_2010_planlanan) Daha sonra oluşturulan hidrografların altında kalan alan hesaplanarak dereye akan maksimum su miktarı ve mevcut durumda çıkış noktasından geçen su miktarı hesaplanmıştır. Dolayısıyla hesaplanan bu değerler arasındaki fark taşkına neden olan su miktarı olarak değerlendirilmiştir. Şekil 9.6'dan görüldüğü gibi dere kesitlerinin mevcut durumu için 14-27 saatleri arasında açık kanal dolu olarak akmaktadır, dolayısıyla bu saatler arasında olası bir taşkın söz konusudur. Sonuç olarak, 2010 yılına ait nüfus göz önüne alındığında yağış sonucu havza üzerinde akışa dönüşen toplam su hacmi 1746358 m^3 ve bunun mevcut dere kesitleri ile taşınamayan yani taşkına dönüşen kısmı ise 568233 m^3 yani toplam su hacminin % 32.5'i olarak hesaplanmıştır. 2035 yılına ait nüfus göz önüne alındığında ise yağış sonucu havza üzerinde akışa dönüşen toplam su hacmi 1796581 m^3 ve bunun mevcut dere kesitleri ile taşınamayan yani taşkına dönüşen kısmı ise 600890 m^3 yani toplam su hacminin % 33.4'ü olarak hesaplanmıştır. Ancak oluşturulan modelde planlanan dere enkesitleri kullanıldığında bu enkesitlerin 2035 yılında nüfus artışından dolayı Türkköse Deresi'nde artması beklenen akışı taşıyabildiği ve herhangi bir taşkın olmayacağı sonucuna varılmıştır.

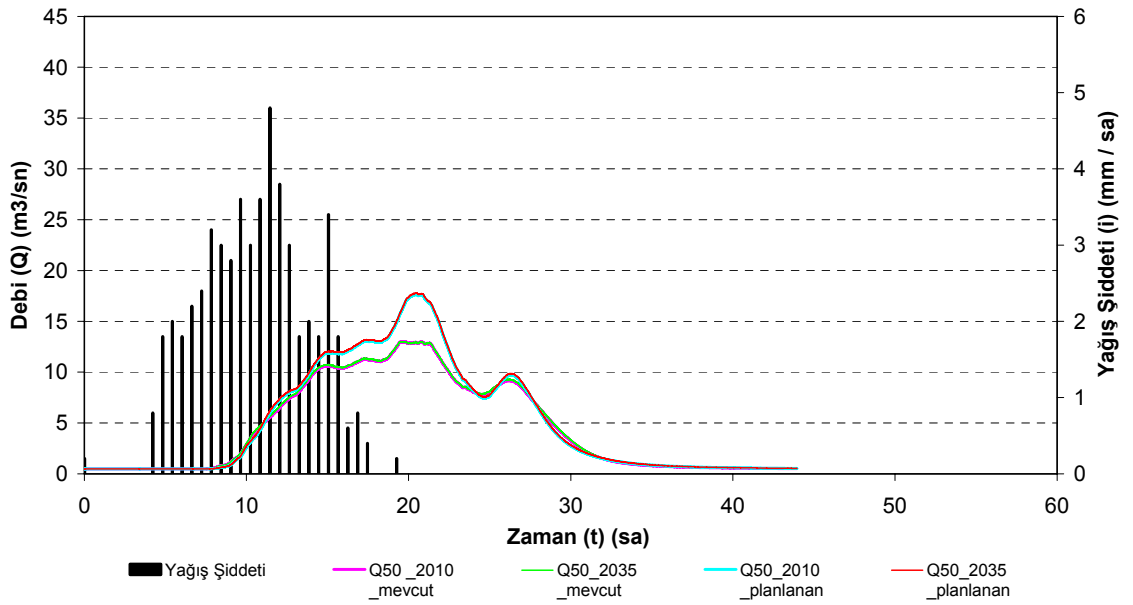
Nüfus artışının su miktarına olan etkisine bakıldığında 2010 ve 2035 yıllarında oluşan toplam su miktarı arasındaki fark 50223 m^3 olarak hesaplanmıştır. Bu miktar toplanan suyun % 2.9'unu oluşturmaktadır. Ancak, bu farkın yalnızca 32657 m^3 lük kısmı oluşacak taşkın miktarındaki artışı göstermektedir. Dolayısıyla nüfus artışından dolayı Türkköse Deresi'nde meydana gelecek taşkın % 5.7 daha artacağı görülmektedir (Tablo 9.4).

Yağış serisine ait Hiyetograf ve oluşan Hidrograf



Şekil 9.6: Yağış Serisi III için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograflar

Yağış serisine ait Hiyetograf ve oluşan Hidrograf



Şekil 9.7: Yağış Serisi III için yerleşim alanına yakın seçilmiş dere üzerindeki bir noktaya ait (Link 50) Hiyetograf ve Hidrograflar

Tablo 9.4: Yağış Serisi III için 2010 ve 2035 yıllarına ait mevcut ve planlanan dere kesitleri ile Türkköse Deresi'nin çıkış noktasında oluşan su ve taşkın miktarı ile yüzde değerleri.

	Su miktarı (m ³)	%
Link75_2010_planlanan	1746358	
Link75_2010_mevcut	1178125	
2010 Yılı Taşkın Miktarı	568233	32.5
Link75_2035_planlanan	1796581	
Link75_2035_mevcut	1195691	
2035 Yılı Taşkın Miktarı	600890	33.4
2010–2035 yılları için su miktarındaki artış	50223	2.9
2010–2035 yılları için taşkındaki artış	32657	5.7

Yağış Serisi IV

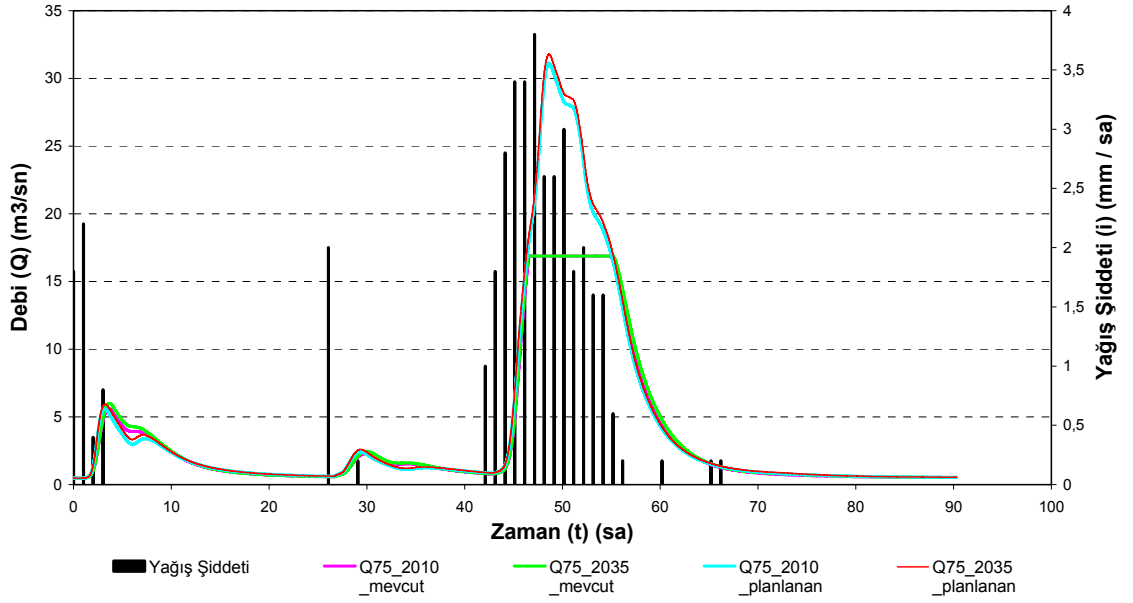
31 Ocak–03 Şubat 2010 tarihleri arasında ölçülmüş ve yaklaşık 3 gün kadar süren yağış sonucu oluşan akışlar oluşturulan hidrolojik model ile tahmin edilmiştir. Şekil 9.9'da 10-13Aralık 2009 tarihleri arasında yağın yağış sonucu yerleşim alanına yakın seçilmiş dere üzerindeki bir noktaya ait (Link 50) Hiyetograf ve Hidrograflar görülmektedir.

Şekil 9.8'de 31 Ocak–03 Şubat 2010 tarihleri arasında yağın yağış sonucu havzanın çıkış noktasında hesaplanmış olan debinin zamana göre değişimi görülmektedir. Bu grafikte “Q75_2010_mevcut” olarak gösterilen hidrograf mevcut dere kesitleri kullanılarak 2010 yılındaki nüfus ve buna bağlı yerleşim alanı esas alınarak elde

edilmiştir. Ayrıca çıkış noktası için yine 2010 yılına ait nüfus göz önünde bulundurularak yapılması planlanan genişletilmiş dere kesitleri kullanılmış ve modelde oluşturulan ana dereye toplanan maksimum su miktarı tespit edilmiştir. (Q75_2010_planlanan) Daha sonra oluşturulan hidrografların altında kalan alan hesaplanarak dereye akan maksimum su miktarı ve mevcut durumda çıkış noktasından geçen su miktarı hesaplanmıştır. Dolayısıyla hesaplanan bu değerler arasındaki fark taşkına neden olan su miktarı olarak değerlendirilmiştir. Şekil 9.8'den görüldüğü gibi dere kesitlerinin mevcut durumu için 46–53 saatleri arasında açık kanal dolu olarak akmaktadır, dolayısıyla bu saatler arasında olası bir taşkın söz konusudur. Sonuç olarak, 2010 yılına ait nüfus göz önüne alındığında yağış sonucu havza üzerinde akışa dönüşen toplam su hacmi 1210525 m^3 ve bunun mevcut dere kesitleri ile taşınamayan yani taşkına dönüşen kısmı ise 233201 m^3 yani toplam su hacminin % 19.3'ü olarak hesaplanmıştır. 2035 yılına ait nüfus göz önüne alındığında ise yağış sonucu havza üzerinde akışa dönüşen toplam su hacmi 1255690 m^3 ve bunun mevcut dere kesitleri ile taşınamayan yani taşkına dönüşen kısmı ise 252604 m^3 yani toplam su hacminin % 20.1'i olarak hesaplanmıştır. Ancak oluşturulan modelde planlanan dere enkesitleri kullanıldığında bu enkesitlerin 2035 yılında nüfus artışından dolayı Türkköse Deresi'nde artması beklenen akışı taşıyabildiği ve herhangi bir taşkın olmayacağı sonucuna varılmıştır.

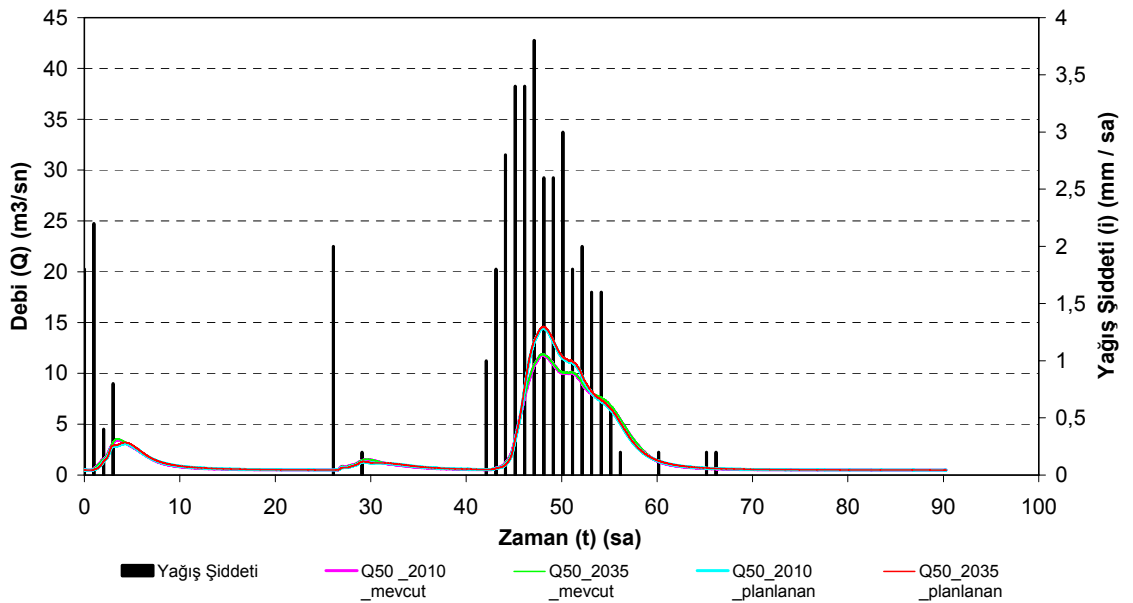
Nüfus artışının su miktarına olan etkisine bakıldığında 2010 ve 2035 yıllarında oluşan toplam su miktarı arasındaki fark 45165 m^3 olarak hesaplanmıştır. Bu miktar toplanan suyun % 3.7'ünü oluşturmaktadır. Ancak, bu farkın yalnızca 19403 m^3 lük kısmı oluşacak taşkın miktarındaki artışı göstermektedir. Dolayısıyla nüfus artışından dolayı Türkköse Deresi'nde meydana gelecek taşkın % 8.3 daha artacağı görülmektedir (Tablo 9.5).

Yağış serisine ait Hiyetograf ve oluşan Hidrograf



Şekil 9.8: Yağış Serisi IV için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograflar

Yağış serisine ait Hiyetograf ve oluşan Hidrograf



Şekil 9.9: Yağış Serisi IV için yerleşim alanına yakın seçilmiş dere üzerindeki bir noktaya ait (Link 50) Hiyetograf ve Hidrograflar

Tablo 9.5: Yağış Serisi IV için 2010 ve 2035 yıllarına ait mevcut ve planlanan dere kesitleri ile Türkköse Deresi'nin çıkış noktasında oluşan su ve taşkın miktarı ile yüzde değerleri.

	Su miktarı (m ³)	%
Link75_2010_planlanan	1210525	
Link75_2010_mevcut	977324	
2010 Yılı Taşkın Miktarı	233201	19.3
Link75_2035_planlanan	1255690	
Link75_2035_mevcut	1003086	
2035 Yılı Taşkın Miktarı	252604	20.1
2010–2035 yılları için su miktarındaki artış	45165	3.7
2010–2035 yılları için taşkındaki artış	19403	8.3

Yağış Serisi V

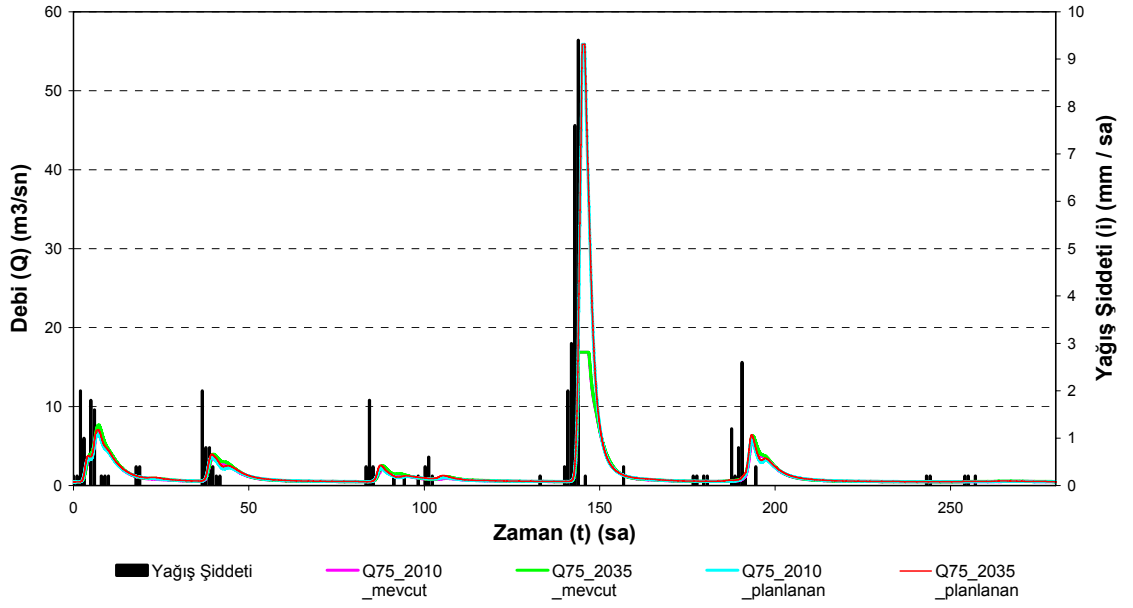
07 Şubat–18 Şubat 2010 tarihleri arasında ölçülmüş ve yaklaşık 245 saat (11 gün) kadar süren yağış sonucu oluşan akışlar oluşturulan hidrolojik model ile tahmin edilmiştir. Şekil 9.11’de 10-13Aralık 2009 tarihleri arasında yağın yağış sonucu yerleşim alanına yakın seçilmiş dere üzerindeki bir noktaya ait (Link 50) Hiyetograf ve Hidrograflar görülmektedir.

Şekil 9.10’da 07 Şubat–18 Şubat 2010 tarihleri arasında yağın yağış sonucu havzanın çıkış noktasında hesaplanmış olan debinin zamana göre değişimi görülmektedir. Bu grafikte “Q75_2010_mevcut” olarak gösterilen hidrograf mevcut dere kesitleri kullanılarak 2010 yılındaki nüfus ve buna bağlı yerleşim alanı esas alınarak elde edilmiştir. Ayrıca çıkış noktası için yine 2010 yılına ait nüfus göz önünde

bulundurularak yapılması planlanan genişletilmiş dere kesitleri kullanılmış ve modelde oluşturulan ana dereye toplanan maksimum su miktarı tespit edilmiştir. (Q75_2010_planlanan) Daha sonra oluşturulan hidrografların altında kalan alan hesaplanarak dereye akan maksimum su miktarı ve mevcut durumda çıkış noktasından geçen su miktarı hesaplanmıştır. Dolayısıyla hesaplanan bu değerler arasındaki fark taşkına neden olan su miktarı olarak değerlendirilmiştir. Şekil 9.10'dan görüldüğü gibi dere kesitlerinin mevcut durumu için 144–147 saatleri arasında açık kanal dolu olarak akmaktadır, dolayısıyla bu saatler arasında olası bir taşkın söz konusudur. Sonuç olarak, 2010 yılına ait nüfus göz önüne alındığında yağış sonucu havza üzerinde akışa dönüşen toplam su hacmi 1283283 m^3 ve bunun mevcut dere kesitleri ile taşınamayan yani taşkına dönüşen kısmı ise 404160 m^3 yani toplam su hacminin % 31.5'i olarak hesaplanmıştır. 2035 yılına ait nüfus göz önüne alındığında ise yağış sonucu havza üzerinde akışa dönüşen toplam su hacmi 1353397 m^3 ve bunun mevcut dere kesitleri ile taşınamayan yani taşkına dönüşen kısmı ise 412114 m^3 yani toplam su hacminin % 30.5'i olarak hesaplanmıştır. Ancak oluşturulan modelde planlanan dere enkesitleri kullanıldığında bu enkesitlerin 2035 yılında nüfus artışından dolayı Türkköse Deresi'nde artması beklenen akışı taşıyabildiği ve herhangi bir taşkın olmayacağı sonucuna varılmıştır.

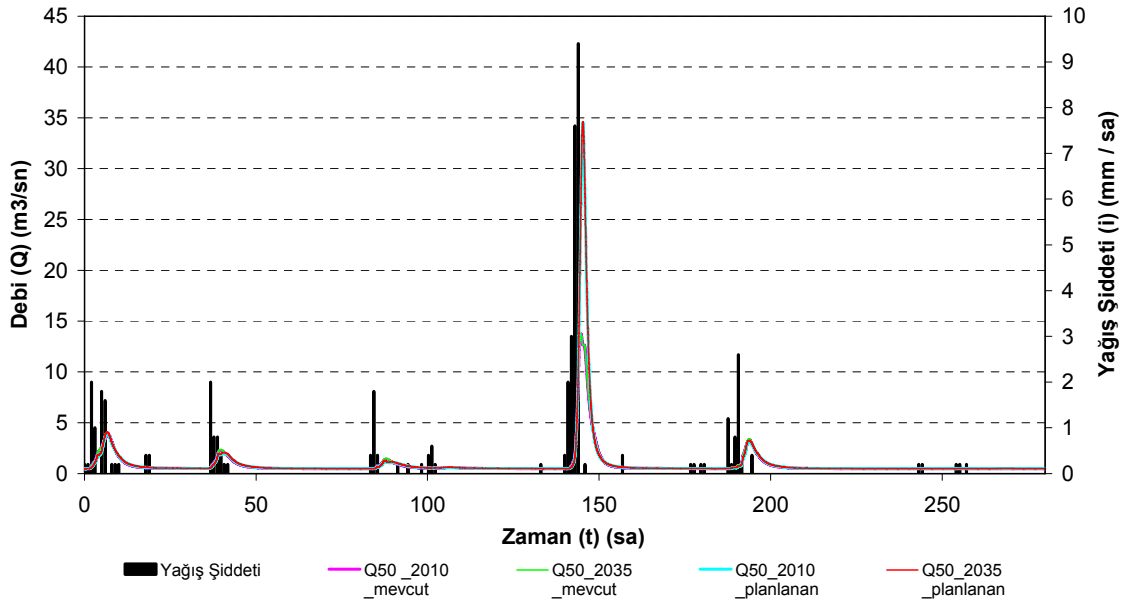
Nüfus artışının su miktarına olan etkisine bakıldığında 2010 ve 2035 yıllarında oluşan toplam su miktarı arasındaki fark 70114 m^3 olarak hesaplanmıştır. Bu miktar toplanan suyun % 5.5'ini oluşturmaktadır. Ancak, bu farkın yalnızca 7954 m^3 lük kısmı oluşacak taşkın miktarındaki artışı göstermektedir. Dolayısıyla nüfus artışından dolayı Türkköse Deresi'nde meydana gelecek taşkın % 2 daha artacağı görülmektedir (Tablo 9.6).

Yağış serisine ait Hiyetograf ve oluşan Hidrograf



Şekil 9.10: Yağış Serisi V için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograflar

Yağış serisine ait Hiyetograf ve oluşan Hidrograf



Şekil 9.11: Yağış Serisi V için yerleşim alanına yakın seçilmiş dere üzerindeki bir noktaya ait (Link 50) Hiyetograf ve Hidrograflar

Tablo 9.6: Yağış Serisi V için 2010 ve 2035 yıllarına ait mevcut ve planlanan dere kesitleri ile Türkköse Deresi'nin çıkış noktasında oluşan su ve taşkın miktarı ile yüzde değerleri.

	Su miktarı (m ³)	%
Link75_2010_planlanan	1283283	
Link75_2010_mevcut	879123	
2010 Yılı Taşkın Miktarı	404160	31.5
Link75_2035_planlanan	1353397	
Link75_2035_mevcut	941283	
2035 Yılı Taşkın Miktarı	412114	30.5
2010-2035 yılları için su miktarındaki artış	70114	5.5
2010-2035 yılları için taşkındaki artış	7954	2.0

9.2. EKSTREM DURUMLAR

9.2.1. Yerleşim Alanlarının Aşırı Artışı

Kontrolsüz ve kaçak yerleşim içme suyu havzaları için ciddi sorun oluşturmaktadır. Özellikle bu durum Türkiye'nin her yerinden göç alan ve nüfusu hızlı artan İstanbul için ciddi önem arz etmektedir. İstanbul'da aşırı nüfus artışı ile beraber ciddi boyutlarda yerleşim alanlarına ihtiyaç duyulmuştur. Bu durumda yerleşimler özellikle koruma altında olan içme suyu havza alanlarına doğru yayılmaya başlamıştır. Birçok içme suyu kaynağı gibi Sazlıdere Havzası da risk altında bulunmaktadır. Hatta modellenen alanda bulunan Türkköse Deresi yerleşim alanlarından gelen atık sular nedeniyle kirlendiğinden yapılan kanal ile baraja gitmeden çekmece gölüne aktarılmaktadır. Aktarılan bu dere yaklaşık 40 km² lik su toplama alanına sahiptir. Bu durumdan anlaşılacağı üzere havzanın dörtte birlik kapasitesi kullanılmamaktadır.

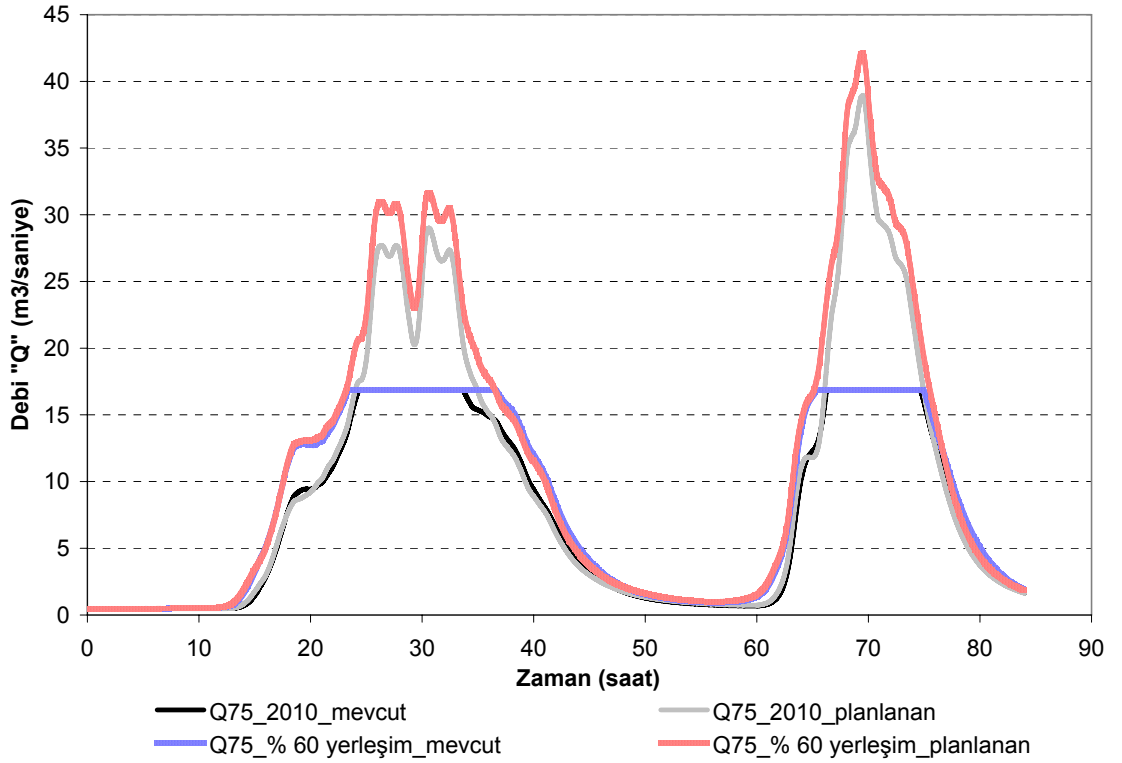
Çalışmanın bu aşamasında ekstrem durumlar değerlendirilerek uzun yıllar sonra karşılaşılabilecek beklenmeyen durumlar için değerlendirmeler yapılmıştır. Bunun için tez çalışması kapsamında hazırlanan hidrolojik model kullanılmıştır. Bu duruma ek olarak yerleşim alanlarında meydana gelen artış yüzdeleri diğer bir deyişle geçirimsiz alan yüzdeleri çok yüksek seviyelere çıkartılmıştır. Yağış serisi olarak 10-13Aralık 2009 tarihleri arasında ölçülmüş ve yaklaşık 85 saat (3.5 gün) kadar süren yağış kullanılmıştır. Havzada meydana gelecek olan geçirimsiz yüzey alanlarının % 60, % 80 ve % 100 olduğu varsayılarak analizler yapılmıştır.

Havzada % 60 Oranında Yerleşim Alanı Oluşması Durumu

Şekil 9.12’de Mevcut ve Planlanan dere kesitleri için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hidrograflar görülmektedir. Bu grafikte “Q75_2010_mevcut” olarak gösterilen hidrograf mevcut dere kesitleri kullanılarak 2010 yılındaki nüfus ve buna bağlı yerleşim alanı (yaklaşık % 10) esas alınarak elde edilmiştir. Ayrıca çıkış noktası için yine 2010 yılına ait nüfus göz önünde bulundurularak yapılması planlanan genişletilmiş dere kesitleri kullanılmış ve modelde oluşturulan ana dereye toplanan maksimum su miktarı tespit edilmiştir. (Q75_2010_planlanan) Daha sonra oluşturulan hidrografların altında kalan alan hesaplanarak dereye akan maksimum su miktarı ve mevcut durumda çıkış noktasından geçen su miktarı hesaplanmıştır. Şekil 9.12’den de görüldüğü gibi dere kesitlerinin mevcut durumu için 25–35 ve 66–75 saatleri arasında açık kanal dolu olarak akmaktadır, dolayısıyla bu saatler arasında olası bir taşkın söz konusudur. Dolayısıyla hesaplanan bu değerler arasındaki fark taşkına neden olan su miktarı olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, 2010 yılına ait nüfus göz önüne alındığında yağış sonucu havza üzerinde taşkına dönüşen su miktarı 651371 m^3 yani toplam su hacminin % 23’ü olarak hesaplanmıştır. Yerleşim alanlarındaki % 60 lık oluşum göz önüne alındığında ise yağış sonucu havza üzerinde taşkına dönüşen su miktarı 883936 m^3 yani toplam su hacminin % 27’si olarak hesaplanmıştır ve Tablo 9.7’de gösterilmiştir. Ancak oluşturulan modelde planlanan dere enkesitleri kullanıldığında bu enkesitlerin Türkköse Deresi’nde artması beklenen akışı taşıyabildiği ve herhangi bir taşkın olmayacağı sonucuna varılmıştır.

Yerleşim alanlarının % 60 olmasının su miktarına olan etkisine bakıldığında taşkın miktarında 232565 m^3 lük artış görülmektedir. Dolayısıyla yerleşim alanlarının % 60

olması durumunda Türkköse Deresi'nde meydana gelecek taşkın % 36 daha artacağı anlaşılmaktadır. Havzada % 60 oranında yerleşim olursa bunun sonucunda havza üzerinde toplanan su 2793642 m³ iken 3319110 m³ olacaktır. Bu durumda havza üzerinde toplanan suda 525468 m³ artışın meydana geleceği tahmin edilmektedir. Dolayısıyla yerleşim alanının % 60 olması ile havzada toplanan suda % 19 oranında bir artışın meydana geleceği ön görülmektedir.



Şekil 9.12: Mevcut ve Planlanan dere kesitleri için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hidrograflar

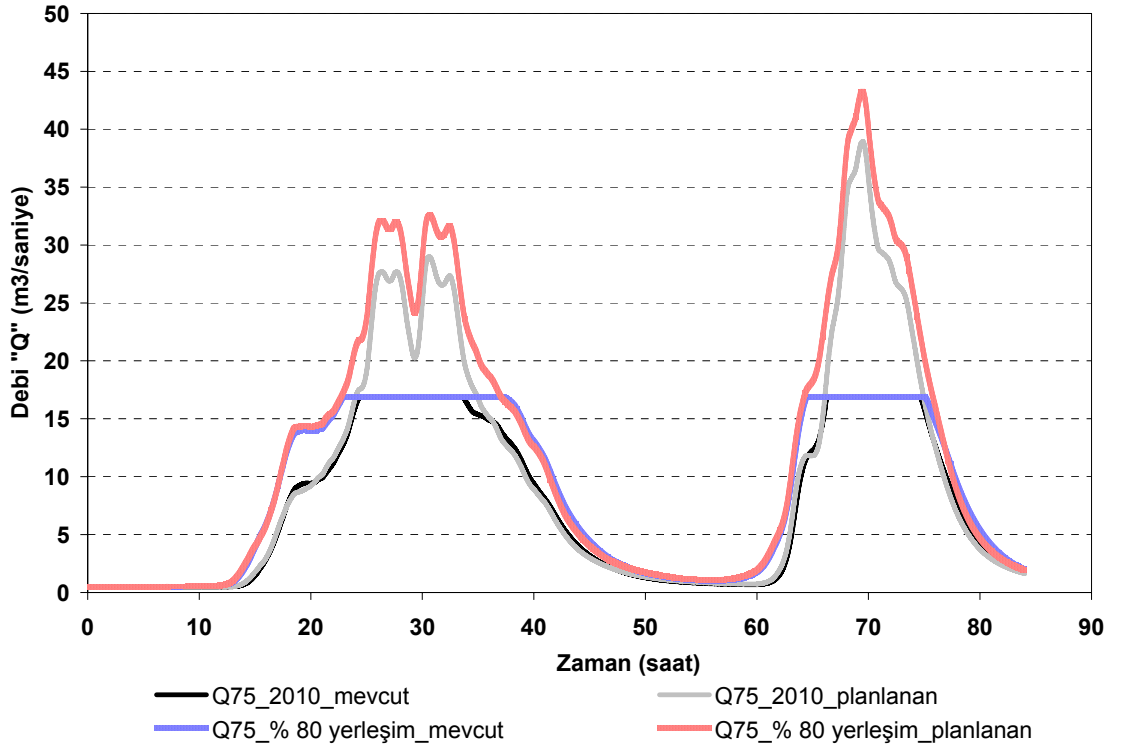
Tablo 9.7: Mevcut ve planlanan dere kesitleri ile % 60 geçirimsiz yüzey için Türkköse Deresi'nin çıkış noktasında oluşan taşkın miktarı ile yüzde değerleri.

	Su miktarı (m ³)	%
2010 Yılı Taşkın Miktarı	651371	23
%60 yerleşim durumunda Taşkın Miktarı	883936	27
%60 yerleşim durumunda taşkındaki artış	232565	36

Havzada % 80 Oranında Yerleşim Alanı Oluşması Durumu

Şekil 9.13’de Mevcut ve Planlanan dere kesitleri için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hidrograflar görülmektedir. Bu grafikte “Q75_2010_mevcut” olarak gösterilen hidrograf mevcut dere kesitleri kullanılarak 2010 yılındaki nüfus ve buna bağlı yerleşim alanı (yaklaşık % 10) esas alınarak elde edilmiştir. Ayrıca çıkış noktası için yine 2010 yılına ait nüfus göz önünde bulundurularak yapılması planlanan genişletilmiş dere kesitleri kullanılmış ve modelde oluşturulan ana dereye toplanan maksimum su miktarı tespit edilmiştir. (Q75_2010_planlanan) Daha sonra oluşturulan hidrografların altında kalan alan hesaplanarak dereye akan maksimum su miktarı ve mevcut durumda çıkış noktasından geçen su miktarı hesaplanmıştır. Şekil 9.13’den de görüldüğü gibi dere kesitlerinin mevcut durumu için 25–35 ve 66–75 saatleri arasında açık kanal dolu olarak akmaktadır, dolayısıyla bu saatler arasında olası bir taşkın söz konusudur. Dolayısıyla hesaplanan bu değerler arasındaki fark taşkına neden olan su miktarı olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, 2010 yılına ait nüfus göz önüne alındığında yağış sonucu havza üzerinde taşkına dönüşen su miktarı 651371 m^3 yani toplam su hacminin % 23’ü olarak hesaplanmıştır. Yerleşim alanlarındaki % 80 lik oluşum göz önüne alındığında ise yağış sonucu havza üzerinde taşkına dönüşen su miktarı 986744 m^3 yani toplam su hacminin % 28’i olarak hesaplanmıştır ve Tablo 9.8’de gösterilmiştir. Ancak oluşturulan modelde planlanan dere enkesitleri kullanıldığında bu enkesitlerin Türkköse Deresi’nde artması beklenen akışı taşıyabildiği ve herhangi bir taşkın olmayacağı sonucuna varılmıştır.

Yerleşim alanlarının % 80 olmasının su miktarına olan etkisine bakıldığında 335373 m^3 lük taşkın miktarındaki artış görülmektedir. Dolayısıyla yerleşim alanlarının % 80 olması durumunda Türkköse Deresi’nde meydana gelecek taşkın % 51 daha artacağı anlaşılmaktadır. Havzada % 80 oranında yerleşim olursa bunun sonucunda havza üzerinde toplanan su 2793642 m^3 iken 3520939 m^3 olacaktır. Bu durumda havza üzerinde toplanan suda 727297 m^3 artışın meydana geleceği tahmin edilmektedir. Dolayısıyla yerleşim alanının % 80 olması ile havzada toplanan suda % 26 oranında bir artışın meydana geleceği ön görülmektedir.



Şekil 9.13: Mevcut ve Planlanan dere kesitleri için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hidrograflar

Tablo 9.8: Mevcut ve planlanan dere kesitleri ile % 80 geçirimsiz yüzey için Türkköse Deresi'nin çıkış noktasında oluşan taşkın miktarı ile yüzde değerleri.

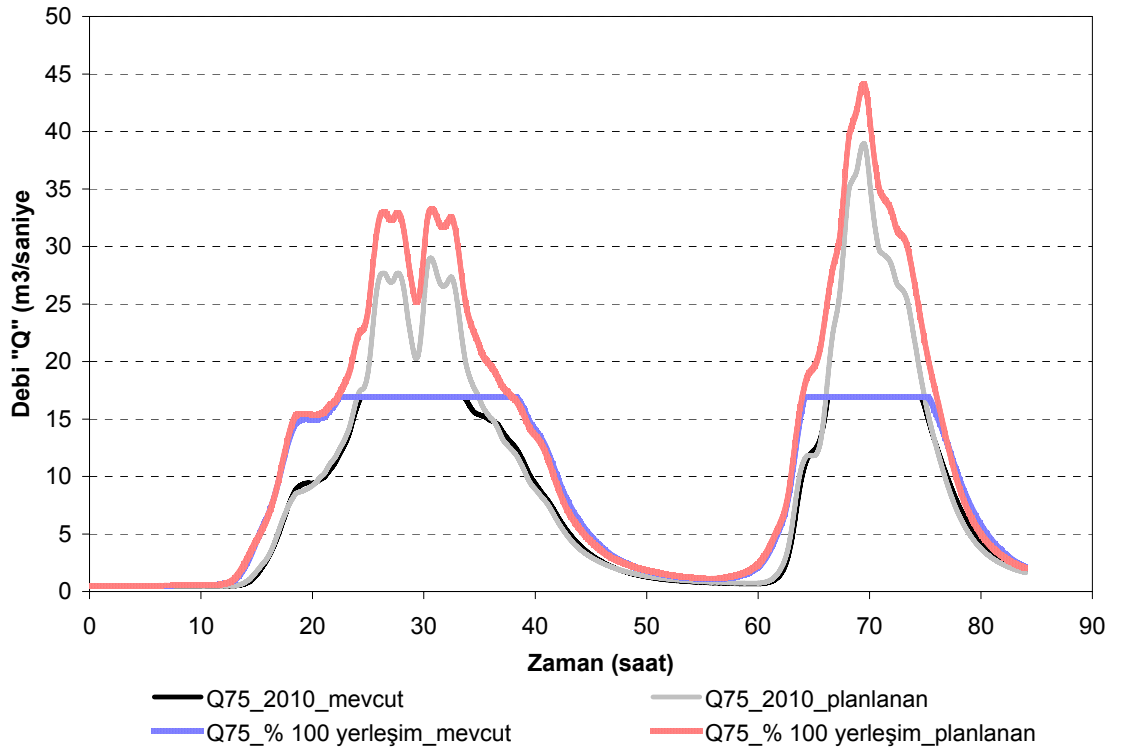
	Su miktarı (m ³)	%
2010 Yılı Taşkın Miktarı	651371	23
%80 yerleşim durumunda Taşkın Miktarı	986744	28
%80 yerleşim durumunda taşkındaki artış	335373	51

Havzada % 100 Oranında Yerleşim Alanı Oluşması Durumu

Şekil 9.14'ten Mevcut ve Planlanan dere kesitleri için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hidrograflar görülmektedir. Bu grafikte "Q75_2010_mevcut" olarak gösterilen hidrograf mevcut dere kesitleri kullanılarak 2010 yılındaki nüfus ve buna bağlı yerleşim alanı (yaklaşık % 10) esas alınarak elde edilmiştir. Ayrıca çıkış noktası için yine 2010

yılına ait nüfus göz önünde bulundurularak yapılması planlanan genişletilmiş dere kesitleri kullanılmış ve modelde oluşturulan ana dereye toplanan maksimum su miktarı tespit edilmiştir. (Q75_2010_planlanan) Daha sonra oluşturulan hidrografların altında kalan alan hesaplanarak dereye akan maksimum su miktarı ve mevcut durumda çıkış noktasından geçen su miktarı hesaplanmıştır. Şekil 9.14'ten de görüldüğü gibi dere kesitlerinin mevcut durumu için 25–35 ve 66–75 saatleri arasında açık kanal dolu olarak akmaktadır, dolayısıyla bu saatler arasında olası bir taşkın söz konusudur. Dolayısıyla hesaplanan bu değerler arasındaki fark taşkına neden olan su miktarı olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, 2010 yılına ait nüfus göz önüne alındığında yağış sonucu havza üzerinde taşkına dönüşen su miktarı 651371 m^3 yani toplam su hacminin % 23'ü olarak hesaplanmıştır. Yerleşim alanlarındaki % 100 lük oluşum göz önüne alındığında ise yağış sonucu havza üzerinde taşkına dönüşen su miktarı 1076629 m^3 yani toplam su hacminin % 29'u olarak hesaplanmıştır ve Tablo 9.9'da gösterilmiştir. Ancak oluşturulan modelde planlanan dere enkesitleri kullanıldığında bu enkesitlerin Türkköse Deresi'nde artması beklenen akışı taşıyabildiği ve herhangi bir taşkın olmayacağı sonucuna varılmıştır.

Yerleşim alanlarının % 100 olmasının su miktarına olan etkisine bakıldığında 425258 m^3 lük taşkın miktarındaki artış görülmektedir. Dolayısıyla yerleşim alanlarının % 100 olması durumunda Türkköse Deresi'nde meydana gelecek taşkın % 65 daha artacağı anlaşılmaktadır. Havzada % 100 oranında yerleşim olursa bunun sonucunda havza üzerinde toplanan su 2793642 m^3 iken 3690740 m^3 olacaktır. Bu durumda havza üzerinde toplanan suda 897098 m^3 artışın meydana geleceği tahmin edilmektedir. Dolayısıyla yerleşim alanının % 100 olması ile havzada toplanan suda % 32 oranında bir artışın meydana geleceği ön görülmektedir.



Şekil 9.14: Mevcut ve Planlanan dere kesitleri için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hidrograflar

Tablo 9.9: Mevcut ve planlanan dere kesitleri ile % 100 geçirimsiz yüzey için Türkköse Deresi'nin çıkış noktasında oluşan taşkın miktarı ile yüzde değerleri.

	Su miktarı (m ³)	%
2010 Yılı Taşkın Miktarı	651371	23
%100 yerleşim durumunda Taşkın Miktarı	1076629	29
%100 yerleşim durumunda taşkındaki artış	425258	65

9.2.2. Şiddetli Yağışlar

Çalışmanın bu aşamasında Florya Meteoroloji Müdürlüğünden geçmiş yıllara ait maksimum yağış verileri saatlik olarak istenmiştir. Geçmiş yıllara ait 5 adet şiddetli yağış şiddetine sahip yağış seçilmiştir. Seçilen bu 5 adet yağış serisi ayrı ayrı programa

girilerek analiz yapılmış ve sonuçları yorumlanmıştır. Geçmiş yıllara ait yağış serileri ikisi 1978 de olmak üzere sırası ile 1995, 2005 ve 2009 yıllarında meydana gelmiştir.

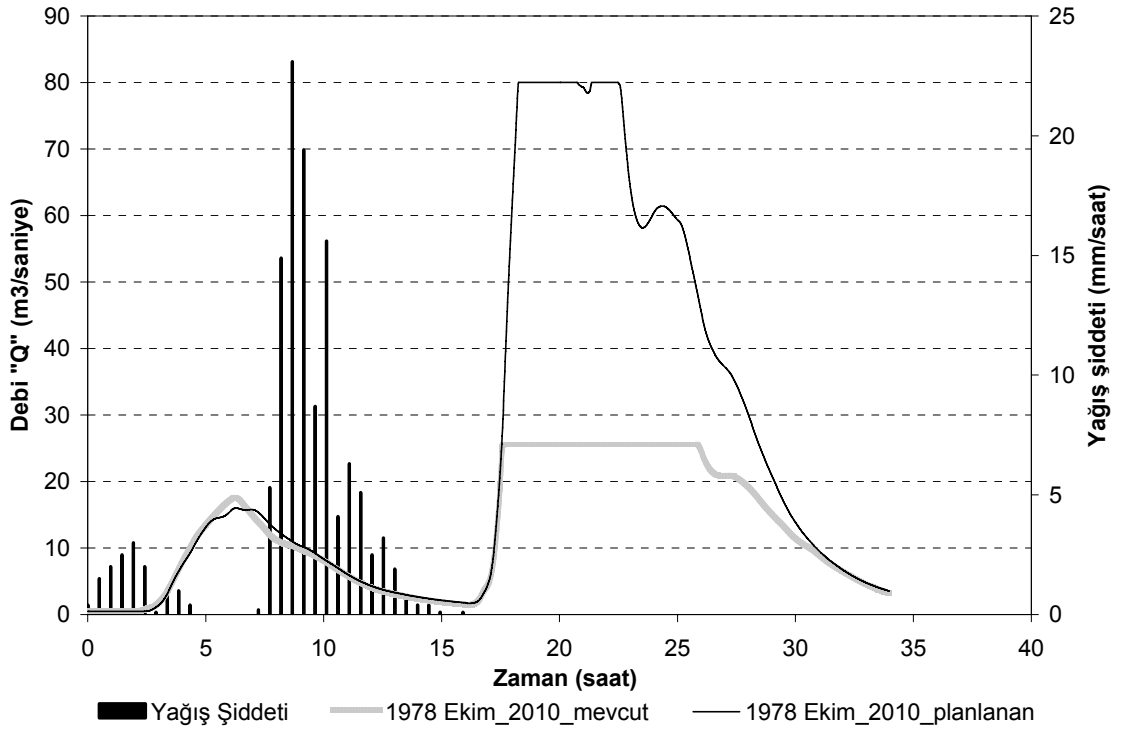
Daha önce yapılan analizlerde planlanan dere kesitleri ile havzadaki suyun toplanmasında herhangi bir sıkıntı olmadığı ve planlanan dere kesitleri ile analiz yapıldığında taşkın gözlemlenmediği görülmüştü. Fakat geçmiş yıllarda meydana gelen 5 adet şiddetli yağışlardan bazıları için planlanan dere kesitlerinin yeterli olmadığı ve taşkınların oluştuğu gözlemlenmiştir.

28–29 Ekim 1978

28–29 Ekim 1978 tarihleri arasında ölçülmüş ve yaklaşık 35 saat kadar süren yağış sonucu oluşan akışlar oluşturulan hidrolojik model ile tahmin edilmiştir.

Şekil 9.15’ de 28–29 Ekim 1978 tarihleri arasında yağan yağış sonucu havzanın çıkış noktasında hesaplanmış olan debinin zamana göre değişimi görülmektedir. Bu grafikte “1978 Ekim_2010_mevcut” olarak gösterilen hidrograf mevcut dere kesitleri kullanılarak 2010 yılındaki nüfus ve buna bağlı yerleşim alanı esas alınarak elde edilmiştir. “1978 Ekim_2010_planlanan” olarak gösterilen hidrograf ise yapılması planlanan dere kesitleri kullanılarak elde edilmiştir.

Şekil 9.15’ de görüldüğü gibi 28–29 Ekim 1978 yılında meydana gelen şiddetli bu yağış serisi sonucunda 17–26 saatleri arasında mevcut dere kesitleri ile 17–24 saatleri arasında da planlanan dere kesitleri ile oluşturulan modelde büyük taşkın meydana geldiği görülmektedir. Bu yağış sonucu havza üzerinde toplanan toplam su miktarı 4523563 m^3 tür. Yapılan analizler sonucu meydana gelen bu yağış sonucunda mevcut dere kesitleri olduğu zaman havzada meydana gelen taşkın miktarı 3007887 m^3 olmaktadır. Buda havzada toplanan suyun % 66’sını oluşturmaktadır. Bu durum planlanan dere kesitleri ele alınarak incelendiğinde, taşınan su miktarı 1478008 m^3 olmaktadır. Buda havzada toplanan suyun % 32’sini oluşturmaktadır



Şekil 9.15: Ekim 1978 yılına ait yağış için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograf

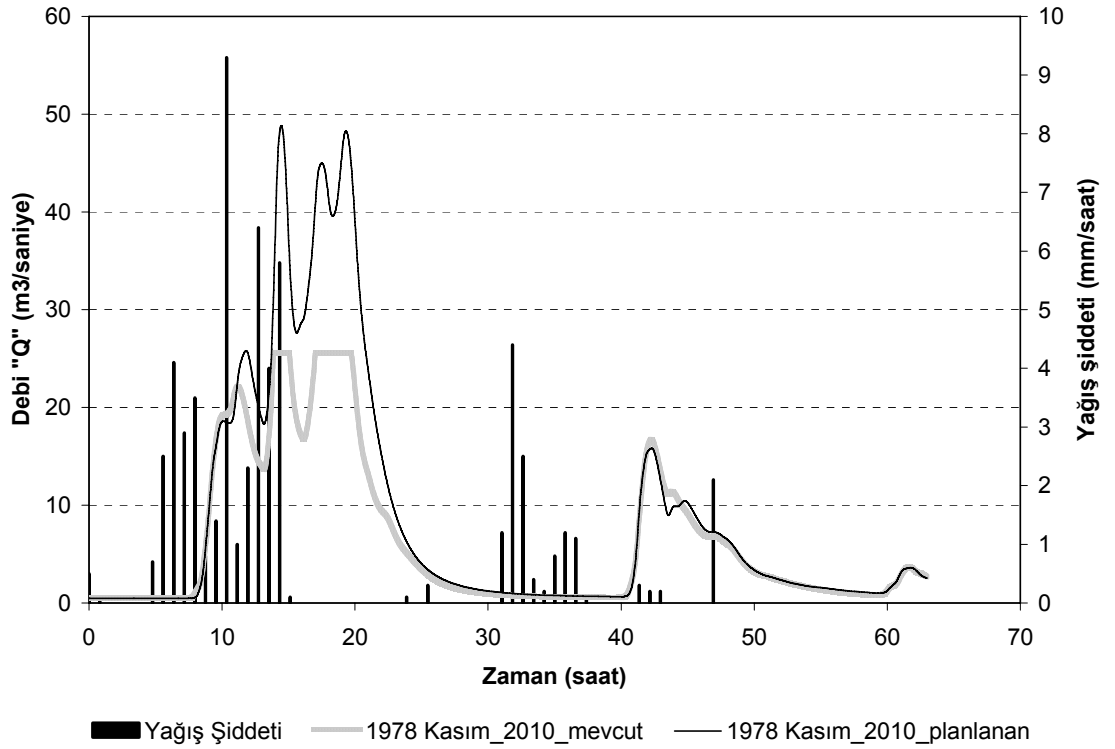
28–30 Kasım 1978

28–30 Kasım 1978 tarihleri arasında ölçülmüş ve yaklaşık 60 saat kadar süren yağış sonucu oluşan akışlar oluşturulan hidrolojik model ile tahmin edilmiştir.

Şekil 9.16’ da 28–30 Kasım 1978 tarihleri arasında yağın yağış sonucu havzanın çıkış noktasında hesaplanmış olan debinin zamana göre değişimi görülmektedir. Bu grafikte “1978 Kasım_2010_mevcut” olarak gösterilen hidrograf mevcut dere kesitleri kullanılarak 2010 yılındaki nüfus ve buna bağlı yerleşim alanı esas alınarak elde edilmiştir. “1978 Kasım_2010_planlanan” olarak gösterilen hidrograf ise yapılması planlanan dere kesitleri kullanılarak elde edilmiştir.

Şekil 9.16’ da görüldüğü gibi 28–30 Kasım 1978 yılında meydana gelen şiddetli bu yağış serisi sonucunda 14–21 saatleri arasında mevcut dere kesitleri oluşturulan modelde taşkın meydana gelmektedir. Planlanan dere kesitleri ile oluşturulan modelde dere dolu akmamaktadır dolayısıyla bu tarihte meydana gelen şiddetli yağış için planlanan kesitlerin yeterli olduğu tahmin edilmektedir. Bu yağış sonucu havza üzerinde toplanan toplam su miktarı 1912613 m³ tür. Yapılan analizler sonucu meydana gelen bu yağış

sonucunda mevcut dere kesitleri olduğu zaman havzada meydana gelen taşkın miktarı 524592 m³ olmaktadır. Buda havzada toplanan suyun % 27'sini oluşturmaktadır.



Şekil 9.16: Kasım 1978 yılına ait yağış için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograf

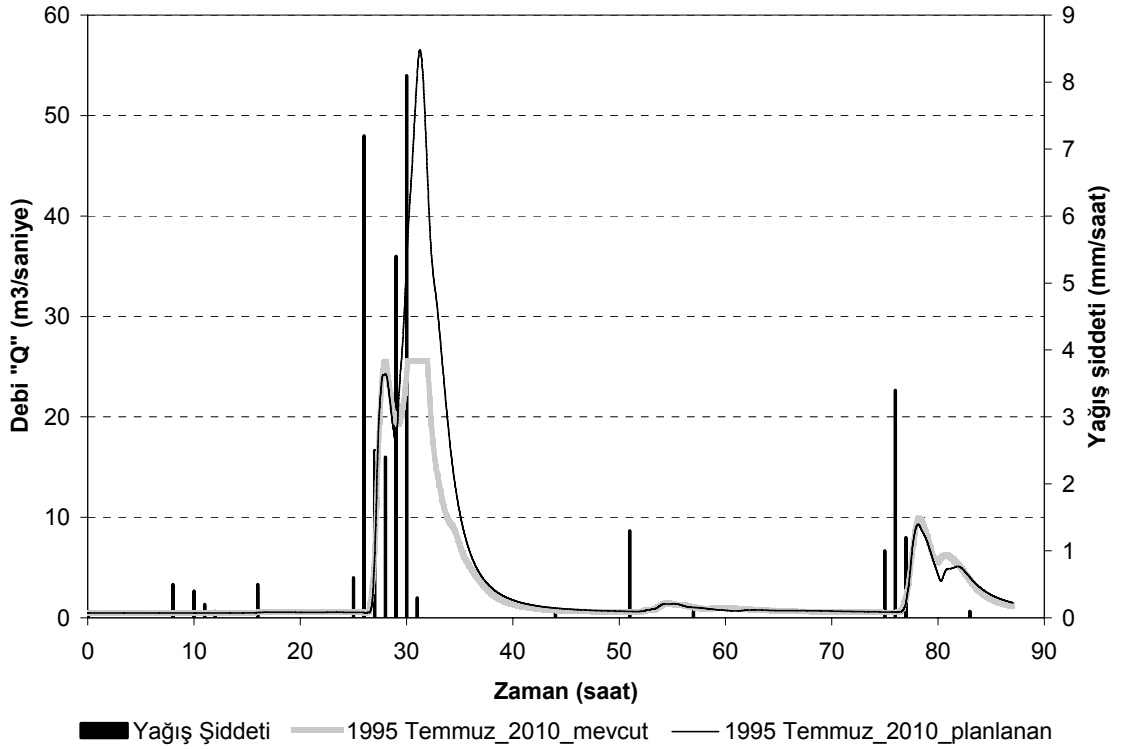
09–12 Temmuz 1995

09–12 Temmuz 1995 tarihleri arasında ölçülmüş ve yaklaşık 85 saat kadar süren yağış sonucu oluşan akışlar oluşturulan hidrolojik model ile tahmin edilmiştir.

Şekil 9.17'de 09–12 Temmuz 1995 tarihleri arasında yağın yağış sonucu havzanın çıkış noktasında hesaplanmış olan debinin zamana göre değişimi görülmektedir. Bu grafikte “1995 Temmuz_2010_mevcut” olarak gösterilen hidrograf mevcut dere kesitleri kullanılarak 2010 yılındaki nüfus ve buna bağlı yerleşim alanı esas alınarak elde edilmiştir. “1995 Temmuz_2010_planlanan” olarak gösterilen hidrograf ise yapılması planlanan dere kesitleri kullanılarak elde edilmiştir.

Şekil 9.17'de görüldüğü gibi 09–12 Temmuz 1995 yılında meydana gelen şiddetli bu yağış serisi sonucunda 30–33 saatleri arasında mevcut dere kesitleri oluşturulan modelde taşkın meydana gelmektedir. Planlanan dere kesitleri ile oluşturulan modelde dere dolu

akmamaktadır dolayısıyla bu tarihte meydana gelen şiddetli yağış için planlanan kesitlerin yeterli olduğu tahmin edilmektedir. Bu yağış sonucu havza üzerinde toplanan toplam su miktarı 1124240 m^3 tür. Yapılan analizler sonucu meydana gelen bu yağış sonucunda mevcut dere kesitleri olduğu zaman havzada meydana gelen taşkın miktarı 334006 m^3 olmaktadır. Buda havzada toplanan suyun % 30'unu oluşturmaktadır.



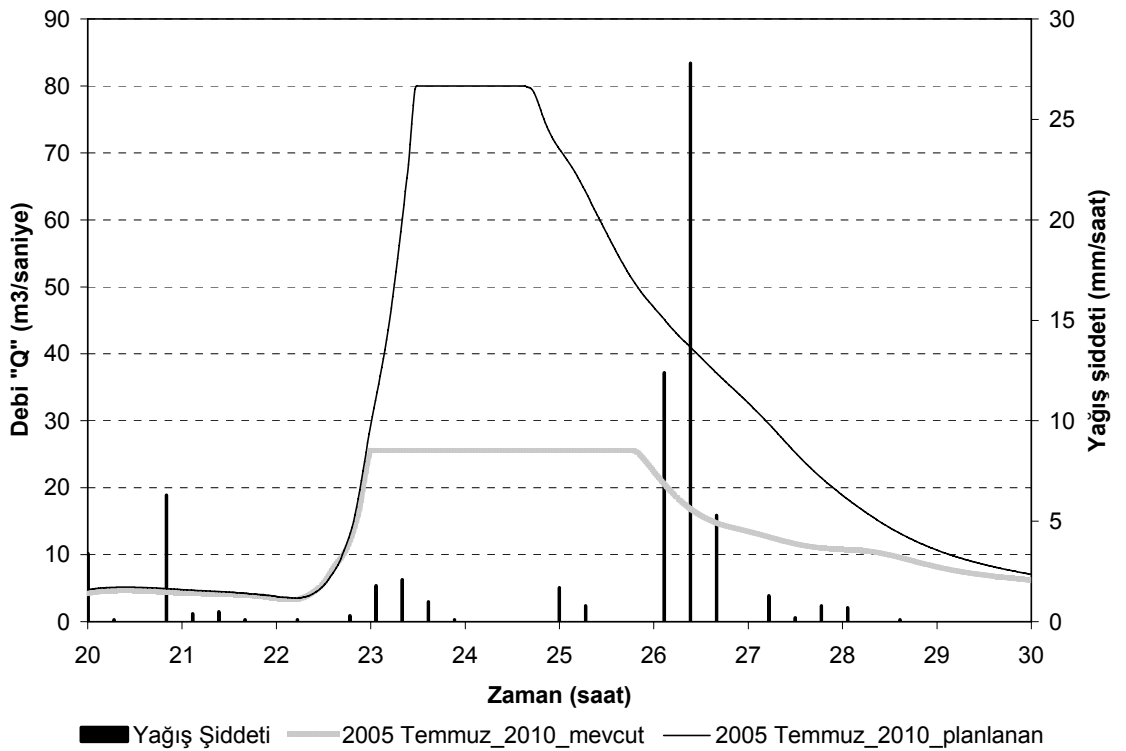
Şekil 9.17: Temmuz 1995 yılına ait yağış için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograf

03–05 Temmuz 2005

03–05 Temmuz 2005 tarihleri arasında ölçülmüş ve yaklaşık 35 saat kadar süren yağış sonucu oluşan akışlar oluşturulan hidrolojik model ile tahmin edilmiştir.

Şekil 9.18’de 03–05 Temmuz 2005 tarihleri arasında yağın yağış sonucu havzanın çıkış noktasında hesaplanmış olan debinin zamana göre değişimi görülmektedir. Bu grafikte “2005 Temmuz_2010_mevcut” olarak gösterilen hidrograf mevcut dere kesitleri kullanılarak 2010 yılındaki nüfus ve buna bağlı yerleşim alanı esas alınarak elde edilmiştir. “2005 Temmuz_2010_planlanan” olarak gösterilen hidrograf ise yapılması planlanan dere kesitleri kullanılarak elde edilmiştir.

Şekil 9.18’de görüldüğü gibi 03–05 Temmuz 2005 yılında meydana gelen şiddetli bu yağış serisi sonucunda 23–26 saatleri arasında mevcut dere kesitleri ile 23–25 saatleri arasında da planlanan dere kesitleri ile oluşturulan modelde taşkın meydana gelmektedir. Bu yağış sonucu havza üzerinde toplanan toplam su miktarı 2336258 m^3 tür. Yapılan analizler sonucu meydana gelen bu yağış sonucunda mevcut dere kesitleri olduğu zaman havzada meydana gelen taşkın miktarı 1344388 m^3 olmaktadır. Buda havzada toplanan suyun % 58’ini oluşturmaktadır. Bu durum planlanan dere kesitleri ele alınarak incelendiğinde, taşan su miktarı 693908 m^3 olmaktadır. Buda havzada toplanan suyun % 30’unu oluşturmaktadır



Şekil 9.18: Temmuz 2005 yılına ait yağış için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograf

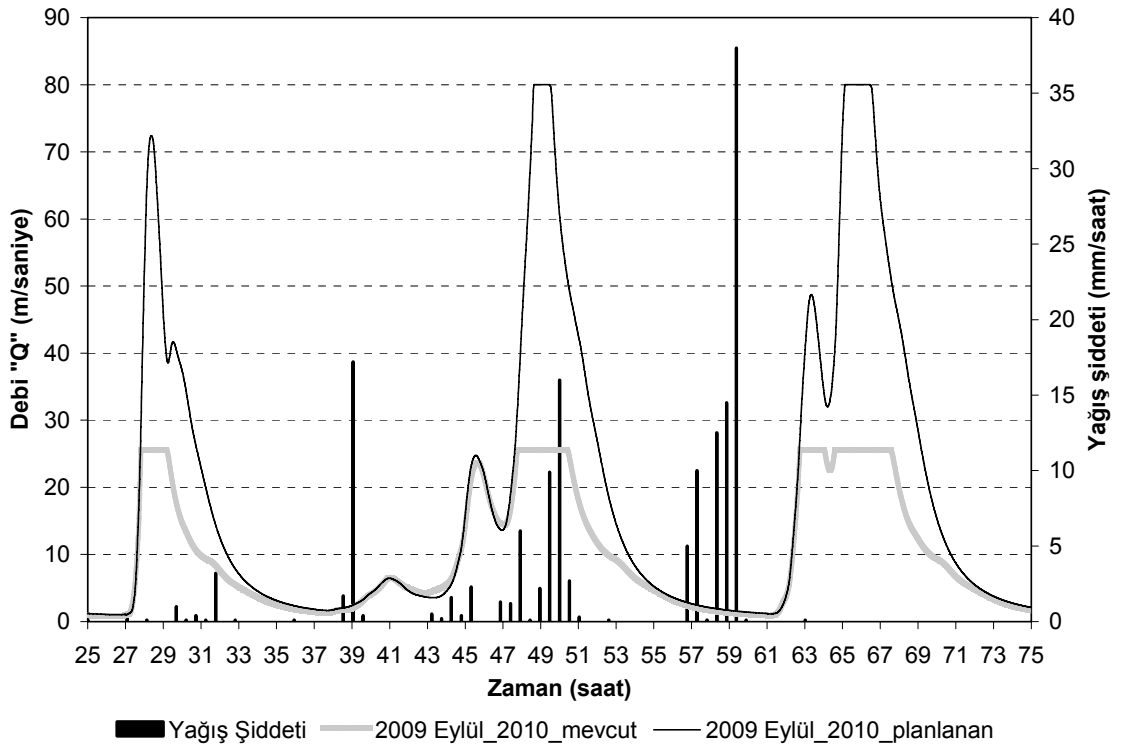
07–09 Eylül 2009

07–09 Eylül 2009 tarihleri arasında ölçülmüş ve yaklaşık 90 saat kadar süren yağış sonucu oluşan akışlar oluşturulan hidrolojik model ile tahmin edilmiştir.

Şekil 9.19’da 07–09 Eylül 2009 tarihleri arasında yağın yağış sonucu havzanın çıkış noktasında hesaplanmış olan debinin zamana göre değişimi görülmektedir. Bu grafikte “2009 Eylül_2010_mevcut” olarak gösterilen hidrograf mevcut dere kesitleri

kullanılarak 2010 yılındaki nüfus ve buna bağlı yerleşim alanı esas alınarak elde edilmiştir. “2009 Eylül _2010_planlanan” olarak gösterilen hidrograf ise yapılması planlanan dere kesitleri kullanılarak elde edilmiştir.

Şekil 9.19’da görüldüğü gibi 07–09 Eylül 2009 yılında meydana gelen şiddetli bu yağış serisi sonucunda 27–30, 47–51 ve 62–68 saatleri arasında mevcut dere kesitleri ile 49–51 ve 65–68 saatleri arasında da planlanan dere kesitleri ile oluşturulan modelde taşkın meydana gelmektedir. Bu yağış sonucu havza üzerinde toplanan toplam su miktarı 4156617 m³ tür. Yapılan analizler sonucu meydana gelen bu yağış sonucunda mevcut dere kesitleri olduğu zaman havzada meydana gelen taşkın miktarı 2232784 m³ olmaktadır. Buda havzada toplanan suyun % 54’ünü oluşturmaktadır. Bu durum planlanan dere kesitleri ele alınarak incelendiğinde, taşan su miktarı 543264 m³ olmaktadır. Buda havzada toplanan suyun % 13’ünü oluşturmaktadır.



Şekil 9.19: Eylül 2009 yılına ait yağış için Havzanın çıkış noktasına ait (Link 75) Hiyetograf ve Hidrograf

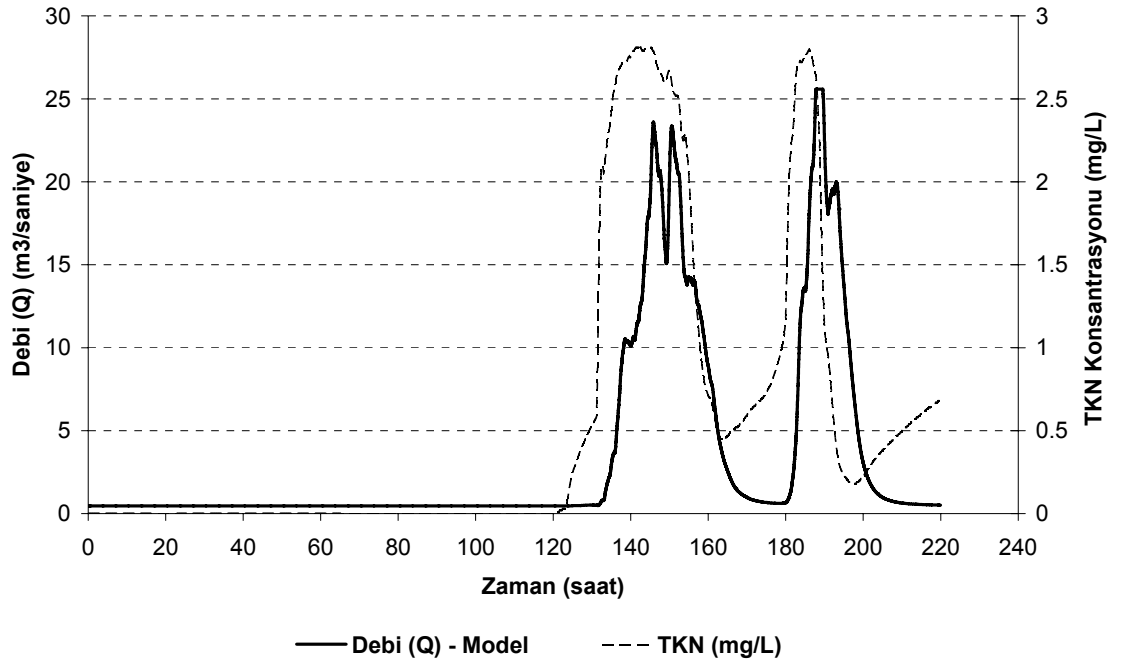
9.3. HAVZADAKİ YAĞIŞ-AKIŞ-KONSANTRASYON İLİŞKİLERİ

Su kalitesi modeli ile nüfus artışının su kalitesine etkisinin incelenmesi

Yapılan su kalitesi simülasyonlarında 10-13Aralık 2009 tarihleri arasında ölçülmüş ve yaklaşık 85 saat (3.5 gün) kadar süren yağış serisi kullanılmıştır. Yapılan modelleme sonucunda Şekil 20 (a) ve (b)'de görüldüğü üzere TKN ve TSS konsantrasyonları havza çıkışında meydana gelen debi ile birlikte gösterilmiştir. Şekil 20 (a) (b)'de görüldüğü üzere kirlilik maddelerinin kuru havada yüzeyde birikmesini gösterebilmek amacıyla simülasyon yağıştan 5 gün önce başlatılmış ve dolayısıyla ilk 120 saatte çıkış noktasında akış ve konsantrasyon değeri elde edilmemiştir. Daha sonra yüzeysel akışın olduğu ilk anda her iki kirlilik maddesi de maksimum değerine ulaşmış ve daha sonra debi arttıkça konsantrasyonun azaldığı gözlemlenmiştir. Yağış iki adet pik yağış şiddetine sahip olduğu için bunu iki adet pik debi takip etmiştir. Dolayısıyla da bunun hemen öncesinde iki adet pik konsantrasyon gözlemlenmiştir.

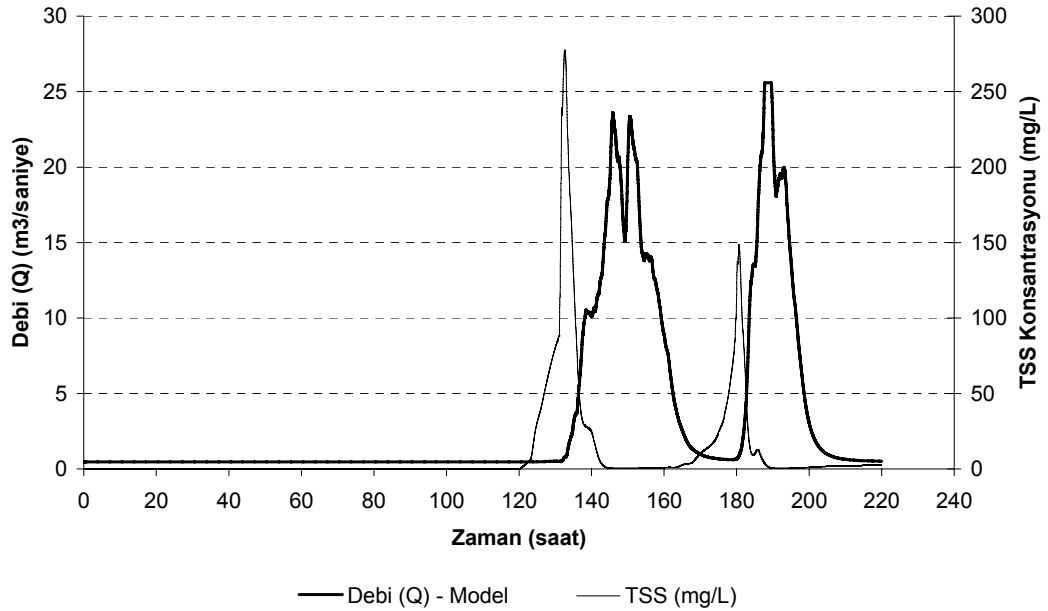
Bu tezde yapılmış olan su kalitesi modellemesi daha detaylı bir çalışmaya zemin hazırlamış olup gelecek araştırma konusu kapsamında yapılması planlanan Sazlıdere Havzası'nda su kalitesi ölçümlerine paralel olarak oluşturulan modelin kalibrasyon ve doğrulamasının yapılması da hedeflenmektedir. Hidrolojik modelin oluşturulmasından sonra çalışma geliştirilerek havzadan su numuneleri alınacak, alınan numuneler analiz edilerek Sazlıdere Havzası'nda bulunan su kaynaklarının mevcut kalitesi hakkında deneysel veriler elde edilecektir. Elde edilen bu veriler kullanılarak havzaya ait su kalitesi modellemesi yapılacaktır. Oluşturulan bilgisayar modeli ve yapılan ölçümler kullanılarak geleceğe yönelik su kalitesi hakkında tahminlerde bulunulacak ve kontrol stratejileri oluşturulacaktır. Dolayısıyla bu projenin ilerleyen zamandaki hedefi, mevcut su kirliliği problemlerine karşı kalıcı çözümler bulmak, Sazlıdere Havzası'nın su kaynaklarını iyileştirmek ve gelecekteki risklere karşı korumaktır.

Debi ve TKN Konsantrasyonun zamana göre değişimi



şekil 9.20 (a): Yağış Serisi I için Havzanın ıkış noktasına ait (Link 75) Polutograf ve Hidrograflar

Debi (Q) ve TSS Konsantrasyonunun zamana göre değişimi



şekil 20 (b): Yağış Serisi I için Havzanın ıkış noktasına ait (Link 75) Polutograf ve Hidrograflar

10. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez kapsamında Sazlıdere Havzası'nın Environmental Protection Agency Storm Water Management Model (EPA SWMM) (Çevre Koruma Kuruluşu Yağmur Suyu Yönetim Modeli) bilgisayar programı kullanılarak hidrolojik modeli oluşturulmuş, havza üzerinde hidrometeorolojik ölçümler yapılmış, yapılan ölçümler kullanılarak hidrolojik modelin kalibrasyonu ve doğrulaması sağlanmış ve geleceğe yönelik su miktarı hakkında tahminlerde bulunulmuştur. Ayrıca, mevcut durum için EPA SWMM ile bir kirlilik taşınımı modeli kurularak su kalitesi hakkında ön çalışma yapılmış ve bu konu hakkında bilgi edinilmiştir. Yapılan analizler ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- 1.) Havzanın mevcut durumu için farklı yağışlar altında oluşan akışlar ve nüfus artışının akışa olan etkisi incelenmiştir. Bahsedilen analizler havzaya kurulan yağış ölçüm istasyonundan Aralık 2009 - Mart 2010 tarihleri arasında kaydedilmiş 5 adet kesikli yağış serisi ile yapılmıştır. Nüfus artışının su miktarına olan etkisini incelemek üzere bu durumun yerleşim alanlarında ve dolayısıyla geçirimsiz yüzeylerde artışa sebep olacağı kabulü yapılarak modele yansıtılmıştır ve ölçülen yağış serileri kullanılarak elde edilen analiz sonuçları sunulmuştur. Yapılan analizler sonucunda nüfusun artması ile havzada toplanan su miktarının da % 5.5'e kadar arttığı gözlemlenmiştir. Mevcut haldeki dere kesitlerinin yetersiz olmasından dolayı toplanan su miktarındaki artış ile havzada meydana gelen taşkınlarda da yağışa bağlı olarak % 8.3 'e kadar artış olduğu gözlemlenmiştir.
- 2.) Ekstrem durumları incelemek üzere havzadaki geçirimsiz yüzey artışının % 60, % 80 ve % 100 artacağı varsayılarak analizler yapılmıştır. Yerleşim alanlarındaki % 60–100 arasındaki artışın havza üzerinde toplanan su miktarını 525468- 897098 m³ yani % 19 – 32 ve Türkköse Deresi'nde meydana gelecek olası bir taşkını 232565–425258 m³ yani % 36 – 65 daha arttıracığı bulunmuştur. Dolayısıyla yapılan bu analizler ile kontrolsüz ve tahmin

edilemeyen bir nüfus artışı söz konusu olursa bu durumun havzada toplanan su miktarını ve taşkını ciddi oranlarda arttıracığı sonucuna varılmıştır.

- 3.) Ekstrem durumları incelemek üzere 28–29 Ekim 1978, 03–05 Temmuz 2005 ve 07–09 Eylül 2009 tarihlerinde meydana gelmiş olan 100 yıllık yağışlar ile yapılan analizler sonucu havzadaki mevcut ve planlanan dere kesitlerinin gelen akışı taşıyamayacağı ve mevcut kesitler ile sırası ile 3007887 m³, 1344388 m³, 2232784 m³ lük yani % 66, 58, 54 oranlarında suyun, planlanan dere kesitleri ile 1478008 m³, 693908 m³, 543264 m³ lük yani % 32, 30, 13 oranlarında suyun taşkına dönüştüğü görülmüştür. Dolayısıyla planlanan dere ıslah çalışmalarının tamamlanması ve daha geniş bölgelerde uygulanması gerektiği öngörülmüştür.
- 4.) Oluşturulan kirlilik taşınımı modeli ile havzanın su kalitesine yönelik bir ön çalışma yapılmıştır. Bu model kuru havalarda havzada biriken ve yağış sonucu oluşan yüzeysel akış ile yıkanan noktasal olmayan kirlilik kaynaklarını hesaplamaktadır. Kirlilik parametresi olarak havza üzerinde yoğun miktarda görülen TKN ve TSS seçilmiştir. Oluşturulan bu model Sazlıdere Havzası'na ait kalibre edilmiş bir su kalitesi modeli oluşturulmasında alt yapı olarak kullanılacaktır. Dolayısıyla gelecekteki araştırma projesi kapsamında mevcut su kirliliği problemlerine karşı kalıcı çözümler bulmak, Sazlıdere Havzası'nın su kaynaklarını iyileştirmek ve gelecekteki risklere karşı korumak planlanmaktadır.
- 5.) Yapılan analizler incelenerek havzanın kritik noktalarında en iyi yönetim uygulamaları (BMP) (best management practice) önerilmektedir. Önerilen bu yöntemler yapılan analiz sonuçları ve havzanın durumu dikkate alınarak kararlaştırılmıştır. Özellikle bölgede yağıştan en fazla etkilenen yerleşim alanlarının yoğun olduğu bölgeler dikkate alınmıştır. Bu kapsamda aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

a) Islah çalışmaları

Mutlak Havza ve dere koruma kuşakları içerisinde mevcut yapıların kaldırılması ve yeni yapıların engellenmesi gerekmektedir. Ayrıca Sazlıdere Havzası'nda yerleşim alanlarının yoğun olduğu Haraççı bölgesi gibi yerlerde dere ıslah

çalışmalarının ivedi şekilde başlatılması gerekmektedir. Buna ek olarak dere üzerlerinde bulunan köprü geçişleri gibi daralma noktalarının genişletilmesi ve böylece şiddetli bir yağış anında o bölgenin baraj etkisine neden olmasının engellenmesi önem arz etmektedir.

b) Yapay Sulak alanlar ve sulak alan restorasyonları

Özellikle ana derelerin çıkış noktalarına ve yerleşim alanlarından önce herhangi bir şiddetli yağış sonucunda meydana gelecek sel veya taşkınları engellemek amacıyla o bölgelere yapay sulak alan, mevcut sulak alanların restorasyonu, yapay göl, sızma bölgeleri veya Pond ya da Lagoonların yapılması hem sel riskini azaltacak hem de su kalitesini iyileştirecektir. Ayrıca Fakültatif Havuzlar, karadan akışlı sistemler ve suda yaşayan bitki sistemleri de ikincil arıtma atık suyu kabul edecek yeterli özümleme kapasitesine sahip, alıcı ortamın bitişiğindeki küçük şehirler için uygun bir yaklaşım sunar. Ayrıca özellikle ana derelerin baraja döküldüğü noktalarda ağaçlandırma yapılması faydalı olacaktır.

c) Derelerin kenarlarına atık su toplama kolektörlerinin konulması

Merkezdeki kentsel alanların atık suları, mevcut derelerin iki yanında inşa edilecek olan kolektörlerle, atık suların derelere karışmadan önce toplanmasına imkan tanıyacak şekilde planlanmalıdır. Böylece, atık suların derelere karışmadan önce toplanması sağlanmış olacaktır. Tali atık su toplama kanalları, dereler boyunca, dere güzergahına paralel olarak devam eden sağ ve sol toplama kolektörlerine bağlanabilmektedir. Genellikle cazibeli olarak toplanan atık sular, bu toplama kolektörlerinden tünel veya terfi hatlarıyla arıtma tesislerine iletilebilmektedir. Özellikle Sazlıdere Havzası için oluşturulacak bu atık su kolektör hatları İSKİ tarafından yapılan Türkköse Deresi'nin çıkışında bulunan tünel ile Küçükçekmece Atık su Arıtım Tesisi'ne aktarılabilir.

d) Derelerin Çıkışlarına Basit Arıtım Sistemlerinin Konulması

Klasik sistemler çoğunlukla doğal yolla meydana gelen biyolojik dönüşümlere dayansa da bu prosesler de tipik olarak (beton, plastik veya çelik) yapay havuzlar kullanılır ve havalandırma, mekanik karıştırma ve/veya pek çok kimyasal

eklenmesiyle güçlendirilirler. Klasik artım sistemlerindeki artım için gerekli alan doğal artım sistemlerine göre oldukça fazladır.

KAYNAKLAR

AKÇA, A., 2005, *Sazlıdere Havzası Su Kalitesi, Atık su Uzaklaştırma Optimizasyonu ve Sulak Alan Maliyetlerinin Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

AKAN, A.O. and YEN, B.C., 1981, Diffusion-wave Flood Routing in Channel Networks, *Journal of the Hydraulics Division-ASCE*, 107 (6), 719-732.

ARCEMENT, G.J., SCHNEIDER Jr. and SCHNEIDER V.R., 1984, *Guide For Selecting Manning's Rughness Coefficients For Natural Channels And Flood Plains*, United States Geological Survey Water-Supply Paper 2339, United States Department of Transportation - Federal Highway Administration Hydraulics Engineering Publications, USA.

BAYAZIT, M., 2003, *Hidroloji*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 975-511-364-9.

BAYRAKTAR, H., 2002, *Sazlıdere Havzası Zamansal Değişim Analizinin Uydu Görüntü Verileri ile Yapılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

BARRY, D.A. and BAJRACHARYA, K., 1995, On the Muskingum-Cunge Flood Routing Method, *Environment International*, 21(5), 485-490.

BASER, S.K., 2006, *Sazlıdere'nin Azot ve Fosfor Kirliliğinin İzlenmesi ve Etkisinin İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

BIDWELL, V.J., 1971, Regression Analysis of Nonlinear Cacthment Systems, *Water Resources Research*, 7(5), 1118–1126.

BOONSTRA, J., 1994, *Estimating peak runoff rates in: H. P. Ritzema (Ed.) Drainage Principles and Applications*, The Netherlands-International Institute for Land Reclamation and Improvement pub., no: 16, Wageningen., 111-144.

CHANG, C.H., WEN, C.G. and LEE, C.S., 2008, Use of Intercepted Runoff Depth for Stormwater Runoff Management in Industrial Parks in Taiwan, *Water Resources Management*, 22 (11), 1609–1623.

CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R. and MAYS, L.W., 1988, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Company, USA, 0-07-010810-2.

CROSSLEY, A.J., WRIGHT, N.G. and WHITLOW, C.D., 2003, Local time stepping for modeling open channel flows, *Journal of Hydraulic Engineering-ASCE*, 129(6), 455-462.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, <http://www.dsi.gov.tr> [Ziyaret Tarihi: 26.01.2010].

DULHOSTE, J.F., GEORGES D. and BESANCON, G., 2004, Nonlinear control of open-channel water flow based on collocation control model, *Journal of Hydraulic Engineering-ASCE*, 130(3), 254-266.

EAGLESON, P.S., 1970, *Dynamic Hydrology*, McGraw-Hill, Inc, New York, 978-0070185968.

EFE, M., 2006, *Atık su ve Yağmursuyu Toplayıcı Sistemlerinin Tasarımı ve İşletilmesinde Kullanılan Bilgisayar Destekli Modellerin Değerlendirilmesi ve Bir Örnek Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

EYNUR, Z., 2004, *Baraj Altındaki Sızmaların Analizi ve Kontrolü: Sazlıdere Barajı Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

GÜLBAZ, S. and KAZEZYILMAZ-ALHAN C.M., 2008, Kinematik ve Dinamik Dalga Modelleri ile Akarsu Debisi Analizi, *Ulusal Su ve Enerji Konferansı, Eylül 2008 Artvin, Su ve Enerji Konferansı Bildiri Kitabı*, 363-372.

HAIPING, Z. and YAMADA, K., 1996, Estimation For Urban Runoff Quality Modeling, *Water Science and Technology*, 34 (3-4), 49-54.

HUBER, W.C., and DICKINSON, R.E., 1988, Storm Water Management Model, Version 4, User's Manual, Athens, GA.: Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency (EPA).

İller Bankası Genel Müdürlüğü, 1996, *Kanalizasyon İşlerinin Planlaması ve Projelerin Hazırlanmasına Ait Talimatname*.

İller Bankası Genel Müdürlüğü, <http://www.ilbank.gov.tr> [Ziyaret Tarihi: 26.01.2010].

İstanbul Büyükşehir Belediyesi, <http://www.ibb.gov.tr> [Ziyaret Tarihi: 01.01.2010].

İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, <http://www.iski.gov.tr> [Ziyaret Tarihi: 06.01.2010].

İstanbul Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, 2006, *İstanbul 2005 Yılı İl Çevre Durum Raporu*.

İSTANBULLUOĞLU, A., ALBUT, S., KONUKCU, F., SENER, M. and KOCAMAN, I., 2007, Effects of Antecedent Moisture Conditions on the Rainfall-Runoff Relationship, *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği IV. Sempozyumu, 5-7 Haziran 2007 İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul*.

KAZEZYILMAZ-ALHAN, C.M., and GÜLBAZ, S., 2008, An Improved Method for Diffusion Wave Solution, *Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, River Flow 2008, Çeşme/İzmir/Türkiye, 3-5 Eylül 2008*, 3,2109-2115.

KAZEZYILMAZ-ALHAN, C.M. and MEDINA Jr, M.A., 2007, Kinematic and Diffusion Waves: Analytical and Numerical Solutions to Overland and Channel Flow, *Journal of Hydraulic Engineering-ASCE*, 133 (2), 217-228.

KAZEZYILMAZ-ALHAN, C.M., MEDINA, M.A., Jr and RICHARDSON, C.J., 2007, A Wetland Hydrology and Water Quality Model Incorporating Surface Water/Groundwater Interactions, *Water Resources Research*, 43 (4), Art. No. W04434.

LACKEY, T.C., and SOTIROPOULOS, F., 2005, Role of artificial dissipation scaling and multigrid acceleration in numerical solutions of the depth-averaged free-surface flow equations, *Journal of Hydraulic Engineering-ASCE*, 131(9), 755-769.

LITRICO, X., and FROMION, V., 2004, Frequency modeling of open-channel flow, *Journal of Hydraulic Engineering-ASCE*, 130(8), 806-815.

MAHMOOD, K. ve YEVYEVICH, V., 1975, *Unsteady Flow in Open Channels*, Water Resources Publications, Colarado, USA.

MERİÇ, B.T., 2004, Water Resources Management and Turkey, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 28 (1), 27-38.

ONGUN, F., 1991, *Sazlıdere'nin Kimyasal Kirlenmesinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

ÖZDEN, P., 2004, Kentsel Gelişim Politikaları ve Su Havzaları, İstanbul Metropolitan Alanına Yansımalar, *İstanbul ve Su Sempozyumu, 8-9 Ocak 2004 İTÜ İstanbul*, TMMOB Mimarlar Odası Büyükkent Şubesi, İTÜ, 169-170-173-177.

ÖZHAN, S., 2003, *Havza Amenajmanı Ders Notları*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Havza Amenajmanı Anabilim Dalı, İstanbul.

ÖZTAŞ, T., 1997, İnsan Yerleşmelerinin Planlama Aşamalarında Su Havzaları Değerlendirmesinin Yeri ve Önemi, *Su Kongresi ve Sergisi 1997, 19-22 Haziran İstanbul*.

PONCE, V.M., 1989, *Engineering Hydrology Principles and Practices*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 07632.

ROSSMAN, L.A., 2005, *Storm Water Management Model, User's Manual, Version 5*, Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, Ohio, U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/R-05/040.

Soil Conservation Service, 1975, *Urban hydrology for small watersheds, tech. Rel. No. 55*, U. S. Dept. of Agriculture, Washington D.C.

Soil Conservation Service, 1956; 1971, *Hydrology, National Engineering Handbook, Supplement A, Section 4, Chapter 10*, USDA, Washington D.C.

TEMPRANO, J., ARANGO, O., CAGIAO, J., SUAREZ, J., and TEJERO, I., 2006, Stormwater quality calibration by SWMM: A case study in Northern Spain., *Water SA*, 32 (1), 0378–4738.

TORUN, G., 2008, *Sürdürülebilir Gelişme Bağlamında Havza Planlaması ve Yönetimi: Alibey İçme Suyu Havzası Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

TSIHRINTZIS, V. A. and HAMID, R., 1998, Runoff quality prediction from small urban catchments using SWMM, *Hydrological Processes*, 12, 311–329.

TURGUT, S., 2000, *Metropoliten Alanlarda Planlama – Kent Yönetimi İlişkileri ve İstanbul Metropoliten Alanı'nda Planlama Yönetimine İlişkin Bir Model Denemesi*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Orman Bakanlığı, 1995, <http://www.cevreorman.gov.tr> [Ziyaret Tarihi: 26.04.2010].

U.S. Environmental Protection Agency, 1983, *Results of the Nationwide Urban Runoff Program (NURP), Vol. 1, NTIS PB 84-185552*, Water Planning Division, Washington, DC.

USUL, N., 2005, *Engineering Hydrology*, Metu Press, Ankara, 975-7064-43-2.

VERVEY, A., 1985, *Computational River Hydraulics Lecture Notes*, IHE Delft, Netherlands.

YING, X., KHAN, A.A., and WANG, S.S.Y., 2004, Upwind conservative scheme for the Saint Venant equations, *Journal of Hydraulic Engineering-ASCE*, 130 (10), 977-987.

YÜKSEL, Y., 2000, *Teori ve Çözümlü Problemler ile Bilgisayar Uygulamalı Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik*, Beta Basım Yayın Dağıtım, İstanbul, 9752959521.

ZOPPOU, C., 1999, *Review of Storm Water Models, CSIRO Land And Water Technical Report 52/99*, Canberra, Australia.

ÖZGEÇMİŞ

Sezar GÜLBAZ 1983 yılında Kars'ta doğdu. Kazım Karabekir İlkokulu'nda (Kars) başladığı İlköğretim Eğitimini Bağlar İlköğretim Okulunda (İstanbul) tamamladı. Orta Öğretim Eğitimini İstanbul Behçet Kemal Çağlar (Y.D.A.) Lisesi'nde 2002 yılında başarı ile bitirdi. Aynı yıl Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Lisans Eğitimine başladı ve 2007 yılında tamamladı. 2007 – 2008 yılları arasında özel bir mühendislik firmasında çalıştıktan sonra 2008 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Aynı yıl Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi oldu ve halen bu görevine devam etmektedir.