



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AYAMAMA DERESİ HAVZASI'NIN TAŞKIN ANALİZİ
MODELİ**

Ayşenur BAHÇEÇİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN

Temmuz, 2014

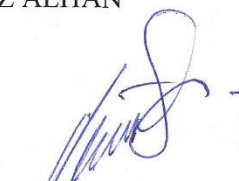
İSTANBUL

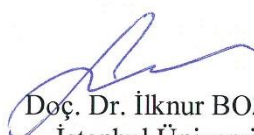
Bu çalışma 04/07/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

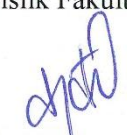
Tez Jürisi:


Doç. Dr. Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Hafzullah AKSOY
İstanbul Teknik Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Doç. Dr. Betül SAF
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Doç. Dr. İlknur BOZBEY
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Doç. Dr. Sadık Öztoprak
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliği'nin 19814 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans öğrenimin boyunca bilgi birikimi ve deneyimi ile bana yol gösteren ve yardımcı olan değerli hocam Doç. Dr. Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN'a en içten duygularıyla teşekkür ederim. Bu çalışma boyunca bana verdiği manevi destek, göstermiş olduğu sabır ve anlayıştan dolayı değerli eşim Feridun BAHÇEÇİ'ye ve bu günlere gelmemi sağlayan annem Cahide ŞİMŞEK, babam Ekrem ŞİMŞEK ve abim Murat ŞİMŞEK'e çok teşekkür ederim. Bu çalışmayı destekleyen İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkürü bir borç bilirim.

Temmuz, 2014

Ayşenur BAHÇEÇİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	viii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	ix
ÖZET.....	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. TAŞKIN.....	4
2.1. TAŞKIN ÇEŞİTLERİ	7
2.1.1. Oluşum Sürelerine Göre Taşkınlar	7
2.1.1.1. Yavaş Gelişen Taşkınlar	7
2.1.1.2. Hızlı Gelişen Taşkınlar	7
2.1.1.3. Ani Taşkınlar.....	7
2.1.2. Oluşum Yerlerine Göre Taşkınlar	8
2.1.2.1. Dere ve Nehir Taşkınları	8
2.1.2.2. Dağlık Alan (Kuru Vadi) Taşkınları	8
2.1.2.3. Şehir Taşkınları.....	9
2.1.2.4. Kıyı Taşkınları	10
2.1.2.5. Baraj Taşkınları.....	11
2.1.3. Meydana Geliş Zamanına ve Tekerrür Aralığına Göre Taşkınlar	11
2.1.3.1. Yıllık Taşkın	11
2.1.3.2. Yaz Taşkını.....	11
2.1.3.3. Kış Taşkını	11
2.1.3.4. En Büyük Taşkın	11
2.1.3.5. Muhtemel En Büyük Taşkın	12
2.2. TAŞKINA NEDEN OLAN FAKTÖRLER	12
2.2.1. Fizyolojik Faktörler.....	12
2.2.1.1. Drenaj Alanın Büyüklüğü	12
2.2.1.2. Drenaj Alanının Şekli.....	12
2.2.1.3. Drenaj Alanı Eğimi.....	12

2.2.1.4.	<i>Drenaj Alanının Jeolojik Yapısı.....</i>	13
2.2.1.5.	<i>Drenaj Alanının Depolama Kapasitesi.....</i>	14
2.2.1.6.	<i>Drenaj Alanının Bitki Örtüsü.....</i>	14
2.2.1.7.	<i>Drenaj Alanının Toprak Örtüsü.....</i>	14
2.2.1.8.	<i>Drenaj Alanının Kullanış Şekli.....</i>	15
2.2.1.9.	<i>Drenaj Alanının Rakımı.....</i>	15
2.2.1.10.	<i>Drenaj Alanının Yönü.....</i>	15
2.2.1.11.	<i>Drenaj Alanındaki Suni Yapılar.....</i>	15
2.2.1.12.	<i>Drenaj Alanının Hidrojeolojisi.....</i>	15
2.2.1.13.	<i>Drenaj Alanının Nem Durumu.....</i>	16
2.2.2.	Meteorolojik Faktörler	16
2.2.2.1.	<i>Yağışın Şiddeti</i>	16
2.2.2.2.	<i>Yağışın Süresi</i>	16
2.2.2.3.	<i>Yağışın Şekli.....</i>	16
2.3.	TAŞKININ OLUMSUZ ETKİLERİ.....	17
2.4.	TAŞKINDAN KORUNMA YÖNTEMLERİ	19
2.4.1.	Ağaçlandırma	20
2.4.2.	Teraslama	20
2.4.3.	Tersip Bendi.....	20
2.4.4.	Sel Kapanları.....	21
2.4.5.	Mahmuzlar	22
2.4.6.	Taban Kuşakları	22
2.4.7.	Britler	23
2.4.8.	Taşkın Kanalları	24
2.4.9.	Taşkın Geciktirme Havuzu	24
2.4.10.	Seddeler.....	25
2.5.	DÜNYADA YAŞANAN TAŞKINLAR.....	26
2.6.	TÜRKİYE’DE TAŞKIN FELAKETİ VE BİLANÇOSU	27
3.	WATERSHED MODELING SYSTEM (WMS)	31
3.1.	HİDROLOJİK MODELLEME	32
3.2.	HİDROLİK MODELLEME.....	34
4.	ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY STORMWATER.....	39
	MANAGEMENT MODEL (EPA SWMM)	39
4.1.	HİDROLOJİK MODELLEME	40
4.2.	HİDROLİK MODELLEME.....	43

5. AYAMAMA DERESİ HAVZASI VE TAŞKIN OLAYI.....	44
6. AYAMAMA DERESİ HAVZASININ WMS VE EPA SWMM PROGRAMLARI İLE HİDRODİNAMİK MODELLEMESİ.....	50
6.1. WMS PROGRAMI İLE AYAMAMA DERESİ HAVZASI'NIN HİDROLOJİK VE HİDROLİK MODELİNİN KURULMASI.....	50
6.1.1. WMS Programı ile Hidrolojik Modelin Oluşturulması-Rasyonel Metot..	55
6.1.2. WMS Programı ile Hidrolik Modelin Oluşturulması-HEC-RAS	57
6.2. EPA SWMM PROGRAMI İLE AYAMAMA DERESİ HAVZASI'NIN HİDRODİNAMİK MODELİNİN KURULMASI.....	62
6.3. EPA SWMM VE WMS PROGRAMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI....	66
7. BULGULAR	67
7.1. WMS PROGRAMI İLE OLUŞTURULAN HİDROLİK VE HİDROLOJİK MODELİN BULGULARI	67
7.2. EPA SWMM PROGRAMI İLE OLUŞTURULAN HİDRODİNAMİK MODELİN BULGULARI	77
8. SONUÇLAR.....	80
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ.....	85

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Taşkın yatağının şematigi (Şen, 2013).....	5
Şekil 2.2: Taşkın tehlike bölgesi (Kadioğlu, 2008).	5
Şekil 2.3: Türkiye’de afet dağılım oranları (1940-2006) (Ceylan ve Kömüşçü, 2007).....	6
Şekil 2.4: Ani taşkınlara neden olabilen konvektif fırtınaların başlangıç, olgunluk ve bitiş aşamaları (Kadioğlu, 2008).	8
Şekil 2.5: Çarpık kentleşmenin taşkın tehlike yataklarını genişletmesi (Ramos ve diğ., 2009).....	10
Şekil 2.6: 21 Mart 2011 tarihinde Japonya’nın Miyoka şehrinde meydana gelen depremten sonra oluşan taşkın (http://news.nationalgeographic.com).	11
Şekil 2.7: Drenaj alanın jeolojik yapısının taşkınlara olan etkisi (Arnold ve Gibbons, 1996).....	14
Şekil 2.8: İzmir Değirmendere Deresi üzerinde bulunan tersip bendi (www.kha.com.tr).	21
Şekil 2.9: Kayseri’nin İncesu İlçesi’nden bulunan sel kapanı (http://www.dsi.gov.tr).	22
Şekil 2.10: Taban kuşağı örneği (Özbal, 2010).	23
Şekil 2.11: İmalat sırasında brit uygulaması (Özbal, 2010).	23
Şekil 2.12: Akarsu yatağında yapılan brit uygulaması (Özbal, 2010).	24
Şekil 2.13: Taşkın kanalı planı (Ağırlioğlu ve Erkek, 1998).	24
Şekil 2.14: Taşkın geciktirme havuzu planı (Ağırlioğlu ve Erkek, 1998).	25
Şekil 2.15: Sedde yapılmış bir akarsu örneği (Özbal, 2010).	25
Şekil 2.16: Taşkın zararlarının sektörel sınıflandırılması (TUHK, TUMAK, TUOK, TUJK; 2003).....	28
Şekil 3.1: WMS programının ara yüzü.	31
Şekil 3.2: HEC-RAS programının ara yüzü.	35
Şekil 3.3: Hesap Ağı (Yüksel, 2010).	38
Şekil 4.1: EPA SWMM ara yüzü.....	39
Şekil 4.2: Bir alt havzada doğrusal olmayan hazne (Huber ve Dickinson, 1988).	40
Şekil 5.1: Ayamama Deresi’nin konumu ve havza sınırları (Google Earth).	45

Şekil 5.2: Ayamama Deresi'nin 9 Eylül 2009 tarihinde taşmasıyla etkilenen bölgeler (http://www.radikal.com.tr).	46
Şekil 5.3: Taşkın sonrası Ayamama Deresi'nde katı madde taşınımı.	47
Şekil 5.4: Taşkın esnasında taşkın suları ile taşınan katı maddenin dere kesitini daraltması.	47
Şekil 5.5: İkitelli Tır Garajı duvarlarının dere akışını yanlış yönlendirmesi.	48
Şekil 5.6: 9 Eylül 2009 taşkınyından sonra Ayamama Deresi'ne yapılan teknik gezi.	48
Şekil 5.7: Ayamama Deresi D-100 karayolu geçiş menfezi.	49
Şekil 6.1: Ayamama Deresi Havzası'nın konumunun tanımlanması.	51
Şekil 6.2: WMS programının içerisindeki haritalama modülü.	51
Şekil 6.3: Sayısal Yükseklik Modeli için internetten indirilen uydu fotoğrafı elde edilmesi.	52
Şekil 6.4: Ayamama Deresi Havzası'nın Sayısal Yükseklik Modeli.	53
Şekil 6.5: Ayamama Deresi Havzası'nın oluşturulması.	54
Şekil 6.6: Ayamama Deresi Havzası'nın alt havzalara bölünmüş hali.	55
Şekil 6.7: Florya Meteoroloji istasyonuna ait yağış şiddeti-süre-frekans eğrisi.	56
Şekil 6.8: WMS programının hesapladığı 100 yıllık debi değerleri.	56
Şekil 6.9: Ayamama Deresi Havzası'nın hidrolojik modeli.	57
Şekil 6.10: Ayamama Deresi Havzası'nın WMS programı içerisinde tanımlanan arazi kullanımı.	58
Şekil 6.11: Manning pürüzlülük katsayıları.	58
Şekil 6.12: TIN modelinden enkesitlerin oluşturulması.	59
Şekil 6.13: HEC-RAS programı.	59
Şekil 6.14: HEC-RAS menfez tanımlama.	60
Şekil 6.15: HEC-RAS Ata Göleti tanımlama.	61
Şekil 6.16: HEC-RAS kararsız akım yüzeysel akış hidrografının tanımlanması.	61
Şekil 6.17: Bağlantı (junction) noktasının tanımlanması.	63
Şekil 6.18: 09 Eylül 2009 tarihine ait hiyetograf.	63
Şekil 6.19: EPA SWMM programında Ata Göleti'nin tanımlanması.	64
Şekil 6.20: EPA SWMM programı ile oluşturulan Ayamama Deresi Havzası'nın hidrodinamik modeli.	65

Şekil 7.1: WMS programıyla yapılan hidrolojik modelden elde edilen yüzeysel akış hidrograflarının konumları.....	68
Şekil 7.2: 9C noktasında 100 yıllık yağışlar için elde edilen hidrograf.....	70
Şekil 7.3: 10C noktasında 100 yıllık yağışlar için elde edilen hidrograf.....	70
Şekil 7.4: 11C noktasında 100 yıllık yağışlar için elde edilen hidrograf.....	71
Şekil 7.5: 12C noktasında 100 yıllık yağışlar için elde edilen hidrograf.....	71
Şekil 7.6: 13C noktasında 100 yıllık yağışlar için elde edilen hidrograf.....	72
Şekil 7.7: 14C noktasında 100 yıllık yağışlar için elde edilen hidrograf.....	72
Şekil 7.8: 15C noktasında 100 yıllık yağışlar için elde edilen hidrograf.....	73
Şekil 7.9: Ayamama Deresi Havzası Q_{100} taşkın debisi kullanılarak kararsız akım analizi sonucunda elde edilen taşkın risk haritası.....	74
Şekil 7.10: Ayamama Deresi Havzası Q_{100} taşkın debisi kullanılarak kararlı akım analizi sonucunda elde edilen taşkın risk haritası.....	76
Şekil 7.11: 7-11 Eylül 2009 tarihinde meydana gelen yağışa ait hiyetograf.	77
Şekil 7.12: Taşkın yükseklikleri.	78
Şekil 7.13: Taşkın hacimleri.	79

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Taşkınların insan sağlığı üzerindeki etkileri (Menne ve diğ., 1999).	18
Tablo 2.2: Dünyada meydana gelen taşkınların bilançosu (Altundal, 2010).	26
Tablo 2.3: Dünyada meydana gelen önemli taşkınlar ve etkileri (Altundal, 2010).	27
Tablo 2.4: 2001-2009 tarihleri arasında yaşanan taşkınlar (Kasalak ve diğ., 2010).	29
Tablo 3.1: C Akış katsayısı değerleri.	34
Tablo 7.1: Alt havzalarda rasyonel metot ile hesaplanan yüzeysel akış debisi.	75
Tablo 7.2: Hidrodinamik model sonucu hesaplanan taşkın yüksekliği ve taşkın hacmi.	79

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
Q_{maks}	: Maksimum Debi
Q	: Debi
C	: Akış Katsayısı
i	: Yağış Şiddeti
A	: Havza Alanı
V	: Hacim
x	: Uzunluk
t	: Zaman
q	: Birim Debi
S_0	: Kanal Eğimi
S_f	: Hidrolik Eğim
g	: Yerçekimi Eğimi
y	: Su Derinliği
I_e	: Artık Yağış
A_c	: Alt Havzadan Akışın Geçtiği Kesit Alanı
n	: Manning Pürüzlülük Katsayısı
R	: Hidrolik Yarıçap
W	: Alt Havza Boyunca Akışın Genişliği
d_p	: Alt Havza Yüzeyinde Tutulan Su Miktarı
F	: Toplam Sızma
F_s	: Yüzeyin Doygunluğa Ulaşması İçin Gerekli Toplam Sızma
K_s	: Doygun Zemin İçin Hidrolik İletkenlik
f_0	: Tamamen Kuru Toprak İçin Sızma Kapasitesi
f_∞	: Minimum Sızma Kapasitesi
f_p	: Sızma Kapasitesi
S_u	: Kapiler Basınç
M	: Başlangıç Nem Eksikliği
S	: Potansiye Maksimum Yağışın Tutulması
P	: Yağış Miktarı
Q_r	: Gerçek Yüzey Akışı Miktarı
I_a	: Başlangıçta Tutulan Yağış Miktarı
K	: Hidrolik İletkenlik
c	: Dalga Hızı

Kısaltmalar	Açıklama
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
DSİ	: Devlet Su İşleri
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
AKOM	: Afet Koordinasyon Merkezi
THUK	: Türkiye Ulusal Hidroloji Komisyonu
TUMAK	: Türkiye Ulusal Meteoroloji ve Atmosfer Bilimleri Komisyonu
TUOK	: Türkiye Ulusal Oşinografi Komisyonu
TUJK	: Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu
EPA SWMM	: Environmental Protection Agency Storm Water Management Model (Çevre Koruma Kuruluşu Yağmursuyu Yönetim Modeli)
XP SWMM	: XP Storm Water Management Model (Çevre Koruma Kuruluşu Yağmursuyu Yönetim Modeli)
WMS	: Watershed Modeling System (Havza Modelleme Sistemi)
HEC-RAS	: Hydrologic Engineering Center-River Analysis System (Hidroloji Mühendisliği Merkezi- Nehir Analiz Sistemi)
SMPDBK	: Simplified Dam Break (Basitleştirilmiş Baraj Yıkılması)
HEC-1	: Hydrologic Engineering Center/ Hidroloji Mühendisliği Merkezi)
HEC-HMS	: Hydrologic Engineering Center-The Hydrologic Modeling System (Hidroloji Mühendisliği Merkezi-Hidrolojik Modelleme Sistemi)
TR-20	: Technical Release 20/ Teknik Yayın 20
TR-55	: Technical Release 55/ Teknik Yayın 55
NSS	: National Streamflow Statistics (Ulusal Debi İstatistikleri)
MODRAT	: Modified Rational Method (Modifiye Rasyonel Metot)
HSPF	: Heating Seasonal Performance Factor (Mevsimsel Isıtma Performans Faktörü)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYAMAMA DERESİ HAVZASI'NIN TAŞKIN ANALİZİ MODELİ

Ayşenur BAHÇEÇİ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN

Taşkın, günümüzde en çok karşılaşılan doğal afetlerden biridir ve aynı zamanda can ve mal kaybına neden olmaktadır. Bu kayıpların azaltılması ve taşkının mümkün mertebe önlenmesi için taşkın oluş nedenleri araştırılmalı, bu nedenler belirlendikten sonra bunlara karşı kalıcı önlemler alınmalıdır. Ülkemizde, taşkın en son örneklerinden biri 09.09.2009 tarihinde İstanbul'da Ayamama Deresi'nde yaşanmıştır. Taşkın felaketinde 31 kişi ölmüş, 50 kişi yaralanmış ve bunun yanı sıra büyük ölçüde maddi hasar meydana gelmiştir. Bunun önüne geçebilmek için Ayamama Deresi'ni besleyen havza ve Ayamama Deresi incelenip taşkına sebebiyet veren durum ve olaylar araştırılmalı ve taşkın zararlarının azaltılması için hidrolojik modelleme çalışmaları yapılmalıdır. Bu çalışma kapsamında Ayamama Havzası'nın hidrolojik ve hidrodinamik modelleri oluşturulmuş ve bu model kullanılarak havzanın taşkın analizi yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda havza modeli EPA SWMM "Environmental Protection Agency Storm Water Management Model" (Çevre Koruma Kuruluşu Yağmur Suyu Yönetim Modeli) ve WMS "Watershed Modeling System" (Havza Modelleme Sistemi) adlı iki farklı bilgisayar programı ile oluşturulmuş; her iki program ile farklı senaryolar altında taşkın analizleri yapılmış ve iki programın çıktıları karşılaştırılmıştır.

Temmuz, 2014, 97

Anahtar kelimeler: Taşkın, Ayamama Deresi, taşkın risk haritaları, EPA SWMM, WMS

SUMMARY

M.Sc. THESIS

FLOOD ANALYSIS MODEL OF AYAMAMA RIVER BASIN

Ayşenur BAHÇEÇİ

İstanbul University

Graduate School of Science and Engineering

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN

Flooding is one of the most common natural disasters. As well as posing a big threat to human life, it has also devastating financial effects. In order to prevent these losses, reasons that cause flooding, should be examined thoroughly. One of the recent flood events occurred in Turkey in September 9, 2009 in the Ayamama River Basin. During this flood event, 31 persons died and 50 persons injured. This disaster was also a huge blow on the economy due to the damage in buildings and infrastructures. In order to prevent these type of events in the future, the Ayamama River and the basin feeding the river should be investigated in order to better understand the causes of the flood. Moreover, hydrologic modeling is required to reduce the destructive effects of the flood. In this study, hydrologic and hydrodynamic models for the Ayamama River Basin are developed and flood analyses are conducted using these models. For this purpose, two different computer programs called EPA SWMM “Environmental Protection Agency Storm Water Management Model” and WMS “Watershed Modeling System”, are used and flood analyses are performed with both programs under different scenarios. Finally results obtained by these two models are compared.

July, 2014, 97

Keywords: Flood, Ayamama River, flood risk maps, EPA SWMM, WMS

1. GİRİŞ

Doğal bir afet olan taşkın; bir akarsuyun sağanak yağışlar, kar örtüsünün ani erimesi, mevcut barajlardan kontrolsüz su bırakılması, nehir yatak kesitlerinin yetersiz ya da daraltılmış olması gibi nedenlerle yatağından taşarak çevredeki arazilere, yerleşim yerlerine, altyapı tesislerine ve tüm canlılara zarar vermek suretiyle etki bölgesindeki doğal yaşamı olumsuz etkileyerek normal hayatı kesintiye uğratacak ölçüde bir akış büyüklüğü oluşturmaktadır (Eroğlu, 2008).

Ülkemizde taşkınlar, depremlerden sonra en büyük ekonomik kayıplara neden olan doğal afettir. Mevcut veriler itibari ile taşkınlardan dolayı kaynaklanan ekonomik kayıp her yıl ortalama 100.000.000 ABD dolarına ulaşmaktadır. Buna karşın taşkınların kontrolü ve zararlarının azaltılmasına yönelik olarak sıklıkla yapısal olan proje çalışmaları için ayrılan yatırım miktarı ise yılda ortalama 30.000.000 ABD doları civarındadır (Kılıçer ve Hamza, 2002).

Ayamama Deresi; İstanbul Avrupa yakasında Esenler tarafından doğarak; İkitelli'den geçip Mahmutbey ve Güneşli'ye varmaktadır. Dere; TEM otoyolu Atatürk Havaalanı mevkiinden geçerek Ataköy'den denize dökülmektedir. Ana kol uzunluğu 21 km olup ana kolu besleyen 8 adet yan kol bulunmaktadır. Ayamama Deresi havza alanı İSKİ tarafından Ataköy Atık Su Toplama Havzası olarak adlandırılmaktadır. Yeşilköy – Mahmutbey Bağlantı Otoyolu yapılmadan önceki tarihte, bu havza içerisinde kalan Yenibosna, Güneşli, Mahmutbey, İkitelli, Halkalı ve Sefaköy yerleşim yerlerinin dışında kalan bölüm tarım alanı niteliğinde topraklardır.

İkitelli Organize Sanayi Bölgesi; Ayamama Atıksu Toplama Havzası içerisinde bulunmaktadır. Mahmutbey-Yeşilköy Bağlantı Otoyolu projelendirildiği ve yapım aşamasında gerek TEM Otoyolunun kuzeyindeki İkitelli Organize Sanayi Bölgesi ve Başakşehir bölümünde, gerekse; Yeşilköy bağlantı yolunun her iki tarafında imar planında öngörülen bir yapılaşma bulunmamaktadır. Bütün yapılaşma bağlantı otoyolu tamamlandıktan sonra yapılmaya başlanmıştır. Yüzey drenajı ve arazideki bu değişiklik

nedeniyle akışkan katsayısının değişmesi, su akış hızının ve gelen su miktarının artmasının Ayamama Deresi üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır.

Ayamama Deresi; uzun yıllardır şiddetli yağışlar sonucunda taşarak büyük maddi ve can kayıplarına neden olmaktadır. Ayamama Deresi; 09.09.2009 tarihinde sabah 06.00 saatlerinde bir saat içerisinde metrekareye 90 kg'lık yağışla kabarmış, İkitelli'de dere yatağına kurulan Osmanlı TIR Garajı ve Betonsa Beton santrali bir kaç dakika içinde 5 metrelik suya gömülmüştür. Bu taşkın sonucunda Basın Ekspres yolu da sular altında kalmıştır.

Bu çalışmada; Ayamama Deresi'nde meydana gelen taşkınların iki değişik bilgisayar programı ile hidrolojik ve hidrolik modelleri oluşturulacaktır. Bu programlar; EPA SWMM (Environmental Protection Agency Storm Water Management Model) ve WMS (Watershed Modeling System) programlarıdır. Literatür çalışması esnasında; EPA SWMM ve WMS programını kullanarak havza modellemesi yapan birçok bilimsel çalışmaya rastlanmıştır. Polat ve Polat (2007) Değirmendere havzasını inceleyerek taşkınların nedenlerini ve alınabilecek önlemleri araştırmışlardır. Abbasov (2005) taşkınların gerçekleşmesinde nehir yataklarının su geçirme kapasitesinin etkilerini incelemiştir. Temiz ve diğ. (2004) Batı Karadeniz Bölgesi'ndeki potansiyel taşkın alanlarını araştırmıştır. Karabulut ve diğ. (2007) 2001 Mersin taşkın felaketini konu aldıkları araştırmalarında kısa zamanda düşen yüksek miktarda yağışın taşkın ana nedenini oluşturduğunu belirlemiş, taşkın felaketinin bu derece etkili olmasında doğal bitki örtüsünün tahrip edilmesinin yanı sıra çarpık kentleşmenin de etkili olduğunu belirtmişlerdir. Ceylan (2007) yaptığı araştırmada en çok görülen meteorolojik kökenli doğal afetin taşkın olduğunu tespit etmiştir. Bayazıt (2002) Türkiye'de taşkınları incelemiş, 1970-1997 yılları arasında yaşanan 626 taşkın olayında 538 insanın öldüğünü ve 544000 hektar alanın sular altında kaldığını belirtmiştir. Kadioğlu (2008) Sel, Heyelan ve Çığ için Risk Yönetimi başlıklı makalesinde artan nüfusun, çarpık yerleşme ve sanayileşmenin sonucu olarak daha sık heyelan ve taşkın olaylarına rastlanıldığını saptamıştır. Ceylan ve Kömüşçü (2007) 1940-2005 yılları arasında ülkemizde yaşanan meteorolojik kökenli doğal afetlerin bazılarını inceleyerek her ne kadar meteorolojik koşullar afetlerde başrol oynasa da, fiziki koşullar ve şehirleşmenin de olayı vahim hale getirdiğini belirtmişlerdir. Campbell ve Sullivan (2002) EPA SWMM programını

kullanarak Alabama’da yer alan Stephens Gap Cave üzerinde hidrolojik modelleme yapmış, zamana bağlı su seviyesi değişikliklerini ve su akımını modellemişlerdir. Thomas (2002), açık kanal akımlarının ölçülmesi ile ilgili standartları tartışmış, yararlarını ve uygulamalarını belirtmiştir. Leon ve diğ. (2003), Malawi’de havza yönetimi modellemesi üzerine çalışmışlar, havzada yapılan çalışmaların su kalitesini nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Sharkh (2009) Filistin Hebron-West Bank güneyinde bulunan Wadi Hasca Havzası’nın hidrolojik modelini WMS programına havzanın GIS verilerini entegre ederek oluşturmuş ve oluşan yüzeysel akış miktarını tahmin etmiştir. Mann ve Parson (2004) yaptıkları çalışma ile Kentucky ve Tennessee’de bulunan Clear Fork Havzası’nı WMS programı ile modelleyerek taşkın potansiyelini hesaplamışlardır. Sadrolashrafi ve diğ. (2008) WMS programını kullanarak İran’daki Dez Havzası’nın taşkın tehlike haritasını oluşturmuştur.

Bu çalışma kapsamında Ayamama Havzası’nın hidrolojik ve hidrodinamik modelleri oluşturulmuş ve bu model kullanılarak havzanın taşkın analizi yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda havza modeli EPA SWMM ve WMS adlı iki farklı bilgisayar programı ile oluşturulmuş her iki program ile farklı senaryolar altında taşkın analizleri yapılmış ve iki programın çıktıları karşılaştırılmıştır.

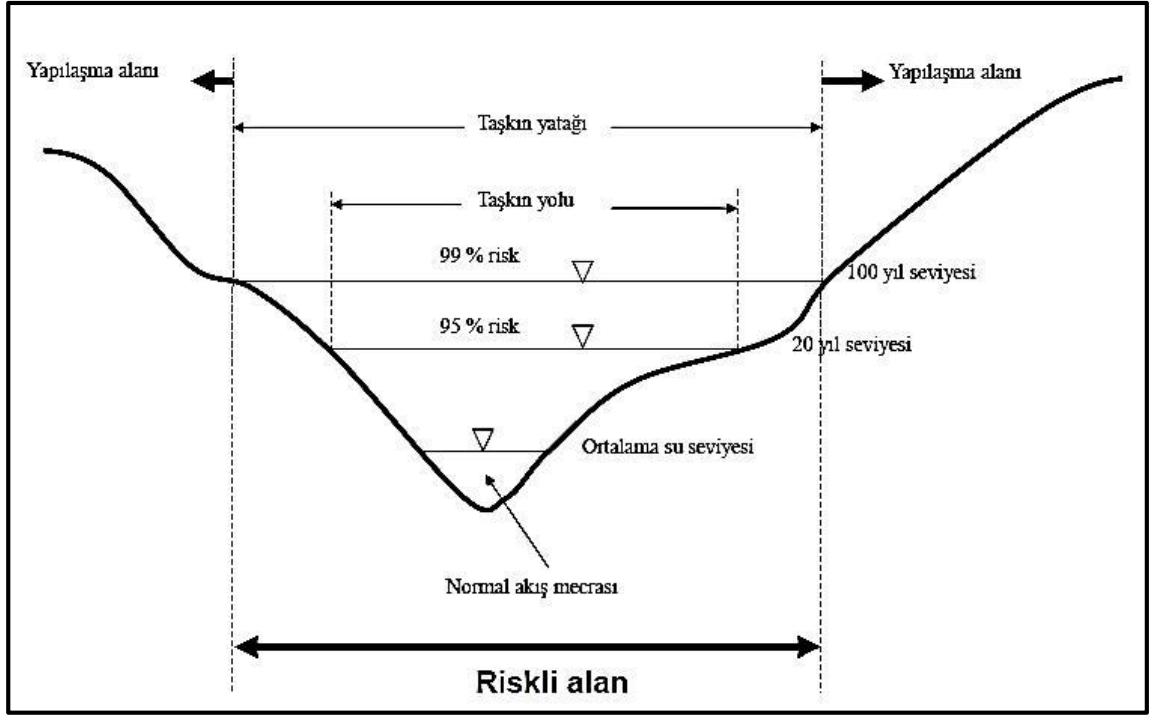
2. TAŞKIN

Taşkın bir akarsuyun çeşitli nedenlerle yatağından taşarak, canlı ve cansız varlıklara zarar vermek suretiyle, etki bölgesinde sosyo-ekonomik faaliyetleri kesintiye uğratacak ölçüde akış oluşturmaları olarak açıklanabilir (Demir, 2010). Taşkın, akarsuyun çevresindeki arazilere, canlılara, yerleşim yerlerine ve altyapı tesislerine zarar vermesi suretiyle, yaşamı ve ekonomik faaliyetleri olumsuz yönde etkileyen bir felakettir (Uşıkay ve Aksu, 2002).

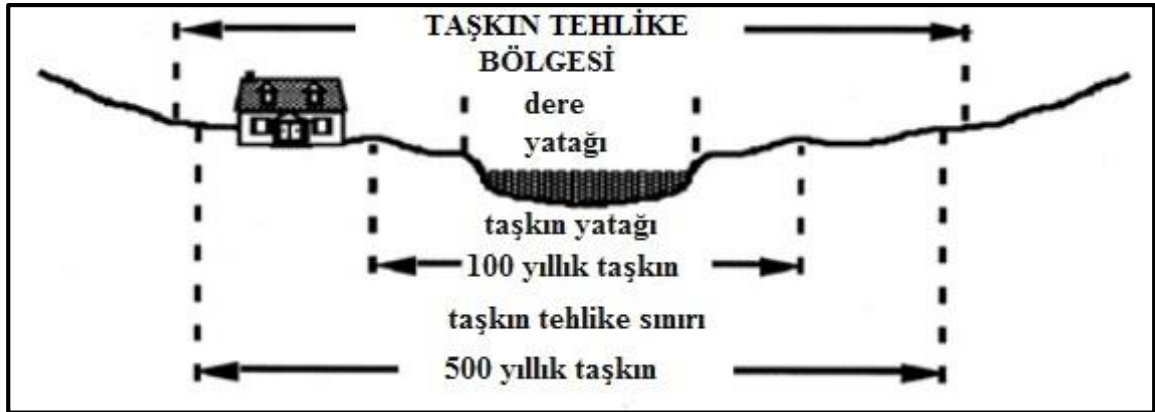
Akarsular boyunca taşkınların oluşması doğal bir olgudur. Bazı nehir taşkınları mevsimsel yağışların erittiği kar sularının nehir yataklarını doldurması sonucu meydana gelir. Nehir ve derelerin su seviyeleri, ani şiddetli yağışlarla hızla yükselebilir ve ani taşkınlar yağışın bitiminden önce başlayıp yağış bitiminden sonra da devam edebilir. Taşkın, duvar, bent, gölet, yeraltı suyu hazneleri ve haliçlerdeki su seviyesinin kritik seviyelerinin üzerine çıkması ile etraflarındaki bölgeleri sular altında bırakması şeklinde de oluşabilir.

Dünyanın birçok bölgesinde aşırı yöresel yağışlardan veya toplu kar erimelerinden sonra yaşanan akarsu taşkınları oldukça yaygındır. Taşkın yaşandığı bölgenin iklim şartlarına, jeoteknik ve topografik özelliklerine bağlı olarak gelişen bir doğal oluşumdur. Ancak taşkın zararları, tamamen insan aktivitelerinin bir sonucu olarak da meydana gelmektedir. Risk altındaki bölgelerde önceden tedbir alınmaksızın süregelen kontrolsüz ve çarpık kentleşme faaliyetleri dünyanın her köşesinde taşkın afetinin en önemli sebeplerindendir (Uşıkay ve Aksu, 2002). Şekil 2.1’de taşkın şematiği verilmektedir. Buna göre 20 yıllık yağış seviyesi taşkın yolu olarak tanımlanmakta, 100 yıllık yağış seviyesi taşkın yatağı olarak tanımlanmaktadır (Şen, 2013). Şekil 2.2’de görüldüğü üzere dere yatağı çevresindeki plansız yapılaşmalar derenin doğal yatağının bozulmasına neden olduğundan taşkın alanları genişlemiştir. Günümüzde çarpık kentleşme sonucu dere yataklarının gecekondulaşma bölgesi haline gelmesi, ağaçlandırılması, katı maddenin dere yatağını daraltması, dere yatağına çöp, moloz, sanayi ve evsel atık atılması, bu surette menfezlerin çalışmasının engellenmesi, ağaçlandırılması ve dere yataklarının doldurulması veya yataklarının değiştirilmesi sonucu oluşan taşkınlar yüzünden her yıl ülkemizde ciddi can ve mal kayıpları yaşanmaktadır. Ülkemizde büzlerle yapılan köprü

ve menfezler, dere yataklarındaki kalıntılar veya yamaç heyelanlarıyla daralan kesitleri nedeniyle birer baraj gibi görev görüp, aşırı yağışlarda taşkınlara neden olabilir (Kadıoğlu, 2008).



Şekil 2.1: Taşkın yatağının şematiği (Şen, 2013).

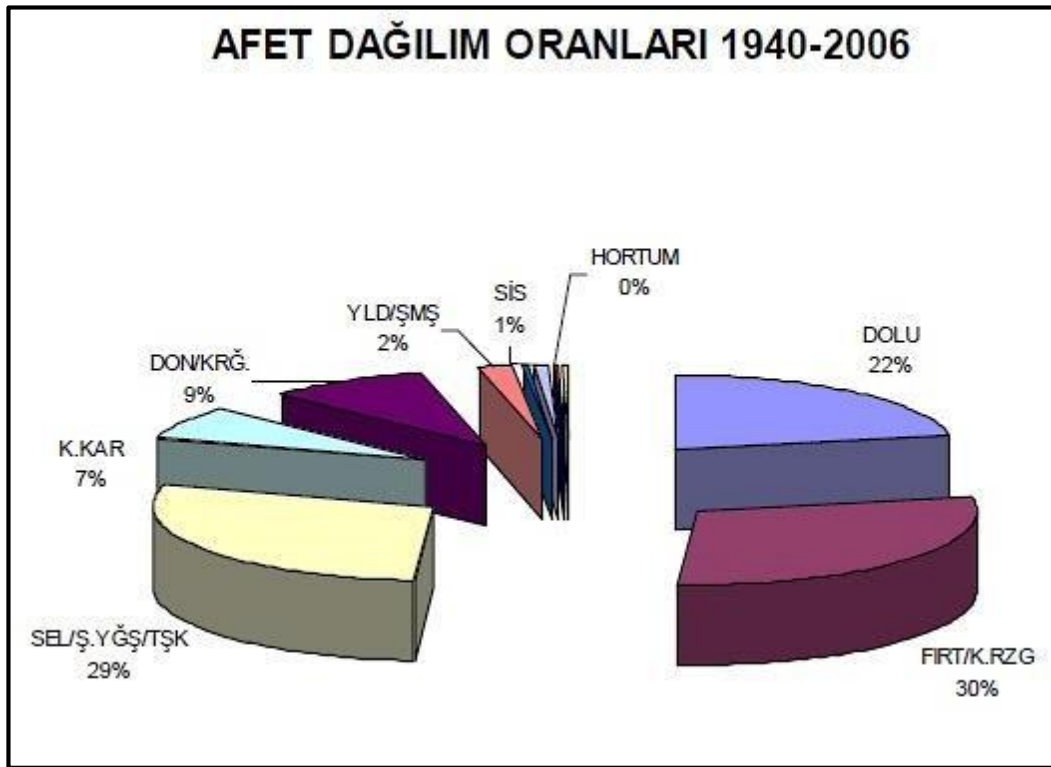


Şekil 2.2: Taşkın tehlike bölgesi (Kadıoğlu, 2008).

Doğal ya da insan müdahalesinden dolayı meydana gelen afetlerden biri olan taşkınların temel özelliği, insanlar için tamamen ortadan kaldırılamayan, sürekli bir problem olmasıdır. Toplumlarda, yüzyıllardan beri taşkın tehdidi ile karşı karşıya kaldıklarından bu ekstrem olayı kontrol altına almak amacıyla birçok çalışma yapmışlardır. Fakat günümüzdeki bilgi birikimine rağmen sorun çözülebilmemiş değildir. Ülkemiz de dâhil

olmak üzere dünyanın pek çok yerinde etkili olan taşkınlar, önemli ölçüde can ve mal kaybına neden olmaktadır (Onuşluel ve Harmancıoğlu, 2002).

Türkiye’de meydana gelen doğal afetlerin çoğunlukla fırtına, sel ve taşkınlardan meydana geleceği görülmektedir. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi, meydana gelen doğal afetler içerisinde en büyük gerçekleşme oranı %30 oranla fırtına ve kuvvetli rüzgâr, %29 sel ve taşkınlar, %22 dolu afetine aittir. (Ceylan ve Kömüşçü, 2007).



Şekil 2.3: Türkiye’de afet dağılım oranları (1940-2006) (Ceylan ve Kömüşçü, 2007).

Taşkın oluşumunu etkileyen birincil etmen, meteorolojik etmenlerdir. Havzaya düşen yağışın miktarı, süresi, şekli ve havzadaki yayılımı gibi özellikleri birinci derecede önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra bitki örtüsü, dere yatağının jeolojik yapısı, drenaj alanının büyüklüğü, ortalama yüksekliği, eğimi, arazi kullanımı, dere kollarının sıklığı gibi havza karakteristikleri de önemli rol oynamaktadır.

Bitki örtüsü yağış sularının bir kısmını tutar ve yüzeysel akışa dönüşen su miktarı ve hızı azalır. Suyun toprağa sızma miktarı da hızın azalmasıyla artar. Böylece yağışın büyük bölümü yüzeysel akışa dönüşmeden zemin tarafından tutulur, yüzeysel akışa dönüşen suyun miktarı ve hızı azalır ve yağış suları daha düzenli ve yavaş olarak derelere ulaşır.

Ancak yağış miktarının ve şiddetinin yüksek olduğu durumlarda, su miktarı ve hızı toprağın sızma kapasitesini aşmaktadır. Bunun sonucunda bu sular yüzeysel akışa geçmektedir. Yüzeysel akışa geçen sular dere yatağına gelmektedir ve dere yatağının kapasitesini aşmaktadır. Dere yatağını aşan büyük su kütlelerinin yüzeysel akışa dönüşmesi sonucunda taşkınlar oluşmaktadır.

Havzanın tamamını göz önünde bulundurarak taşkın zararlarının azaltılması için inşa edilen barajlarla yağışlı mevsimlerde oluşan yüksek akımlar depolanmakta, taşkınların pik barajlardan mansaba kontrollü su bırakmak veya hiç bırakmamak suretiyle mansapta oluşacak yüksek akımların can ve mal kaybına neden olması engellenmektedir (Kadioğlu, 2008).

2.1. TAŞKIN ÇEŞİTLERİ

2.1.1. Oluşum Sürelerine Göre Taşkınlar

Taşkın en çok karşılaşılan şekli, kuvvetli ve uzun süreli yağış sonucu oluşmaktadır. Literatürde oluşum sürelerine göre taşkınlar üçe ayrılmaktadır (Kadioğlu, 2008).

Oluşum sürelerine göre taşkınlar;

2.1.1.1. *Yavaş Gelişen Taşkınlar*

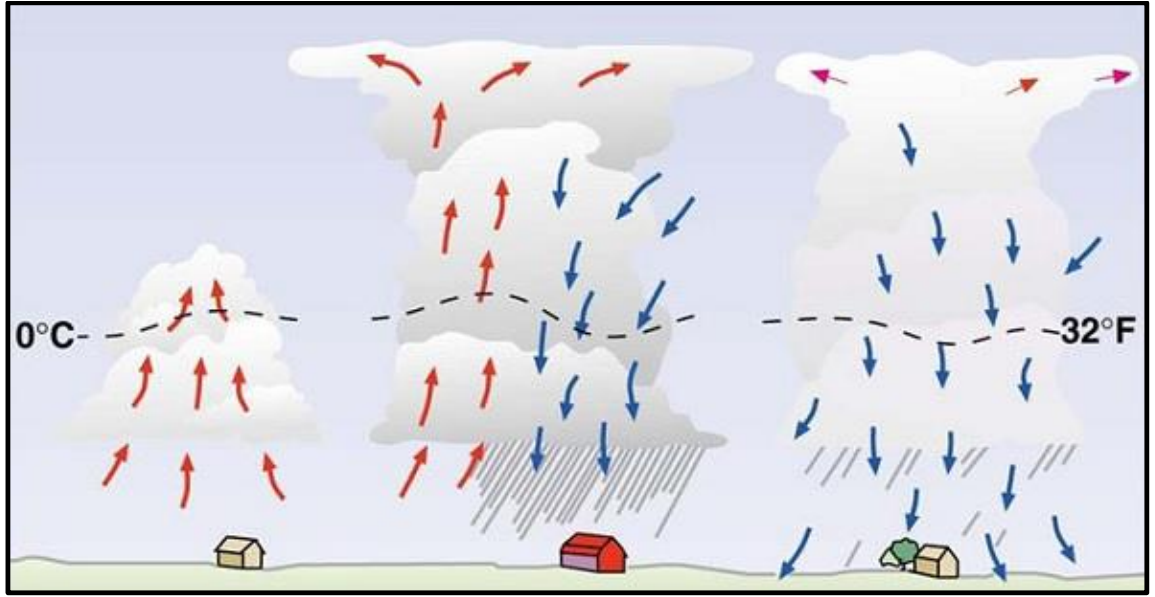
Bir hafta veya daha uzun süre içerisinde oluşabilir.

2.1.1.2. *Hızlı Gelişen Taşkınlar*

Bir-iki gün içinde oluşabilir.

2.1.1.3. *Ani Taşkınlar*

Altı saat içinde oluşabilir. Ani seller, çöller dâhil dünyanın her yerinde meydana gelebilir. Ani taşkınlar, şiddetli yağışlardan sonraki birkaç saat içerisinde oluşan taşkınlardır. Şekil 2.4’de görüldüğü üzere, ani taşkınlar konvektif yağışlar nedeniyle de oldukça sık yaşanan olaylar olarak kabul edilmektedir (Kadioğlu, 2008). Ülkemizde de ani taşkınlara örnek teşkil edecek felaketler meydana gelmiştir. Örneğin 13 Kasım 2001 tarihinde Rize’ye bir mevsimde düşen yağışın bir günde yağması sonucunda büyük bir felaket meydana gelmiştir (Ceylan ve Kömüşçü, 2007).



Şekil 2.4: Ani taşkınlara neden olabilen konvektif fırtınaların başlangıç, olgunluk ve bitiş aşamaları (Kadioğlu, 2008).

2.1.2. Oluşum Yerlerine Göre Taşkınlar

Literatürde oluşum yerlerine göre taşkınlar beşe ayrılmaktadır. Bunlar;

- Dere ve Nehir Taşkınları,
- Dağlık Alan (Kuru Vadi) Taşkınları,
- Şehir Taşkınları,
- Kıyı Taşkınları,
- Baraj Taşkınları' dır.

2.1.2.1. *Dere ve Nehir Taşkınları*

Nehirler boyunca taşkınların oluşması çok doğaldır. Bazı nehir taşkınları mevsimsel yağışların erittiği kar sularının nehir yataklarını doldurması sonucu meydana gelirler. Nehir ve derelerin su seviyeleri, şiddetli yağışlarda hızla yükselebilir ve taşkınlar yağışın bitiminden önce başlayıp yağışın bitiminden sonra da devam edebilir.

2.1.2.2. *Dağlık Alan (Kuru Vadi) Taşkınları*

Şiddetli yağışlı fırtınalar; kuru su kanallarını ve küçük çayları, tehlikeli taşkın sularına dönüştüğü zamanlarda dağlık alanlarda ve bu alanlara yakın yerlerde ani taşkınlar

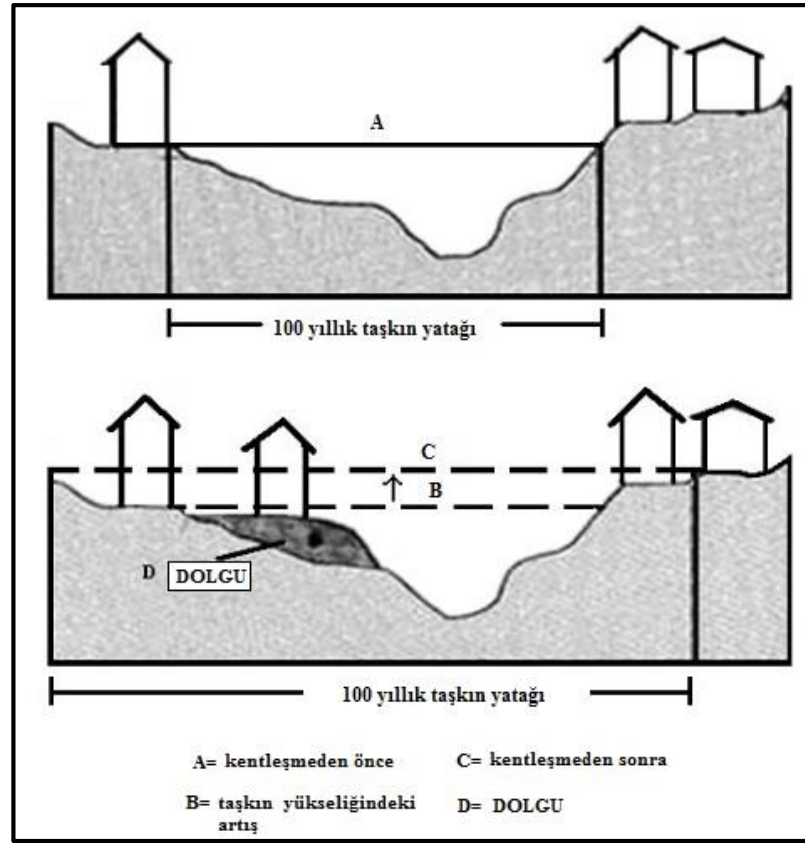
meydana gelir. Örneğin, ABD'nin Arizona eyaletinde dağlık alanlarda 58 saniyede taşkın gelişebildiği tespit edilmiştir (Kadioğlu, 2008).

2.1.2.3. Şehir Taşkınları

Bu tür taşkınlar, şehrin içerisinde bulunan her türlü arazide oluşabilmektedir. Özellikle yapılaşma sonucu doğal bitki örtüsü yok edilmiş şehrsel alanlarda yağışın toprağa sızması mümkün olmadığından sıkça taşkınlar meydana gelmektedir. Yapılaşma, yüzeysel akışı doğal yüzeylere göre 2 ila 6 kat arttırmaktadır. Yüzey sularının taşınmasında altyapının ve derelerin kesitlerinin yetersiz kalması sonucu kısa sürede caddeler ve sokaklar derelere dönüşebilir (Kadioğlu, 2008).

Son yıllarda İstanbul'da sıkça taşkınlar yaşanmaktadır. Şiddetli sağanak yağışlar sonucu cadde ve sokaklar hemen derelere dönüşebilmektedir. Yollarda ve araçlarında mahsur kalanlar pis taşkın sularına girmek zorunda kalmaktadırlar.

Türkiye'de küresel iklim değişimi ile birlikte artması beklenen doğal afet, şehirlerde oluşan ani taşkınlardır. Taşkınların artmasının en büyük nedenlerinden biri ise taşkın yataklarına yapılan binalar, dolgular ve dere üzerindeki yapıların ve kentsel altyapının yanlış ve yetersiz tasarımıyla kaynaklanmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Çarpık kentleşmenin taşkın tehlike yataklarını genişletmesi (Ramos ve diğ., 2009).

2.1.2.4. Kıyı Taşkınları

Sürekli ve şiddetli rüzgârların veya depremler ve volkanik patlamaların oluşturduğu dev dalgaların yerleşim alanlarının iç kesimlerine ulaşması sonucu meydana gelen taşkınlardır. Tsunamiler ve kuvvetli fırtınaların neden olduğu dalgalara bağlı olarak, denizin kabarması sonucu etkili yağışlar sonrasında akarsu debilerinin artmasıyla meydana gelen seller, alçak kıyılara ve düzlüklere sahip olan ülkelerde çok etkili olmaktadır. Örneğin bu tarz coğrafi yapıya sahip olan ülkelerden biri de Bangladeş'tir. Bangladeş'te muson yağmurlarının neden olduğu sel ve taşkınlardan çok etkilenmekte ve bu süreçte büyük can ve mal kayıpları meydana gelmektedir. Örneğin, 1972 yılının Kasım ayında Bangladeş'te 200.000 kişi, periyodik olarak bu tip sel ve taşkın olaylarının etkisinde kalan Leningrad'da ise 1924 yılında 20.000 kişi yaşamını kaybetmiştir. Şekil 2.6 'da Japonya'nın Miyoka şehrinde gerçekleşen kıyı taşkını görülmektedir.



Şekil 2.6: 21 Mart 2011 tarihinde Japonya'nın Miyoko şehrinde meydana gelen depremden sonra oluşan taşkın (<http://news.nationalgeographic.com>).

2.1.2.5. Baraj Taşkınları

Büyük barajlar deprem gibi olaylar sonucu yıkılırsa tehlikeli ve büyük taşkınlar meydana gelebilir. Barajlar insan yapısı olduğu için, baraj taşkınları insan kaynaklı doğal afetlerdir.

2.1.3. Meydana Geliş Zamanına ve Tekerrür Aralığına Göre Taşkınlar

2.1.3.1. Yıllık Taşkın

Bir yılda ortalama bir defa meydana gelen taşkın pik değeridir. Taşkın tekerrür hesaplarında genellikle bu pik değerler esas alınmaktadır. Yıllık taşkınların en küçüğüne “en küçük yıllık taşkın” denilmektedir.

2.1.3.2. Yaz Taşkını

Yaz yağmurları veya dağlık bölgelerde kar ve buzul erimesi sonucu meydana gelen taşkınlardır. Yaz taşkınları akarsu düzenlemesi ve sulama kurutma projeleri için büyük önem taşımaktadır. Küçük havzalarda ise sağanaklar önemli büyüklükte yaz taşkınlarına sebep olmaktadır.

2.1.3.3. Kış Taşkını

Bitki örtüsünün mevcut olmadığı kış aylarında meydana gelen akışların üst sınırıdır.

2.1.3.4. En Büyük Taşkın

Belirli bir zaman periyodunda bir akarsu havzasında meydana gelen akışların yukarı sınır değeridir. Uzun yıllara ait verilerin bulunması durumunda, su yapılarının tasarımında bu

verilerin en büyük taşkın değerinin kullanılması yeterli bir emniyet kabul edilebilmektedir.

2.1.3.5. Muhtemel En Büyük Taşkın

Bu taşkın büyüklük olarak, düzenli veya olma olasılığı düşük olan taşkınların çok üzerinde olup, bölgedeki mevcut iklim şartlarında fiziksel olanakların yukarı sınırında meydana gelmektedir. Zararlı etkileri çok büyük olan bu taşkınlara "afet taşkını, katastrofik taşkın" adı verilmektedir.

2.2. TAŞKINA NEDEN OLAN FAKTÖRLER

Taşkına neden olan faktörler, fizyolojik ve meteorolojik faktörler olarak ikiye ayrılmaktadır.

- Fizyolojik faktörler: Havzanın büyüklüğü, akarsu yatağı, eğimi, akarsu kollarının sıklığı, şekli ve pürüzlülüğü, tabii ve suni göller, arazinin rakımı, topografyası, jeolojisi, bitki örtüsü ve arazi kullanımı
- Meteorolojik faktörler: Yağışın şiddeti, miktarı, süresi, fırtınanın yönü, şekli, hacmi, bölgenin kuraklığı (Özdemir, 1978).

2.2.1. Fizyolojik Faktörler

2.2.1.1. Drenaj Alanın Büyüklüğü

Bir akarsu havzasında; suların toplandığı alana drenaj alanı denmektedir. Bir alanın getireceği taşkın büyüklüğü, pik değere ulaşma süresi, taşkın hacmi ve drenaj alanı ile orantılıdır. Bu oran literatürde; değişen yüzeysel akış katsayısı ile birlikte drenaj alanın 2/3'üncü kuvveti olarak verilmiştir (Özdemir, 1978).

2.2.1.2. Drenaj Alanının Şekli

Büyüklükleri ve diğer özellikleri aynı fakat şekilleri farklı olan drenaj alanlarından gelecek taşkın hacimleri eşit olduğu halde, havzanın şekline göre taşkın debisi, pik değere ulaşma süreleri değişiktir (Özdemir, 1978).

2.2.1.3. Drenaj Alanı Eğimi

Drenaj alanı eğiminin taşkınlarda rolü büyüktür. Yüz ölçümleri ve diğer karakteristikleri aynı olan iki drenaj alanının taşkın hacimleri aynı olmasına rağmen, eğimi fazla olanının

taşkın debisi daha büyük, pike ulaşma ve taşkın süresi daha kısadır. Uygulamada drenaj alanı eğimi, ana akarsu boyunun harmonik eğimi olarak kabul edilmektedir. Ancak ana kolun harmonik eğiminin genel havza eğiminden bariz derecede az olması durumunda, hesaplanan taşkın debileri beklenenden daima daha kk olacaktır. Bu yüzden havza alanı yan kollara göre alt havzalara bölünerek hesaplanan sonuçlar, gecikme süreleri de göz önünde bulundurularak, süperpoze ve öteleme yapılmak suretiyle, havzanın gelecek taşkın debileri hesaplanmalıdır (zdemir, 1978).

2.2.1.4. Drenaj Alanının Jeolojik Yapısı

Drenaj alanının jeolojik yapısı zeminin geçirgenlik özelliğine göre, meydana gelecek taşkınlara etkisi şekil 2.7’de görüldüğü üzere toprak örtüsünün az olduğu veya hiç olmadığı, yapılaşmanın etkili olduğu durumlarda önemli olmaktadır. Genellikle metamorfik kayaçların hâkim olduğu çatlaklı, kırıklı, faylı veya geçirgenliği yüksek olan arazilerde yağışın yüzeysel akışa dönüşmesi son derece az olmaktadır. Karstik arazilerde görülen düdenler, dehliz ve mağaralar, toplama havzasındaki akışları kısa sürede yeraltı suyuna veya farklı drenaj alanlarına taşmakta ve böylece taşkın azaltıcı bir rol oynamaktadır (zdemir, 1978).



Şekil 2.7: Drenaj alanının jeolojik yapısının taşkınlara olan etkisi (Arnold ve Gibbons, 1996).

2.2.1.5. Drenaj Alanının Depolama Kapasitesi

Drenaj alanındaki yüzeysel akışın zemindeki doğal girintilerde toplanması, düzlük veya az meyilli kısımlarda göllenme yapması ve hatta bazen araziye yayılarak taşkın bölgeleri meydana getirmesi, o drenaj alanından gelecek olan taşkın pikini önemli derecede azaltıp taşkın hidrografındaki sürelerin uzamasına sebep olabilir (Özdemir, 1978).

2.2.1.6. Drenaj Alanının Bitki Örtüsü

Drenaj alanının bitki örtüsü, yağışın yüzeysel akışa geçinceye kadarki süre içerisinde meydana gelmekte olan, özellikle başlangıç kayıplarının önemli etkileyicidir. Bu etki bitki örtüsünün çeşidine, sıklığına, büyüklüğüne ve hatta yapraklarının şekline bağlı olarak tutacağı yağış miktarını değiştirmektedir. Bu yüzden, bitki örtüsünün taşkınları ve erozyonu önleme bakımından etkisi büyüktür (Özdemir, 1978).

2.2.1.7. Drenaj Alanının Toprak Örtüsü

Drenaj alanını kaplayan toprak cinsi ve kalınlığı başlangıç kayıplarına etkisi bitki örtüsünün etkisinden daha fazladır. Hatta toprak cinsi sızmanın en önemli faktörü olduğundan etkisini, taşkın süresi boyunca da devam ettirmektedir (Özdemir, 1978).

2.2.1.8. Drenaj Alanının Kullanış Şekli

Drenaj alanının kullanışı; kentsel ve kırsal alanlarda taşkınının meydana gelmesinde büyük rol oynamaktadır. Tamamen ormanla kaplı bir arazide yağışın büyük bir kısmı; bitkiler tarafından tutulur, belli bir kısmı buharlaşır, belli bir kısmı sızarak yeraltı suyuna karışır, depolanır ve yüzeysel akışa geçemez. Fakat yapılaşmanın yoğun olduğu kentsel alanlarda; akışın bitki örtüsü tarafından tutulup, depolanamaması ve sızma miktarının geçirimsizliğin yüksek olması nedeniyle kırsal alana göre çok düşük olmasından dolayı büyük su kütleleri kısa sürede yüzeysel akışa geçmekte ve taşkınlara sebebiyet vermektedir (Özdemir, 1978).

2.2.1.9. Drenaj Alanının Rakımı

Yüksek rakımlarda çığ noktası düşük ve düşük çığ noktasında havzanın su muhtevası az olduğundan bu gibi yerler, şiddetleri az ve daha uzun süreli yağışlara maruz kalmaktadırlar. Ancak yağış yönüne dik ve özellikle sahile bakan yamaçlarda rakım, yağışın devamlı beslenmesi sebebiyle, belli bir sınıra kadar yağış şiddetini arttırıcı rol oynamaktadır (Özdemir, 1978).

2.2.1.10. Drenaj Alanının Yönü

Yağışın geldiği yöne dönük olan drenaj alanları, yağışın geldiği yöne arkası dönük olan drenaj alanlarından daha fazla miktarda yağış alırlar (Özdemir, 1978).

2.2.1.11. Drenaj Alanındaki Suni Yapılar

Drenaj alanı içerisinde inşa edilmiş bulunan baraj, gölet, sel kapanı gibi su yapıları, kendi drenaj alanlarındaki taşkını öteleyerek taşkına durdurucu yönde etki ederken, yerine göre sedde, kanal ve dere yataklarının ıslahları da taşkınlara olumlu veya olumsuz yönde etki edebilirler. Bu yapıların, beklenen taşkınlara olan etkileri incelenmeli ve bu duruma göre değerlendirilmelidir (Özdemir, 1978).

2.2.1.12. Drenaj Alanının Hidrojeolojisi

Drenaj alanının içerisinde bulunan göller, bataklıklar ve kaynaklar buharlaşmayı arttırarak, yağışın miktarını arttırmaktadırlar. Buna ek olarak, yeraltı su seviyesinin yüzeye yakınlığı sızmayı zorlaştıracığından taşkını arttırıcı etki gösterirler. Göller ve bataklıklar, depolama yaparak taşkınların etkilerini önemli derecede azaltırlar (Özdemir, 1978).

2.2.1.13. Drenaj Alanının Nem Durumu

Drenaj alanının zeminin taşkından önceki nem durumunun, yağışın havzada meydana gelecek olan yüzeysel akışa olan etkisi büyüktür. Taşkın meydana getirecek bir yağışın; kuru bir zeminde sızma kapasitesi yüksek olacağından yüzeysel akışa dönüşmemesi, doygun bir zemindeki sızma kapasitesinin düşük olması nedeniyle akışın doğrudan yüzeysel akışa dönüşmesi söz konusudur (Özdemir, 1978).

2.2.2. Meteorolojik Faktörler

2.2.2.1. Yağışın Şiddeti

Birim zamanda düşen yağış miktarına yağış şiddeti denmektedir. Genellikle taşkınlar, şiddetli yağışlar sonucu meydana gelmektedir. Şiddetli yağışlarda sızma için yeterli zamanın kalmaması da yüzeysel akışı arttıracığından taşkınları artırıcı rol oynamaktadır (Özdemir, 1978).

2.2.2.2. Yağışın Süresi

Sabit şiddetteki bir yağışın süresi arttıkça meydana getireceği taşkının büyüklüğü; toplama havzasının büyüklüğüne, toplanma süresine ve havzanın diğer özelliklerine bağlı olarak bir limite ulaşır ve yağışın süresi sonsuz olsa da, taşkın hacmi büyümesine rağmen, pikinde değişme görülmez. Yağışın şiddeti değişken olduğu durumlarda, taşkın piki en büyük değerine, en şiddetli yağış periyoduna ulaşır (Özdemir, 1978).

2.2.2.3. Yağışın Şekli

Bir bölgeye düşecek olan yağışlar genellikle yağmur, kar veya dolu şeklinde olabilir. Yağmurun taşkına etkisi, toplama havzasında bulunan akarsuyun yatağını doldurduktan sonra yüzeysel akışa geçmesiyle başlamaktadır. Ancak yağmurun bu etkisi, bu esnada havzaya düşen yağmurun, bitki ve toprak örtüsü tarafından tutulmakta olduğundan, fazla değildir. Ancak sızmanın minimum düzeye düştüğü andan itibaren havzaya düşen yağmur yüzeysel akışa geçerek taşkına neden olmaktadır.

Karın taşkına etkisi, erimeye başlaması ile birlikte görülür. Bu esnada yüzey altı ve yeraltı suyu miktarında ciddi artışlar görülür. Taşkın debisine etkisi az, pike ulaşma zamanı ve taşkın süresi uzundur.

Dolu, genellikle yeryüzü sıcaklığının 0 °C'nin üzerindeyken yağdığından, hızlı bir erime ve dolasıyla kısa sürede yüzeysel akışa dönüşebilmektedir. Bu yüzden kara göre taşkınlar üzerinde daha etkilidir (Özdemir, 1978).

2.3. TAŞKININ OLUMSUZ ETKİLERİ

Taşkının neden olduğu zararlar, toplum yaşamını çok çeşitli şekillerde etkilemektedir. Temelde taşkınların etkileri, karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu afetlerin tüm dünyada yaygın olarak görülen en belirgin etkileri, insan hayatı ve ekonomi üzerinde göstermektedir.

Taşkın, insan sağlığını genel olarak iki şekilde etkiler;

- Direkt etkiler
- Endirekt etkiler

Tablo 2.1'de taşkının endirekt ve direkt etkilerinin insan sağlığı üzerindeki etkileri verilmiştir.

Direkt etkiler; genellikle taşkın suyundan kaynaklanan etkiler olup, bunlar boğulmalar, yaralanmalar, psikolojik etkiler şeklindedir.

Endirekt etkiler ise selden zarar gören diğer sistemlerin neden olduğu etkilerdir. Bunlara örnek olarak, sudan kaynaklanan enfeksiyonlar, taşkın suyu içinde serbest kalan kimyasal kirleticiler ve kronik etkiler verilebilir.

Sel felaketi sonrasında, kötü barınma şartları sonucu yayılma fırsatı bulan çeşitli hastalıklar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca kirli su birikintileri ve nemli topraklarda yayılan bazı hastalıklarda da artış görülür. Su kaynaklarına kanalizasyon karışır ve sular hastalık etkenleriyle kirlenmiş hale gelir. Ölmüş insan ve hayvanların cesetleri bir süre sonra kokuşur ve hastalık etkeni mikroorganizmaların üremesi ve çoğalması için uygun ortam oluşturur.

Dünya'da her yıl yaklaşık 100,000 civarında taşkın, fırtına, hortum, heyelan, fırtına gibi doğal afetler meydana gelmektedir. Bu afet olaylarından en çok yaşananı, en fazla hasara

neden olanı ve kayıp vereni de taşkınlardır. Doğal Afetler nedeniyle, dünyada her yıl ortalama 100000 bin kişi hayatını kaybetmektedir (Öztürk, 2009).

Tablo 2.1: Taşkınların insan sağlığı üzerindeki etkileri (Menne ve diğ., 1999).

DİREKT ETKİLER	
Nedenler	Sağlık Uzantıları
Dere akış hızı, topografik arazi özellikleri, uyarı yokluğu, taşkın ve sel başlangıcındaki ani hız, derin taşkın suyu, heyelan, risk davranışı, hızlı akan suyun taşıdığı kaya parçaları ve düşen ağaçlar	Yaralanma ve boğulmalar
Suyla temas	Şok, solunuma ilişkin hastalıklar, kalp durması, vücut ısısının normalin altına düşmesi (hipotermi)
Kirli suyla temas	Yara enfeksiyonları, dermatitis, konjüktivit, kulak-burun-boğaz enfeksiyonları, suyla bulaşan hastalıklar
Fiziksel ve duygusal stres artışı	Psikolojik bozukluklara hassasiyetin ve kardiyovasküler olayların artışı
İNDİREKT ETKİLER	
Su sağlayan sistemlerde, kanalizasyon sistemlerinde arızalanma, yetersiz içme suyu sağlanması, temizlik için su yetersizliği	Suyla bulaşması mümkün enfeksiyonlar (Enterogenic E.coli, Shigella, Hepatit A, Leptospirosis, giardiasis, dermatitis, konjüktivit)
Taşıma sisteminde bozulma	Yiyecek yetersizliği, acil yardımda aksama
Yeraltı borularında hasar, depolama tanklarının yeniden ayrılması, toksik atık alanlarından sızma, kimyasalların serbest kalması, gaz tanklarının yangına neden olabilecek şekilde zarar görmesi	Kimyasal kirliliğin akut ve potansiyel etkileri
Durgun su, aşırı yağışlar, vektör habitatının artan oranı	Vektör bazlı hastalıklar
Kemirgenlerin istilası	Kemiricilerden bulaşması muhtemel hastalıklar
Sosyal bağlantılarda kopma, iş, aile ve arkadaş kaybı	Psiko-sosyal bozulma
Selleri izleyen temizleme faaliyetleri	Elektrik çarpmaları, yaralanmalar, deri hastalıkları
Birincil yiyecek ürünlerin yıkımı	Yiyecek yetersizliği
Sağlık hizmetlerinin zarar görmesi	Normal sağlık koruma hizmetlerinde azalma ve yetersiz ilgi

Taşkın olayları esnasında çoğunlukla su şebekeleri ve arıtma sistemleri hasar görmekte, kanalizasyon taşmaları oluşmakta, insan ve hayvan artıkları içme suyuna karışarak içme suyunun kirlenmesine neden olmaktadır. Kirli suyla direkt temas sonucunda; yara enfeksiyonları, deri ve göz enfeksiyonları, kulak, burun ve boğaz enfeksiyonları oluşabilir. İzmir’de 1995 yılı Kasım ayında yaşanan ve 62 kişinin öldüğü taşkından sonra bazı kişilerde deri enfeksiyonları saptanmıştır.

Taşkın sırasında zararlı maddelerin yayılması da önemli sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Bunun nedenleri, yeraltındaki boruların ayrılması, depolama tanklarının yer değiştirmesi, zehirli atık alanlarından taşma ve zarar gören tesislerden kimyasalların yayılması şeklinde olabilmektedir. Ayrıca kimyasallarla temas, insan sağlığını direkt olarak etkileyebilmektedir.

Taşkın, sonucunda erozyon gibi doğal afetler oluşmasına neden olabilmektedir. Bitki örtüsünün yok olması, erozyonun dışında toprak kayması, taşkın ve çığ felaketlerinin artmasına neden olmaktadır. Kaybedilen toprak örtüsünün yeniden oluşması için binlerce yıl gerekmektedir.

2.4. TAŞKINDAN KORUNMA YÖNTEMLERİ

Taşkınlardan korunmak için çeşitli önlemler alınabilir. Bu önlemlerin arasında geçici olarak akan suyu depolayan ve taşkın pik debisini sönmülemeye yarayan yapılar olarak biriktirme hazneleri, barajlar, göletler, seddeler, yatak tanzimi gibi çalışmalar akla gelmektedir. Bu önlemler akıllıca kullanıldığı takdirde taşkın esnasındaki su seviyesini önemli miktarda azaltarak su seviyelerinin akarsu yatağının doğal sınırları içinde kalmasını sağlamaktadır. Taşkına etkilenecek bölgelerde yapılan değişikliklerle taşkın etkinliği azaltılabilir (Şen, 2009).

Taşkınlardan korunmak için yapısal olmayan önlemler içerisinde, hidrometrik gözlem çalışmalarının yapılması, havza taşkın yıllıkklarının hazırlanması, taşkın haritalarına göre imar planlarının düzenlenmesi, taşkın tahminine yönelik taşkın izleme sistemlerinin, erken uyarı sistemlerinin kurulması, taşkın kriz merkezlerinin kurularak bölge halkının

bilgilendirilmesi ve taşkın anında koordinasyonun sağlanması taşkın sonrasındaki hasarların giderilmesi için taşkın sigortası yapılması yer almaktadır.

Taşkınlardan korunmak için alanın yapısal önlemler, toprak koruma havza düzenleme çalışmaları, akarsu yatağında düzenleme çalışmaları, taşkın kanalları, taşkın geciktirme havuzları, sel kapanları, tersip bentleri, barajlar, seddeler ve taşkın duvarları olarak sıralanabilir.

2.4.1. Ağaçlandırma

Türkiye’de yerleşim yerleri, genelde akarsuların mansap kesimlerinde yoğunluk göstermektedir. Nüfus artışı ile artan ihtiyaçların karşılanması için halk akarsuyun yukarı havzalarındaki yamaçlar üzerindeki koruyucu bitki örtüsünü zamanla tahrip ederek artan ihtiyaçlarını karşılamak için bu sahaları ziraat alanlarına eklemişlerdir. Bundan dolayı erozyon hızla artarak tabii mecraları katı maddelerle doldurmaktadır. Bu olumsuzluklar meskûn alanlarda taşkın felaketlerine neden olmaktadır. Taşkın koruma önlemlerinden biri de akarsu yukarı havzalarında yapılan tahribatın en aza indirmek amacıyla bu alanları ağaçlandırmak, mevcut orman, mera ve çayırları korumak gerekmektedir (DSİ, 2004).

2.4.2. Teraslama

Taşkından korunmak için alınacak önlemlerden biri de akarsuyun yukarı havzalarında ve yağış alanı içinde teraslama yapmaktır. Teraslama; suyun yüzeysel akışını denetlemek ve toprak erozyonunu asgariye indirmek amacıyla bir yamacın konturu üzerine kurulan toprak settir. Yağış alanı içindeki arazi üzerinde teraslar şeklinde düzeltmeler yapılarak, arazinin yüzey eğimi azaltılır ve yağışın yüzeysel akışa geçişi geciktirilir. Bu da akan suyun sürüklenme gücünü azaltarak erozyonu önemli ölçüde azaltır (DSİ, 2004).

2.4.3. Tersip Bendi

Su toplama havzalarında katı maddelerin mansaba taşınmadan kontrollü bir şekilde depolamak amacıyla akarsu yataklarına inşa edilen enine yapılara tersip bendi ya da biriktirme barajları adı verilmektedir. Dere yatağında depolanmış uygun malzemenin kullanılmasıyla yapılabilir. Burada önemli olan yapının üzerinden su aşmaması için yapılan dolu savağın doğru konumlanmasıdır (DSİ, 2004).

Şekil 2.8’de görüldüğü üzere; İzmir Değirmendere Deresi dere ıslahı kapsamında taşkından korunmak üzere yapısal önlemlerden biri olarak akarsu yatağına tersip bendi inşa edilmiştir.



Şekil 2.8: İzmir Değirmendere Deresi üzerinde bulunan tersip bendi (www.kha.com.tr).

2.4.4. Sel Kapanları

Sel kapanları; taşkın akımını geçici olarak tutan, çıkış debisini küçülterek sönümleyen alçak barajlardır. Aynen baraj ve göletler gibi inşa edilebilirler (Özbal, 2010). Şekil 2.9’da; Devlet Su İşleri tarafından Mogan ve Eymir Göllerinde meydana gelen taşkından korunma amacıyla inşa edilmiş İncesu Sel kapanı görülmektedir.



Şekil 2.9: Kayseri'nin İncesu İlçesi'nden bulunan sel kapanı (<http://www.dsi.gov.tr>).

2.4.5. Mahmuzlar

Akarsu yatağında kıyı erozyonunu önlemek veya geciktirmek ve taşkın kontrolü için nehir akımını yönlendirerek düzgün bir akım sağlamak amacıyla akarsu yataklarının kıyılarında akım sağlamak amacı ile akarsu yataklarının kıyılarında akım yönüne dik veya amacına göre belirli açılarla yerleştirilen yapılardır. Mahmuzlar, akarsu yataklarını daraltarak ve yarattıkları yeni kıyı hattıyla düzensiz akan nehir akımını şişirerek, akarsuyun düzenli akmasını sağlar ve arkasında katı maddenin çökeltimini sağlayarak, yeni düzenlenmiş akarsu seddeleri yaratırlar (DSİ, 2004).

2.4.6. Taban Kuşakları

Oldukça geniş, kıyı şevlerinde oyulmalar durmuş, dere yatağının içinde katı maddenin hareketinin sürdüğü hallerde dengeleme eğimini sağlamak koşuluyla taşınan katı maddeyi durdurmak amacıyla yapılan yapılara taban kuşakları denmektedir (Özbal, 2010). Şekil 2.10'da dere yatağında taşkından korunmak için yapılan taban kuşakları görülmektedir.



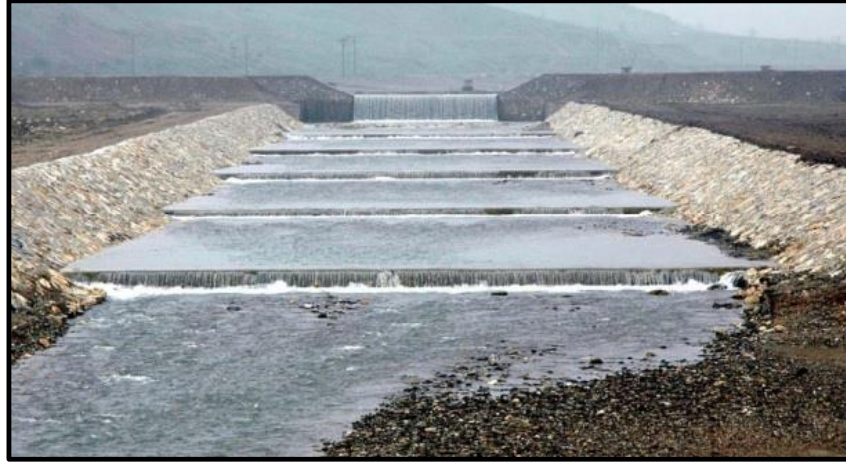
Şekil 2.10: Taban kuşağı örneği (Özbal, 2010).

2.4.7. Britler

Britler, şekil itibari ile taban kuşaklarına benzeyen yapılardır. Katı madde depolamak yerine eğimi düzenlemek ve azaltmak amacıyla da kullanılmaktadırlar (Şekil 2.11-12).



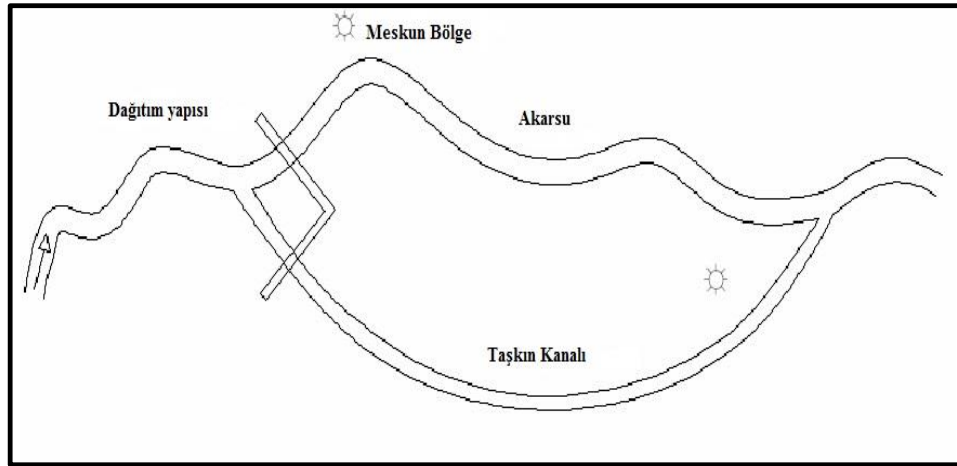
Şekil 2.11: İmalat sırasında brit uygulaması (Özbal, 2010).



Şekil 2.12: Akarsu yatağında yapılan brit uygulaması (Özbal, 2010).

2.4.8. Taşkın Kanalları

Akarsu yatağının bütün taşkın sularını taşıyabilecek kapasitede düzenlenmediği ve seddelemenin mümkün olmadığı durumlarda, taşkın sularının bir kısmı taşkın kanalına alınarak taşkın debileri azaltılmakta ve zararlara neden olmayacak şekilde akarsu yatağına geri bırakılmaktadır (Ağırlioğlu ve Erkek, 1998). Şekil 2.13’de taşkın geciktirme kanalı planı görülmektedir.

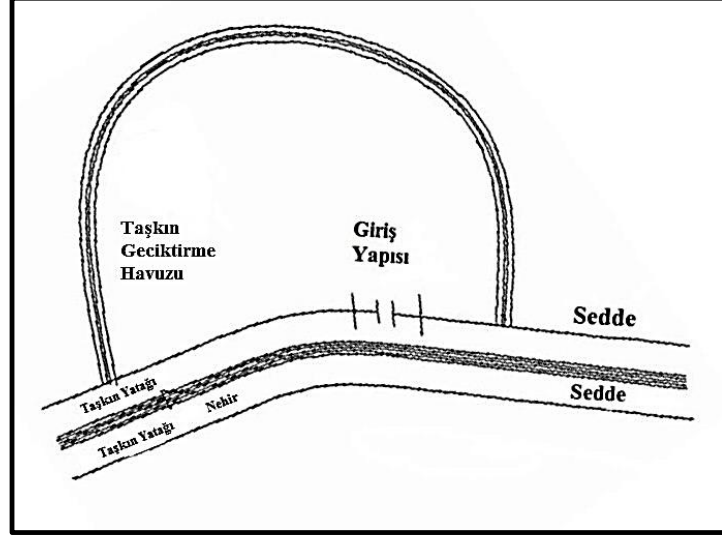


Şekil 2.13: Taşkın kanalı planı (Ağırlioğlu ve Erkek, 1998).

2.4.9. Taşkın Geciktirme Havuzu

Taşkın geciktirme havuzları; taşkın pik debisini düşürmek amacıyla yapılan yapılardır. Taşkın debilerini geri tutarak zararlara sebebiyet vermeyecek şekilde akarsuya geri

bırakılmaktadır. Şekil 2.14’de taşkın geciktirme havuzunun planı gösterilmektedir (Ağıralıoğlu ve Erkek, 1998).



Şekil 2.14: Taşkın geciktirme havuzu planı (Ağıralıoğlu ve Erkek, 1998).

2.4.10. Seddeler

Yükseltisi az, düz arazilerde taşkın suları akarsu yatağından taşarak geniş alanları sular altında bırakabilmektedir. Tarım ve meskûn alanlarda taşkın zararlarını önlemek için akarsu yatağının dışına yapılan yapılardır.



Şekil 2.15: Sedde yapılmış bir akarsu örneği (Özbal, 2010).

2.5. DÜNYADA YAŞANAN TAŞKINLAR

Dünyada, son 20 yılda taşkın, deprem, yangınlar, fırtına ve volkan patlamaları gibi felaketler sonucu ölen 560,000 kişinin %49'u taşkınlar nedeni ile birinci sırada yer almaktadır.

Uluslararası Acil Afetler Veritabanı verilerine göre 1900-2008 yılları arasında 2238 tane taşkın meydana gelmiştir. Bu taşkınlardan 2 milyara yakın kişi etkilenmiş, 3 milyona yakın kişi hayatını kaybetmiş ve 200 milyar ABD \$ zarar oluşmuştur.

Tablo 2.2'de dünyada meydana gelen taşkınların bilançosu verilmiştir. Tabloya bakıldığında, taşkınlar sonucunda oluşan can ve mal kayıpları Çin'de meydana gelmiştir (Altundal, 2010). Tablo 2.3 de ise dünyada meydana gelen en önemli taşkınlar ve etkileri verilmiştir.

Tablo 2.2: Dünyada meydana gelen taşkınların bilançosu (Altundal, 2010).

Ülke	Sebepl olan Olay	Ölü sayısı
Çin	1887 Sarı Nehir (Huang He) Seli	900.000-2.000.000
Çin	1931 Çin Selleri	2.500.000-3.000.000
Çin	1938 Sarı Nehir (Huang He) Seli	500.000-700.000
Çin	1975 Nina Tayfunu sebebiyle Banqiao Barajının yıkılması	231.000 (86.000 kişi taşkın, 145.000 kişi taşkın sonucu hastalıklar nedeniyle)
Hindistan (Tamil Nadu Bölgesi, Tayland, Maldivler)	2004 Hint Okyanusu Tsunamisi sonucu oluşan sel	230.000

Tablo 2.3: Dünyada meydana gelen önemli taşkınlar ve etkileri (Altundal, 2010).

Yıllar	Taşkın Yeri	Taşkın Sayısı	Etkilenen kişi sayısı	Ölü sayısı	Su altında kalan alan (ha)	Toplam Zarar (\$)
1900-2008	Dünya	2238	2 milyar	2.981.285		201 milyar
1953	Hollanda	1	Ülkenin çoğunluğu	1.800	Ülkenin çoğunluğu	
1969-1981	ABD	32		1.185		
1993	ABD	2	54.000		4 milyon	
1997	Polonya	1		54	665.000	2-4 milyar
2003	Hindistan	1	3 milyon	67	117.900 km ²	55 milyon
2007	Çin	1	403.000	23		235 milyon

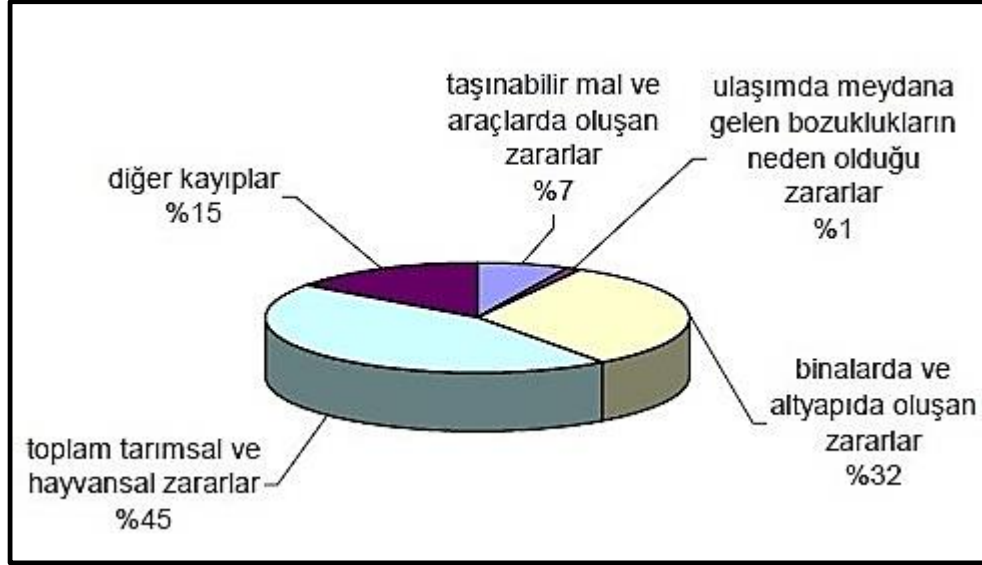
2.6. TÜRKİYE’DE TAŞKIN FELAKETİ VE BİLANÇOSU

Türkiye’de depremde sonra en çok görülen doğal afet taşkınlardır. Türkiye su kaynakları bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Son yıllarda bitki örtüsünün yok edilmesi ve akarsuların taşkın yataklarındaki yerleşmeler yüzünden taşkın olayları artmıştır.

Taşkın altında kalan alanlara yerleşilmesi taşkın zararlarını da arttırıcı bir etki göstermiştir. 1953 yılında DSİ taşkın koruma yapısı faaliyetlerine başlayarak bu durumun önüne geçebilmeyi amaçlamıştır. Taşkınlardaki yıllık ortalama kayıp 0.55 milyar dolar olup Gayri Safi Milli Hasıla’nın % 0,8 ini oluşturur. Gerçek zararın verilen rakamlardan en az %50 daha fazla olduğu tahmin edilir.

Ülkemizde 1960’lı yıllardan itibaren hızla artan nüfus beraberinde çarpık kentleşmeyi de getirdi. Özellikle sanayi alanlarının artması nüfusun şehirlere doğru kaymasını sağlamıştır. Kentlerde görülen bu gelişmeler su kaynaklarının ve akarsu havzalarının doğal yapısını bozmuş, kontrolsüz şehirleşme ile dere yataklarında binaların yapılması, orman ve meraların daralması, dere üstlerinin kapatılması, asfalt yol yapımlarının artması, dere yataklarına çöp, moloz gibi atık maddeler atılması ve atık su giderlerinin derelere mansaplanması sonucu ülkemizde taşkınlar yaşanmıştır. Mevsimlerde görülen

meteorolojik değişiklikler yağış rejimlerinin değişmesine ani taşkınların artmasına bazı bölgelerimizde kuraklıklara bazı bölgelerimizde ise taşkınlara neden olmaktadır. Taşkınlar sonucu ülkemizde yaşanan ekonomik kayıpları sektörel sınıflandırılmadaki dağılımı Şekil 2.16’da verilmiştir.



Şekil 2.16: Taşkın zararlarının sektörel sınıflandırılması (TUHK, TUMAK, TUOK, TUJK; 2003).

Türkiye, yarı kurak iklim özelliklerine sahiptir. Yağışlar bölgeden bölgeye farklılıklar gösterir. Yıllık ortalama yağış miktarı genelde 643 mm olmasına karşın Güneydoğu Bölgesi’nde 250mm ye düşerken, Karadeniz’in doğu kesimlerinde 3000 mm ye kadar çıkabilmektedir. Ülkenin fiziksel nitelikleri, akarsu havzaları ve büyüklükleri, jeolojik ve topoğrafik nitelikleri, kullanım durumu ve koşulları, toprak özellikleri, erozyon, eğim ve yükseltiler taşkın olaylarına karşı hassasiyetini belirler (TUHK, TUMAK, TUOK, TUJK; 2003).

1910 yılında Tokat’ta bulunan Behzat Deresi taşıdığında 2000 kişi yaşamını yitirmiştir. 13 Temmuz 1995’de Isparta Kapıdağ’da 10-13 dakika süren şiddetli yağış, çamur seline neden olmuş, 74 kişi ölmüştür (Polat ve Polat, 2007).

Türkiye’de kaydedilen en yüksek iki yağış, 1971 yılında Kemer’deki 469,9 mm’lik yağış ve 1955 yılında Zonguldak’a düşen 438,8 mm’lik yağışlardır. Havzaları ormanlarla kaplı Kemer’de en ufak bir zararı olmamasına rağmen Zonguldak’ta çarpık kentleşme ve ormanların tahribatından dolayı büyük bir yıkımla karşılaşmıştır (Polat ve Polat, 2007).

Türkiye genelinde 2001-2009 tarihleri arasında meydana gelen taşkınlar Tablo 2.4 verildiği gibidir.

Tablo 2.4: 2001-2009 tarihleri arasında yaşanan taşkınlar (Kasalak ve diğ, 2010).

Havza	Taşan Dere Adedi	Toplam Taşkın Tekerrür Adedi	Havza	Taşan Dere Adedi	Toplam Taşkın Tekerrür Adedi
Meriç	8	18	Yeşilırmak	17	20
Marmara	14	15	Kızılırmak	26	27
Susurluk	13	13	Konya	10	12
Kuzey Ege	0	0	Doğu	20	21
Gediz	3	3	Seyhan	4	5
Küçük Menderes	10	11	Asi	12	14
Büyük Menderes	27	34	Ceyhan	12	15
Batı Akdeniz	11	12	Dicle-Fırat	15	18
Antalya	30	37	Doğu	69	90
Burdur	0	0	Çoruh	7	8
Akarçay	0	0	Aras	16	18
Sakarya	27	27	Van Gölü	7	7
Batı Karadeniz	25	28	TOPLAM	383	453

Taşkın afetleri yalnızca meteorolojik koşullara bağlı olarak oluşmaz, bunun yanında kentleşme ve sanayileşme faaliyetleri, akarsu havzalarının muhtelif kesimlerindeki beşeri faaliyetler ve nüfus yoğunluğu da etkili olmaktadır. Türkiye’de yakın geçmişte yaşanan 13 Aralık 1990 Muğla, 11-12 Aralık 1992 Marmaris, 23 Ağustos 1992 Yozgat, 2 Mayıs 1995 Bitlis, 4 Kasım 1995 İzmir, 7-8 Ağustos 1998 Trabzon ve son yıllarda sık yaşanan İstanbul taşkınlarının hepsinde ağırlıklı olarak kontrolsüz kentleşme faaliyetleri rol oynamıştır (TUHK, TUMAK, TUOK, TUJK; 2003).

Taşkın sayısı ve zararı yıldan yıla değişiklik göstermektedir. Bir yılda yaşanan taşkın sayısı 1-118 arasında değişmekle beraber en çok taşkınların yaşandığı yıl 1972 dir. Can kaybı yılda 0-164 arasında değişir (1989-2002 arası). En fazla can kaybı 1995 yılında

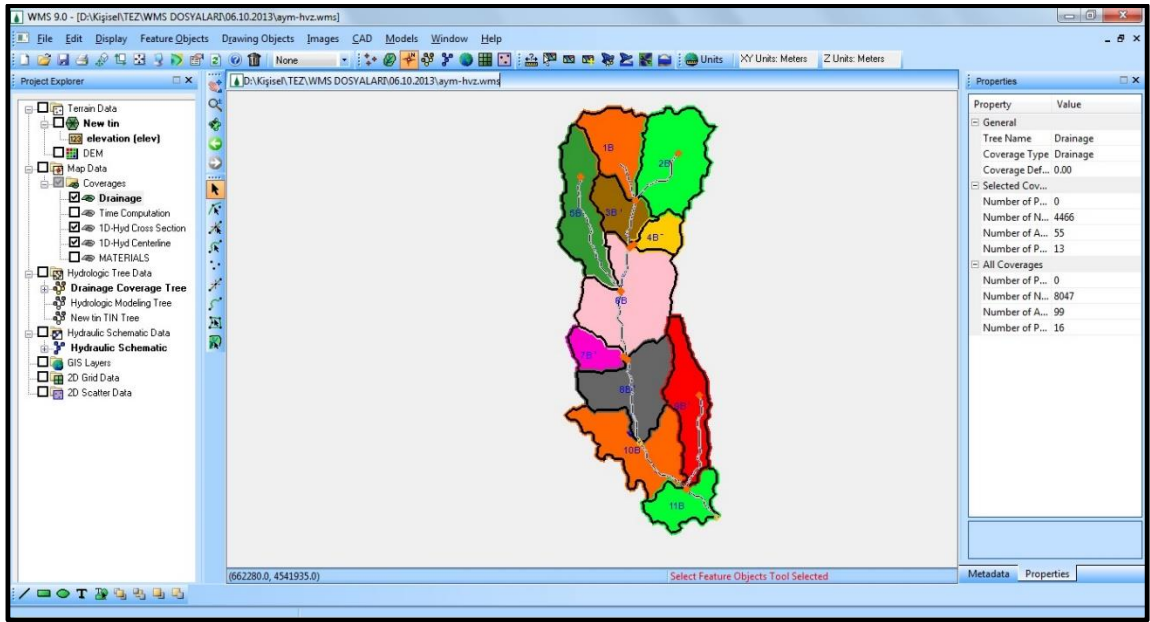
yaşanmış, 164 kişi hayatını kaybetmiştir. 1997 yılına gelindiğinde ise bu rakamlar da azalmaya başlamıştır (Öztopal ve Şen, 2007).

Taşkınlar en çok büyükşehir çevresindeki akarsu yataklarında kurulan yerleşim birimlerinde meydana gelmektedir. 1995 Kasım'da İzmir'de günde 11 cm yağış sonucunda küçük derelerin taşarak evlerini basması sonucunda 61 kişi yaşamını yitirmiştir (Öztopal ve Şen; 2007). 1957 yılında Ankara'nın Hatip Çayı vadisinde yaşanan taşkında 185 kişi hayatını kaybetmiştir (Uşkay ve Aksu; 2002). 1995 Temmuz'unda Sehirkent'de 16 mm yağış düşmesi sonucunda 74 kişi can vermiştir. Eğimlerin ve yağışın çok fazla olması neticesinde Doğu Karadeniz'de sık sık taşkınlarla karşılaşılmaktadır. 1983 de 27, 1990 da 56 insan ölmüştür.

Yağış çok şiddetli olmadığı halde yaşanan 1990 Muğla, 1992 Sorgun ve 1995 Bitlis taşkınlarında çok fazla maddi hasar ve can kaybı meydana gelmiştir. 1998 Mayıs ayında batı Karadeniz'de meydana gelen taşkın afetinden 2,2 milyon insan etkilenmiştir, olayda 151 nehir taşmış, 478 ev su altında kalmıştır. 13 Kasım 2001'de Rize'ye bir günde bir mevsimin toplamı kadar yağış düşmesi sonucu 6 kişi ölmüş, 15 ev yıkılmış, 122 konut boşaltılmıştır (Öztopal ve Şen; 2007).

3. WATERSHED MODELING SYSTEM (WMS)

“Watershed Modeling System (Havza Modelleme Sistemi)”’; hem kırsal alan hem de kent içi drenaj havzalarına uygulanabilen bir hidrolojik-hidrolik modeldir. Farklı metotlar kullanılarak akım karakteristikleri modellenebilmektedir. Şekil 3.1’de WMS programının ara yüzü görülmektedir.



Şekil 3.1: WMS programının ara yüzü.

Hidrolojik analizler yapıldıktan sonra, WMS dijital arazi modeli üzerinde hidrografları gösterir. Farklı konum ve yağışların hidrografları birbiri üzerine konularak, yağışlar arasındaki farklar ve etki süreleri gösterilebilir. Yeryüzü ve yeraltı suyu etkileşimi modellemesi, katı madde ve kirlilik taşınımı modellemesi, sulak alan modellemesi, su altında kalan yüzey ve sızma analizleri, taşkın tahmini ve fırtına taşkın analizi yapabilme özelliğine sahiptir.

Oluşturulan hidrolojik model sonucunda; taşkın sınırları belirlenir. Akım ve taşkın, derinliği de ayrıca gösterilebilir.

Oluşturulan taşkın haritası doğrudan çıktı olarak alınabileceği gibi AutoCAD veya MicroStation’a da aktarılabilir. WMS içinde kontrol mekanizması mevcuttur. Program girdi verilerini herhangi bir modelleme hatasına karşı kontrol eder.

WMS programına farklı yazılımlar entegre edilerek analizler ve, modellemeler yapılabilir. Bu programlar için WMS programı içerisinde ara yüzler bulunmaktadır.

WMS içindeki ara yüzler;

- HEC-1 ve HEC-HMS Ara yüz Modülleri, ABD Askeri İstihdam Teşkilatı (USACE) HEC-1 ve HEC-HMS hidrolojik analiz modellerine tam anlamı ile grafiksel destek sağlamaktadır.
- Rasyonel Metot Ara yüz Modülü, endüstriyel standartlardaki, genel olarak kentsel hidrolojisine uygulanan Rasyonel Metot hidrolojik analiz modeline bütünüyle grafiksel bir ara birim sağlar. WMS, Şiddet-Süre-Frekans eğrilerini oluşturma yeteneğine sahiptir.
- Ulusal Taşkın Frekansı (NFF) Ara yüzü, kırsal alan ve kent içi havzalarında, T-yıl taşkın piklerinin tahmini için regresyon hesabı yapar. Dijital Zemin Modülü (DTM) ile birlikte kullanıldığında, alan eğim, rakım, havza genişliği gibi geometrik parametreler otomatik olarak hesaplanır ve seçilen frekans aktarılır.
- WMS, DTM modülü ile çeşitli kaynakları kullanarak havzanın dijital bir arazi modelini oluşturur. WMS otomatik olarak büyük drenaj havzasının sınırlarını tam doğrulukta belirleyerek alt havzalara ayırabilir, kanal şebekesi hesaplarını yapabilir, istenen hidrolojik özellikleri belirleyebilir. Veri dosyalarından istenilen hidrolojik model oluşturulabilmektedir. Eğer dijital arazi verileri mevcut değilse, WMS eşdeğer bir grafiksel güzergâh modeli yaratır.
- EPA SWMM ve MIKE SWMM Modülü ile yağmursuyu ve atıksu drenaj sistemlerinin hidrolojik, hidrolik ve su kalitesi analizlerini gerçekleştirir.

3.1. HİDROLOJİK MODELLEME

WMS programının ara yüzünde 12 adet hidrolojik model kuran modül vardır. Bunlar;

- HEC-1 (Hydrologic Engineering Center/Hidroliji Mühendisliği Merkezi),
- HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-The Hydrologic Modeling System/ Hidroloji Mühendisliği Merkezi-Hidrolojik Modelleme Sistemi),
- TR-20 (Technical Release 20/ Teknik Yayın 20),

- TR-55 (**T**echnical **R**elease 55/ Teknik Yayın 55),
- NSS (**N**ational **S**treamflow **S**tatistics/ Ulusal Akarsu Akış İstatistikleri)
- Rational Metod (Rasyonel Metot),
- MODRAT (**M**odified **R**ational Method/ Değiştirilmiş Rasyonel Metot),
- OC Rational (**O**range **C**ountry **R**ational Method/ Orange Country Rasyonel Metot),
- OC Hydrograph (**O**range **C**ountry **H**ydrograph/ Orange Country Hidrografi)
- HSPF (**H**eating **S**easonal **P**erformance **F**actor/ Mevsimsel Isıtma Performans Faktörü),
- EPA SWMM (**E**nvironmental **P**rotection **A**gency **S**tormwater **M**anagement **M**odel/ Çevre Koruma Kuruluşu Yağmursuyu Yönetim Modeli),
- XP SWMM (**X**P **S**torm **W**ater **M**anagement **M**odel/ XP Yağmursuyu Yönetim Modeli) programlarıdır.

Bu çalışmada hidrolojik modelleme yapmak için rasyonel metot kullanılmıştır.

Rasyonel Metot; havza alanına göre drenaj alanına düşen yağıştan ortaya çıkabilecek debi miktarını hesaplamaya yarayan pratik bir yöntemdir. Bu yöntem, 25 km²'den küçük olan alanlar için kullanılır. Bu metotla yağışın bütün havza üzerine üniform düştüğü ve yağış şiddetinin toplanma zamanı boyunca aynı kaldığı kabul edilir. Alanı belli olan bir havzaya düşen yağıştan oluşan maksimum yüzey akış debisi aşağıdaki formülle hesaplanır (Apan, 2004).

$$Q_{maks} = C . i . A \quad (3.1)$$

Burada Q_{maks} maksimum akış miktarı (L^3/T), i suların toplanma süresine tekabül eden yağış şiddeti (L/T), A toplanma havzasının alanı (L^2), C akış katsayısı olarak tanımlanmaktadır.

Bu denklemde “ i ” yağış şiddeti şiddet-süre-frekans eğrisinden, havzanın geçiş süresine eşit bir yağış şiddeti olarak seçilir. Bu süreden daha uzun bir yağış pik debiyi arttırmayacaktır. Geçiş süresi havzanın en uzak noktasına düşen yağışın çıkışa varması için geçen süre olarak tanımlanmıştır. Daha iyi bir tanım olarak artık yağışın başlamasından sonra drenaj havzasının tümünün çıkıştaki akıma katkısının olduğu süre

olarak da söylenebilir. Denklemdaki “C” akış katsayısı, sızma ve diğer kayıpları ifade etmekte olup ilk yaklaşımda geçirimsiz alanın yüzdesi olarak kabul edilebilir. Bu yöntemde akış katsayısının yağış boyuna değişmediği kabul edilmektedir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

“C” akış katsayısı özellikleri; bitki örtüsüne, zeminin geçirimliliğine ve havzanın eğimine göre 0.05-0.95 arasındadır. Değişik özellikteki bölgelerden oluşan havzalarda ağırlıklı alansal ortalama kullanılır. Tablo 3.1’de arazi özelliklerine göre akış katsayıları verilmiştir.

Tablo 3.1: C Akış katsayısı değerleri.

Ormanlı Bölgeler	0.05-0.20
Otla Kaplı Bölgeler (Meralar)	
Kumlu zemin	0.05-0.20
Az geçirimli zemin	0.13-0.35
Yerleşim Bölgeleri	
Ayrık nizam	0.30-0.60
Bitişik nizam	0.60-0.75
İş ve Sanayi Bölgeleri	
Seyrek	0.50-0.70
Sık	0.70-0.95
Yollar	0.70-0.95

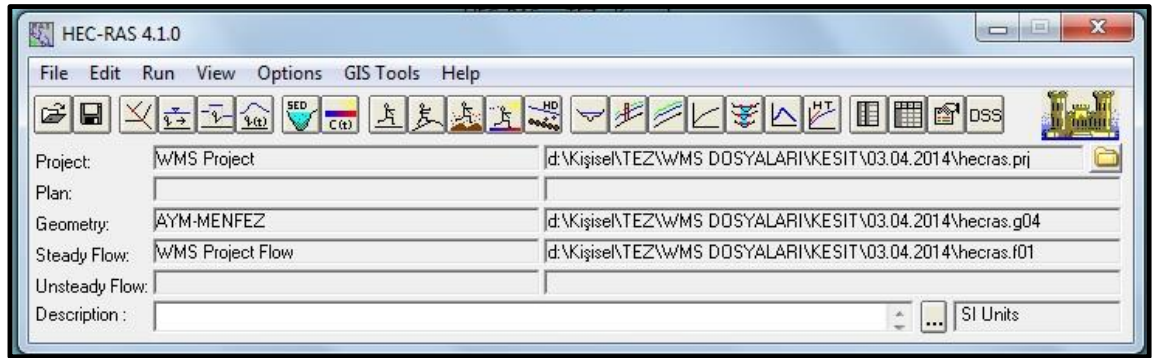
3.2. HİDROLİK MODELLEME

WMS programının ara yüzünde 4 adet hidrolojik model kuran modül vardır. Bunlar;

- HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System/ Hidroloji Mühendisliği Merkezi- Nehir Analiz Sistemi)
- XP SWMM (XP Storm Water Management Model/ XP Yağmursuyu Yönetim Modeli),
- EPA SWMM (Environmental Protection Agency Storm Water Management Model/ Çevre Koruma Kuruluşu Yağmursuyu Yönetim Modeli),
- SMPDBK (The Simplified Dam Break/Basitleştirilmiş Baraj Yıkılması)
- HY-12 programlarıdır.

Bu çalışmada hidrolik modelleme yapmak için HEC-RAS adlı modül kullanılmıştır. Programın ara yüzü Şekil 3.2’de görüldüğü gibidir.

HEC-RAS programı, Amerika Birleşik Devletleri Askeri Mühendislik Birimi-Su Kaynakları Enstitüsü’nün (US Army Corps of Engineers Institute of Water Resource (IWR)) bir bölümü olan Hidroloji Mühendislik Merkezi (Hydrologic Engineering Center (HEC)) tarafından geliştirilmiş grafik tabanlı, kullanımı kolay ve çok amaçlı bir yazılım programıdır (Tuncer, 2011).



Şekil 3.2: HEC-RAS programının ara yüzü.

Program; bir boyutlu olarak, dört farklı nehir analizi yapabilmektedir. Bunlar;

- Düzenli akım su yüzü profillerinin hesabı,
- Değişken akım modellemesi,
- Hareketli katı sınır madde taşınım modellenmesi,
- Su kalitesi analizi çalışmalarıdır.

Bu 4 metot için de programda geometrik veriler tanımlanarak, geometrik ve hidrolik hesaplar yapılmaktadır. Program çok kollu ve prizmatik olmayan enkesitli akarsularda, tek boyutlu hidrodinamik hesapları yapabilecek şekilde tasarlanıp geliştirilmiştir. Nehir rejimi, sel rejimi ya da hidrolik sıçrama gibi karışık rejim durumlarında hesap yapabilmektedir. Program hidrolik yapı ve su seviyesi kontrol elemanının su yüzü profiline etkisini hesaplayabilmekte ayrıca baraj yıkılması ile taşkın hesaplarını da yapabilmektedir. Kararlı akım hidrolik hesabında Manning denklemi kullanılmakta ve su yüzü kotunun kısa mesafede değişmesi durumunda momentum denklemi ile çözüm yapılmaktadır.

HEC-RAS programı genel olarak, grafiksel kullanıcı ara yüzü oluşturmayı, farklı hidrolik analizleri yapmayı, bilgi depolama ve yönetmeyi, sonuçları grafik veya rapor olarak vermeyi sağlamaktadır.

HEC-RAS, kararlı akım şartları altında yapılan çözümlerde, tek boyutta enerji denklemini temel almaktadır. Enerji kayıplarının hesap edilmesi için sürtünme katsayısı ve daralma/genişleme katsayılarına ihtiyaç duymaktadır. Momentum denklemi ise, akım rejiminin ani değiştiği durumlarda kullanılmaktadır. Hidrolik sıçrama, köprü hidroliği, akım girişiminin olduğu bölgeler akım rejiminin ani değiştiği durumlara örnek olarak verebilir. Analizi yapılan bölgedeki köprü, menfez, su bendi, dolu savak gibi akımı etkileyebilecek yapıların akıma etkisi program sayesinde analizlerde göz önüne alınabilmektedir (Tuncer, 2011).

Program, açık kanal boyunca tek boyutlu kararsız akım şartları altında analizlerin yapılması için de tasarlanmıştır. HEC-RAS programı altında çalışan kararsız akım şartlarına sahip sistemlerin çözümü, Dr. Robert L. Barkau tarafından geliştirilmiştir. Kararlı akımda olduğu gibi köprü, menfez gibi hidrolik yapıların modelin içerisine dâhil edilmesi mümkündür (Tuncer, 2011).

HEC-RAS programıyla kararsız akım modellemesi için 2 adet temel denklem çözülmektedir. Bu denklemler, süreklilik (3.2) ve tek boyutlu St. Venant (3.3) kısmi diferansiyel denklemleridir.

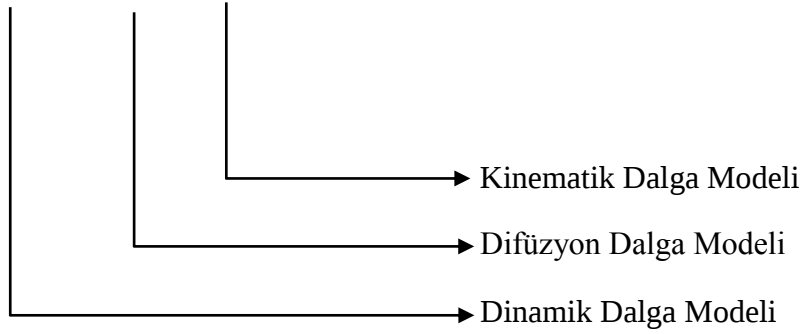
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = \frac{\partial(VA)}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (3.2)$$

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

Yüzeysel akışı hesaplarken, 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 bu kuvvetlerin bir kısmı veya tamamı dikkate alınarak Kinematik, Difüzyon ve Dinamik Dalga Teoremleri oluşturulmuş ve açık kanallarda ötelenen debi analiz edilmiştir. Aşağı

da akım üzerinde etkili olan kuvvetlere göre momentum denklemi ile modellerin sınıflandırılması gösterilmektedir (Chow ve diğ., 1988).

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} + g(S_0 - S_f) = 0 \quad (3.3)$$

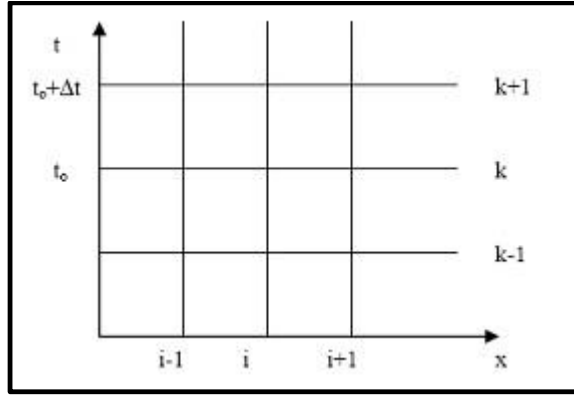


Burada V su hızı (L/T), g yerçekimi ivmesi (L^2/T), y su derinliği (L), S_f hidrolik eğim (L/L) ve S_0 kanal eğimi (L/L), x uzunluk (L) ve t zaman (T) olarak tanımlanır.

HEC-RAS kararsız akım için tamamen dinamik tek boyutlu St. Venant Denklemini sonlu farklar metodu ile nümerik olarak çözmektedir. Tabaka akışı ve akarsu ötelenmesi çözümünde St. Venant denklemleri kullanılır ve süreklilik ve momentum denklemlerinden oluşan dinamik dalga denklemlerinden oluşmaktadır (Eagleson, 1970).

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).

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. Şekil 3.3'de görülen $x-t$ düzlemi hesap ağı olarak isimlendirilir. Sonlu farklar şeması iki farklı şema kullanılarak çözümlenebilir (Yüksel, 2010).



Şekil 3.3: Hesap Ağı (Yüksel, 2010).

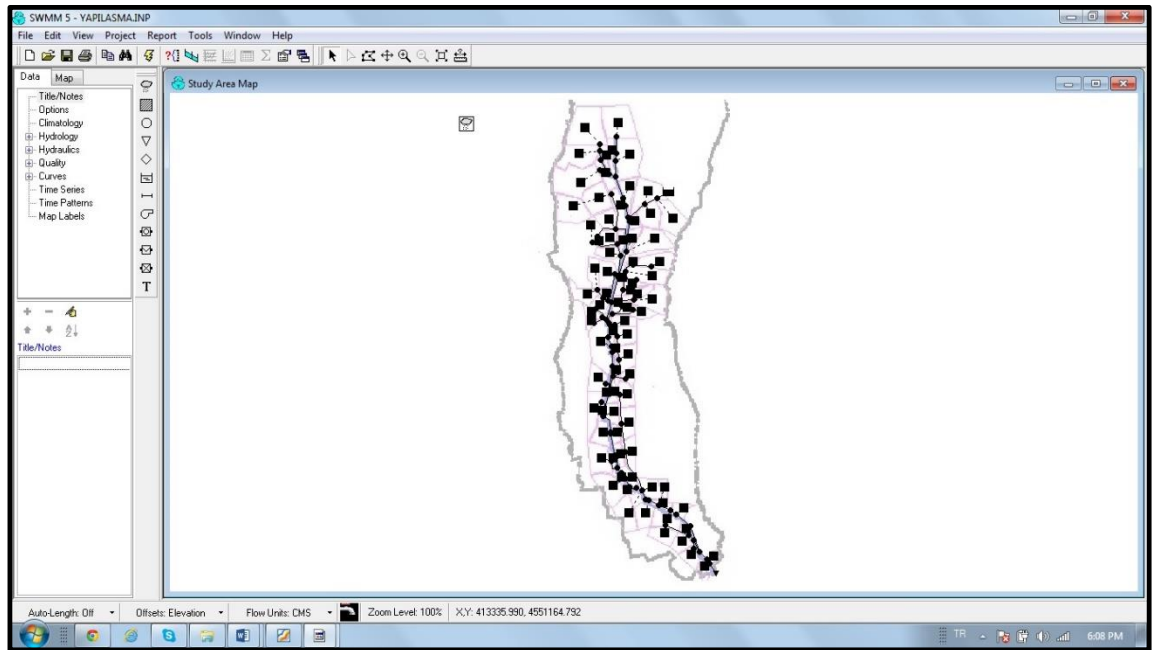
Açık sonlu fark şemalarıyla $t_0 + \Delta t$ zaman seviyesinde herhangi bir i noktasındaki akım değeri, t_0 zaman seviyesinde bu noktaya komşu ağı noktalarındaki bilinenler temel alınarak hesaplanır. Kararsız serbest yüzeyli akımların çözümünde, çok sayıda açık sonlu farklar yöntemi kullanılmaktadır.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

Kapalı şemalarda uzaysal türevler sonlu farklar 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 katsayılarla bağlı olarak şemalar sınıflandırılabilir. Bu şemalar arasındaki fark nümerik özellikleri etkilemediği gibi her bir ağ noktasındaki hesaplama işlemlerinin miktarını ve sınır şartlarının tarif edilmesindeki esnekliği de etkilemez. St. Venant denklemlerinin çözümünde etkili olacak, tamamı iki zaman seviyesi ile tamamlanmış üç farklı tipte şema oluşturulabilir (Verve, 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)

4. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY STORMWATER MANAGEMENT MODEL (EPA SWMM)

Hidroloji alanında kullanılan bilgisayar modelleri Stanford Havza Modeli 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 karmaşıklıkta hidrolojik ve hidrolik modeller geliştirilmiştir (Zoppou, 1999). Şekil 4.1'de görüldüğü üzere EPA SWMM program ara yüzü anlaşılır bir biçimde oluşturulmuştur.



Şekil 4.1: EPA SWMM ara yüzü.

EPA SWMM ilk kez 1971'de geliştirildi ve o zamandan bu zamana gelişime yönelik adımlar atıldı. Bu adımların ilki 1975'de kendini Versiyon 2 olarak gösterdi ve ardından 1981'de Versiyon 3, 1988'de Versiyon 4 geliştirildi.

Günümüzde, programın Versiyon 5.1.004 sürümü kullanılmaktadır. Versiyon 5.1'in diğer sürümlerle arasındaki en önemli fark ise; Fortran tabanlı olmayıp, C tabanlı olmasıdır.

Dünyada kullanımı yaygınlaşmaya devam eden bu programın kullanım amacı; kentsel alanlardaki kanalizasyonlar, sıhhi atık su sistemleri ve diğer drenaj sistemleri ile kırsal

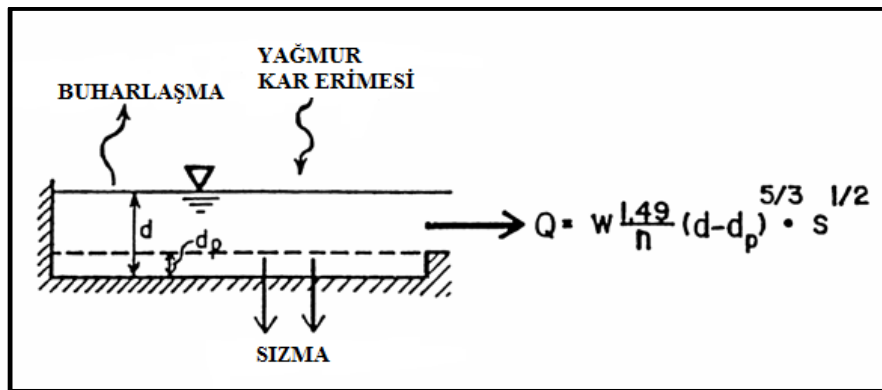
alanlardaki çeşitli uygulamalar temel alınarak, bu uygulama alanlarındaki taşkın sularının yüzeysel akışının planlanması, analizinin ve tasarımının yapılmasıdır.

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

Hidrolojik modelleme yapılırken akım süreklilik denklemi kullanılır. İki bilinmeyen olan akım derinliği ve debiyi bulmak için bir denkleme daha ihtiyaç vardır. Momentum denkleminin yerine bir akarsu parçasındaki biriktirme hacmi giren ve çıkan debiler arasındaki ilişki için bir kabul yapılır.

Şekil 4.2 de program içerisinde yapılan yüzeysel akışı hesabı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Bir alt havzada doğrusal olmayan hazne (Huber ve Dickinson, 1988).

Her alt havzanın yüzeyi; tek bir giriş debisi ve yağış ile doğrusal olmayan hazne olarak kabul edilir. Yüzeysel akışı hesaplarken, yağış ve havza girişindeki su kaynakları giriş debisini, sızma, buharlaşma ve yüzeysel akış ise çıkış debisini oluşturur.

<i>Birim zaman başına alt havzada depolanan hacmin değişimi</i>	<i>Artık yağış (alt havzadaki net giriş debisi)</i>	<i>Yüzeysel akış (alt havzadan çıkış debisi)</i>
$\frac{dV}{dt} = \frac{d(Ad)}{dt}$	$= (AI_e)$	$-Q$

(3.4)

Burada $V=Ad$ suyun hacmi (L^3), A alt havzanın alanı (L^2), d alt havzadaki su yüksekliği (L), t zaman (T), I_e artık yağış (L/T), Q yüzeysel akış (L^3/T) olarak tanımlanır.

Kullanılan ikinci denklem Manning denklemidir. Üniform akım en basit öteleme metodudur ve debi ile derinlik arasındaki ilişki Manning denklemi ile verilir.

$$Q = A_c(\beta/n)R^{2/3}S_0^{1/2} \quad (3.5)$$

Burada A_c alt havzadan akışın geçtiği kesit alanı (L^2), n Manning pürüzlülük katsayısı, R hidrolik yarıçap (L), S_0 alt havzanın eğimi (L/L), β eğer ABD birim sistemi kullanılırsa 1.49 eğer metrik sistem kullanılırsa 1 alınan sabit katsayıdır.

$$A_c = W(d - d_p) \quad (3.6)$$

Burada W alt havza boyunca akışın genişliği (L), d_p alt havza yüzeyinde tutulan su yüksekliği (L) olarak tanımlanır.

$$R = \frac{[W(d-d_p)]}{W} = (d - d_p) \quad (3.7)$$

Denklem 3.7, Denklem 3.5’de yerine yazılırsa;

$$Q = W \left(\frac{\beta}{n} \right) (d - d_p)^{2/3} S_0^{1/2} \quad (3.8)$$

elde edilir ve elde edilen Q denklemi 3.4’nın içine entegre edilirse;

$$\frac{dd}{dt} = i_e - [(\beta W)/(\frac{A}{n})](d - d_p)^{5/3} S_0^{1/2} \quad (3.9)$$

denklemi elde edilmiş olur. Bu denklem program içerisinde sonlu elemanlar metodu ile çözülerek hesaplanır.

EPA SWMM programında sızma hesabı için Entegre Horton Metodu, Green-Ampt Metodu veya SCS Eğri-Numarası Metodu olmak üzere üç farklı seçenek vardır.

- Green-Ampt Metodu; Yeşil ve sulak alan modellerinde sızmayı hesaplamak için kullanılır. Denklemi şu şekilde verilir:

$F < F_s$: $f = i$ için;

$$\text{Eğer } i > K_s \longrightarrow F_s = \frac{S_u M}{\frac{i}{K_s - 1}} \quad (3.10)$$

$F < F_s$: $f = i$ için;

$$\text{Eğer } i < K_s \longrightarrow F_s \text{ hesaplanamaz.} \quad (3.11)$$

Burada F toplam sızma (L), F_s yüzeyin doymunluğa ulaşması için gerekli toplam sızma (L), i yağış şiddeti (L/T), K_s doymun zemin için hidrolik iletkenlik (L/T), S_u kapiler basınç (L), M başlangıç nem eksikliği (L/L), f sızma hızı (L/T) ve f_p sızma kapasitesi (L/T) olarak verilmiştir.

- Horton Sızma Metodu; genellikle yerleşim alanlarının yoğun olduğu bölgelerde sızmayı hesaplamak için kullanılır. Denklemi şu şekilde verilir:

$$f = f_\infty + (f_0 - f_\infty)e^{-\alpha t} \quad (3.12)$$

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

- SCS Eğri Numarası Sızma Metodu;

$$\frac{F}{S} = \frac{Q_r}{P - I_a} \quad (3.13)$$

$$P = Q_r + I_a + F \quad (3.14)$$

Burada S potansiyel maksimum yağışın tutulması (L), F sızma miktarı (L), Q_r gerçek yüzey akışı miktarı (L), P yağış miktarı (L) ve I_a başlangıçta tutulan yağış miktarı olarak tanımlanmaktadır.

4.2. HİDROLİK MODELLEME

EPA SWMM açık kanal ve borularda debiyi hesaplamak için, süreklilik ve momentum denklemlerini çözerek taşkın ötelemesi yapar. Modellenen havzanın karakteristiklerine göre, kinematik, difüzyon veya dinamik dalga seçeneklerinden biri seçilebilir. Taşkın öteleme denklemlerinin en genel ifadesi kararsız üniform olmayan debiyi anlatan dinamik dalga denklemleridir. Kinematik dalga denklemleri, dinamik dalga denklemlerinden, momentum denkleminin eylemsizlik ve basınç terimlerinin ikisinin ihmal edilmesiyle elde edilebilir, difüzyon dalga denklemleri ise sadece eylemsizlik teriminin ihmal edilmesiyle elde edilir. Kanallardaki taşkın ötelemesi için dinamik dalga denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (\text{Süreklilik Denklemi}) \quad (3.15)$$

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = 0 \quad (\text{Momentum Denklemi}) \quad (3.16)$$

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).

Kinematik dalga denklemleri, şu şekildedir:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \\ Q = \alpha A^m \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\partial A}{\partial t} + \alpha \frac{\partial (A^m)}{\partial x} = 0 \quad (3.17)$$

Denklem 3.17'deki α ve m katsayıları debi-hidrolik eğim arasındaki ilişkiye göre verilir. Difüzyon dalga denklemleri şu şekildedir:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \\ S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\partial Q}{\partial t} + c \frac{\partial Q}{\partial x} = K \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \quad \Rightarrow \quad c = mV \quad K = \frac{Q}{2BS_0} \quad (3.18)$$

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

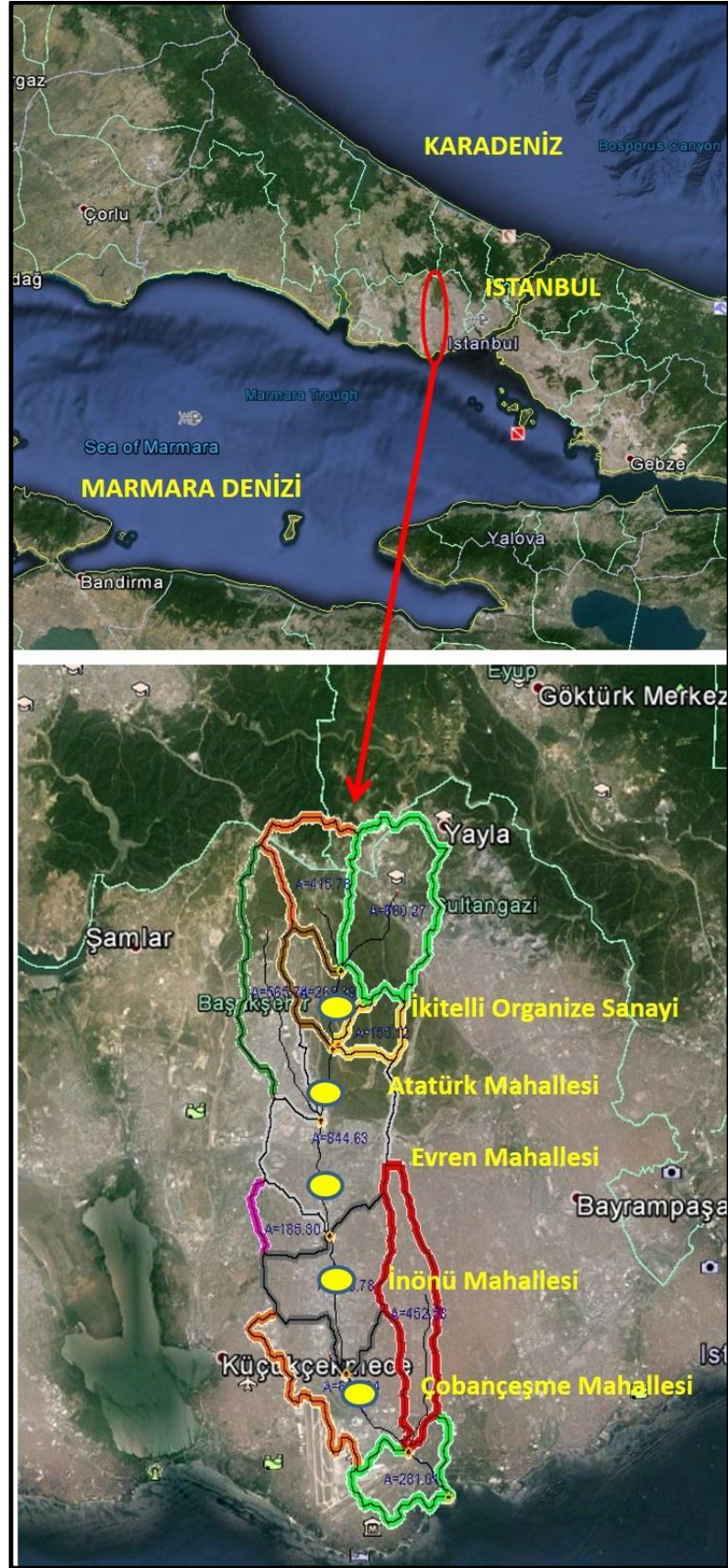
5. AYAMAMA DERESİ HAVZASI VE TAŞKIN OLAYI

Ayamama Havzası Türkiye’de İstanbul’un Avrupa Kıtası Yakası’nda yer almaktadır. Ayamama Deresi, Esenler’den başlar İkitelli’yi geçer ve Mahmutbey ve Güneşli’ye ulaşır. Ayrıca dere, TEM otoyolu, Uluslararası Atatürk Havalimanı’nı geçer ve Ataköy’de denize dökülür. Ana dere uzunluğu 21 kilometredir ve dereyi besleyen 8 adet yan kol mevcuttur. Yan kolları ile birlikte derenin uzunluğu 42 kilometredir.

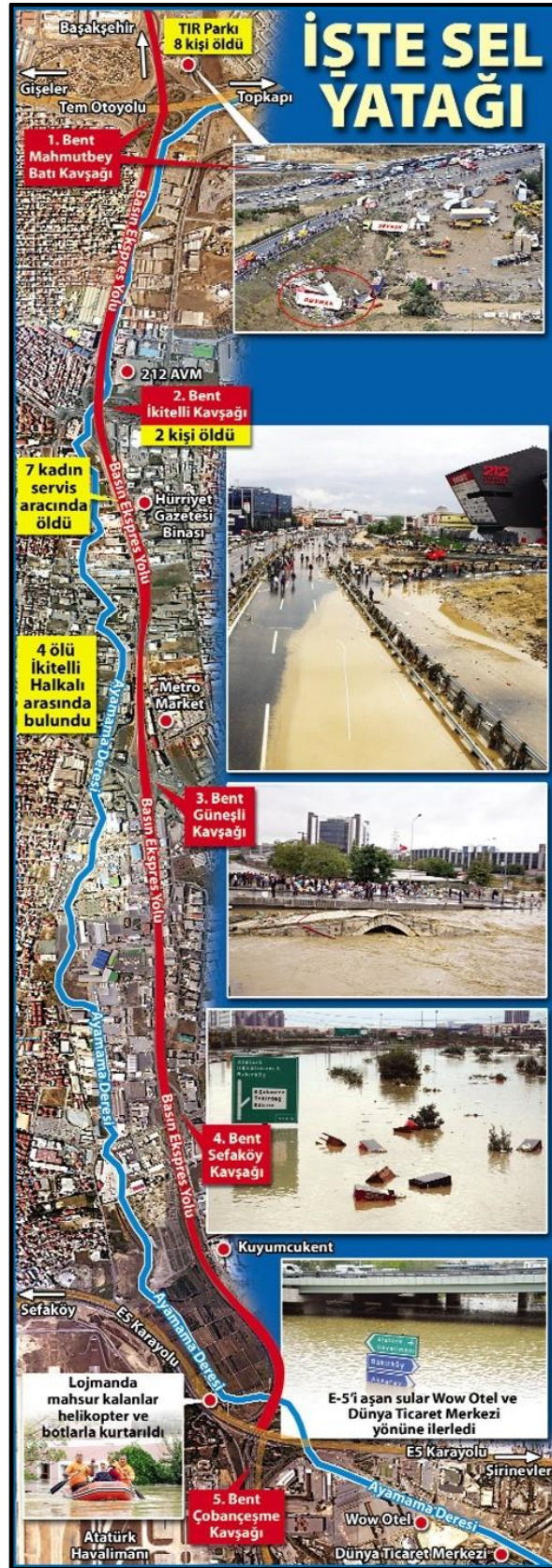
Ayamama Deresi nehir havzası İstanbul Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) tarafından Ataköy Atık Su Toplama Havzası olarak adlandırılır. İkitelli Organize Sanayi Bölgesi Ayamama Havzası’nda yer almaktadır. Bu alandaki hızlı gelişme ve arazi kullanımı değişikliği akış hızı, yüzeysel akış ve yüzey su hacminde artışa neden olmuştur. Şekil 5.1’de Ayamama Havzasını, Ayamama Deresini ve Eylül 2009 tarihinde olan sel felaketinden etkilenen bölgenin konumunu göstermektedir. Bu bölgeler Ayamama Deresi’nin membaından mansabına doğru, İkitelli Organize Sanayi, Atatürk, Evren, İnönü ve Çobançeşme’dir.

Ayamama Deresi’nde şiddetli yağışlar sonucunda can ve mal kaybına neden olan pek çok taşkın olayı yaşanmıştır. Ayamama Deresi’nde son yıkıcı sel 9 Eylül 2009 tarihinde saat 06:00’da; bir saat içinde metrekaşe başına 90 kg yağış düştüğü sırada meydana geldi (DMİ). Bu büyük sel sonucunda, Ayamama Deresi çevresindeki tüm kentleşme alanı kısa süre içinde sular altında kaldı.

İkitelli Organize Sanayi, Atatürk, Evren, İnönü ve Çobançeşme ilçeleri ciddi hasar gördü. Bu bölgelerde, 31 kişi öldü ve 50 kişi yaralandı. Şekil 5.2’de görüldüğü üzere, iki büyük otoyol (TEM ve E-5) ve bu iki önemli otoyolları bağlayan bağlantı yolu da sular altında kaldı. Birçok araç kullanılamaz hale geldi ve birçok insan saatlerce mahsur kaldı. İnönü mahallesinde, servis aracı ile işe gitmekte olan yedi kadın TEM ve E-5 arasındaki bağlantı yolunda trajik bir şekilde can verdiler. İkitelli bölgesinde, Ayamama Deresi’nin hemen yanında bulunan tır garajında altı tır şoförü uyku halindeyken can verdiler. Bunlara ek olarak, sekiz ceset İkitelli ve Halkalı bölgelerinde bulundu. Taşkın yüzünden, dere yatağında ve çevresinde yaşayan birçok insan evlerini kaybettiler.



Şekil 5.1: Ayamama Deresi'nin konumu ve havza sınırları (Google Earth).



Şekil 5.2: Ayamama Deresi'nin 9 Eylül 2009 tarihinde taşmasıyla etkilenen bölgeler (<http://www.radikal.com.tr>).

Bu dere hastalıklarına sebep olan bütün endüstriyel atık ve atıksularla aşırı derecede kirlenmiştir. 9 Eylül 2009 tarihinde meydana gelen sel olayından sonra, bir saha ziyareti yapılmış, taşkın nedenleri ve su seviye çizgisi araştırılmıştır.



Şekil 5.3: Taşkın sonrası Ayamama Deresi'nde katı madde taşınımı.

Şekil 5.3'de dere yatağının taşkından sonraki durumu gözükmemektedir. Şekil 5.4'de görüldüğü üzere taşkın esnasında ciddi katı madde taşınımı meydana gelmiştir. Bu durum mevcut dere yatağını daraltmış, akış alanını azaltmıştır ve dere üzerindeki menfezlerin çalışamaz duruma gelmesine neden olmuştur.



Şekil 5.4: Taşkın esnasında taşkın suları ile taşınan katı maddenin dere kesitini daraltması.



Şekil 5.5: İkitelli Tır Garajı duvarlarının dere akışını yanlış yönlendirmesi.

Şekil 5.5’de taşkın esnasında ciddi su yükselmesi meydana gelen İkitelli Tır Garajı’da yanlış planlanan duvarların dere akışına engel olarak taşkın boyutunu arttırdığı görülmektedir.



Şekil 5.6: 9 Eylül 2009 taşkınından sonra Ayamama Deresi’ne yapılan teknik gezi.

Şekil 5.6’de görüldüğü gibi, Ayamama Deresi’nin akış yönünü değiştiren bazı uygunsuz yapılar bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, dere yatağında birçok endüstri, otel ve yapılaşmaların olduğu da gözlenmiştir. Su seviye çizgileri, binaların 3. ve 4. katlarında

görülmüştür; bu durum su seviyesinin bazı yerlerde 10-12 metreye kadar yükselmiş olduğu anlamına gelmektedir.

Şekil 5.7’de ise Ayamama Deresi’nin D-100 karayolu geçiş menfezi görülmektedir.



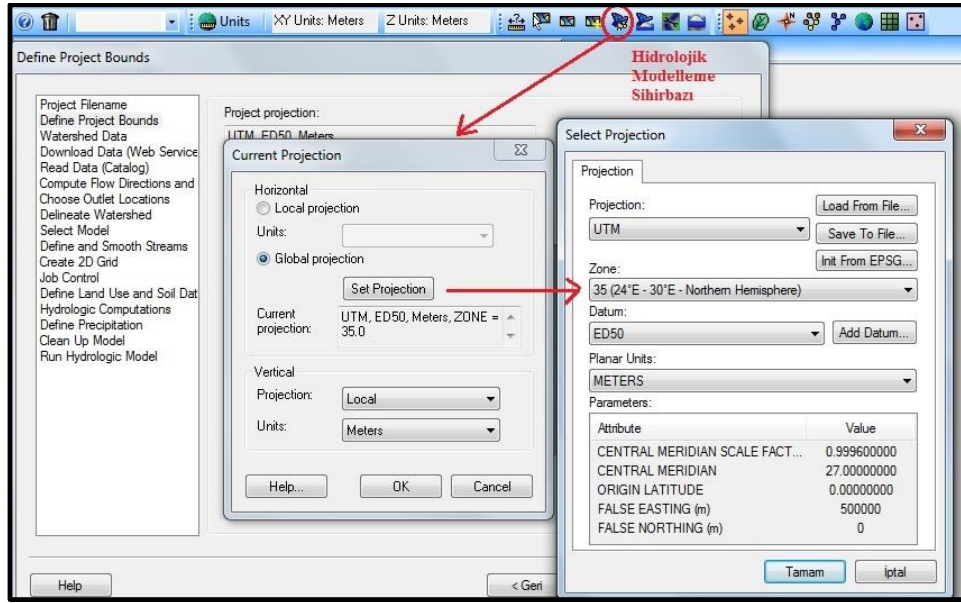
Şekil 5.7: Ayamama Deresi D-100 karayolu geçiş menfezi.

6. AYAMAMA DERESİ HAVZASININ WMS VE EPA SWMM PROGRAMLARI İLE HİDRODİNAMİK MODELLEMESİ

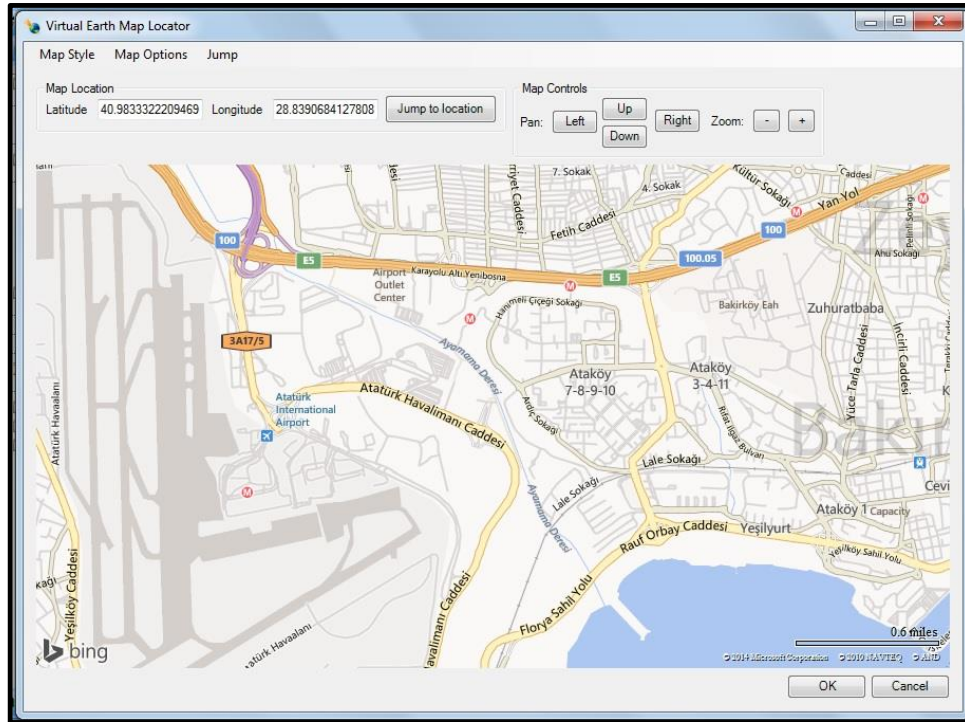
WMS ve EPA SWMM ile Ayamama Deresi Havzası için iki ayrı hidrodinamik model geliştirilmiştir. WMS ve EPA SWMM ile hidrodinamik modelleme için giriş parametrelerini belirlemek amacıyla; modellenen alanın topoğrafik haritası, ana dere kesit alanı, yağmur suyu drenaj sistemi, çalışma alanının toprak özellikleri, uydu görüntüleri, modellemenin yapıldığı 9 Eylül 2009 tarihine ait olan hiyetograf ve modellenen alanın kentleşme haritası kullanılmıştır. Programlarda kullanılan veriler ve havza hakkında genel bilgiler; Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), Türk Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ), İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdareleri (İSKİ) ve Afet Koordinasyon Merkezi (AKOM) tarafından sağlanmıştır.

6.1. WMS PROGRAMI İLE AYAMAMA DERESİ HAVZASI'NIN HİDROLOJİK VE HİDROLİK MODELİNİN KURULMASI

WMS bilgisayar programında Ayamama Deresi Havzası'nın hidrolojik modeli İSKİ, İBB ve DSİ'den temin edilen bilgiler kullanılarak yapılmıştır. WMS programında hidrodinamik modelleme yapılırken belirli katmanlar oluşturulmalıdır. Öncelikle hidrolojik modelleme opsiyonu seçilerek dosyanın adı ve hangi lokasyona kaydedileceği belirlenir. İkinci aşama olarak 'Drainage (Drenaj) Katmanı' oluşturulur ve hidrolojik model opsiyonundan proje sınırları belirlenir. Şekil 6.1 de görüldüğü üzere modelin koordinat düzleminde doğru konumlanması için küresel projeksiyon ayarlaması yapılması gerekmektedir. Bunun için; projeksiyon UTM (Universal Transverse Mercator/), bölge (zone) olarak 35 (24° D-30° D-Kuzey Yarımküre), kıyas noktası (datum) ED50 (European Datum 1950), birim olarak da metre seçilerek planlama doğru koordinat üzerine oturtulmuş olur. Şekil 6.2'de görüldüğü üzere programın kendi içerisinde Virtual Earth Map Locator adında Google Earth türevi bir haritalama modülü bulunmaktadır. Bu modül sayesinde Ayamama Havzası'nın 41.0116 enlem, 28.7960 boylam konumunda olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.1: Ayamama Deresi Havzası'nın konumunun tanımlanması.

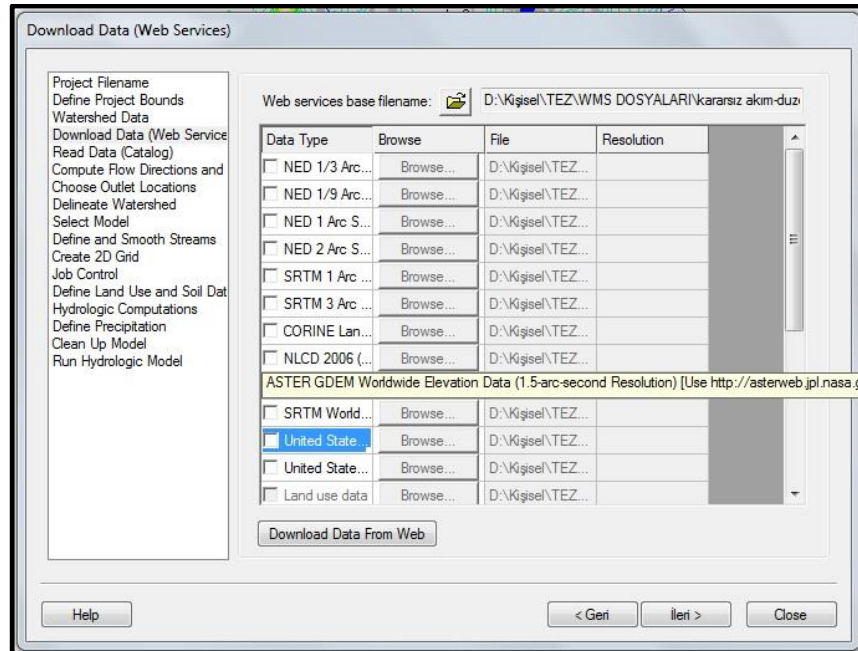


Şekil 6.2: WMS programının içerisindeki haritalama modülü.

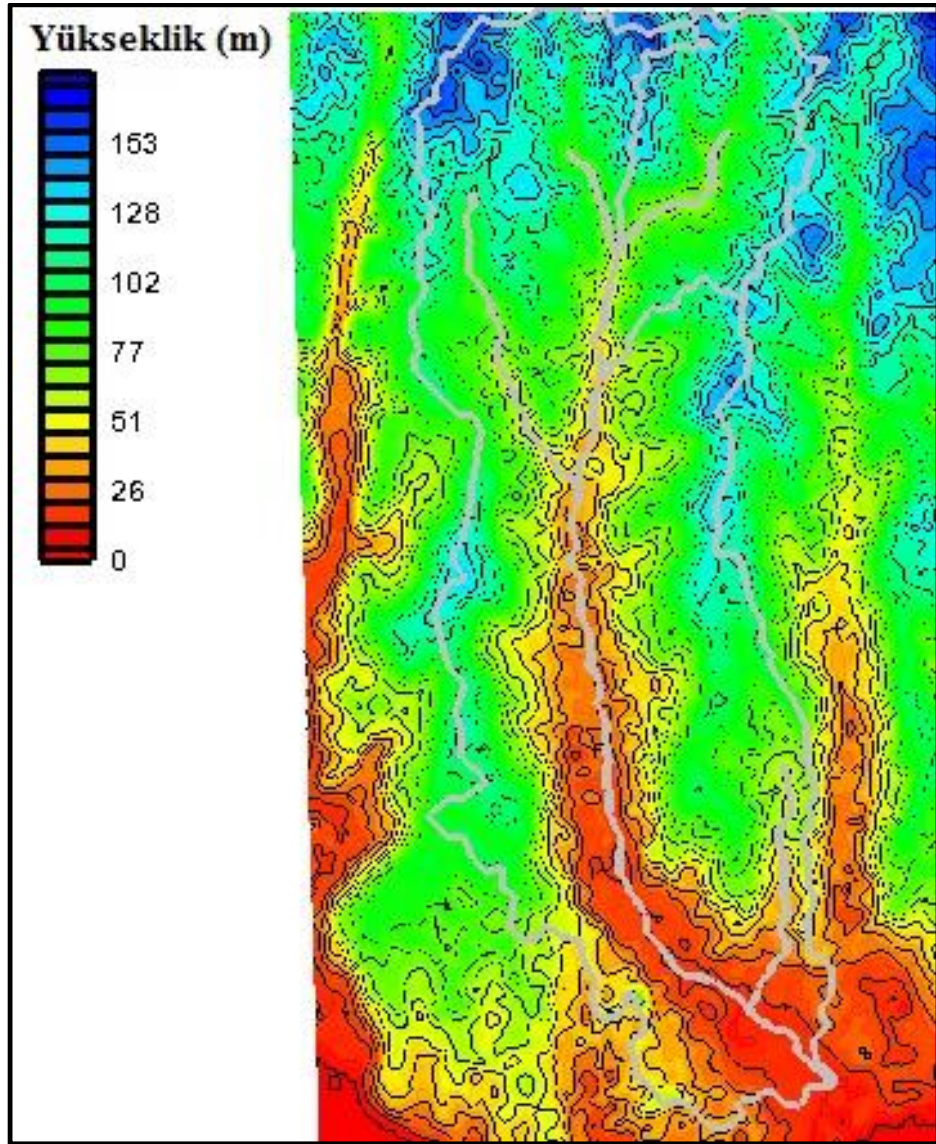
Program Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile uyumlu olduğundan gerekli verileri uydu üzerinden alabilme yeteneğine sahiptir. Ayamama Havzası için Aster GDEM (Worldwide Elevation Data/Dünya Yükseklik Verileri) uydusundan bölgenin uydu fotoğrafı program tarafından elde edilmiştir. Şekil 6.3 de ASTER GDEM'den indirilen uydu fotoğrafı DEM (Digital Elevation Model/Sayısal Yükseklik Modeli) aşamasında kullanılacaktır.

Bir sayısal yükseklik modeli yeryüzünün sürekli bir biçimde değişen topoğrafik yüzeyini 3 boyutlu gösteren bir yapıdır. Bu model, 3 boyutlu uygulamalar için genel bir veri kaynağıdır. Sayısal yükseklik modeli, raster veri özelliğinde olup bir arazi yüzeyini en iyi temsil eden düzenli/düzensiz aralıklarla yapılmış çok sayıda yükseklik ölçümünden oluşmaktadır. Kısaca, her bir pikselin yükseklik (kot) değerine sahip olan sürekli yüzeylere dönüştürülmesidir. Şekil 6.4’de Ayamama Deresi’nin Sayısal Yükseklik Modeli görülmektedir.

Program içerisinde elde edilen DEM modelini TIN (Triangulate Irregular Network) dönüştürülebilmektedir.

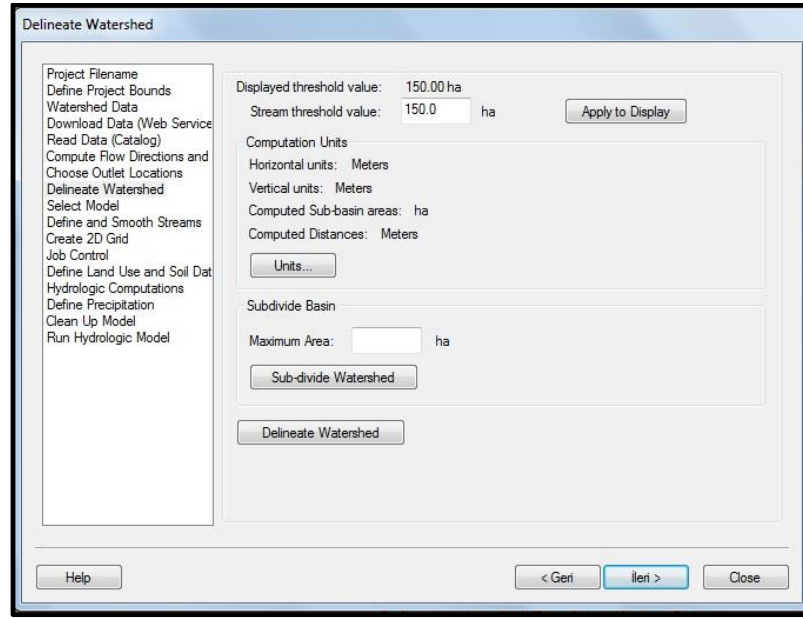


Şekil 6.3: Sayısal Yükseklik Modeli için internetten indirilen uydu fotoğrafı elde edilmesi.



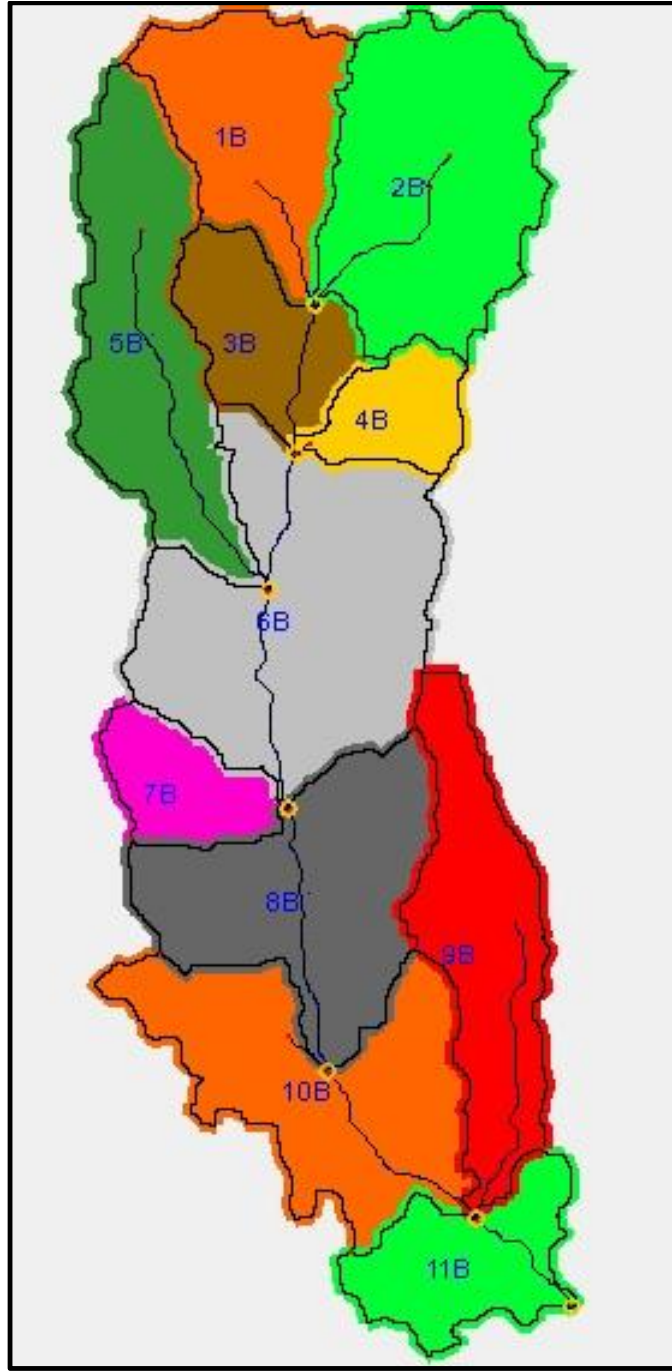
Şekil 6.4: Ayamama Deresi Havzası'nın Sayısal Yükseklik Modeli.

Bir sonraki aşamada Topoğrafik Parametrelendirme Programı ile debinin akış yönü ve drenaj alanının sınırları belirlenmiştir. Minimum alt havza alanını 150 hektar seçerek derenin akış yönü hesaplanmıştır. Bu aşamadan sonra derenin üzerinde yan kolların birleşimlerini ve havzanın çıkış noktalarını belirlemek için outlet points (çıkış noktaları) tanımlanmıştır.



Şekil 6.5: Ayamama Deresi Havzası'nın oluşturulması.

Şekil 6.5'de görülen pencerede 'Delineate Watershed' butonu ile Ayamama Deresi Havzası alt havzalara bölünerek havzanın sistematigi oluşturulmuştur. Sonuç olarak Şekil 6.6'da renklendirilen alan modellenen bölgeyi göstermekte, her renk farklı bir alt havzayı temsil etmektedir. Siyah çizgiler ise yağış sonucu oluşan yüzeysel akışın toplandığı yolları ve bu hat üzerindeki dereleri göstermektedir. Şekilden görüldüğü üzere toplam havza alanı 72km² olup havza 11 adet alt-havzaya bölünmüş ve her alt-havza üzerindeki akış yolları belirlenerek çıkış noktaları tanımlanmıştır. Havzalara ait eğim, alan, genişlik ve toplanma süresi verileri DEM haritaları kullanılarak hesaplanmıştır.

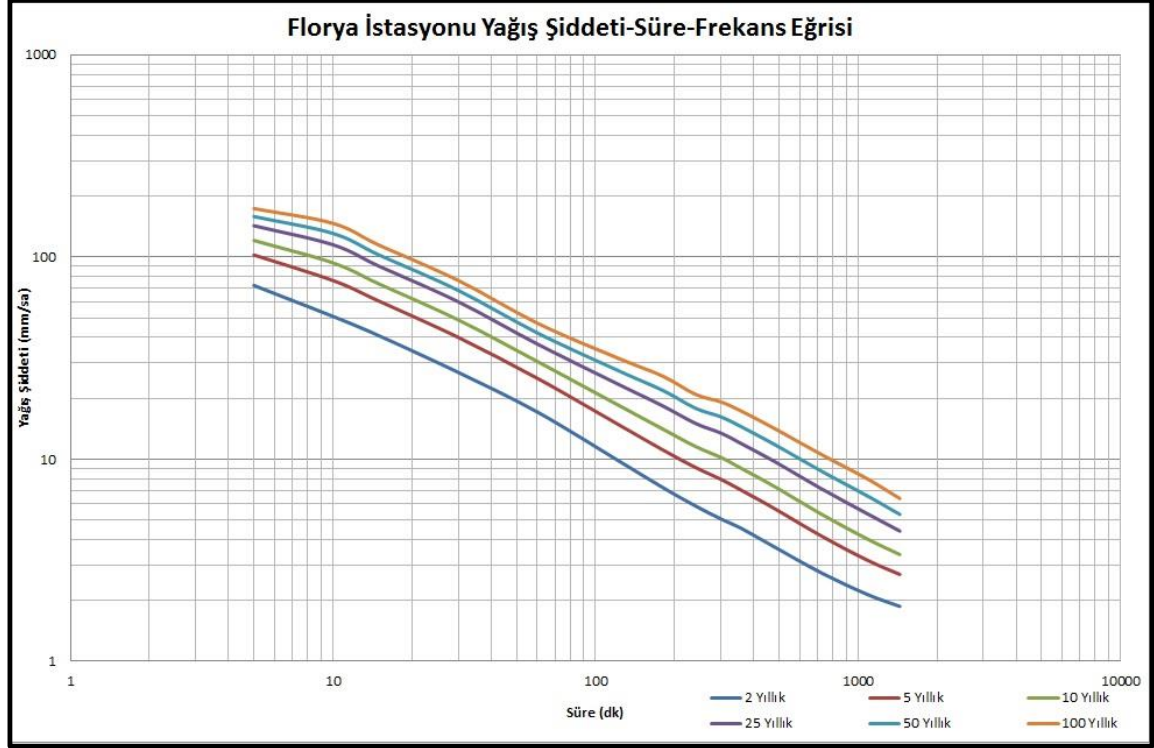


Şekil 6.6: Ayamama Deresi Havzası'nın alt havzalara bölünmüş hali.

6.1.1. WMS Programı ile Hidrolojik Modelin Oluşturulması-Rasyonel Metot

Hidrolojik modelde yüzeysel akış rasyonel metot ile hesaplanmıştır. Rasyonel metotta; her havza üzerine düşen yağış şiddetini belirlemek için Florya Meteoroloji İstasyonu'ndan temin edilen yağış şiddeti-süre-tekerrür aralığı eğrilerinden faydalanılmıştır (Şekil 6.7). WMS, alt havzalardaki toplanma sürelerini, arazi modelini

kullanarak hesaplamaktadır. Toplanma süreleri, görülme olasılığı 100 yılda bir olan yağışlar için hesaplanmıştır.

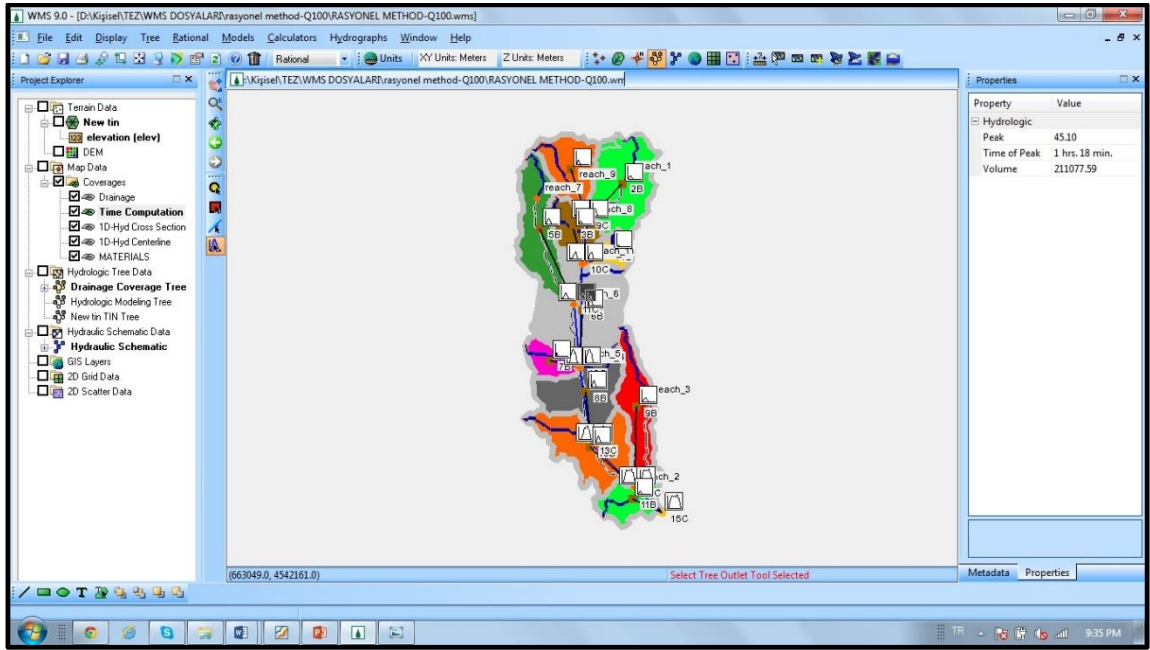


Şekil 6.7: Florya Meteoroloji istasyonuna ait yağış şiddeti-süre-frekans eğrisi.

Parameters											
Parameter	Basin	Basin	Basin	Basin	Basin	Basin	Basin	Basin	Basin	Basin	Units
Name	5B	2B	1B	4B	3B	6B	7B	8B	9B	10B	11B
Runoff Coefficient (C)	0.7000	0.3000	0.5000	0.3000	0.5000	0.7000	0.7000	0.7000	0.7000	0.7000	[Dimensionless]
Rainfall Intensity (I)	35.000	42.150	48.000	68.400	58.000	40.000	77.000	40.000	33.000	38.000	47.000
Compute I - IDF Curves	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...
Area (A)	565.74	660.27	415.78	155.12	269.39	844.63	185.80	580.78	452.53	620.04	281.01
Time of concentration (Tc)	78.000	58.000	48.000	29.000	41.000	62.000	26.000	62.000	83.000	70.000	51.000
Compute Tc - Basin Data	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...
Compute Tc - Map Data	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...
Flowrate (Q)	38.502	23.192	27.719	8.842	21.701	65.693	27.818	45.172	29.037	45.814	25.681
Compute Hydrographs	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...	Compute...

Şekil 6.8: WMS programının hesapladığı 100 yıllık debi değerleri.

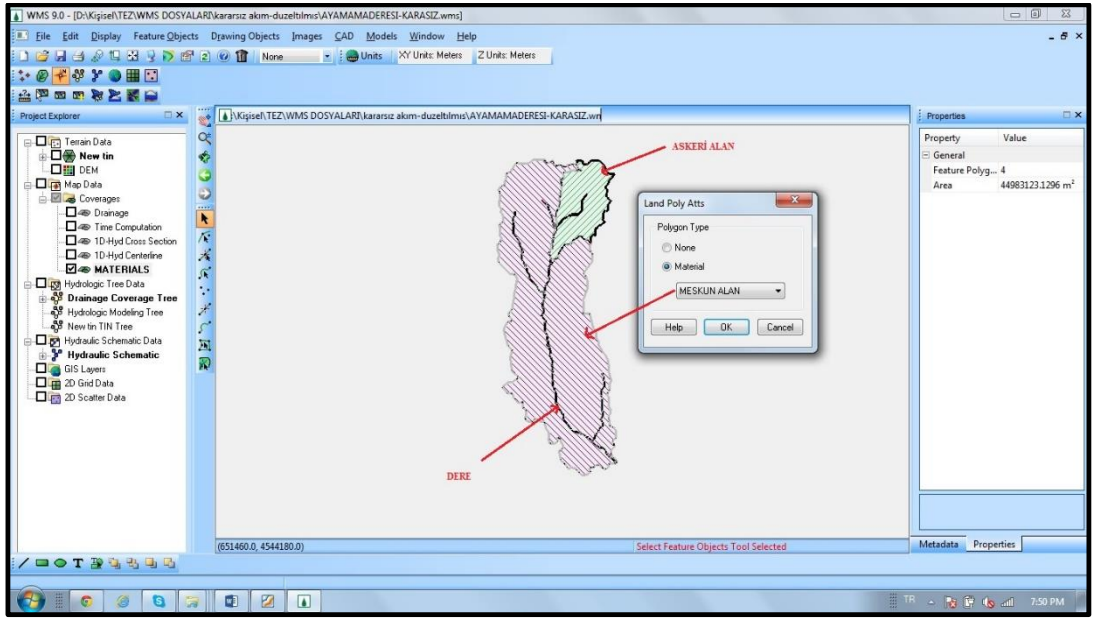
Şekil 6.8’de yağış şiddeti-süre-frekans eğrisinden okunan yağış şiddeti değerleri ve Ayamama Deresi Havzası’nın rasyonel metot ile hesaplanmış Q_{100} değerleri görülmektedir. Program rasyonel metot ile hesapladığı debileri havzasının çıkış noktasına kadar toplayarak çıkış hidrografını hesaplamaktadır (Şekil 6.9).



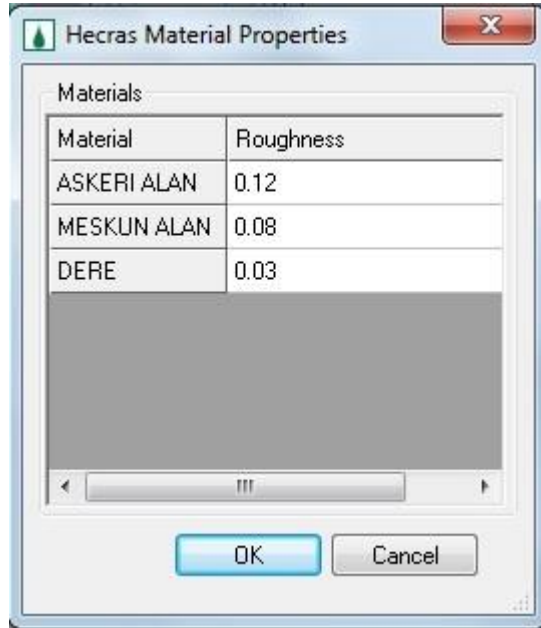
Şekil 6.9: Ayamama Deresi Havzası'nın hidrolojik modeli.

6.1.2. WMS Programı ile Hidrolik Modelin Oluşturulması-HEC-RAS

Çalışmanın hidrolik modelleme kısmı WMS ile entegre olmuş HEC-RAS programı ile yapılmıştır. HEC-RAS aşamasına gelmeden WMS programında belirli katmanlar oluşturularak hidrolik modelleme için altlıklar oluşturulmalıdır. Önce '1-D Hydraulic Centerline Coverage (1 Boyutlu Hidrolik Eksen Katmanı)' oluşturulur. Bu katmanda dere yatağı oluşturulur. Program içerisinde 'Drainage Coverage (Drenaj Katmanı)' katmanında derenin geçtiği güzergâh belirlenmiştir. Bu güzergâh referans alınarak derenin talveği, sol ve sağ sahilleri belirlenir. Bu işlem tamamlandıktan sonra arazi kullanım planı oluşturulması gerekmektedir. Arazi kullanımı katmanı 'Area Property Coverage', havzanın ne tür arazilerden oluştuğu hakkında bize bilgi veren bir katmandır. Bu katmanı hazırlamak için uydu fotoğraflarından yararlanılmıştır. Ayamama Deresi Havzası'nda askeri alan, meskûn alan ve dere sınırlarının belirlenmiş olduğu poligonlar kullanılarak havzanın tanımlanarak Şekil 6.10'da görülen arazi kullanımı oluşturulmuştur. HEC-RAS tarafından Kullanılacak olan Manning pürüzlülük katsayıları, arazi kullanımı içerisinde tanımlanmış meskûn alan, askeri alan ve dere için ayrı ayrı tanımlanmalıdır. Ayamama Deresi Havzası için seçilen Manning pürüzlülük katsayıları Şekil 6.11'de görülmektedir.



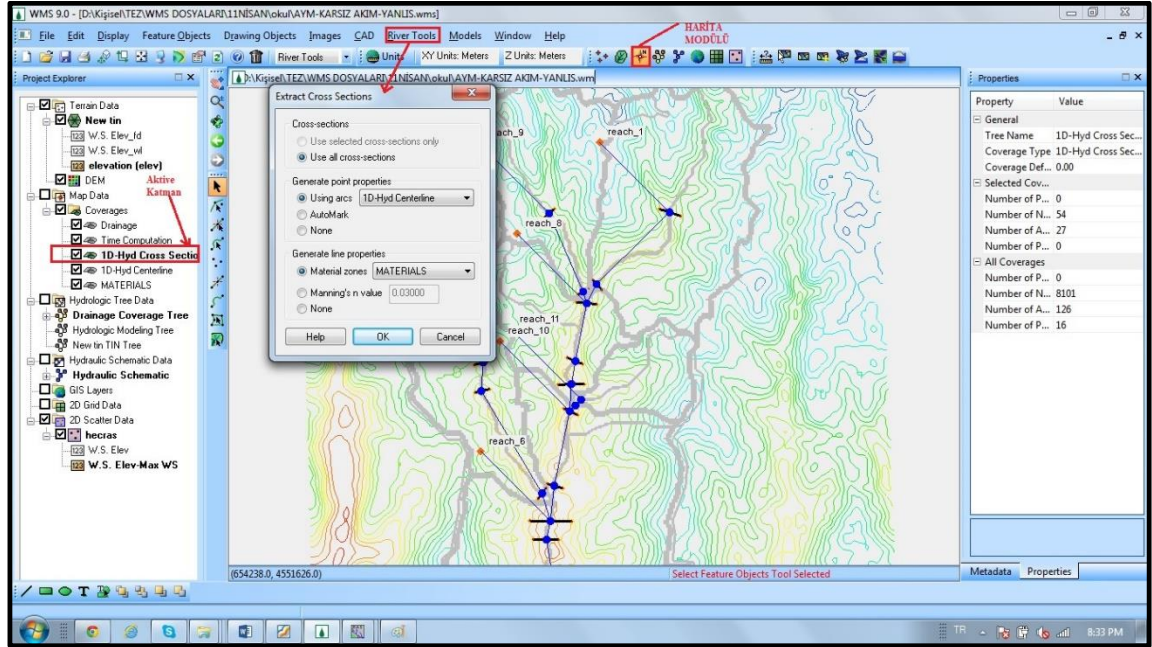
Şekil 6.10: Ayamama Deresi Havzası'nın WMS programı içerisinde tanımlanan arazi kullanımı.



Şekil 6.11: Manning pürüzlülük katsayıları.

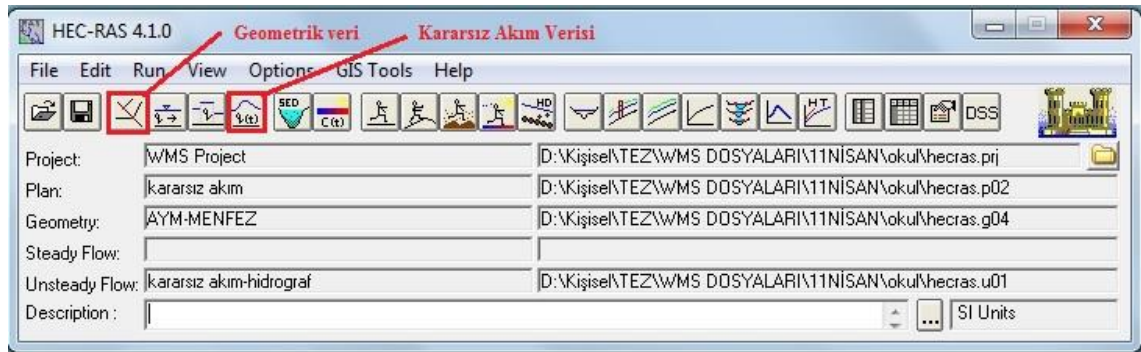
Arazi kullanımından sonraki aşamada '1-D Hyd Cross Section Coverage' (1 Boyutlu Enkesit Katmanı) oluşturulmalıdır. Öncelikle dere üzerinde enkesit almak istediğimiz bölgelere enkesit çizgileri çizilir. Enkesitler oluşturulmak için tüm veriler arazinin TIN modelinden elde edilmektedir. Bunun için, öncelikle 1 boyutlu hidrolik enkesit katmanı aktifken 'Map Module' (Harita Modülü) seçilir. River Tools (Dere Araçları) sekmesinde

‘Extract Cross Section’ (Enkesit Çıkarmak) seçeneği seçilerek TIN dosyasından enkesit verileri oluşturulur (Şekil 6.12).



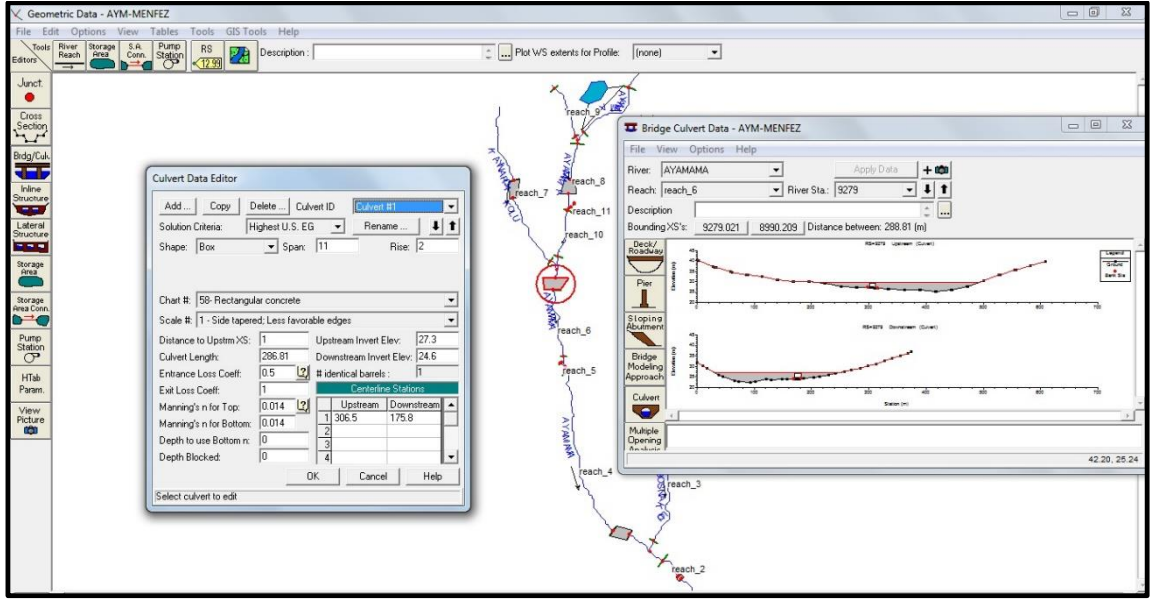
Şekil 6.12: TIN modelinden enkesitlerin oluşturulması.

Bu işlemler yapıldıktan sonra HEC-RAS programının geometrik verilerini oluşturmak için derenin ‘1D Schematic’ (Bir Boyutlu Şematiği) oluşturulur. Bu aşamadan sonra proje GIS (Geographic Information Systems / Coğrafi Bilgi Sistemi)’ne dönüştürülür ve otomatik olarak HEC-RAS programı açılır (Şekil 6.13).



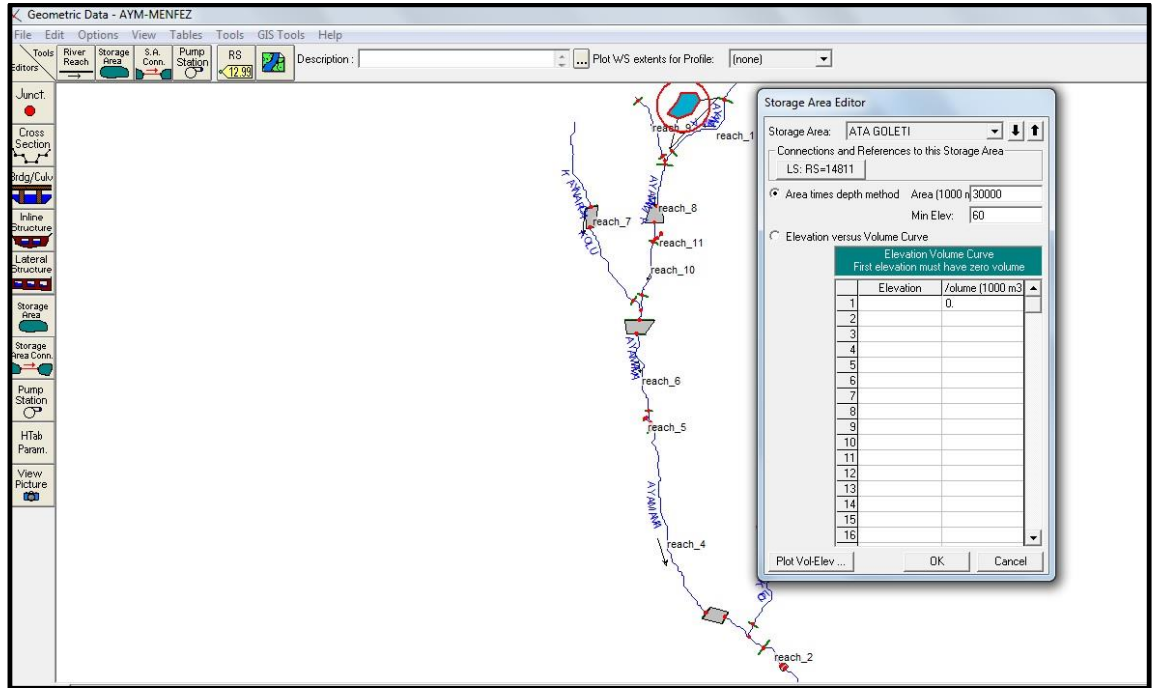
Şekil 6.13: HEC-RAS programı.

‘Geometrik Veri’ kısmına veriler WMS programından otomatik tanımlı olarak gelmiştir.

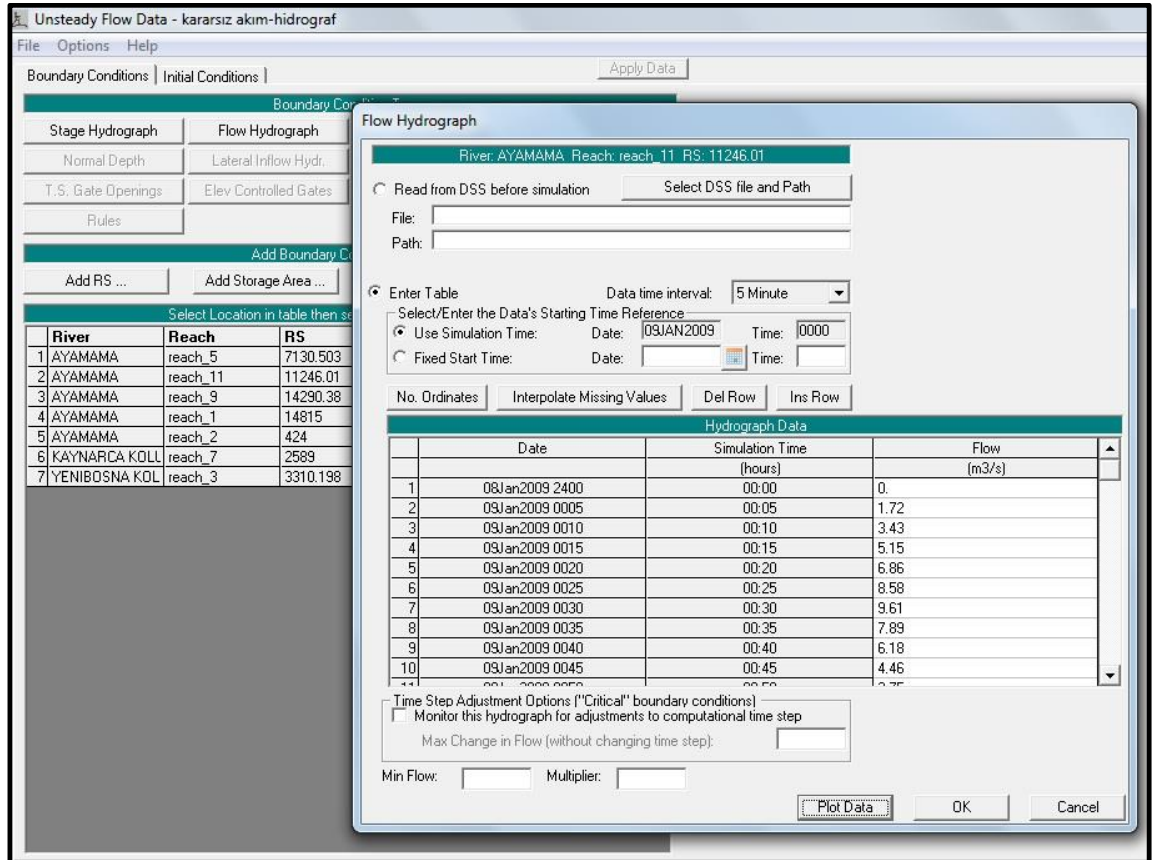


Şekil 6.14: HEC-RAS menfez tanımlama.

Bu verilere ek olarak menfezler ve Ayamama Deresi Havzası'nın içerisinde bulunan askeri bölgede bulunan Ata Göleti tanımlanarak geometrik veriler tamamlanmıştır. Ayamama Deresi üzerinde 5 adet kutu kesite sahip menfez tanımlanmış olup, menfezler tanımlanırken döşeme kalınlığı ve menfezlerin geometrisi programa veri olarak girilmiştir (Şekil 6.14). Ata Göleti; göletin yüzey alanı ve minimum su yüksekliği parametreleri ile tanımlanmıştır (Şekil 6.15). Bu işlem tamamlandıktan sonra kararlı ve kararsız akım verileri programa tanıtılmalıdır. Kararlı akım için rasyonel metottan elde edilen pik debi değerleri toplanarak gerekli istasyonlara bu debi değerleri girilir, sınır şartı olarak ise 'Normal Depth' derenin mansabında yatak eğimi tanımlanır. Kararsız akım için ise hidrolojik modelden elde ettiğimiz yüzeysel akış hidrografları programa sınır şartları olarak tanımlanır (Şekil 6.16).



Şekil 6.15: HEC-RAS Ata Göleti tanımlama.

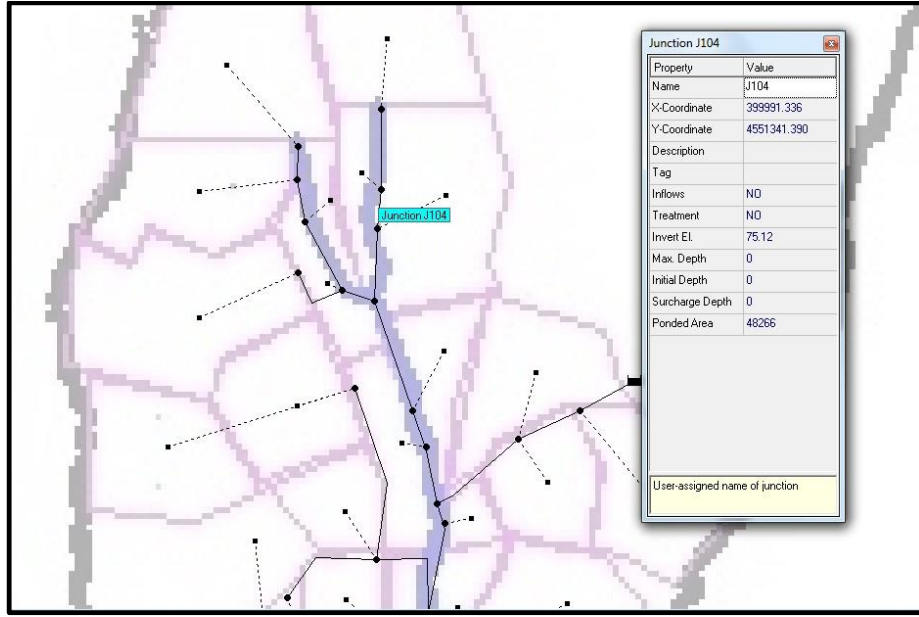


Şekil 6.16: HEC-RAS kararsız akım yüzeysel akış hidrografının tanımlanması.

Sınır şartı olarak tanımlanmış hidrograflara ek olarak başlangıç koşulu olarak 1,5 m³/s taban akışı ve Ata Göleti içinde başlangıç su yüksekliği belirlenir. Geometrik ve kararlı/kararsız akım verileri tanımlandıktan sonra proje kaydedilir. Ayamama Deresi Havzası'nın hidrolik modeli oluşturulmuş olur.

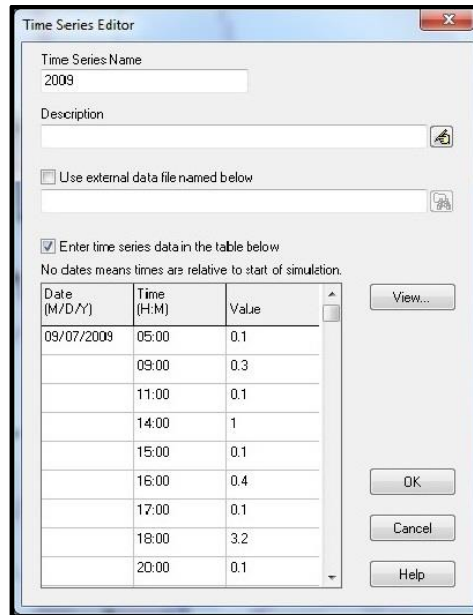
6.2. EPA SWMM PROGRAMI İLE AYAMAMA DERESİ HAVZASI'NIN HİDRODİNAMİK MODELİNİN KURULMASI

EPA SWMM'de hidrodinamik model kurmak amacıyla, 72 km²'lik Ayamama Havzası, İSKİ'den temin edilen 1/5000 ve 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanılarak, kotlar ve suyun akış yönü dikkate alınarak 81 adet alt havzaya ayrılmıştır. Alt havzalara bölme işleminden sonra havza parçalarının alanları, eğimleri ve genişlikleri hesaplanacağından, oluşturulan havza parçalarının mümkün olduğunca kare veya dikdörtgen şekilde olmasına özen gösterilmiştir. Havzanın eğim, alan ve genişlik ölçüleri AutoCAD çizim programı kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra, topoğrafik harita kullanılarak, karayolu üzerinde alt havzalarda oluşan suları toplayan ana kanallar belirlendi ve modele tanıtıldı. Toplamda yaklaşık 42 km uzunluğunda olan 89 kanal, uzunlukları ve enkesitleri tanımlanarak programa tanıtıldı. Şekil 6.17'de görülen mor çizgilerle belirlenmiş havza parçalarının modelde oluşturulmasından sonra bu havza parçaları üzerinde yağış sonrası oluşan yüzeysel akış sularının toplandığı 89 adet birleşim noktası (junction) topoğrafik harita kullanılarak tespit edilmiştir. Tespit edilen bütün birleşme noktalarının yükseklikleri eşyüksekti haritaları kullanılarak belirlenip programa girilmiştir.



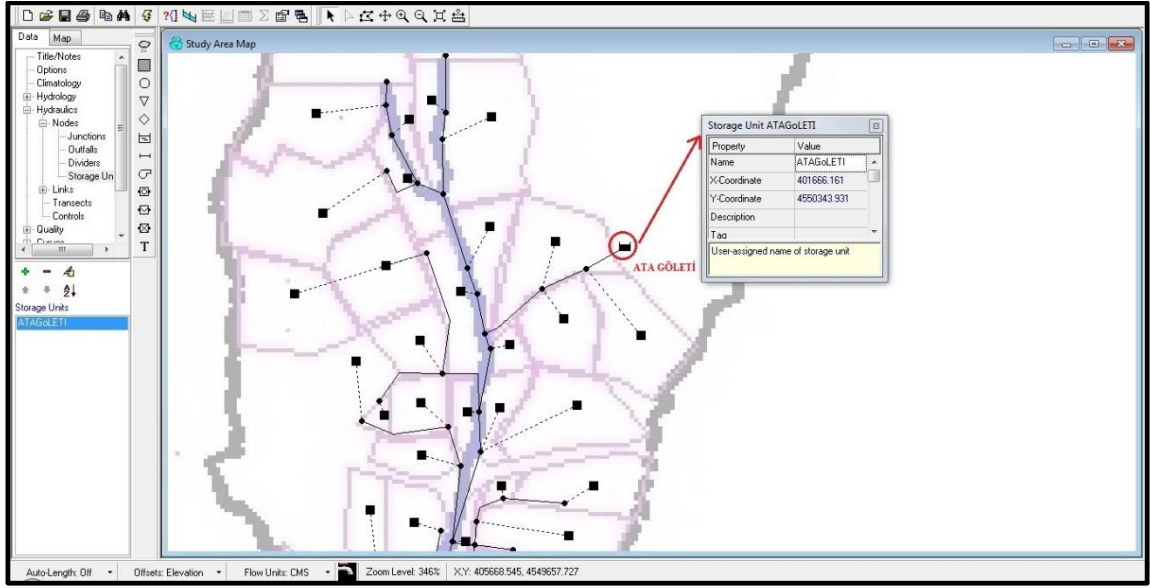
Şekil 6.17: Bağlantı (junction) noktasının tanımlanması.

AKOM'dan elde edilen yağış verilerinin tanımlamak için modele bir adet 'Rain Gage (Yağış Ölçer)' ilave edilerek Şekil 6.18'de görüldüğü üzere 09 Eylül 2009 tarihine ait hiyetograf program içerisinde tanımlanmıştır.



Şekil 6.18: 09 Eylül 2009 tarihine ait hiyetograf.

Şekil 6.19'da görülen, Ayamama Deresi Havzası'nın içerisindeki askeri alanda bulunun Ata Göleti; EPA SWMM programı içerisine 'Storage Unit (Hazne)' olarak geometrisi, taban kotu programa tanımlanmış ve hidrodinamik modele dâhil edilmiştir.

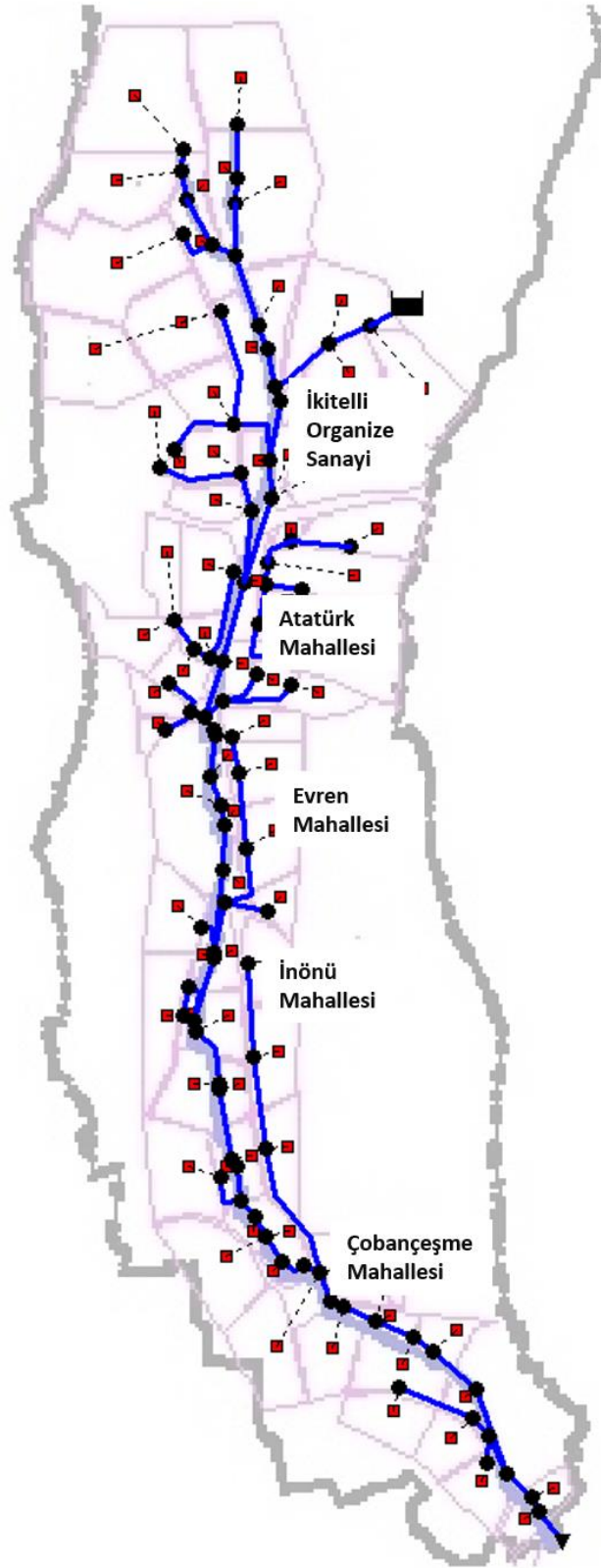


Şekil 6.19: EPA SWMM programında Ata Göleti'nin tanımlanması.

Modellemede kullanılan diğer giriş parametreleri olan arazi durumuna bağlı olarak askeri ve meskûn alanlar için Manning pürüzlülük katsayısı (n), depolama çukuru derinliği (d), kanallar için Manning pürüzlülük katsayısı (n) ve seçilen toprak tipini tanımlayan literatürde belirtilen tipik değerleri temel alarak belirlenmiştir.

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 6.20'de, Ayamama Deresi Havzası'nın hidrodinamik modeli görülmektedir. Burada, kırmızı kareler alt havzaları, mavi çizgiler kanalları ve siyah noktalar ise bağlantı noktalarını (akarsu kavşaklarını) temsil etmektedir. Modellemede, yüzeysel akış ve kanallardaki debi hesaplamaları için kinematik dalga öteleme metodu kullanılmıştır.



Şekil 6.20: EPA SWMM programı ile oluşturulan Ayamama Deresi Havzası'nın hidrodinamik modeli.

6.3. EPA SWMM VE WMS PROGRAMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Yapılan modelleme sonucunda EPA SWMM ve WMS programlarının arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Bu farklılıklar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- EPA SWMM programıyla yapılan modelde hidrolojik model ile hidrolik model beraber çalışmaktadır. Fakat WMS programında hidrolojik model ve hidrolik model birbirinden bağımsız olarak ayrı ayrı oluşturulmuş ve çıkarılmıştır.
- WMS programından taşkın risk haritaları yani taşan suyun yayılımı elde edilirken EPA SWMM programıyla taşkın yükseklikleri ve taşkın hacimleri elde edilmiştir. EPA SWMM programı ile taşkın risk haritası görsel olarak elde edilememiştir.
- EPA SWMM programında hiyetograf tanımlanabilirken, WMS programında tek yağış şiddeti ile modelleme yapılmaktadır.
- EPA SWMM programının hidrolik modeli WMS programının hidrolik modeline göre daha fazla detay içermekte buna karşılık da EPA SWMM programı daha çok varsayım ile çalışmaktadır.
- WMS programında havzanın fiziksel özelliklerini (alt havzaların eğimi, derenin yeri, akış yönü, havza sınırları vs.) GIS den aldığı verilerden program kendisi belirlerken, EPA SWMM programına havza ile ilgili veriler manuel olarak tanıtılmaktadır.
- WMS programı ile havzanın DEM modeli yapılabilirken, EPA SWMM programı ile bu mümkün değildir.
- WMS programı GIS tabanlı çalıştığından dolayı oluşturulan arazi modelinden derenin enkesitleri okunabilirken, EPA SWMM programı ile bu mümkün değildir.
- WMS programı ile dere güzergâhı üstündeki yapılar (örneğin; menfez, köprü gibi) hidrolik modelde tanımlanabilirken, EPA SWMM programı ile bu tarz yapılar tanımlanamamaktadır.
- WMS programı birçok hidrolojik ve hidrolik model ile birlikte çalışabilirken, EPA SWMM programıyla bu mümkün değildir.

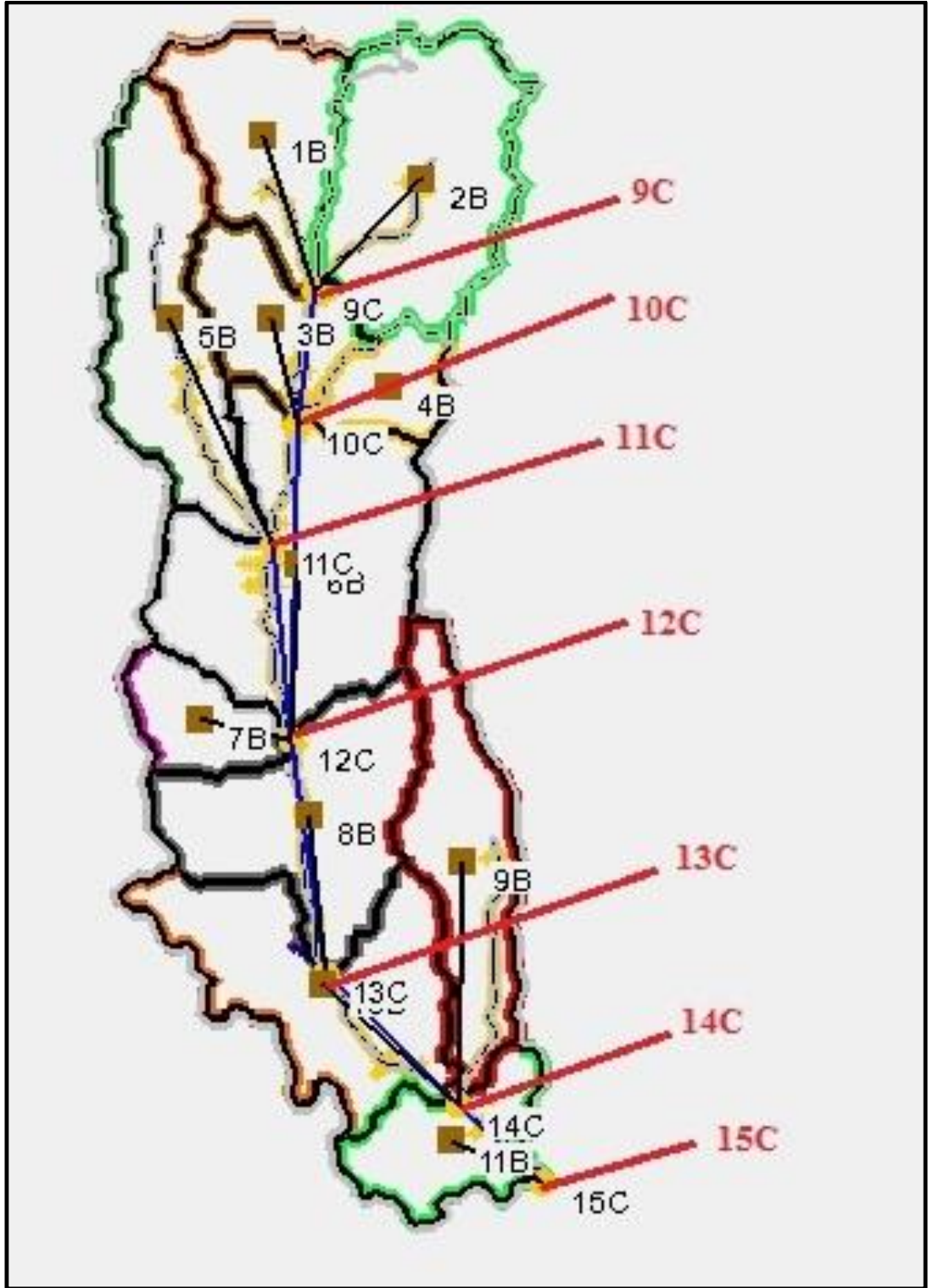
7. BULGULAR

Ayamama Deresi Havzası'nın hem EPA SWMM hem de WMS programı ile yapılan hidrodinamik modeli kullanılarak 9 Eylül 2009 tarihinde meydana gelen taşkın olayının analizi yapılmıştır. Aşırı kentleşme, İstanbul gibi büyük ve sürekli, gelişen bir şehir için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Bu kapsamda Ayamama Deresi Havzası'nda EPA SWMM programı ile yapılan modellemede 07-11 Eylül 2009 tarihinde meydana gelen taşkın dere boyunca farklı noktalarda taşkın derinliği (h) ve taşkın hacmi (V) bulunmuştur. Bu kapsamda taşkın etkilediği yerler arasında, membadan mansaba doğru, İkitelli Organize Sanayi, Atatürk, Evren, İnönü ve Çobançeşme Mahalleleri bulunmaktadır. Bu bölgeler Eylül 2009'da meydana gelen taşkından ağır bir şekilde etkilenmişlerdir. Bu nedenle, analiz sonuçları özellikle bu bölgeler için verilmiştir.

WMS programı ile yapılan modellemede ise 100 yıllık tekerrür aralığına sahip yağışa göre hesaplanan taşkın debisi ile Ayamama Deresi Havzası'nın taşkın risk haritası oluşturulmuştur.

7.1. WMS PROGRAMI İLE OLUŞTURULAN HİDROLİK VE HİDROLOJİK MODELİN BULGULARI

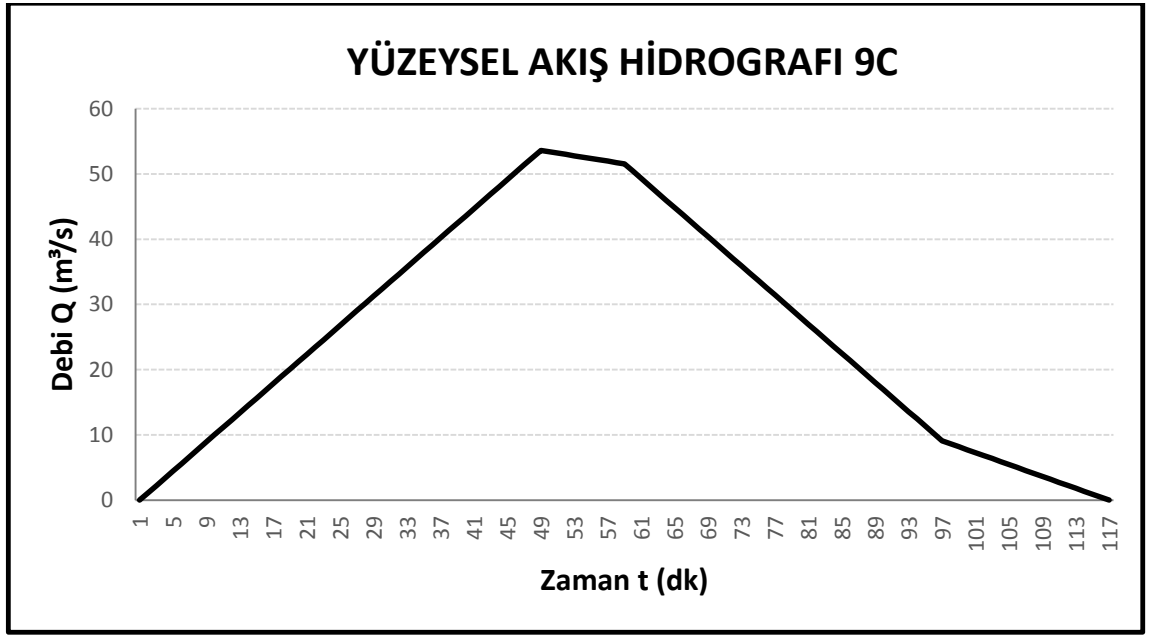
Şekil 7.1'de görülen WMS programı ile yapılan hidrolojik modellemenin sonucunda; 1B ve 2B alt havzalarında toplanan yüzeysel akış 9C'ye, buradan gelen yüzeysel akış 3B ve 4B alt havzalarındaki yüzeysel akışı da toplayarak 10C'ye, toplanan yüzeysel akışa 5B alt havzasında toplanan yüzeysel akış da katılarak 11C'ye, 6B alt havzasının da katılımıyla toplanan yüzeysel akış 12C'ye, 7B alt havzasındaki akışın katılımıyla 13C'ye, 9B ve 10B havzalarındaki debinin katılımıyla 14C noktasına iletilerek havzanın bu yüzeysel akışa 11B havzasındaki yüzeysel akışın da katılımı ile Ayamama Deresi Havzası'nın çıkış noktası olan 15C noktasına aktarılır. Hidrolojik modelleme esnasında; rasyonel metot ile alt havzalarda i_{100} yağış şiddeti kullanılarak toplanan debi hesaplanmıştır.



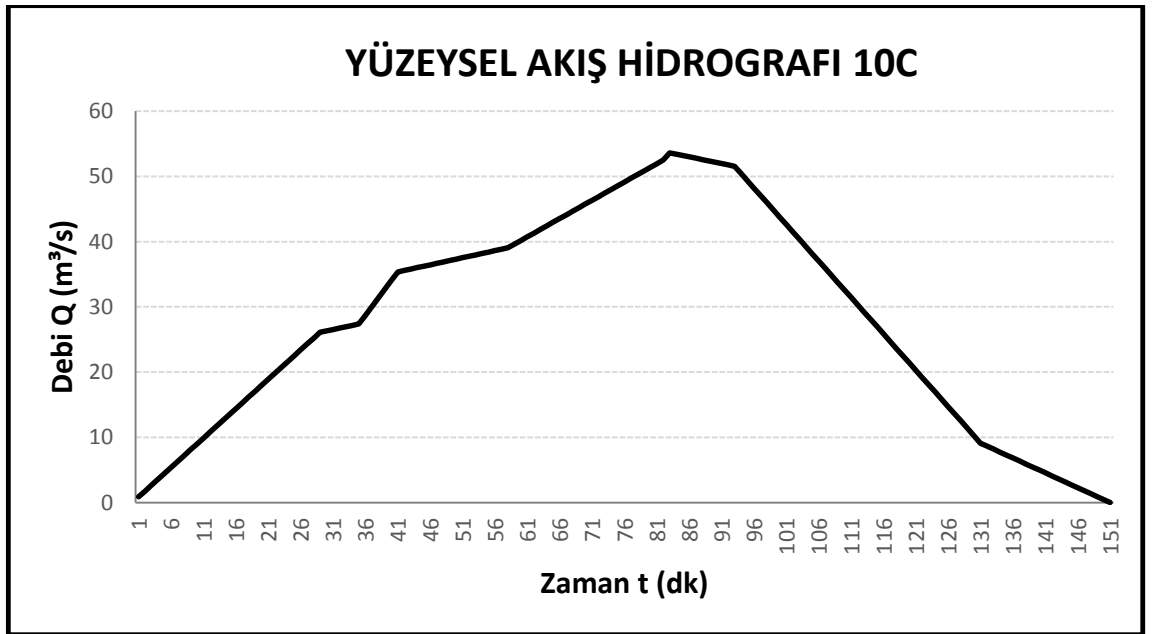
Şekil 7.1: WMS programıyla yapılan hidrolojik modelden elde edilen yüzeysel akış hidrograflarının konumları.

Bu noktalara ait elde edilen hidrograflar Şekil 7.2-7.8’de gösterilmiştir. Bu grafiklerden görüldüğü üzere 9C noktasındaki 100 yıllık yağış sonucu oluşan pik debi $53.62 \text{ m}^3/\text{s}$ ve

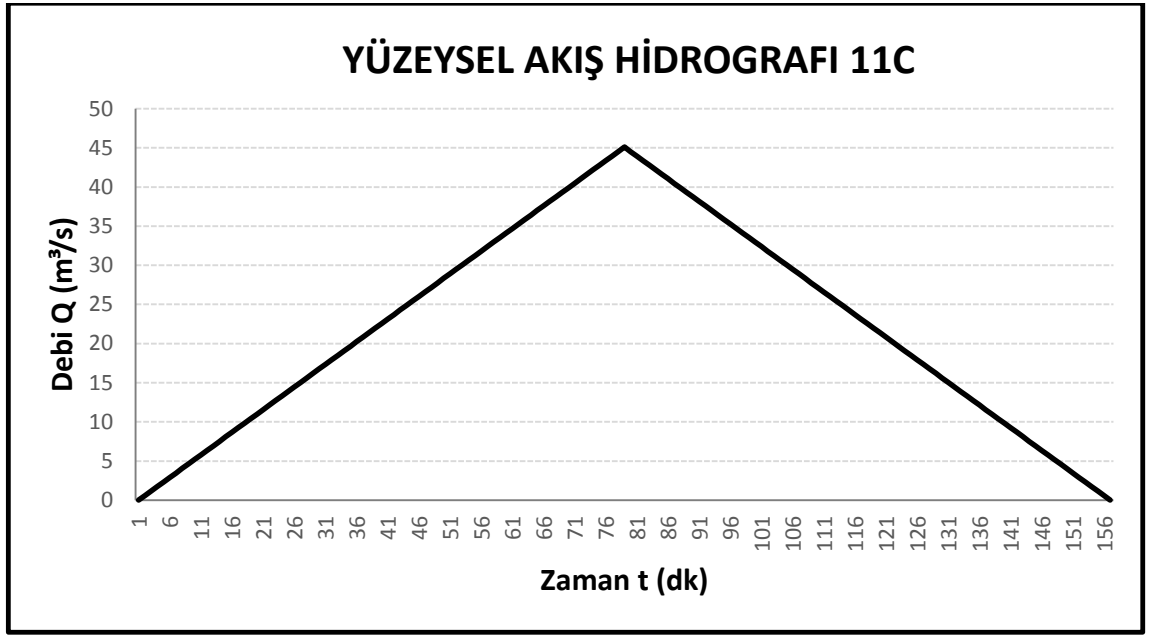
pik değere ulaşma süresi 48 dakikadır. 10C noktasında oluşan pik debi değeri $53.62 \text{ m}^3/\text{s}$ ve pik debi değerine ulaşma süresi 83 dakikadır. 9C de görülen pik debi değerinin 10C çıkış noktasında toplanan debi pik değeri 9C çıkış noktasındaki pik debiden büyük olmadığından dolayı pik debi değişmemiştir. Fakat taşkın debisi ötelendiğinden dolayı pike ulaşma süresi 9C çıkış noktasında 48 dakika iken, 10C çıkış noktasında pike ulaşma süresi 83 dakikaya çıkmıştır. 11C noktasında pik debi $45.10 \text{ m}^3/\text{s}$ ve pik debiye ulaşma süresi 78 dakika iken, 12C noktasında pik debi $101.58 \text{ m}^3/\text{s}$ ve pik debiye ulaşma süresi 103 dakikadır. 12C noktasındaki debi pik değeri 11C noktasındaki pik değerden fazla olduğundan pik debi artmıştır. 13C çıkış noktasına geldiğimizde elde ettiğimiz pik debi değeri $101.58 \text{ m}^3/\text{s}$ ve pik debiye ulaşma süresi 165 dakika iken, 14C çıkış noktasında pik debi $101.58 \text{ m}^3/\text{s}$ ve pik debiye ulaşma süresi 220 dakika iken, havzanın çıkış noktası olan 15C noktasındaki pik değeri 12C, 13C ve 14C noktalarıyla aynı olup pike ulaşma süresi 245 dakika olarak hesaplanmıştır. Buradan anlaşılacağı gibi 12C çıkış noktasında maksimum pik debi değeri olan $101.58 \text{ m}^3/\text{s}$ değeri diğer çıkış noktalarında değişmemiştir. Bunun sebebi 12C noktasında hesaplanan pik debi değerinden daha büyük bir debi hesaplanmadığından ötürü bundan sonraki çıkış noktalarında da aynı kalmıştır. 12C den sonraki çıkış noktalarında taşkın debisi ötelendiğinden dolayı pike ulaşma süreleri artış göstererek havzanın çıkış noktası olan 15C’de maksimum olan 245 dakika değerini almıştır.



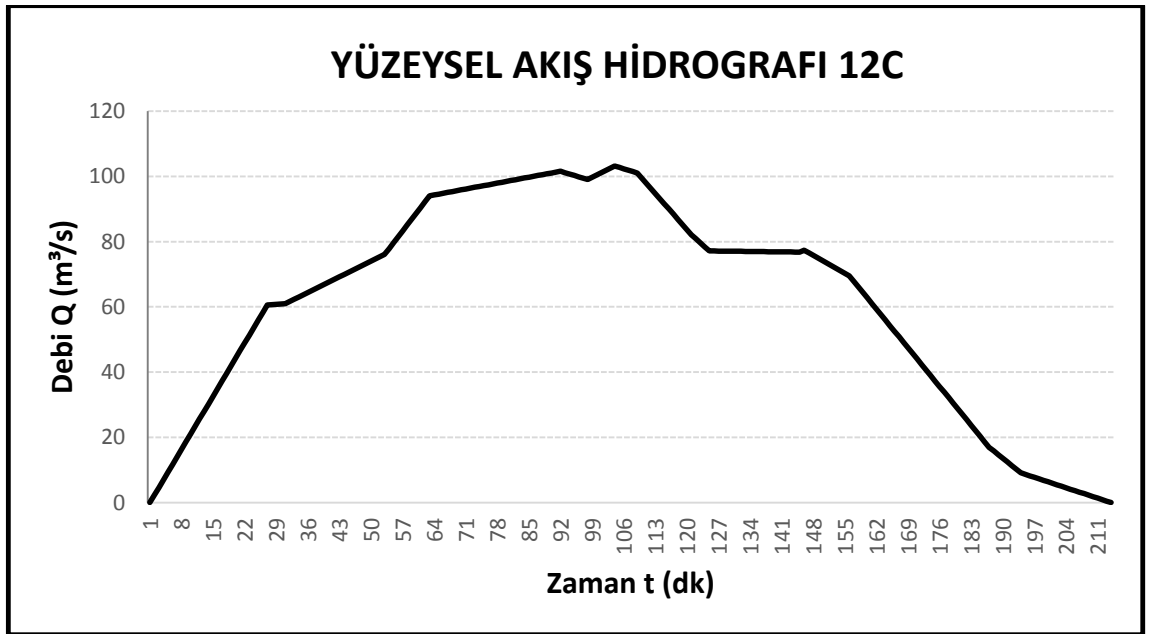
Şekil 7.2: 9C noktasında 100 yıllık yağışlar için elde edilen hidrograf.



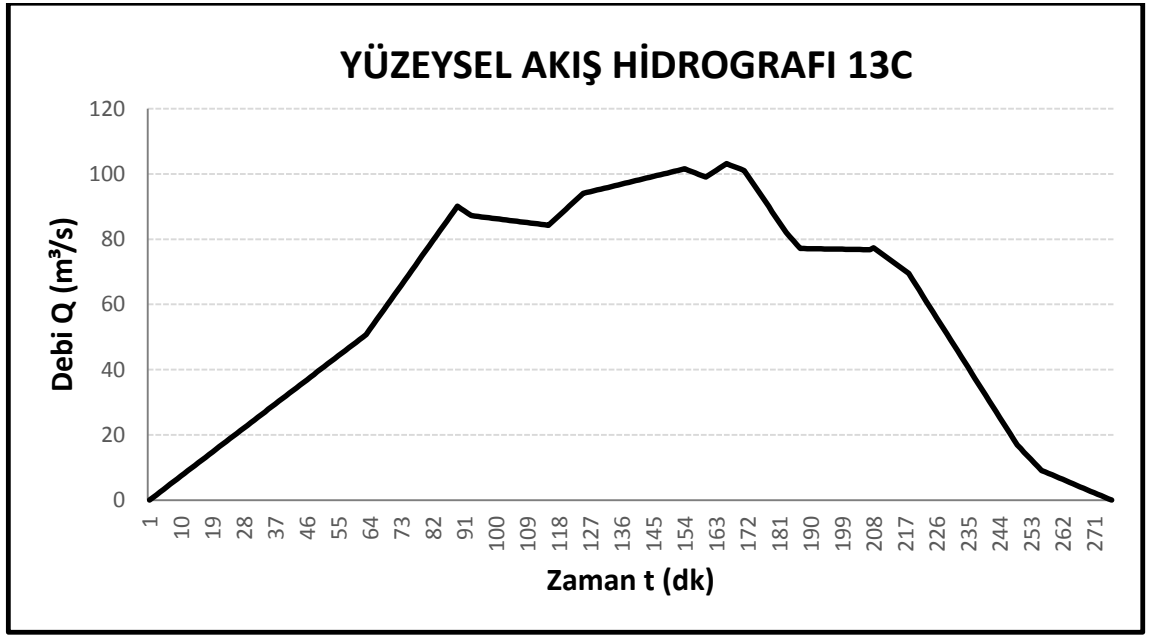
Şekil 7.3: 10C noktasında 100 yıllık yağışlar için elde edilen hidrograf.



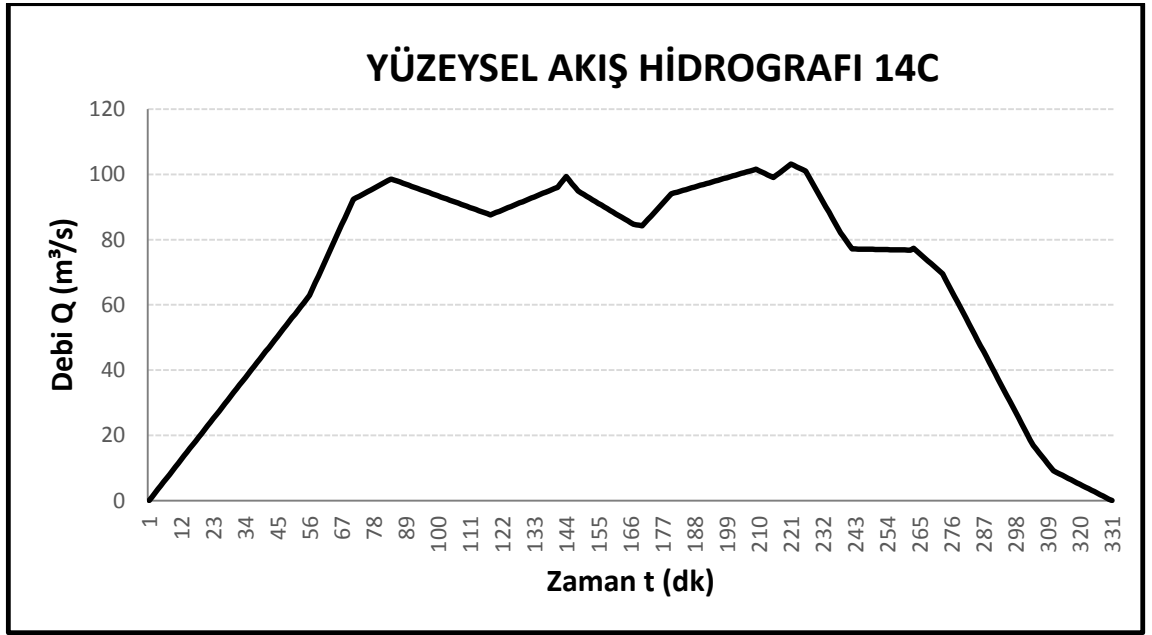
Şekil 7.4: 11C noktasında 100 yıllık yağışlar için elde edilen hidrograf.



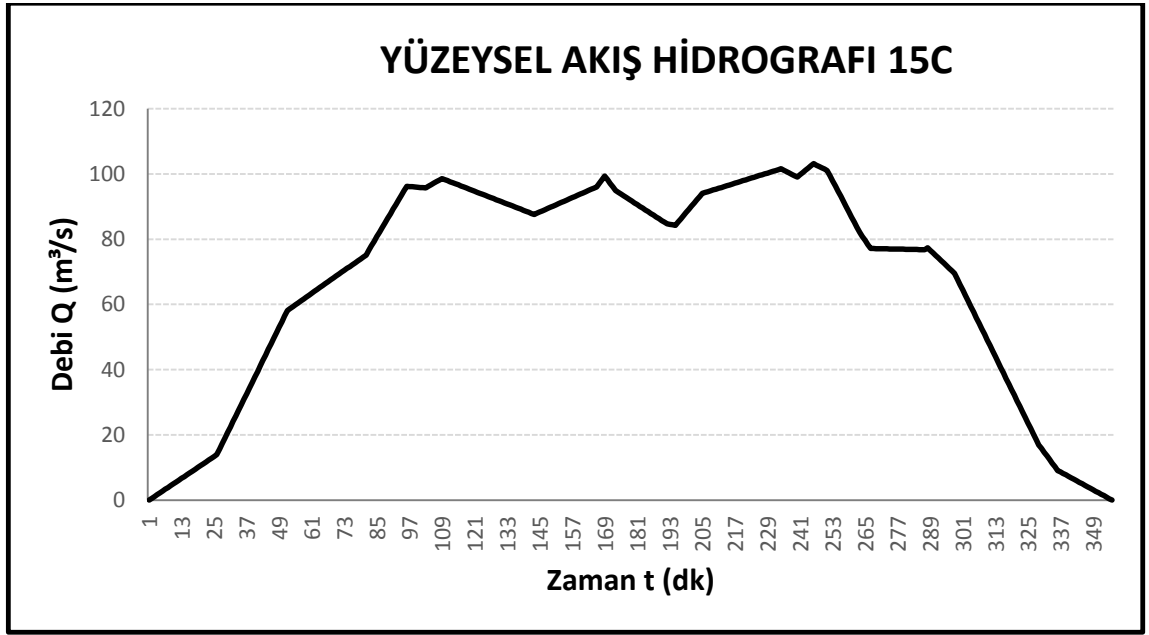
Şekil 7.5: 12C noktasında 100 yıllık yağışlar için elde edilen hidrograf.



Şekil 7.6: 13C noktasında 100 yıllık yağışlar için elde edilen hidrograf.



Şekil 7.7: 14C noktasında 100 yıllık yağışlar için elde edilen hidrograf.

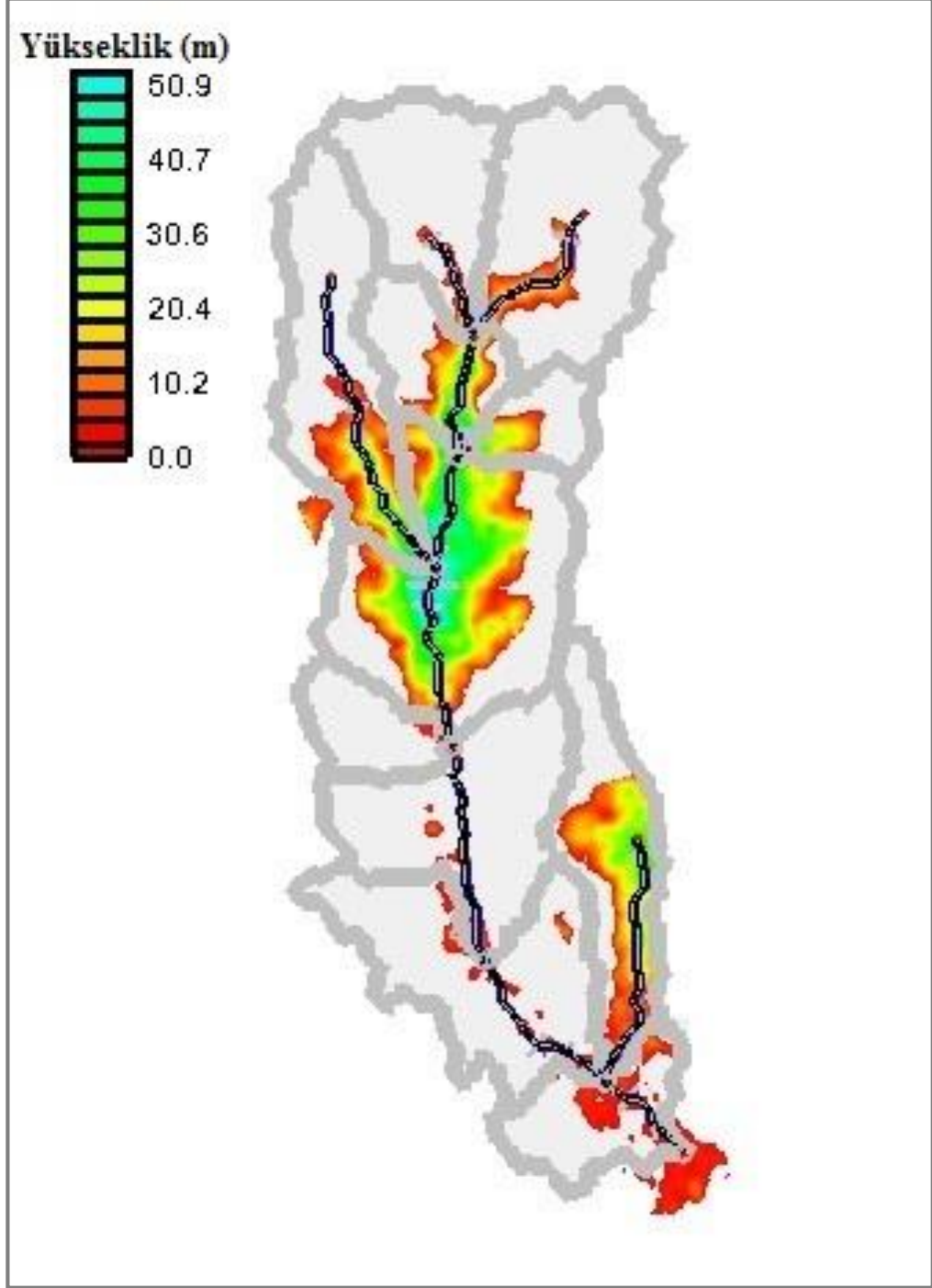


Şekil 7.8: 15C noktasında 100 yıllık yağışlar için elde edilen hidrograf.

Elde edilen bu yüzeysel akış hidrograflarını hidrolik modelin girdisi olarak kullanılıp model çalıştırıldığında Ayamama Deresi Havzası'nın taşkın risk haritaları elde edilmiştir. Bu haritanın sonucu olarak; İkitelli Organize Sanayi, Atatürk, Evren, Çobançeşme ve İnönü Mahallerinde taşkınlar meydana geldiği görülmüştür.

Şekil 7.9'da 100 yıllık debi ile yapılan kararsız akım analizi neticesinde çıkarılan taşkın risk haritası görülmektedir. Kararsız akım analizinde bazı stabilite problemleri meydana gelmiştir. Bu sorunları çözmek için çeşitli varsayımlar denenmiştir. İlk olarak kesit miktarının azlığından dolayı modelde sorun olabileceği düşünülmüştür. Kesit sayısı dere güzergâhı boyunca 10 metrede bir olacak şekilde sıklaştırılmıştır. Ancak kesitlerin sayısı artırılarak stabilite problemi giderilememiştir. Başka bir varsayıma göre menfezlerin sağlıklı çalışmayarak akışı engellediği düşülmüştür ve menfezler kaldırılarak kararsız akım analizi tekrarlanmıştır. Fakat bu varsayımın da stabilite problemini gideremediği görülmüştür. Elde edilen taşkın risk haritasına bakıldığında gerçekte taşkın yaşanmış bölgeler olan İkitelli Organize Sanayi, Atatürk Mahallesi, Evren Mahallesi, İnönü Mahallesi ve Çobançeşme Mahallesi bölgelerinde taşkın yükseklikleri ve yayılımları olduğu görülmektedir. Fakat stabilite probleminden dolayı su yükseklikleri gerçek taşkın değerlerinden daha büyük olarak hesaplanmaktadır. Sonuç olarak, taşkın haritası taşkın olacak muhtemel bölgeleri doğru olarak belirlemekte ancak sayısal olarak henüz doğru

değerleri vermemektedir. Bu problemlerin çözümü için gelecek çalışmalarda nedenleri araştırılmaya devam edilecek ve çözüme ulaşılabacaktır.



Şekil 7.9: Ayamama Deresi Havzası Q_{100} taşkın debisi kullanılarak kararsız akım analizi sonucunda elde edilen taşkın risk haritası.

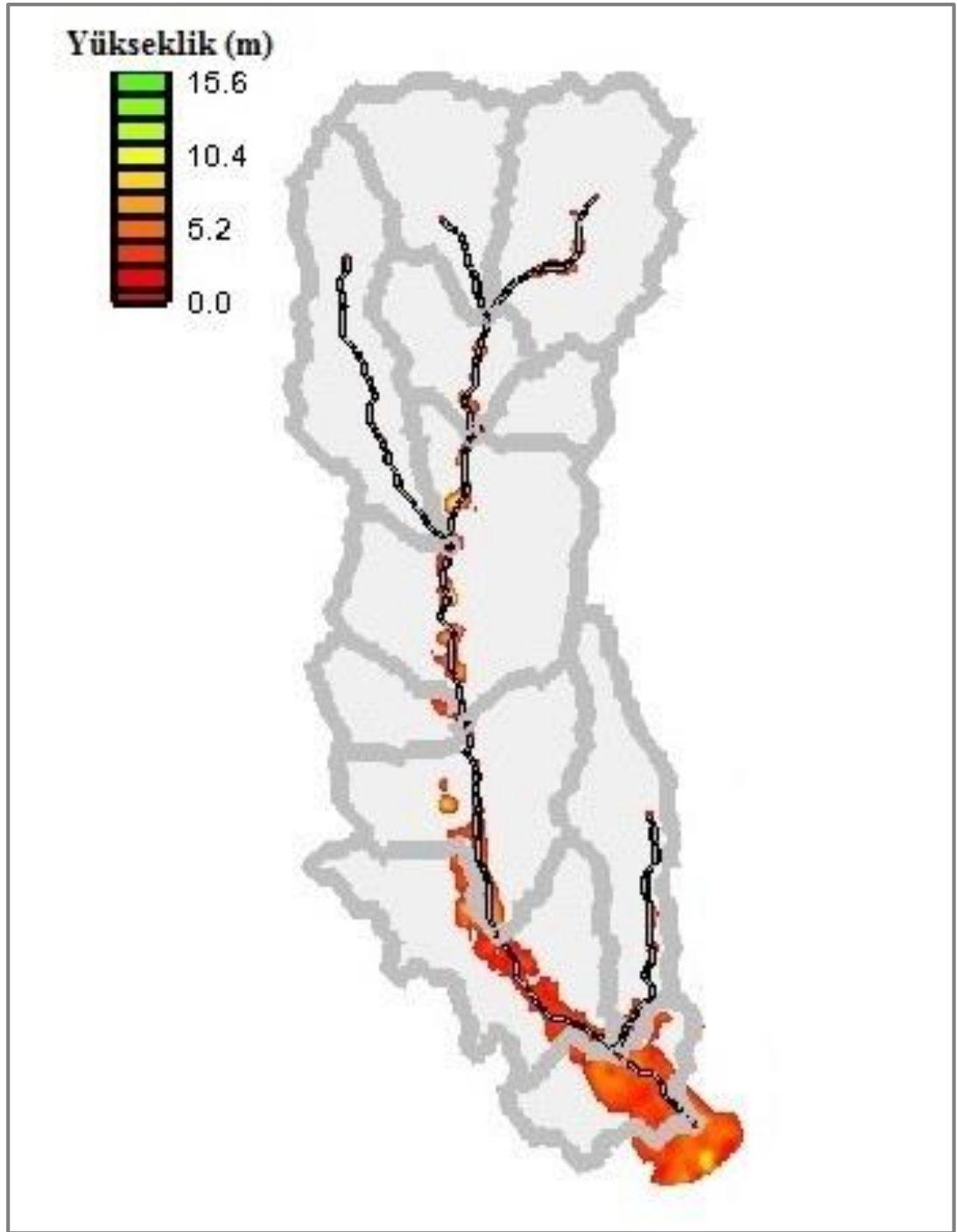
Kararsız akımda meydana gelen stabilite problemlerinden dolayı kararlı akım analizi yapılmaya karar verilmiştir. Kararlı akım analizi yapabilmek için hidrolojik modellemeye

elde edilen birim hidrograf pik debileri toplanarak programa kararlı akım debileri olarak veri girişi sağlanmıştır. (Tablo 7.1).

Tablo 7.1: Alt havzalarda rasyonel metot ile hesaplanan yüzeysel akış debisi.

Alt Havza No.	Alan (ha)	C	i (mm/s)	Q (m ³ /s)
1	415.78	0.50	55	31.76097
2	662.27	0.30	48	26.4908
3	269.39	0.50	61	22.82332
4	155.12	0.30	77	9.953533
5	565.74	0.70	41	45.10205
6	844.63	0.70	46	75.54746
7	185.80	0.70	80	28.90222
8	580.78	0.70	45	50.81825
9	452.53	0.70	38	33.43694
10	620.04	0.70	43	51.84223
11	281.01	0.70	52	28.41323
TOPLAM				405.091

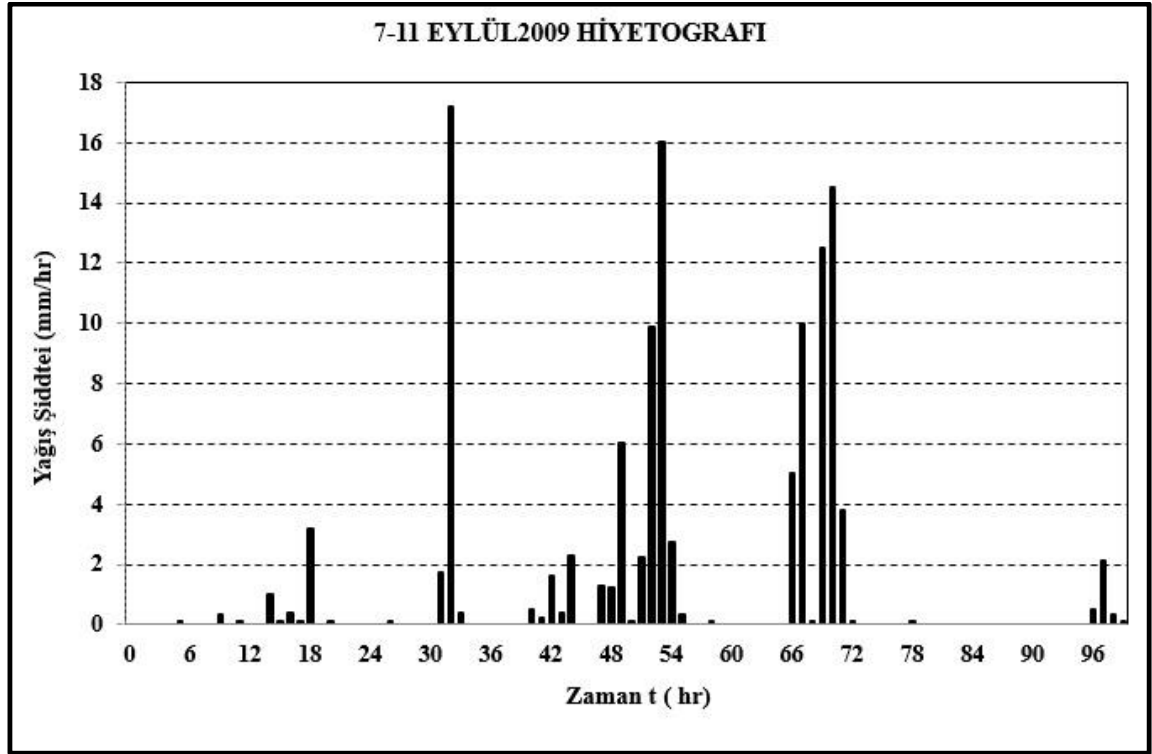
Kararlı akımın sınır şartı olarak; derenin mansap noktasındaki eğimi olan 0.0018 yatak eğimi tanımlanarak model çalıştırılmıştır ve Şekil 7.10'da görülmekte olan taşkın risk haritası elde edilmiştir. Yayılım haritasından görüldüğü üzere maksimum su yüksekliği 15 m olarak hesaplanmıştır. Bu değer gerçekte meydana gelen taşkın su yüksekliği ile uyushmaktadır. Gerçekte kritik olan İkitelli Organize Sanayi, Evren, Atatürk ve İnönü Mahallerinin bulunduğu bölgelerde taşkın yayılımları gözlenmiştir.



Şekil 7.10: Ayamama Deresi Havzası Q_{100} taşkın debisi kullanılarak kararlı akım analizi sonucunda elde edilen taşkın risk haritası.

7.2. EPA SWMM PROGRAMI İLE OLUŞTURULAN HİDRODİNAMİK MODELİN BULGULARI

7-11 Eylül 2009 tarihleri arasında ölçülmüş ve yaklaşık 99 saat (4 gün) kadar yağış sonucu oluşan akış hidrodinamik model ile tahmin edilmiştir. Şekil 7.11’de 7-11 Eylül 2009 tarihleri arasında yağın yağışa ait hiyetograf görülmektedir.

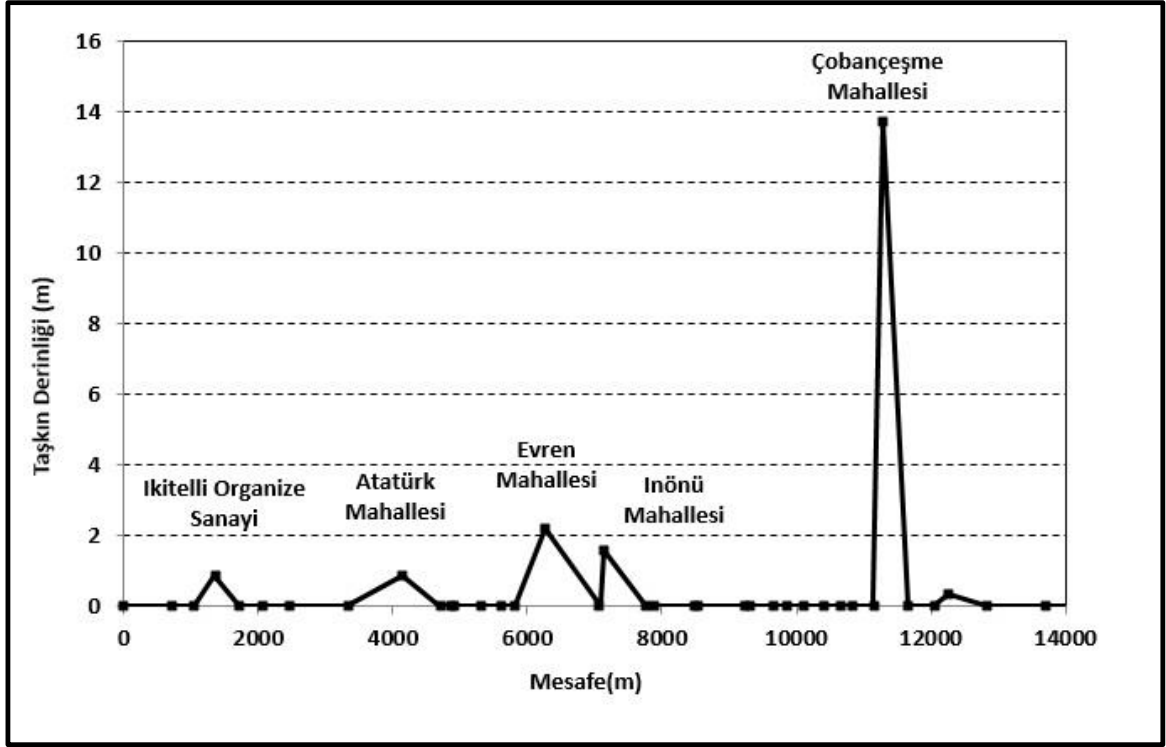


Şekil 7.11: 7-11 Eylül 2009 tarihinde meydana gelen yağışa ait hiyetograf.

Grafikten görüldüğü üzere, yağış şiddeti ilk 30 saat için nispeten daha düşük seyretmiş, ancak 31. saatte ani bir sıçrama yapmıştır. Ondandır 51. ve 70. saatlerde 2 tane daha pik seviye gözlemlenmiştir. Bu yüksek yağış şiddetleri taşkını tetiklemiştir. Buna ek olarak, yüzeysel akış kısa zaman içerisinde havzanın dik yamaçlarından Ayamama Deresi'ne ulaşmaktadır. Bunun yanı sıra, uygun olmayan yapılar akış yönünde bir değişiklik meydana getirmiştir ve Ayamama Deresi yağmursuyu akışını engellemiştir.

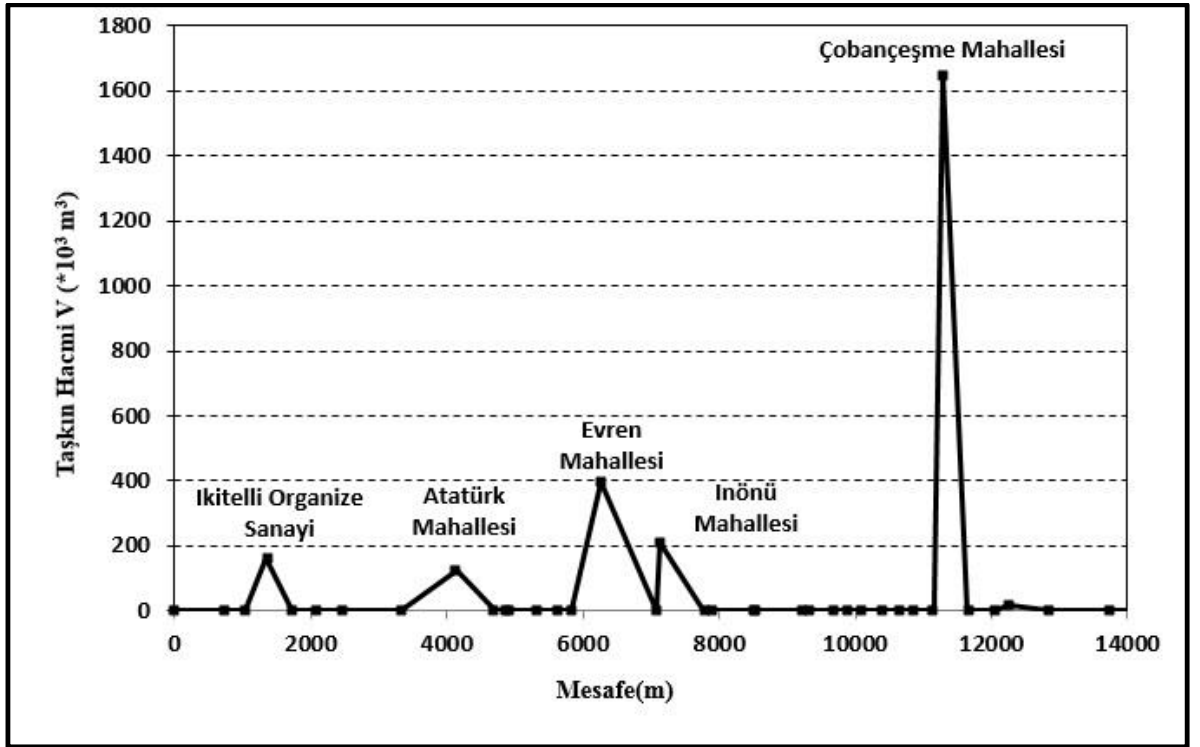
Şekil 7.12, 07-11 Eylül 2009 tarihinde Ayamama Deresi'nin farklı noktaları boyunca elde edilen taşkın derinliğini (h) göstermektedir. Elde edilen taşkın derinlikleri, İkitelli Organize Sanayi Bölgesi, Atatürk, Evren, İnönü ve Çobançeşme Mahalleleri için sırasıyla, 0.86m, 0.86m, 2.19m, 1.58m ve 13.75m'dir. Bu modelleme sonuçları ile arazi

gezisi sırasında yapılan gözlemler arasında iyi bir uyum vardır: Su seviye çizgileri yaklaşık, Atatürk Mahallesi'nde 1 m, Evren Mahallesi'nde 2m ve Çobançeşme Mahallesi'nde ise 12-14 metredir.



Şekil 7.12: Taşkın yükseklikleri.

Şekil 7.13 07-11 Eylül 2009 tarihinde Aymama Deresi'nin farklı noktaları boyunca elde edilen taşkın hacmini (V) göstermektedir. Elde edilen taşkın hacimleri, İkitelli Organize Sanayi Bölgesi, Atatürk, Evren, İnönü ve Çobançeşme Mahalleleri için sırasıyla, $162 \times 10^3 \text{ m}^3$, $125 \times 10^3 \text{ m}^3$, $398 \times 10^3 \text{ m}^3$, $209 \times 10^3 \text{ m}^3$ ve $1651 \times 10^3 \text{ m}^3$ 'tür.



Şekil 7.13: Taşkın hacimleri.

Tablo 7.2 de hidrodinamik modelin analizi sonucunda elde edilen taşkın derinlikleri (h) ve taşkın hacimleri (V) görülmektedir. Tablodan görüldüğü üzere taşkın derinlikleri ve taşkın hacimlerinin en yüksek olduğu bölge Çobançeşme Mahallesi'dir.

Tablo 7.2: Hidrodinamik model sonucu hesaplanan taşkın yüksekliği ve taşkın hacmi.

07-11 EYLÜL 2009 TAŞKIN OLAYI		
	Taşkın yüksekliği (m)	Taşkın hacmi (*10 ³ m ³)
İkitelli Organize Sanayi Bölgesi	0.856	162.151
Atatürk Mahallesi	0.858	124.872
Evren Mahallesi	2.195	398.91
İnönü Mahallesi	1.577	209.359
Çobançeşme Mahallesi	13.75	1650.597

8. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında WMS ve EPA SWMM programları kullanılarak Ayamama Deresi Havzası'nın hidrodinamik modeli oluşturulmuştur. 09 Eylül 2009 tarihinde meydana gelen taşkına ait yağış verileri kullanılarak elde edilen taşkın yüksekliği (h) ve taşkın hacmi (V), arazi gözlemleri ile karşılaştırılmış ve taşkın risk haritası oluşturulmuştur.

Taşkın derinliği ve taşkın hacmi Ayamama Deresi boyunca farklı yerlerde elde edilmiştir. Ayrıca WMS programı ile Ayamama Deresi Havzası rasyonel metot ile hidrolojik modellemesi yapılarak 100 yıllık tekerrür aralığına sahip taşkın debisine göre taşkın risk haritası oluşturulmuştur. Aşağıdaki sonuçlar bu çalışmada gerçekleştirilen analizlere dayanmaktadır.

- EPA SWMM ve WMS programlarından elde edilen sonuçlar, Eylül 2009 tarihinde Ayamama Havzası'nda meydana gelen taşkın sonrası arazi gezisinde yapılan gözlemler ile doğrulanmıştır.
- Çobançeşme Mahallesi aşırı yağışlar altında oldukça kritik bir bölgedir ve bu bölge yüksek taşkın riski altındadır. Elde edilen taşkın risk haritasında da bu bölgenin sular altında kaldığı görülmüştür.
- Ayamama Deresi'nde dere akış hızını ve debisini arttırmak için örneğin, dere restorasyonu; yani kanal pürüzlülüğünün azaltılması veya dere yatağının eğiminin arttırılması gibi birçok iyi yönetim uygulamaları (BMP-Best Management Practices) yapılabilir. Ayrıca, yüzeysel akışı azaltmak için, yine BMP yöntemlerinden, sulak alan restorasyonu veya yapay sulak alanlar, biriktirme hazneleri, sızdırma rezervuarı ve gözenekli kaldırımlar kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Abbasov, R., 2005, Taşkın Gözlemlenen Akarsuların Hidrolojisi (Kura Nehri Örneği), *Ege Coğrafya Dergisi*, 14, 17-28
- Ağralıoğlu, N., Erkek, C., 1998, *Su Kaynakları Mühendisliği*, Beta Yayınevi, İstanbul
- Altundal, M., 2010, *Taşkınların Ekonomik Boyutu Sunumu, II. Ulusal Taşkın Sempozyumu*, 22-24 Mart 2010, Afyonkarahisar
- Apan, M., 2004. *Hidroloji*, Ondokuz Mayıs Ziraat Fakültesi Yayınları, Samsun
- Arnold, C. L., Gibbons, C. J., 1996, Impervious Surface Coverage-the Emergence of a Key Environmental Indicator, *American Planning Association. Journal of the American Planning Association*, 62 (2), 243-258
- Bayazıt, M., 2002, Türkiye’de Taşkınlar ve Taşkın Kontrol Yönetimi, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 418, 27-29.
- Bayazıt, M., Önöz, B., 2008. *Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi*, Nobel Yayınevi, İstanbul.
- Campell, C. W., Sullivan S. M., 2002, Simulating time-varying cave flow and water levels using the Storm Water Management Model, *Engineering Geology*, 65, 133-139
- Ceylan A., Kömüşçü Ü. A., 2007, Meteorolojik Karakterli Doğal Afetlerin Uzun Yıllar Mevsimsel Dağılımları, *I. Türkiye İklim Kongresi Bildiri Kitabı*, 11-13 Nisan 2007 İstanbul, 93-104
- Chow, V.T., Maidment, D.R. ve Mays, L.W., 1988, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Company, USA
- Demir, A., 2010, Şehir Taşkınları Sunumu, *II. Ulusal Taşkın Sempozyumu*, 22-24 Mart 2010 Afyonkarahisar
- DSİ, 2004. *Islak yapıları uygulama projeleri Yapım İşleri Genel Teknik Şartnameleri*
- Devlet Su İşleri, <http://www2.dsi.gov.tr/bolge/dsi12/kayseri.htm>, [Ziyaret Tarihi:5 Mart 2013]
- Eagleson, P. S., 1970, *Dynamic Hydrology*, McGraw-Hill, Inc, New York
- Eroğlu, V., 2008, 5. Dünya Su Forumu Türkiye Bölgesel Hazırlık Toplantısı, *Taşkın, Heyelan ve Dere Yataklarının Korunması Konferansı Bildiri Kitabı*, 7-8 Ağustos 2008 Trabzon, 7-10
- Huber, W.C., 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)

- Kadioğlu, M., 2008, *Sel, Heyelan ve Çığ için Risk Yönetimi*, Afet Zararlarının Azaltmanın Temel İlkeleri, Kadioğlu, M., Özdamar, E. (ed), 2, JICA Türkiye Ofisi Yayınları, Ankara, 251.276
- Kafkas Haber Ajansı, 2012, *Aliğa'da Dereler Islah Edildi*, <http://www.kha.com.tr/Cevre/11098-Aliaga%E2%80%99da-dereler-islak-edildi.html>, [Ziyaret Tarihi:10 Mart 2013]
- Karabulut, M., Sandal, E.K., Gürbüz, M., 2007, 20 Kasım-9 Aralık 2001 Mersin Sel Felaketleri Meteorolojik ve Hidrolojik Açından Bir İnceleme, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10 (1), 13-23
- Kasalak, A. F., Aksu, S., Eroğlu, H., Şirin, O., 2010, Taşkından Koruma Tesislerine Müdahaleler ve Ülkemizde Yaşanan Taşkın Olaylarının Değerlendirilmesi, 2. *Ulusal Taşkın Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 22-24 Mart 2010 Afyonkarahisar, 125
- Kılıçer, Ü., Hamza Ö. 2002. Türkiye'de Taşkın Durumu. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 420-421-422, 142-144.
- Leon, L. F., Lam, B. C., Crimmon M. C., Swayne, D. A., 2003, Watershed management modelling in Malawi: application and technology transfer, *Environmental Modelling & Software*, 18 (6), 531-539
- Mann, M., Parsons, S., 2004, Integrating Geospatial and Watershed Data Using The Watershed Modeling System (WMS) to Evaluate Flooding Potential of The Clear Fork Watershed in Kentucky and Tennessee, *Advance Integration of Geospatial Technologies in Mining and Reclamation*, 7-9 December 2004, Atlanta, GA., 1-14
- Menne, B., Pond, K., Noji, E. K., Bertollini, R., 1999, Floods and Public Health Consequences, *Prevention and Control Measures: Discussion Paper Presented at the UNECE Seminar on Flood Prevention*, 7-8 October 1999, UNECE/MP.WAT/SEM.2/1999/22, UNECE, Berlin, Germany
- Onuşluel, G., Harmancıoğlu, N. B., 2002, Su Kaynaklı Doğal Afet Taşkın, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 420-421-422, 131-132
- Özbal R., 2010, Taşkın Koruma Projelerinde Yapısal Tedbirler Sunumu, *II. Ulusal Taşkın Sempozyumu*, 22-24 Mart 2010, Afyonkarahisar
- Özdemir H., 1978, *Uygulamalı Taşkın Hidrolojisi*, DSİ Basım, Ankara, Genel Yayın No:373, Grup No.III, Özel No. 34, 26-37
- Öztürk, M., 2009, *Ülkemizde Yaşanan Sel Felaketleri*, TBMM Çevre Komisyonu, <http://www.mozturk.net/?Type=1&Id=379>, [Ziyaret Tarihi:28.02.2011]
- Polat S., Polat O., 2007, Sel Felaketinin Nedenleri ve Alınabilecek Önlemler Fekedeğirmendere Havzası Örneği, *TMMOB Afet Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 5-7 Aralık 2007 Ankara, Ankara, 413-420

- Radikal Gazetesi, 2009, *Ayamama Deresi 14 yılda hiç değişmemiş!*, http://www.radikal.com.tr/turkiye/ayamama_deresi_14_yilda_hic_degismemis-953735, [Ziyaret Tarihi:3 Mart 2013]
- Ramos, J., Marrufo, L., Gonzalez F. J., 2009, *Use of Lidar Data in Floodplain Risk Management Planning:The Experience of Tabasco 2007 Flood*, Advances in Geoscience and Remote Sensing, Jedlovec, G. (ed), Chapter 32, InTech
- Sharkh, M. S. A., 2009, Estimation of Runoff For Small Watershed Using Watershed Modeling System (WMS) and GIS, *Thirteenth International Water Technology Conference*, 2009 Hurghada, Egytp, 1185-1199
- Sadrolashraji, S. S., Mohamed, T. A., Mahmud, A. R. B., Kholghi, M. K., Samadi A., 2008, Integrated Modeling for Flood Hazard Mapping Using Watershed Modelin System, *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 1 (2), 149-156
- Şen Z. ,2013, Taşkın Yazılımlarının Bilimsel ve Mantık Esasları, *III. Ulusal Taşkın Sempozyumu*, İstanbul
- Şen, Z., 2009, *Taşkın Afet ve Modern Hesaplama Yöntemleri*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul
- Temiz, N., Aksoy, H., Ercanoğlu, M., 2004, Batı Karadeniz Bölgesi'nde Potansiyel Taşkın Alanlarının Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 47 (2), 41-48
- The National Geographic, 2011, *Japan Tsunami:20 Unforgettable Pictures*, http://news.nationalgeographic.com/news/2011/03/pictures/110315-nuclear-reactor-japan-tsunami-earthquake-world-photos-meltdown/#/japan-earthquake-tsunami-nuclear-unforgettable-pictures-wave_33291_600x450.jpg, [Ziyaret Tarihi: 16 Mart 2014]
- Türkiye Ulusal Meteorolojik ve Hidrolojik Afetler Programı (Tumehap), Türkiye Ulusal Hidroloji Komisyonu (Tuhk), Türkiye Ulusal Hidroloji Komisyonu (Tuhk), Türkiye Ulusal Meteoroloji ve Atmosfer Bilimleri Komisyonu (Tumak), Türkiye Ulusal Oşinografi Komisyonu (Tuok), Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (Tujk) , 2003
- Tuncer, İ., 2011. *Açık Kanallarda Su Yüzü Profilinin Belirlenmesi, Nakkaş Dere Örneğinde Bir HEC-RAS Uygulaması*, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Uşkay, S., Aksu, S.,2002, Ülkemizde Taşkınlar, Nedenleri, Zararları ve Alınması Gereken Önlemler, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 420-421-422, 133-136
- Verveij, A., 1985, *Computational River Hydraulics Lecture Notes* , IHE Delft, Netherlands.
- Yüksel, Y., 2000, *Teori ve Çözümlü Problemler ile Bilgisayar Uygulamalı Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik*, Beta Basım Yayın Dağıtım, İstanbul.

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

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	Ayşenur BAHÇEÇİ
Uyruğu	Türkiye Cumhuriyeti
Doğum tarihi, Yeri	09.10.1988, İstanbul
Telefon	02122997252
E-mail	aysenurbahceci@gmail.com

Eğitim

Derece	Kurum/Anabilim Dalı/Programı	Yılı
Yüksek Lisans	İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü/İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	2014
Lisans	İstanbul Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi/İnşaat Mühendisliği Bölümü	2010
Lise	Yenilevent Süper Lisesi	2006

Makaleler / Bildiriler

Kazezyılmaz-Alhan, C. M., Gülbaz, S., Şimşek, A., 2014, Hydrologic Modeling of Flooding Event in Ayamama Watershed in Istanbul, Turkey, *3rd Annual International Conference Architecture and Civil Engineering*, 13-14 April 2014, Singapore