

**SAKARYA NEHRİ ALT HAVZASI'NIN TAŞKIN  
RİSKİ ANALİZİNİN UZAKTAN ALGILAMA VE CBS  
İLE BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hidrojeoloji Müh. Orkan ÖZCAN**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 24 Aralık 2007**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 29 Ocak 2008**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU**

**Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Dursun Z. ŞEKER**

**Prof. Dr. Sedat KABDAŞLI**

**OCAK 2008**

## ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama programında gerçekleştirilen yüksek lisans çalışmasında Sakarya Nehri alt havzasının taşkın risk analizi, Uzaktan Algılama ve CBS ile belirlenmiştir.

Çalışmada öncelikle tez danışmanlığımı üstlenen ve tezimin her aşamasında bilgi ve birikimi ile beni yönlendiren, benden hoşgörüsünü ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Nebiye Musaoğlu'na teşekkürü bir borç bilirim.

Bununla birlikte çalışmam süresince bilgisi ve deneyimleriyle beni yönlendiren İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü öğretim üyelerinden sayın Prof. Dr. Dursun Z. Şeker'e teşekkür ederim.

Veri temini konusunda yardımlarını esirgemeyen İstanbul Teknik Üniversitesi Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Merkezi'ne ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bilgi birikimini benimle paylaşan İstanbul Üniversitesi Coğrafya Bölümü öğretim üyesi Araş. Gör. Hasan Özdemir'e teşekkürü bir borç bilirim.

Gerektiği zaman yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Emre Özelkan'a ve Coğrafyacı İrfan Akar'a teşekkür ederim.

Çalışmam süresince yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen sevgili ağabeyim Okan Özcan'a ve her alanda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, bilgi ve birikimleriyle bana yol gösteren anneme ve babama saygı ve sevgilerimi sunuyorum.

Ocak 2008

Orkan Özcan

## İÇİNDEKİLER

<b>KISALTMALAR</b>	<b>v</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>vi</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>vii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b>	<b>viii</b>
<b>ÖZ</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1. Amaç ve Kapsam	2
1.2. Materyal ve Yöntem	6
1.3. Literatür Taraması	10
<b>2. ÇALIŞMA ALANININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ</b>	<b>12</b>
2.1. Topoğrafik ve Jeomorfolojik Özellikler	12
2.1.1. Eğim özellikleri	14
2.1.2. Bakı özellikleri	15
2.2. Jeolojik Özellikler	16
2.3. Tektonik Özellikler	20
<b>3. HİDROLOJİK VE HİDROLİK MODELLEME</b>	<b>22</b>
3.1. Hidrolojik Modelleme	22
3.1.1. Taşkın frekans analizleri	23
3.1.1.1. Log Pearson Tip III dağılımı	24
3.2. Hidrolik Modelleme	25
<b>4. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME ANALİZİ</b>	<b>26</b>
<b>(Multi-Criteria Decision Analysis - MCDA)</b>	<b>26</b>
4.1. Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY)	26
4.1.1. Karar verme süreci	26
4.1.2. Analitik hiyerarşi yöntemi	27
4.1.3. Analitik hiyerarşi yöntemi algoritması	29
<b>5. UYGULAMA</b>	<b>31</b>
5.1. Uzaktan Algılama Verilerinin İşlenmesi	31
5.1.1. Uydu görüntülerinin geometrik düzeltmesi	31
5.1.2. Uydu görüntülerinin sınıflandırılması	33
5.1.2.1. Sınıflandırma doğruluğu	34
5.1.2.2. Sınıflandırma sonuçları	35
5.1.3. Stereo uydu görüntülerinden SYM oluşturulması	35
5.2. Hidrolojik ve Hidrolik Model Uygulaması	37
5.2.1. Havza parametrelerinin belirlenmesi	38
5.2.2. Geometrik verilerin oluşturulması	41
5.2.3. Manning sürtünme katsayısının belirlenmesi	46

5.2.4.HecRAS'ta modelin oluşturulması	47
5.2.5.Taşkın alanlarının belirlenmesi	50
5.3.Çok Kriterli Karar Verme Analizi (MCDA)	52
5.3.1.Analitik hiyerarşi yöntemi uygulaması	52
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>	<b>56</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>59</b>
<b>TEŞEKKÜR</b>	<b>61</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>62</b>

## **KISALTMALAR**

<b>UA</b>	: Uzaktan Algılama
<b>CBS</b>	: Coğrafi Bilgi Sistemi
<b>MCDA</b>	: Multi Criteria Decision Analysis
<b>ISODATA</b>	: Iterative Self Organizing Data
<b>AHY</b>	: Analitik Hiyerarşi Yöntemi
<b>KAFZ</b>	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
<b>SYM</b>	: Sayısal Yükseklik Modeli
<b>SAM</b>	: Sayısal Arazi Modeli
<b>DEM</b>	: Digital Elevation Model
<b>DTM</b>	: Digital Terrain Model
<b>UTM</b>	: Universal Transverse Mercator
<b>TIN</b>	: Triangulated Irregular Network
<b>HEC-RAS</b>	: Hydrologic Engineering Center- River Analysis System
<b>AGİ</b>	: Akım Gözlem İstasyonu
<b>MAFA</b>	: Maksimum Anlık Feyezan Akımları

## TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
<b>Tablo 1.1</b>	Çalışmada kullanılan uydu görüntülerine ait genel özellikler..... 7
<b>Tablo 3.1</b>	Havzanın akım verilerinin log, ortalama, $\sigma_{\log x}$ ve $C_{skew}$ değerleri . 24
<b>Tablo 3.2</b>	Havzanın AGİ verilerinin Log Pearson Tip III dağılımı ..... 25
<b>Tablo 4.1</b>	AHY değerlendirme ölçeği..... 29
<b>Tablo 5.1</b>	Sınıflandırma doğruluk analizleri..... 34
<b>Tablo 5.2</b>	Sınıflandırma sonuçlarına göre arazi kullanımı..... 35
<b>Tablo 5.3</b>	Akış yolları nehir geçkisi özellikleri..... 44
<b>Tablo 5.4</b>	Oluşturulan 430 enkesitten bazılarının özellikleri..... 45
<b>Tablo 5.5</b>	Manning sürtünme katsayıları..... 46
<b>Tablo 5.6</b>	HecRAS'ta bazı enkesitler arası Manning katsayıları..... 48
<b>Tablo 5.7</b>	Taşkında sular altında kalan alanlar..... 51
<b>Tablo 5.8</b>	Taşkın riskini oluşturan parametrelerin hiyerarşik yapısı..... 54
<b>Tablo 5.9</b>	MCDA yöntemine göre yüksek risk alanları..... 55

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Türkiye'deki akarsu havzaları .....	3
Şekil 1.2 : Havzalarda meydana gelen taşkın sayıları ve can kayıpları.....	3
Şekil 1.3 : Çalışma alanının konumu.....	5
Şekil 1.4 : Çalışmada kullanılan başlıca veriler ve yazılımlar .....	6
Şekil 1.5 : Çalışma alanında ölçülen yer kontrol noktalarından örnekler.....	9
Şekil 2.1 : (a) SYM, (b) SAM.....	13
Şekil 2.2 : Sakarya alt havzası eğim haritası.....	14
Şekil 2.3 : Sakarya alt havzası bakı haritası.....	16
Şekil 2.4 : Sakarya alt havzası jeoloji haritası.....	17
Şekil 2.5 : Sakarya Nehri'nin havzadaki yatak derinliği.....	18
Şekil 2.6 : Menderes yarıklarının yatak izleri olarak yorumu.....	18
Şekil 2.7 : Sakarya ili deprem haritası .....	21
Şekil 4.1 : Analitik hiyerarşi yöntemi yapısı.....	28
Şekil 4.2 : İkili karşılaştırmalar matrisi.....	29
Şekil 5.1 : (a) 1999 yılına ait geometrik düzeltmesi yapılmış görüntü.....	32
(b) 2006 yılına ait geometrik düzeltmesi yapılmış görüntü .....	32
Şekil 5.2 : 1999 yılı Sakarya alt havzasına ait sınıflandırılmış görüntü.....	33
Şekil 5.3 : 2006 yılı Sakarya alt havzasına ait sınıflandırılmış görüntü.....	34
Şekil 5.4 : Envi 4.3'te stereo görüntülerden oluşturulan SYM.....	36
Şekil 5.5 : Hidrolojik ve hidrolik model uygulaması akış grafiği .....	37
Şekil 5.6 : Sakarya Nehri alt havzası akış yönü.....	39
Şekil 5.7 : Sakarya Nehri alt havzası yüzeysel akış miktarı.....	39
Şekil 5.8 : Dereler ve alt havza vektör gösterimi .....	40
Şekil 5.9 : Sakarya alt havza sınırı .....	41
Şekil 5.10 : Sakarya havzasının nehir geçkisi.....	42
Şekil 5.11 : Sakarya alt havzasının ana su yolu üzerindeki kenar çizgileri.....	43
Şekil 5.12 : Enkesitlerin gösterimi .....	44
Şekil 5.13 : Sınıflandırma ve enkesitler arasındaki arazi kullanımı .....	46
Şekil 5.14 : HecRAS'ta oluşturulan geometrik model .....	47
Şekil 5.15 : Farklı tekrarlama sıklıklarına göre taşkın modelleri.....	49
Şekil 5.16 : 100 yıllık maksimum taşkın Spot üzerinde gösterimi .....	50
Şekil 5.17 : 100 yıllık maksimum taşkın TIN modeli üzerinde gösterimi.....	51
Şekil 5.18 : Sınıflandırılmış Spot görüntüsünde taşkın alanları.....	52
Şekil 5.19 : MCDA yöntemi akış şeması.....	53
Şekil 5.20 : Sakarya alt havzası taşkın risk haritası.....	55

## SEMBOL LİSTESİ

$\overline{\log x}$	: Yıllara ait akım verilerinin logaritmalarının ortalama değerleri
$K$	: Taşkın sıklık faktörü
$C_{skew}$	: Çarpıklık katsayısı
$T$	: Tekrarlama aralığı
$\sigma_{\log x}$	: Yıllara ait akım verilerinin logaritmalarının standart sapma değerini gösterir
$Z_T$	: Log Pearson Tip III dağılım fonksiyonu



# SAKARYA NEHRİ ALT HAVZASI'NIN TAŞKIN RİSKİ ANALİZİNİN UZAKTAN ALGILAMA VE CBS İLE BELİRLENMESİ

## ÖZ

Bu çalışmada, Sakarya il sınırlarını da içine alan Sakarya Nehri alt havzasındaki taşkın risk analizi, Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yöntemlerinden faydalanılarak gerçekleştirilmiştir. Risk analizi çalışmasında, Hidrolojik ve Hidrolik Model ile birlikte Çok Kriterli Karar Verme Analiz (MCDA) metodu kullanılmıştır.

1999 ve 2006 yıllarına ait Spot uydu görüntüleri kullanılarak havzanın arazi kullanımı ve değişimi belirlenmiştir. 18.09.2005 ve 24.10.2006 tarihlerinde alınan stereo Spot uydu görüntülerinden Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) elde edilmiş ve MCDA metodunda girdi olarak kullanılmıştır.

Topoğrafik haritalardan üretilen Sayısal Arazi Modeli (SAM), havzanın akış modeline girdi verisi olarak Hidrolojik ve Hidrolik Modelleme için kullanılmıştır. Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri verilerinin birlikte değerlendirilmesi ile havzanın 5, 10, 20 ve 100 yıllık dönüş aralıklı taşkın debileri hesaplanmış, kanalın geometrik modeli çıkartılmış ve elde edilen verilere göre hidrolik modelleme yapılarak taşkın risk haritaları oluşturulmuştur.

MCDA metodunda, havzaya ait fiziksel parametreler kullanılarak Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) uygulanmış ve Sakarya Nehri alt havzasında taşkın riski altında olan muhtemel alanlar belirlenmiştir.

Uygulanan iki yöntemin karşılaştırması yapıp sonuçlar değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sakarya havzası, Taşkın riski, Hidrolik ve Hidrolojik Modelleme, MCDA

# **EVALUATION OF FLOOD RISK ANALYSIS IN SAKARYA RIVER SUB BASIN BY USING REMOTE SENSING AND GIS**

## **ABSTRACT**

**In this study, the flood risk analysis of Sakarya River sub basin was evaluated by utilizing the methods of Remote Sensing (RS) and Geographical Information System (GIS). In the risk analysis study, together with the Hydrological and Hydraulic Model, Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) method was used.**

**The land use and change detection of the basin was evaluated by Spot satellite images belonging to years 1999 and 2006. The Digital Elevation Model (DEM) was acquired from stereo Spot satellite images taken at dates 18.09.2005 and 24.10.2006 and was used as an input for MCDA method.**

**The Digital Terrain Model (DTM) that was produced from topographical maps, was used as an input for Hydrological and Hydraulic Modeling. By the collaborative evaluation of remote sensing and geographical information system, the flood flows of basin having a return period of 5, 10, 20 and 100 years was calculated, the geometric model of channel was extracted and according to the attained data the flood risk maps were produced by Hydraulic Modeling.**

**In MCDA method, the analytical hierarchical process (AHP) was applied using the physical parameters belonging to the basin and the possible areas under flood risk in Sakarya River sub basin were evaluated.**

**The comparison of the applied two methods was made and results were evaluated.**

**Keywords: Sakarya basin, Flood risk, Hydrological and Hydraulic Modeling, MCDA**

## 1. GİRİŞ

İnsan toplulukları için başta can kayıpları olmak üzere ekonomik ve sosyal kayıplar oluşturan, genel hayatı ve insan aktivitelerini belirli bir süre kesintiye uğratarak yaşandığı bölgedeki geniş halk kitlelerini çok yönlü olarak etkileyen, doğal veya insan faaliyeti kaynaklı olaylar genel bir ifade ile afet olarak tanımlanmaktadır. Doğal afet olarak nitelendirilen doğa olayları, genelde doğanın iç dengelerini yeniden düzenlemesine yönelik döngünün doğal sonuçları olup, insan topluluklarının bu döngüden zarar görmesi durumunda doğal afet olarak adlandırılmaktadırlar (Kılıçer, 2000).

Dünya genelinde birçok ülke; bulunduğu coğrafya, iklim koşulları, jeoteknik ve topografik özelliklerine bağlı olarak zaman zaman çok önemli boyutlarda mal ve can kaybı ile sonuçlanan meteorolojik kaynaklı doğal afetlere maruz kalmaktadır. Seller, fırtınalar, çığ ve buzul hareketleri, kuraklık ve don olayları gibi bu tür meteorolojik kökenli doğa olaylarını gerekli teknolojik altyapı oluşturabildiği takdirde önceden tahmin edebilmek mümkün olabilmektedir. Bu nitelik, meteorolojik kaynaklı doğal afetlerin zararlarının azaltılması çalışmalarında, afet öncesi süreçteki çalışmaları önemli kılmaktadır.

Ülkemizde sel ve taşkın afetleri, depremlerden sonra en büyük can ve mal kayıplarına neden olan doğal afetlerdir. Taşkın afetlerini yalnızca meteorolojik oluşumlara bağlı olarak ifade etmek mümkün değildir. Özellikle Türkiye gibi ekonomik gelişme faaliyetinin yoğun bir biçimde devam ettiği şartlarda, sanayileşme ve sektör çeşitliliğinin beraberinde getirdiği kentleşme aktivitesi, akarsu havzalarının muhtelif kesimlerindeki insan faaliyetinin çeşitliliğini ve yoğunluğunu da büyük ölçüde arttırmaktadır. Bu durum ise havza bütünündeki hidrolojik dengeyi bozmakta ve sonuçta büyük miktarda can ve mal kaybına yol açan taşkın afetleri yaşanmaktadır.

Akarsu havzaları içinde büyüyen yerleşimler, açılan yeni yollar ve kurulan yeni tesisler ile arazi yapısı değişmekte, elverişsiz tarım yöntemleri ile topraklar daha yoğun bir şekilde kullanılmakta, ormanlar ve meralar tahrip edilmekte, tüm bu koşullarda taşkın afetleri giderek daha büyük ve sık olarak görülmektedir.

Uydu görüntüleri, geniş alanlarda ve sürekli algılama yapma özellikleriyle birçok doğal felakete karşı önceden planlamaların yapılmasında, risk bölgelerinin belirlenmesinde ve sonuçların izlenmesinde vazgeçilmez bir kaynaktır. Uzaktan algılama ile uydu görüntülerinden gerekli bilgiler çıkartılarak ve gerekli risk analizleri yapılarak, olabilecek doğal felaketler için önceden bir değerlendirme yapılabilir. Bunun sonucunda da gereken önlemler alınabilir. Bu açıdan uzaktan algılama elemanları kullanılarak risk analizinin yapılması önemli bir konu olarak yerini almaktadır.

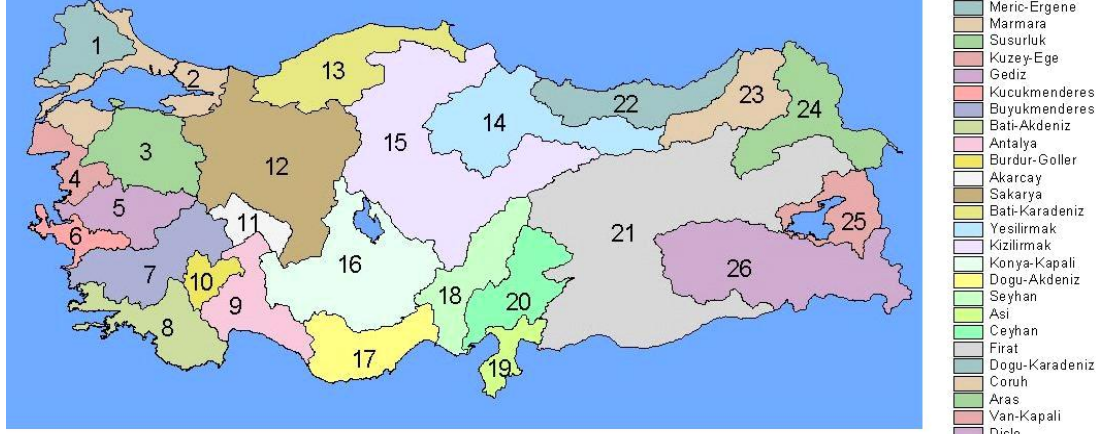
Bugün ülkemizde bu alanda çalışmalar yavaş yavaş artmaktadır. Bununla birlikte Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), yersel ve nitelik verilerinin birlikte konuma bağlı belirli coğrafi referans yüzeyine göre saklanmasında, güncelleştirilmesinde, katmanlar halinde birlikte analiz edilmesinde ve su kaynakları geliştirilmesinde geniş çalışma alanı yaratmıştır. Ayrıca; uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinin bütünleşik ve verimli kullanımı, su kaynaklarındaki birçok problemin çözümünde, afet öncesi risk analizlerinin yapılmasında ve afet sonrası hasar tespit çalışmalarının yapılması gibi önemli ve stratejik konularda mühendislere büyük ölçüde fayda sağlamıştır.

## **1.1 Amaç ve Kapsam**

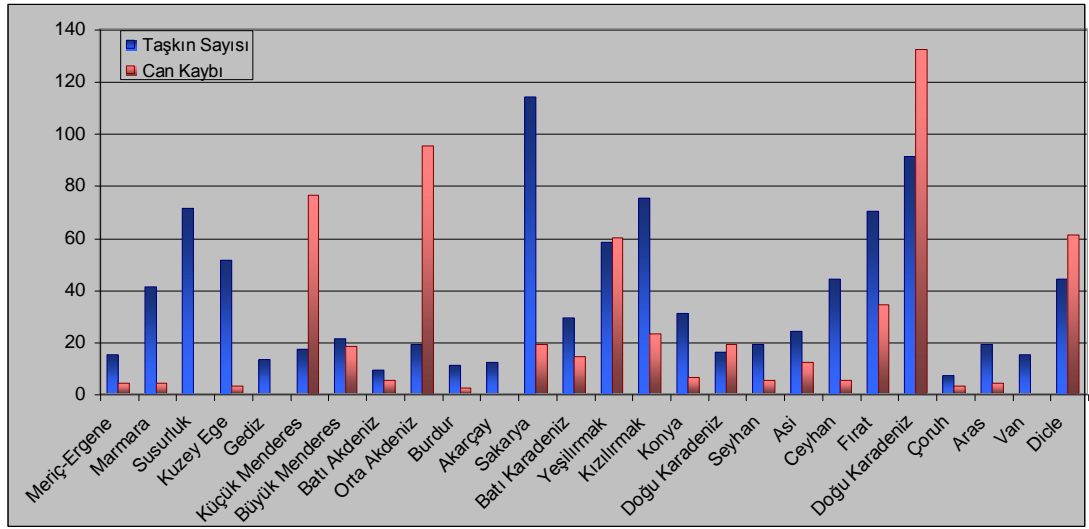
Hidrolojik açıdan 26 akarsu havzasına bölünmüş olan ülkemizde 1989-2005 döneminde toplam 197 taşkın oluşmuş bu taşkınlarda 370 can kaybı olmuş, 411318 ha tarım ve yerleşim alanı sular altında kalmış ve çok büyük maddi zarar meydana gelmiştir (Şekil 1.1).

Havza bazında değerlendirildiğinde ise, 1970-2005 yılları arasında toplam 936 taşkın olmuş, 17664393 ha tarımsal alan zarar görmüş ve 604 can kaybı olmuştur. Havza bazında en fazla taşkın Sakarya Havzasında yaşanmıştır (Şekil 1.2).

Havzada bu dönem içerisinde 114 adet taşkın meydana gelmiş, 8644 ha tarım alanı sular altında kalmış ve 19 kişi bu taşkınlarda hayatını kaybetmiştir.



**Şekil 1.1:** Türkiye’deki akarsu havzaları (DSİ, 2005)



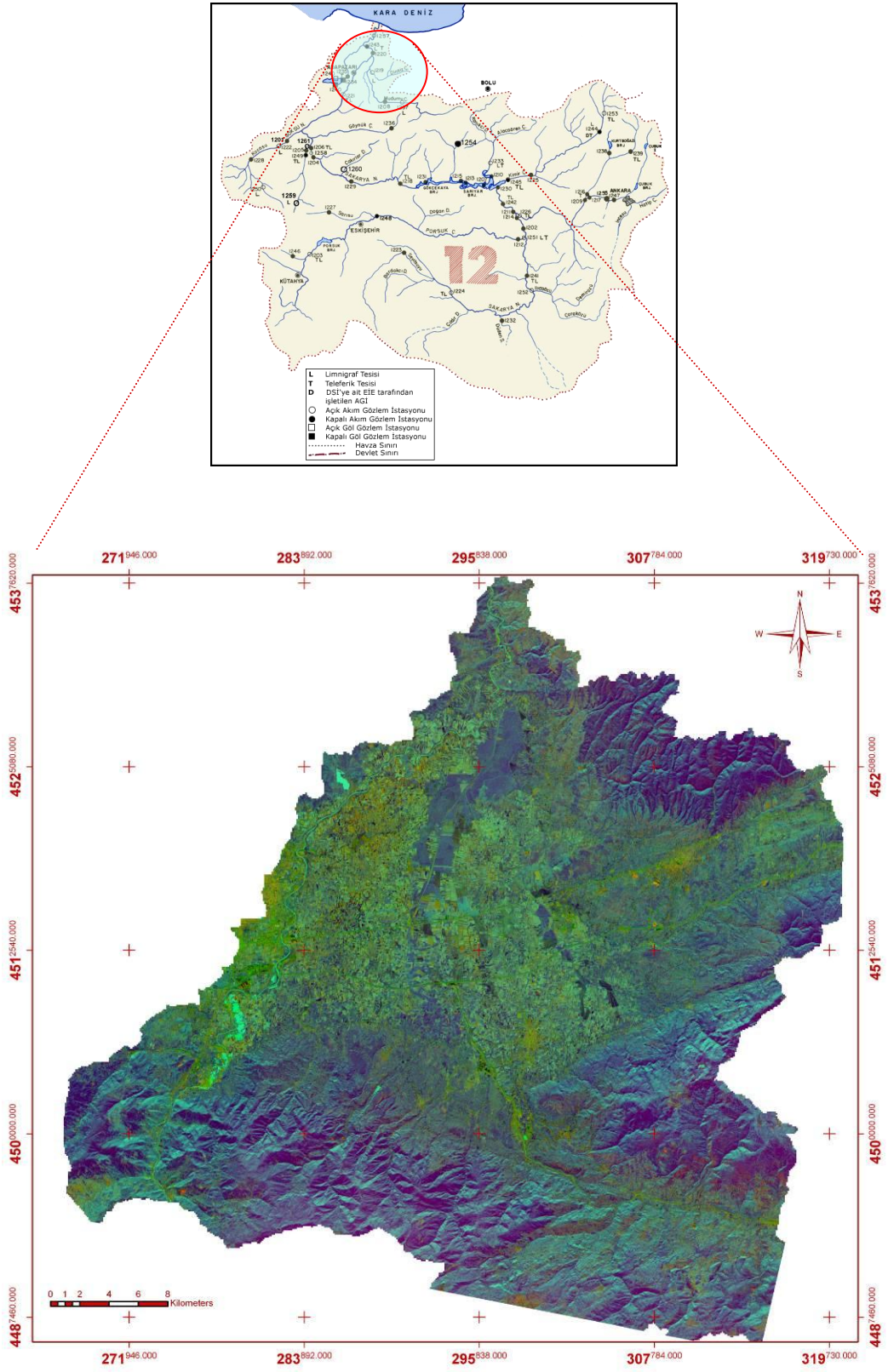
**Şekil 1.2:** Havzalarda meydana gelen taşkın sayıları ve can kayıpları

Bu çalışmada amaç, Sakarya alt havzası taşkın riski analizini uzaktan algılama ve CBS yöntemleriyle ortaya koymaktır. Çalışma alanında, taşkın suları altında kalma riski bulunan alanların belirlenmesi ve çevreye muhtemel etkilerinin analizi için Çok Kriterli Karar Verme Analizi (Multi-Criteria Decision Analysis - MCDA) yöntemi ve hidrolik modelleme yapılarak ayrı ayrı incelenmiştir. Kullanılan 2 yöntemde çıkan sonuçlar karşılaştırma yapılarak ortaya konulmuştur.

Sakarya Nehri, Eskişehir’in Çifteler ilçe merkezinin 3 km güneydoğusundan doğan ve daha sonra birçok küçük derelerle beslenen ülkemizin önemli akarsularındandır. Uzunluğu 510 km, genişliği 60-150 m arasındadır. Sakarya Nehri’nin tüm drenaj alanı 5.600.000 ha olup Türkiye’nin toplam alanının yaklaşık 1/13’üdür.

Sakarya Nehri havzası, yukarı, orta ve aşağı olarak üç kısımda incelenir. Alanın büyüklüğü nedeniyle bu çalışmada Sakarya alt havzası yani aşağı Sakarya Nehri pilot bölge olarak seçilmiştir. AŞağı Sakarya Nehri'nin drenaj alanı, Doğançay ölçüm istasyonu ile Karadeniz arasında kalan alanı içerir. Alan özellikle deprem riski taşıyan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde bulunan, depremden de çok etkilenen, yerleşim ve sanayi bölgelerinin yoğun olduğu ve verimli tarım arazilerini barındıran Adapazarı ilinin büyük bir bölümünü de kapsamaktadır. Sakarya alt havzasının konumu Şekil 1.3'te gösterilmiştir.

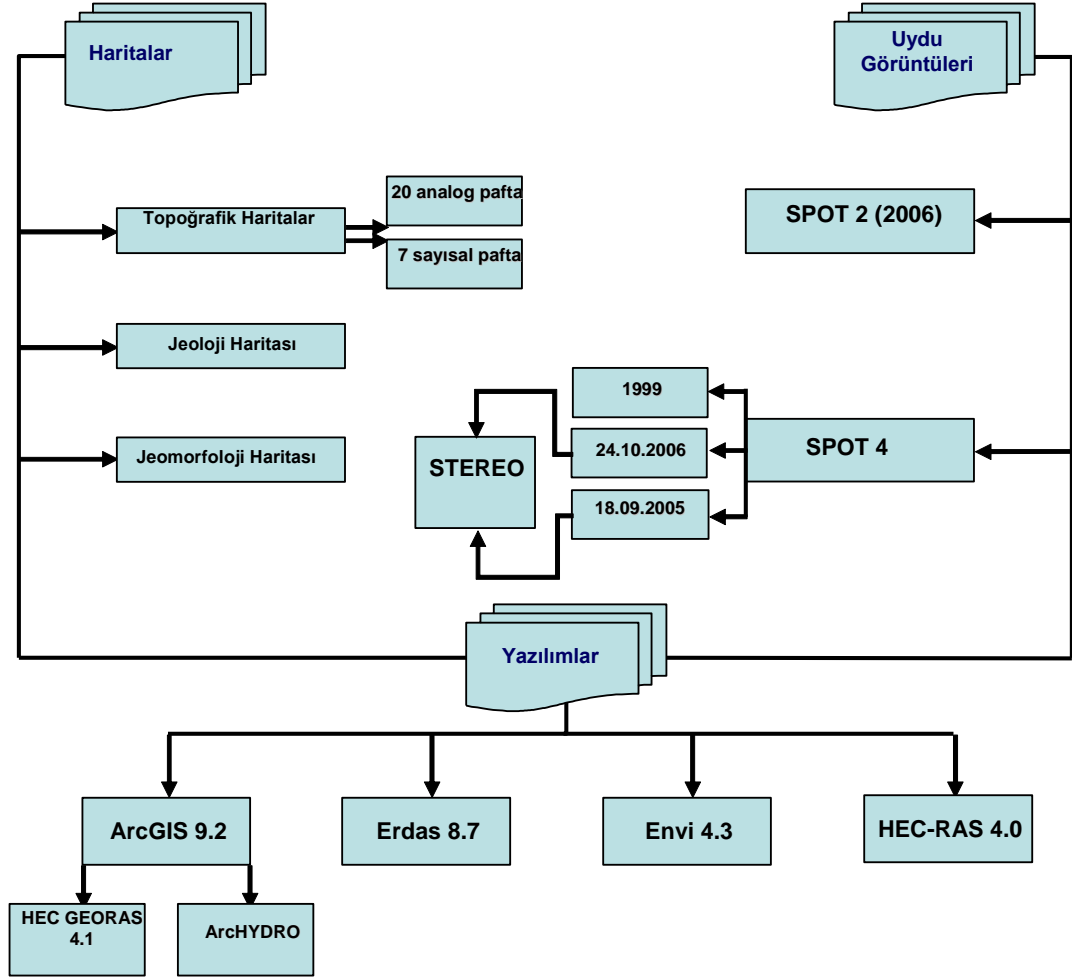
Sakarya Nehri alt havzasının taşkın risk analizi çalışmaları kapsamında, öncelikle havzanın fiziksel özellikleri üzerinde durulmuş, matematiksel modelleme verileri analiz edilmiş ve daha sonra çalıŐmanın amacına uygun olarak riski oluşturan parametreler ayrı ayrı irdelenmiŐtir.



Şekil 1.3: Çalışma alanının konumu

## 1.2 Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada kullanılan malzemeler ve çalışma esnasında oluşturulan başlıca veriler; kullanılan haritalar, uydu görüntüleri ve yazılımlar Şekil 1.4'te gösterilmiştir.



Şekil 1.4: Çalışmada kullanılan başlıca veriler ve yazılımlar

Analog ve sayısal veri olarak Harita Genel Komutanlığı tarafından üretilmiş olan 1:25.000 ölçekli 20 adet topoğrafik haritalar taranarak dijital ortama aktarılmış ve haritaların gerekli geometrik dönüşümleri yapılmıştır. Bu haritalar sayısal arazi modeli (SAM) üretimi için kullanılmıştır.



Bu haritalardan akarsu yatağı ve yakın çevresini kapsayan 7 adet harita daha ayrıntılı veri içermesi nedeniyle sonradan sayısal olarak alınmıştır. Gerekli olan bazı parametreler için de 1:100.000 ölçekli jeoloji ve jeomorfoloji haritaları temin edilmiştir.

Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri İstanbul Teknik Üniversitesi Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Merkezi tarafından temin edilmiş olup sayısal yükseklik modeli (SYM) oluşturulması, sınıflandırma ve zamansal değişim analizi için kullanılmıştır. Görüntüler çalışma alanının tamamını kapsamaktadır. Kullanılan uydu görüntülerine ait bazı bilgiler Tablo 1.1’de verilmiştir.

**Tablo 1.1:** Çalışmada kullanılan uydu görüntülerine ait genel özellikler

Algılayıcı Tipleri	Bant Dizayını	Dalga Boyu (µm)	Renk	Mekansal Çözünürlük (m)
<b>SPOT 1,2,3</b>				
HRV High Resolution Visible	Bant 1	0.50 - 0.73	Pankromatik	10
	Bant 2	0.50 - 0.59	Yeşil	20
	Bant 3	0.61 - 0.68	Kırmızı	
	Bant 3	0.78 - 0.89	Yakın Kızıl Ötesi	
<b>SPOT 4</b>				
HRVIR High Resolution Visible Infrared	Bant 1	0.61 - 0.68	Pankromatik	10
	Bant 2	0.50 - 0.59	Yeşil	20
	Bant 3	0.61 - 0.68	Kırmızı	
	Bant 4	0.78 - 0.89	Yakın Kızıl Ötesi	
	Bant 4	1.58 - 1.75	Kısa Dalga Kızıl Ötesi	
<b>SPOT 5</b>				
HRG High Resolution Geometric	Bant 2	0.48 - 0.71	Pankromatik	5 (2,5)
	Bant 3	0.50 - 0.59	Yeşil	10
	Bant 4	0.61 - 0.68	Kırmızı	
	Bant 5	0.78 - 0.89	Yakın Kızıl Ötesi	
	Bant 5	1.58 - 1.75	Kısa Dalga Kızıl Ötesi	20

Çalışmada coğrafi bilgi sistemleri yazılımı olarak ArcGIS 9.2 ve taşkın modelinin oluşturulması için gerekli olan alt analiz modülleri olarak HecGeoRAS 4.1 ve ArcHydro alt programları kullanılmıştır. Hidrolik modelleme için kullanılan HEC-RAS 3.1.3 (Hydrologic Engineering Center- River Analysis System) yazılımı, gerekli analizlerin ve sonuçların çıkarılması için ArcGIS 9.2 yazılımı ile bütünleşik olarak kullanılmıştır.

Uydu görüntülerinin geometrik dönüşümleri, zenginleştirilmesi, sınıflandırılması ve zamansal değişim analizleri için Erdas 8.7 ve stereo uydu görüntülerinden sayısal yükseklik modeli (SYM) oluşturmak için de Envi 4.3 görüntü işleme programları kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan diğer veri ise; Doğançay akım gözlem istasyonundan (AGİ) elde edilen 1953-1980 yılları arasındaki akım verileridir. Doğançay AGİ' de gözlenen Maksimum Anlık Feyezan (taşkın) Akımları (MAFA) kullanılarak gelmesi muhtemel 5, 10, 20 ve 100 yıllık taşkınlar Log Pearson Tip III olasılık dağılım fonksiyonuna göre hesaplanmıştır.

Çalışmada 1:25.000 ölçekli; G 24 B1-B2-B3-B4, G 24 C1-C2-C3-C4, G 25 A1-A2-A3-A4, G 25 B1-B4, G 25 C1-C4 ve G 25 D1-D2-D3-D4 paftaları kullanılmıştır. Bu haritalar UTM (Universal Transverse Mercator) projeksiyonu, WGS 84 datumu ve 36. zon kullanılarak koordinat dönüşümleri yapılmış ve birleştirilmiştir. Sayısal ortamda birleştirilmiş 20 adet paftanın 50 m aralıklarla eş yükseklik eğrileri sayısallaştırılmış ve sayısal arazi modeli oluşturulmuştur. Su kaynakları uygulamalarında sayısal yükseklik modeli seçimini iki önemli faktör etkiler. Bu faktörler sayısal yükseklik modelinin kalitesi ve çözünürlüğüdür.

Sayısal yükseklik modelinin doğruluğu yükseklik verisinin kalitesini ifade eder. Çözünürlüğü ise hassasiyetini tanımlar. Sayısal yükseklik modelinin çözünürlüğü ve kalitesi oluşturulacak modelin fiziksel özelliğine ve amaca uygun olmalıdır. Özellikle yüzeysel drenaj ağının düşük eğimli arazi yapısında eğim ve eğriliğe göre belirlenmesi zordur. Sayısal yükseklik modelinin yatay çözünürlüğü arazi eğiminin hesabında önemli rol oynar (Djokic, 2000). Bu nedenle, hidrolik modellemede kullanılacak olan sayısal arazi modeli, sayısal olarak temin edilen akarsu yatağı ve yakın çevresini kapsayan 7 adet harita; G 24 B3-B4, G 24 C1-C2, G 25 A2-A3-A4 ve G 25 B1 paftalarıdır.

Uydu görüntülerinin geometrik dönüşümü ve sınıflandırma için örnek alanların belirlenmesi için arazi çalışması yapılmış, görüntüler amaca yönelik olarak kullanılması için hazır hale getirilmiştir. 1999 ve 2006 yıllarına ait Spot 2 uydu görüntüleri havza genelindeki arazi kullanım özelliklerinin çıkartılması ve zamansal değişimlerin analizi için kullanılmıştır. 18.09.2005 ve 24.10.2005 tarihlerinde çekilen Spot 4 stereo uydu görüntülerinden eş zamanlı arazi çalışması yapılarak gerekli yer

kontrol noktaları ölçülmüş ve sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur (Şekil 1.5). Oluşturulan sayısal yükseklik modeli çok kriterli karar verme analizi (MCDA) yönteminde kullanılan en önemli veridir.



Şekil 1.5: Çalışma alanında ölçülen yer kontrol noktalarından örnekler

Eldeki verilerin düzenlenmesinin tamamlanması, sayısal ortama aktarılması ve uydu görüntülerinin işlenmesinden sonra taşkın risk analizlerinde kullanılacak olan temel analizler ve değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışma alanının genel fiziksel özellikleri üzerinde durulmuş ve risk faktörünü oluşturan parametreler ayrı ayrı incelenmiştir.

Uygulama kısmında havzanın fiziksel parametreleri belirlenmiş, öngörülen modeller, analizler ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Daha sonra tüm bu veriler kullanılarak risk haritaları oluşturulmuş ve Sakarya Nehri alt havzasında taşkın riski altında olabilecek muhtemel alanlar ve bu alanlardaki arazi kullanım durumları belirlenmiştir.

### 1.3 Literatür Taraması

Adapazarı ovası ve çevresi, jeomorfolojisi ve doğal çevre değişimleri açısından oldukça ilginç bir alan olması nedeniyle bu bölgede değişik alanlarda birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda doğal afetler açısından, bölgenin KAFZ üzerinde bulunmasından dolayı genelde deprem konusuna değinilmiş, ayrıca; bölgenin tektonik özellikleri nedeniyle geçmiş dönemlerden bu yana Sakarya Nehri'nin değişim göstermesi jeofiziksel, jeolojik, biyolojik ve çevresel çalışmaları önemli kılmıştır. Buna karşın; deprem dışında, doğal risk kapsamında yapılmış detaylı bir çalışma bulunmamaktadır.

Sakarya Havzası'na temel olan kayaçlar üzerine yapılan çalışmalar Baykal (1943), Akartuna (1968), Kipman (1974), Saner vd (1981), Şengör ve Yılmaz (1981), Kaya (1982), Göncüoğlu vd (1986), Aydın vd (1987), Erendil vd (1988), Okay (1989), Önder ve Göncüoğlu (1989), Göncüoğlu ve Erendil (1990), Okay vd (1995) ve Yılmaz vd (1995) tarafından yapılmıştır.

Doğrudan havzayı ve oluşumunu konu eden araştırmalar ise Risch (1909), Philippson (1917), Penck (1918), Nowack (1925), Salomon Calvi (1936), Baykal (1943), Pamir (1944), Pfannenstiel (1944), Lahn (1948, 1949), İnandık (1953), Ketin (1966), Bilgin (1967, 1984) ve Akartuna (1968) dır. Bu guruptaki çalışmalar çok önceden başlamış, ancak hemen hepsi, havzayı, "tektonik depresyon" olarak tanımlamıştır.

Havzanın evrimine ilişkin yorumlar da mevcuttur. Bunlar; Ardel ve İnandık (1957), Ardel (1958), Meriç (1995) ve Uludağ (1998)'de verilmektedir.

Bu konulardan farklı ve daha güncel çalışmalar ve sonuçları da araştırılmıştır.

Uludağ (2003), Sakarya Nehri'nin Karadeniz'e ulaşmadan önce, Adapazarı havzasına boşaldığını, Geyve boğazı ağız kısmında fan delta karakterinde bir kıyı deltası oluşturabilecek kadar uzun bir süre bu havzaya aktığı ve Adapazarı Ovası'nda meydana gelen çökmelere bağlı olarak Sakarya Nehri'nin oluşturduğu bu fan deltayı dönemler halinde yarararak yatağını derinleştirdiği sonucuna varmıştır.

Sakarya Valiliği (2004), hazırlanan ED raporunda sahadaki taşkınlar, nedenleri ve bölgeyle ilgili geniş kapsamlı bilgiler ve yapılan çalışmalar hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir.

Doğan (2004), Sakarya havzasının güneyinde, Arifiye ile Geyve Boğazı arasında kalan bölgede havzanın Holosen dolgulanma süreçleri ve tektonizmanın akarsu süreçleri üzerindeki etkisi açıklamaya çalışmış ve depolanma merkezinin Holosen'de yer değiştirmesine göre havzanın açılma mekanizmasına bir yaklaşımda bulunmuştur.

Işık (2005), yaptığı çalışmada, Orta Sakarya Havzasında Gökçekaya barajının yapılmasından sonra Aşağı Sakarya Nehrinde meydana gelen değişimleri araştırmış ve taşkın pik debilerinin ve katı madde taşınım miktarının düşerken, nehir rejiminin düzenlendiği sonucuna varmıştır.

Karavul (2006), yapmış olduğu çalışmada, coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanarak Adapazarı kent merkezinde Standart Penetrasyon Testi (SPT) haritaları oluşturmuş, sonuç olarak kent merkezinin zayıf bir zemin yapısına sahip olduğunu ve bununla beraber kent merkezinin doğusundan geçen Sakarya Nehri'ne yakın olan kesimlerin diğer alanlara göre daha iyi zemin özelliklerine sahip olduğu yorumunu yapmıştır.

Bol (2006), bu çalışmada, Adapazarı'nın CBS ile hazırlanan zemin haritalarının yorumlanması ile kent merkezinde geçmişte hüküm süren iki adet nehir kolunun varlığı ve etrafında gelişen yarık yayılması, burun seti deposu ve bataklık okelleri gibi alt fasiyeslerinin varlığı saptanmıştır.

Gmrukoğlu (2007), bu çalışmada, CBS kullanılarak Sakarya Nehri'nde sanayi kaynaklı kirlilik değerinin hesaplanabilmesi ve harita üzerinde sorgulanabilmesi için çalışmalar yapılmıştır.

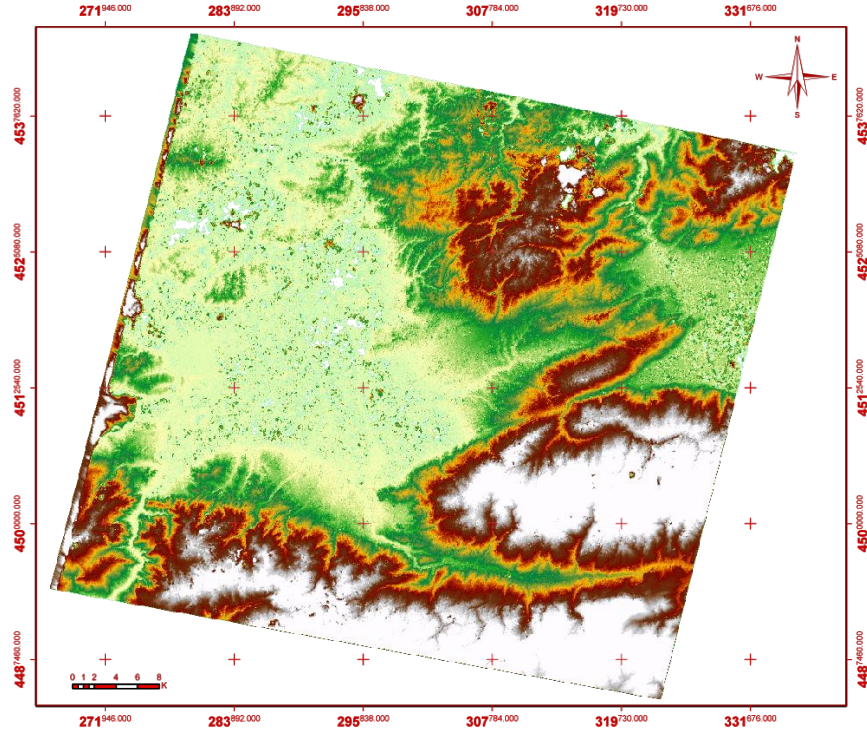
Tarı (2007), yapılan çalışmada İzmit Körfezi ve çevresinin morfotektoniği incelenmiştir.

## 2. ÇALIŞMA ALANININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

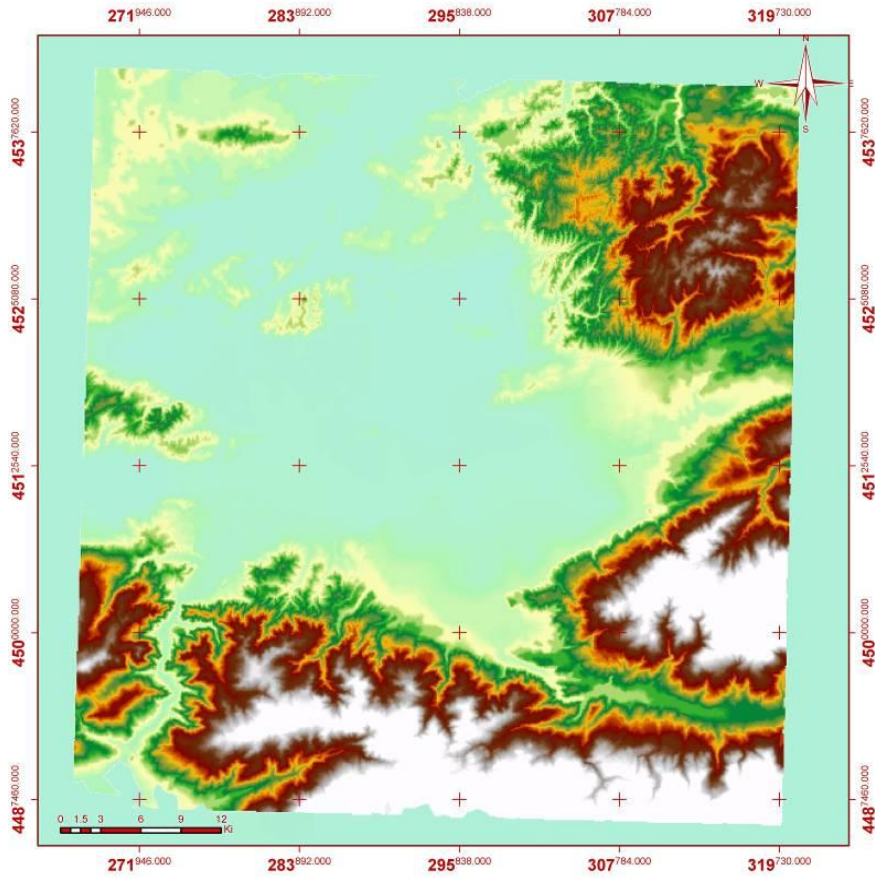
### 2.1 Topografik ve Jeomorfolojik Özellikler

Alt Sakarya havzası, Doğu Marmara bölgesinde, Sakarya ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Havzanın kuzeybatısını 100-250 m kotlarındaki Kocaeli platosu, kuzeydoğusunu ise 500-900 m kotlarında sarp ve dik yamaçlı Çamdağ yükselimi sınırlar. Doğu ve batısı alçak rölyeflidir. Batıda Sapanca oluşu bulunur ve havza ile aynı kottadır. Doğuda havzayı Düzce ovasından ayıran 100-200 m kotlarında 3 sıra şeklinde doğu-batı doğrultusunda uzanmış dağ sıraları vardır. Havzanın güneyi ise 1000 m den daha fazla yükseltilere sahip Samanlı ile Keremali - Almacık dağlarıyla sınırlıdır. Sakarya Nehri ile Mudurnu Çayı bu yükselimleri keserek havzaya girerler. Havza güneyden kuzeye yaklaşık ‰ 0.78'lik bir eğime sahiptir. Sakarya Havzası tamamıyla akarsu sedimentleriyle doldurulmuş olup günümüzde büyük bir kısmı tarım alanıdır.

Çalışma alanının topografik özelliklerinin daha iyi anlaşılması ve yapılan çalışmalar için en önemli altlığı oluşturan topografik modelleri hem stereo uydu görüntülerinden elde edilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) hem de 1:25.000 ölçekli topografik haritalardan üretilen Sayısal Arazi Modeli (SAM)'nden olmak üzere 2 ayrı veriden elde edilmiştir (Şekil 2.1). Bu modeller, uygulamada kullanılan 2 farklı yöntem için ayrı ayrı altlık oluşturmaktadır.



(a)



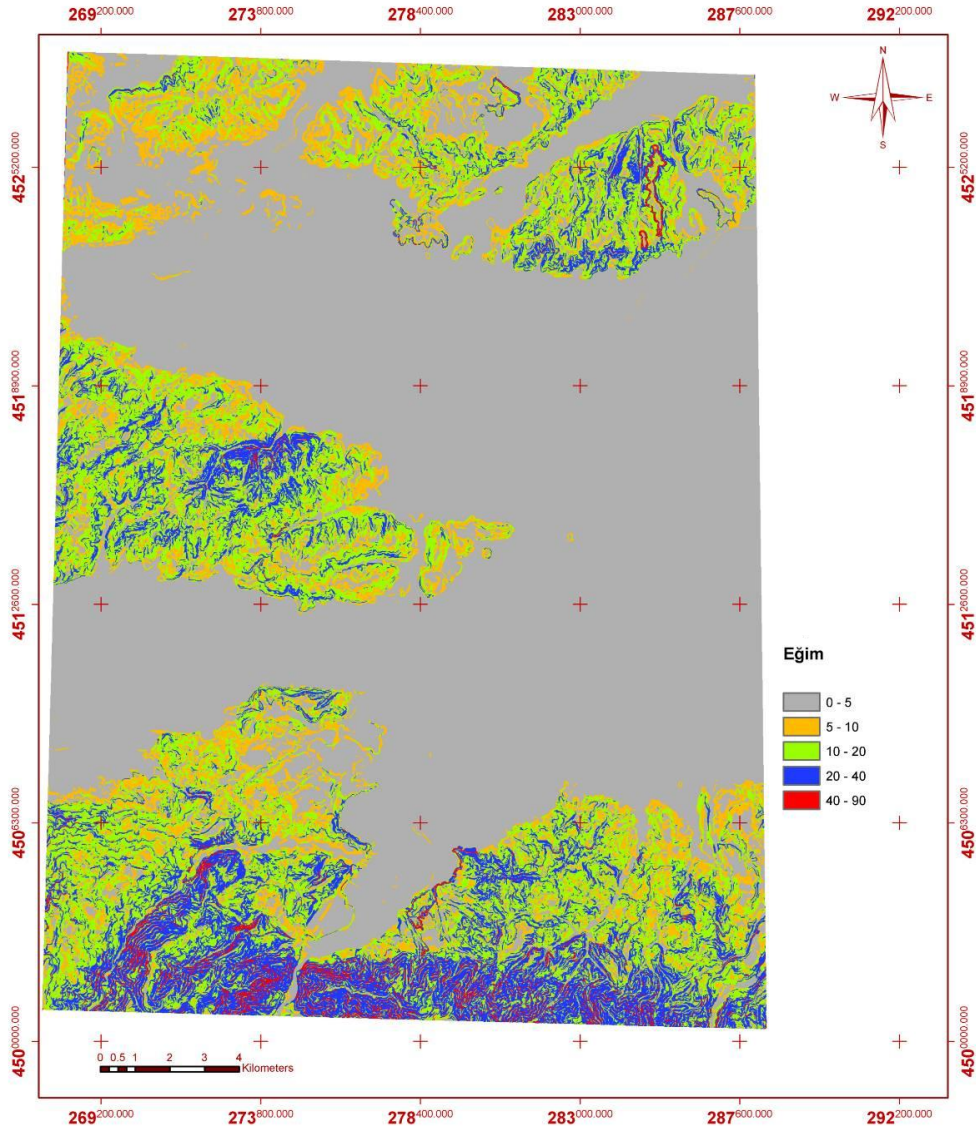
(b)

Şekil 2.1: (a) SYM, (b) SAM

### 2.1.1 Eğim özellikleri

Taşkın oluşmasında çok önemli bir etkiye sahip olan eğim faktörü, havzanın jeomorfolojik özellikleri içinde yer alır. Bütün koşullar aynı olduğunu varsaydığımızda, eğimin fazla olduğu yerlerde, toprağın su tutma kabiliyetinin az olması nedeniyle, yağışla gelen suların toprağa sızması eğimin az olduğu alanlara oranla daha azdır. Bunun sonucunda akışa geçen su miktarı eğimin fazla olduğu alanlarda daha fazla olur. Bu alanlarda bitki örtüsünün de çok büyük önemi vardır. Bitki örtüsünün az olduğu yerlerde akarsuyun taşıdığı sediment miktarı daha fazladır.

Havzadaki risk analizi için kullanılan çok kriterli karar verme analizi yönteminde, arazi üzerindeki yükseklikleri vermesi nedeniyle SAM'den oluşturulan eğim haritası kullanılmıştır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Sakarya alt havzası eğim haritası

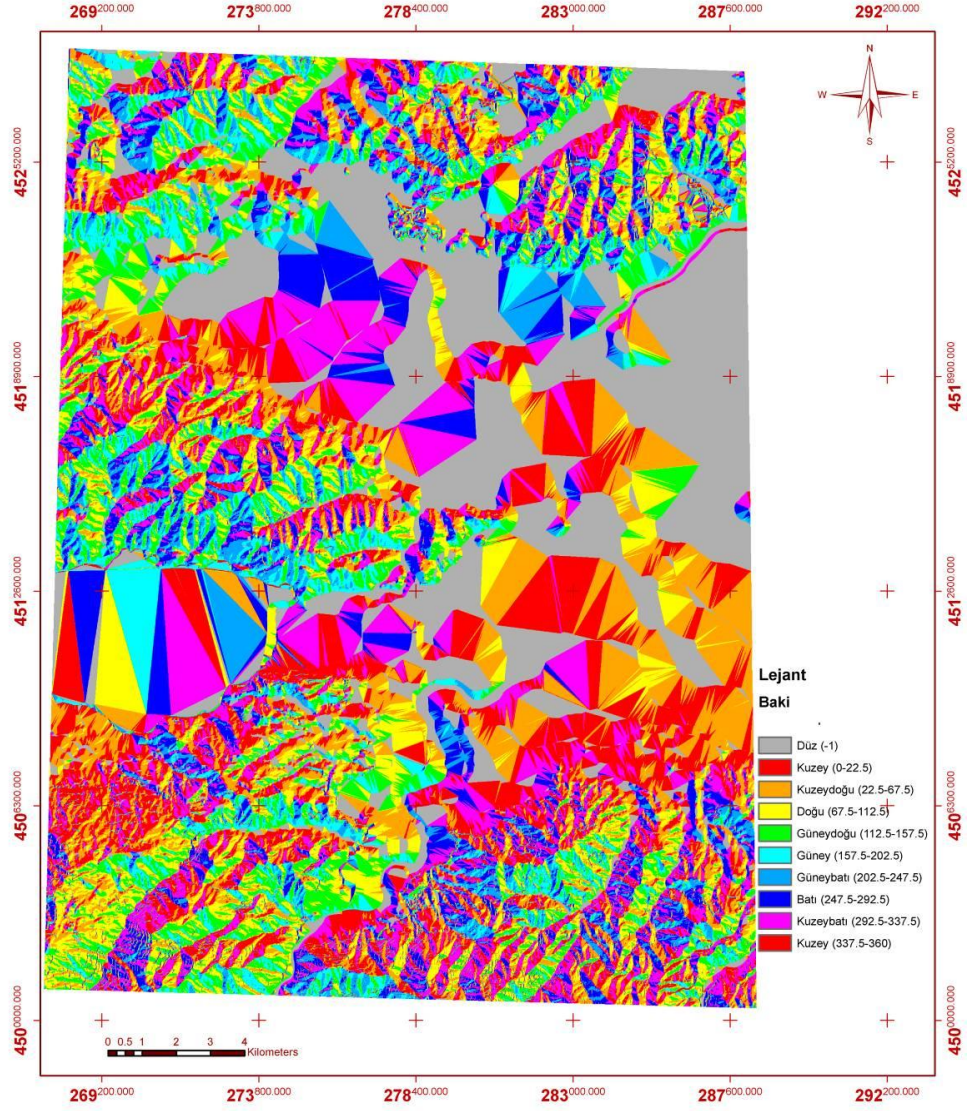


### 2.1.2 Bakı özellikleri

Türkiye konumu itibariyle kuzey yarımküredeki bakı özelliklerini taşır. Topografyanın genel olarak kuzeye bakan yamaçları, güneye bakan yamaçlara oranla güneşten kaynaklı radyasyona daha az maruz kalır. Bununla beraber, doğuya bakan yamaçlar sabahları daha fazla, batıya bakan yamaçlar ise akşamları daha fazla güneşten alırlar.

Bakı, topografyanın kuzey ve güney yamaçlarındaki jeomorfolojisi üzerinde farklılık gösterir. Güneye bakan yamaçlarda, bitkinin su tüketimi ve buharlaşma ile birlikte toplam su kaybı dediğimiz evapotranspirasyon oranı fazlalaşır, yani bu alanlardaki bitkilerde ani bir su ihtiyacı doğar. Bu nedenle bitki örtüsü bu kesimlerde daha seyrek olup, kuraklığa dayanıklı türlerden oluşur. Kuzeye bakan yamaçlarda ise topraktaki nem, yağıştan sonra uzun bir süre muhafaza edilir. Bu alanlardaki bitki örtüsü ise hem daha fazla gelişir hem de toprak oluşumunu sağlar ve yüzeysel akışı azaltıcı etki oluşturur (Özdemir, 2007).

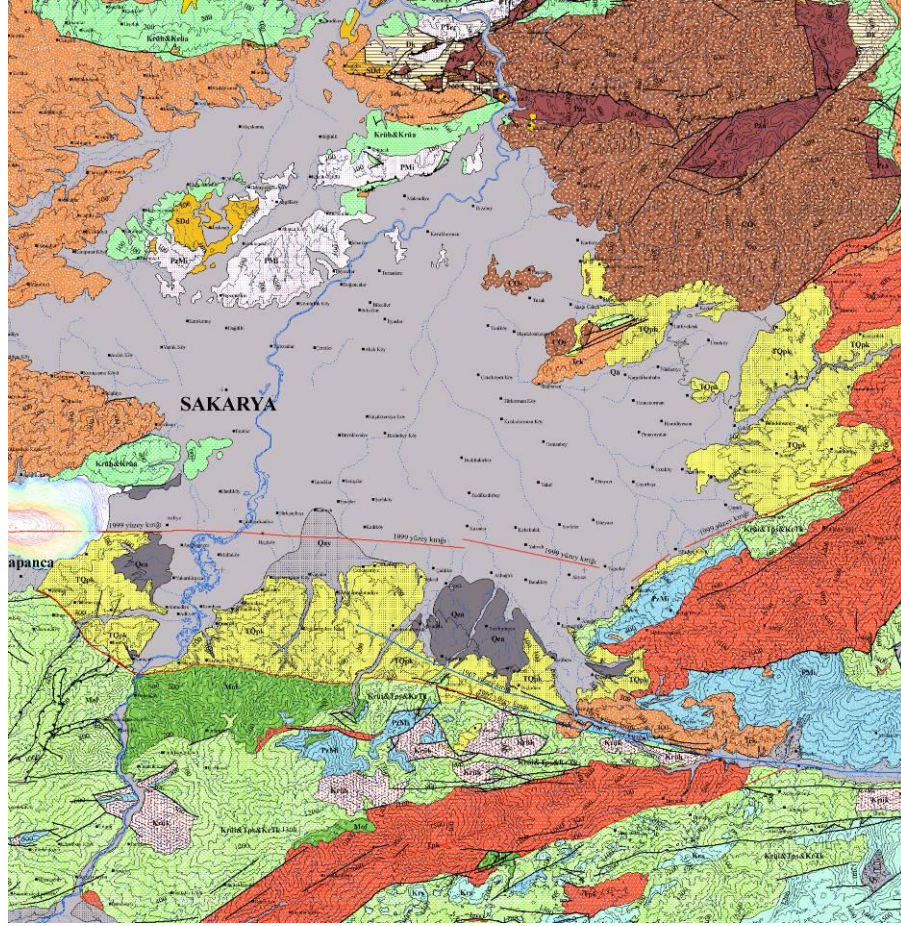
Yapılan çalışmada, havzanın sayısal arazi modelinden 8 farklı yön ve düz alanlardan oluşan bakı haritası üretilmiştir (Şekil 2.3). Çok kriterli karar verme analizi uygulamasında bakı haritası, Sakarya Nehri ve yakın çevresindeki yönler yorumlanarak ve bu yönlere ağırlıklar verilerek risk analizinde parametre olarak kullanılmıştır.



Şekil 2.3: Sakarya alt havzası baki haritası

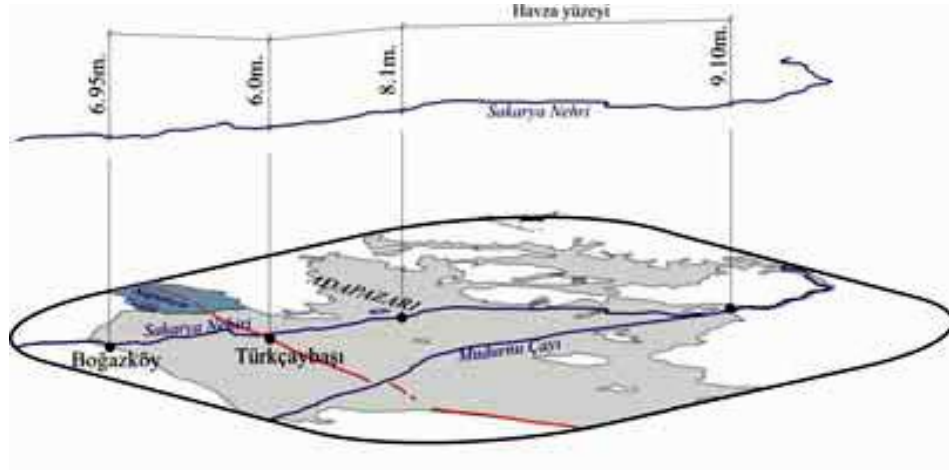
## 2.2 Jeolojik Özellikler

Jeolojik özellikler ve litolojik içerik, taşkınların oluşmasında dolaylı bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, havza için yapılan taşkın risk analizinde jeolojik özellikler bir katman olarak değerlendirilmiş ve uygulama kısmında yapılan risk analizinde kullanılmak üzere jeolojik haritadan faydalanılmıştır (Şekil 2.4). Yapılan çalışmada değerlendirilen bu jeolojik özellikler çalışmaya katkısı oranında, nehir yatağı odaklı ele alınmıştır.



**Şekil 2.4:** Sakarya alt havzası jeoloji haritası (Tarı, 2007)

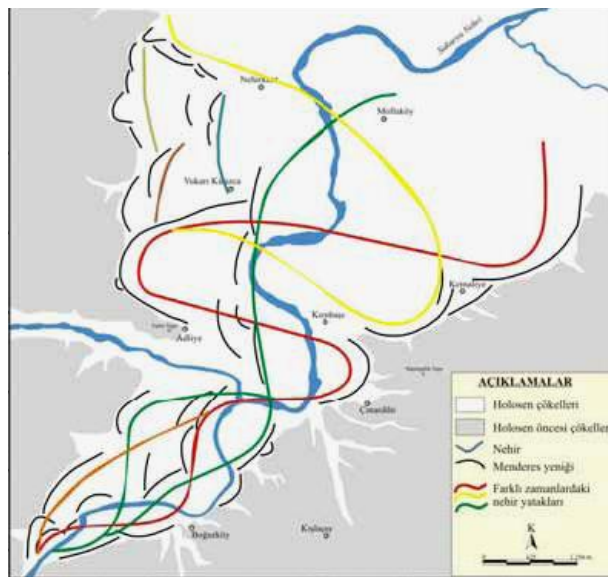
Sakarya Nehri, derinliği 6 ile 9 m arasında güncel yatak içerisinde havzayı güneyden kuzeye kat eder (Şekil 2.5). Boğazköy civarında 6.95 m, Türkçaybaşı köyü yakınında 6.0 m, Sakarya ili hizasında 8.1 m ve havza çıkışında 9.10 m güncel yatak derinliğine sahiptir. Kış aylarında ve aşırı yağışın olduğu dönemlerde kendi yatağını doldurarak havzaya taşmaktadır. Halen 1-1.5 m arasında değişen doğal kanal setine sahiptir. Bu seti aşan kum-silt ve kil karışımından oluşan taşkın malzemesi havza içerisine yayılmakta ve sellenmenin akış enerjisini kaybettiği yerde, önce iri boylular olmak üzere depolanmaktadır.



**Şekil 2.5:** Sakarya Nehri'nin havzadaki yatak derinliği (Doğan, 2004)

Yaklaşık 62.000 ha'lık bir alan kaplayan havzanın % 65'e yakın kısmı taşkın düzlüğü niteliğindedir. Düzlüğün güneydeki havza kenarı ile geçişi eğim kırksız veya derecelidir. Kuzeyde ise bu geçiş keskin ve eğim kırıklığı fazladır, sınır nettir. Keskin olan bu sınır havza kotunun en düşük yerlerini teşkil eder ve bu kısımlarda havza kenar sularının birikmesini sağlar.

Havzanın çok büyük bir bölümü taşkın düzlüğü olarak görünmesine karşılık, güncel ve/veya yakın zaman taşkınları, Sakarya Nehri boyunca oluşmaktadır. Güncel nehir kanalından çok uzak yerlerin bile taşkın düzlüğü niteliğinde oluşu, ana nehir kanalının havza içinde yer değiştirdiğini gösterir (Bridge, 2003). Bununla ilgili yapılan bir çalışmada Sakarya Nehri'nin geçmiş yıllardan günümüze olan yatak değişimleri yorumu Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



**Şekil 2.6:** Menderes yeniklerinin eski yatak izleri olarak yorumu (Doğan, 2004)

Güncel taşkın düzlüğü kuzeye doğru % 0.78'lik bir eğime sahiptir. Arifiye Fayı'nın güneyinde ise hakim eğim yönü doğuya doğrudur. Buradaki güncel taşkınların Arifiye ilçesine kadar olan kısmı, Sakarya Nehri'nin doğusunda meydana gelmektedir. Değirmendere Yelpazesi civarında ise hemen hemen bütün taşkınlar Arifiye ilçesine doğru, batıyadır. Sakarya Nehri'nden Arifiye'ye doğru gelişmiş çok sayıdaki taşkın kanalı da bunu ifade etmektedir (Doğan, 2004).

Taşkın kanalları, taşkın düzlüğü üzerinde ters bir drenaj ağı şeklinde nehirde taşkın düzlüğüne doğru malzeme taşırlar. Kanalin doğal settini sığ ve tek bir yarıntı ile geçen sistem taşkın düzlüğü üzerinde kollara ayrılır. Kollara ayrıldığı yerler kanal derinliğinin azaldığı yerlerdir. Kanal derinliğinin kaybolduğu yerde taşıdığı killi, siltli ve kumlu malzemeyi kabadan inceye doğru, kanal doğal settinden havza kenarına kadar bırakmaya başlar. Taşkın malzemesinin bir kısmı ve taşkın sonrası suyun nehir yatağı içerisine dönüşü bu kanallar vasıtası ile gerçekleşmektedir. Nehir yatağına geri dönen taşkın suyu, kanal doğal setti üzerinde taşkın sırasında sığ bir şekilde açılan yarıntıyı derinleştirir. Yarıntılar genellikle Nehrin menderes büklümlerinde akış dinamiğinin dönmeye zorlandığı yerde gelişirler.

Havza genelinde meydana gelmiş geçmiş yıllara ait taşkınlar ve zararları şu şekildedir (Sakarya, 2004):

1966 yılında Hendek İlçesinde 62 adet ev yıkılmış köylünün zararı devlet tarafından karşılanmıştır.

21.06.1972 tarihinde anormal yağmurların meydana getirdiği selden bazı ilçe ve köylerde evler yıkılmıştır. Tüm ekili araziye, mahalle ve köyleri sel suları basmış, can kaybı olmamıştır. Adapazarı merkez köylerinde 28 ağır, 40 orta hasarlı ev tespit edilmiştir. Ağır hasarlı evlerin yerine yenilerinin yapılması için İmar ve İskan Bakanlığınca çalışmalar yapılmıştır. Bundan başka Geyve İlçe merkezinde 46 hanelik bir mahallenin yerinin değiştirilmesine karar verilmiştir. Yeni yerleşim yeri seçilmiş olup 20.000 m<sup>2</sup>'lik bir sahanın istimlak işlemi yapılmıştır. Bütün bunlardan başka devlet karayollarında ve demir yollarında da hasarlar meydana gelmiş bunlar mümkün olan en kısa sürede giderilmiştir.

Akyazı-Karapürçek ve köylerinde 3-4.06.2000 tarihinde meydana gelen taşkın sonucunda 7.000 dekar tarım arazisi sular altında kalmıştır.

22-23-24.09.2000 tarihinde aşırı yağış sonucu Merkez İlçe, Akçay Deresinde meydana gelen taşkında dere yatağında şevler ve oyulmalar meydana gelmiştir.

### **2.3 Tektonik Özellikler**

Havza alanı, güneyden kuzeye doğru uzanarak Kocaeli penneleğini yani, yarı ovalarının doğusunda Karadeniz'e açılır. Üçüncü zamanın sonları ile dördüncü zamanın başlarında oluşmuştur. Bu jeolojik zamanda ortaya çıkan kıvrılma ve kırılma hareketleri nedeniyle Trakya'nın güneye, Kocaeli Yarımadası'nın kuzeye doğru farklı yönlerde çarpılmasına neden olmuştur. Çarpılmanın etkisi havza alanında daha güçlü olmuş ve havza alanı Karadeniz'e doğru eğim kazanmıştır. Sakarya Nehri'nin İç Batı Anadolu platolarından taşıdığı maddeler havza alanında yığılarak alüvyal ve kalüvyal ovalar oluşmuştur.

Bölgede morfolojik unsurlar KAFZ doğrultusuna bağlı olarak doğu-batı yönde uzanmaktadır. KAFZ üzerinde, Kuvaterner yaşlı çökeller tarafından doldurulmuş Sakarya Havzası gibi çek-ayır (pull-apart) niteliğinde gelişmiş havzalar ve tektonik oluklar yer alır (Letis vd 2000; Emre ve Awata 2003).

Çalışma bölgesi, Sakarya il merkezini de kapsamaktadır. Şehir, tamamen nehir çökelleri üzerindedir. İzmit körfezinden itibaren Adapazarı'na ve buradan da Hendek'e kadar uzanan bir çöküntü sahası içinde bulunmaktadır. Tektonik açıdan Sakarya ili, 1. Derecede tehlikeli deprem bölgesindedir (Şekil 2.7). Zeminin genç nehir çökellerinden ibaret ve yeraltı suyunun da yüksekte bulunması nedeniyle deprem şiddetini arttırıcı rol oynayacağı bilinmelidir. Tarihi depremlerden de etkilenmiş bulunan Adapazarı, son yıllarda şiddetli depremler geçirmiştir (Sakarya ÇED Raporu, 2004).



Şekil 2.7: Sakarya ili deprem haritası (Sakarya, 2004)

Yaşanan bu depremlerin sonuçları şu şekildedir:

**a) 20.06.1943  $M_{şiddet}= 6,3$  ;  $I = 8-9$**

Adapazarı-Hendek: Bu depremde, Adapazarı'nın kuzey mahalleleri ve kuzeyde bulunan köyler, güneydeki mahallelere ve köylere nazaran daha fazla hasar görmüştür. 1000 bina yıkılmış, 318 kişi ölmüştür. Hendek'te binaların %25'i tamamen yıkılmıştır. Adapazarı'nda ise % 20'si tamamen yıkılmıştır.

**b) 22.07.1967  $M_{şiddet}= 7,2$**

Adapazarı-Mudurnu depreminde 89 kişi ölmüş 235 kişi yaralanmıştır. 5569 yıkık veya ağır hasarlı, 5936 konut yeniden yapılmıştır. Deprem sonrası 7. ve 8. aylarda 20'den fazla  $M_{şiddet}= 4,3$  büyük deprem kaydedilmiştir.

**c) 17.08.1999  $M_{şiddet}= 7,4$**

Adapazarı-Gölcük depreminde; 20.000 ölü, binlerce yaralı, 38.000 hane yıkılmış ve ağır hasar oluşmuştur. Artçı sarsıntılar 5-5.8 şiddetinde devam etmiştir.

### 3. HİDROLOJİK ve HİDROLİK MODELLEME

#### 3.1 Hidrolojik Modelleme

Akarsu havzaları, ölçülebilir doğal özneliklerinin var olduğu doğal bir sistemdir. Bu sistem, bitki örtüsü, iklim, sıcaklık, yağış, nem, sızma, buharlaşma ve jeomorfolojik karakteristiklerine sahip havzanın yağış sonucu ortaya çıkan akışın var olduğu bir sistemdir. Havza sisteminde, havza parametrelerinin belirlenmesiyle giriş akımına ilişkin çıkış akımının belirlenmesi mümkündür. Bunun için, ölçülebilir öznelikler havza sistemindeki parametrelerin (su seviyesi, deşarj, toprağın nemi vb.) doğru belirlenmesi için gereklidir. Havzanın tanımlanmasında giriş ve çıkış akımları arasında var olan ilişkiye etki eden doğal parametrelerin hatasız belirlenmesi mümkün olmadığından dolayı hidrolojik bir sistem üzerinde göz önüne alınan farklı fazlar sadece idealleştirilmiş halin model formunda temsil edilmesini sağlar (Singh, 1996).

Fiziksel modeller; sistemin, kütle, hareketin ve enerjinin korunumu prensiplerini esas alan, analizler içerisinde alt havzaların hidrolojik özelliklerini fiziksel açıdan ayrıntılı bir şekilde ifade eder. Coğrafi bilgi sistemleri; topografya, toprak türü, arazi kullanımı, bölgesel özellikler ve iklim şartları gibi coğrafi bilgilerin işlenmesi, depolanması ve gösterimini sağlar. Bunların simulasyon modellerine entegre edilmesi, modelin doğru parametreleştirilmesi ile ölçeğin daha iyi tanımlanmasını sağlar (Singh, 1996).

Hidrolojik büyüklüklerin birçoğu fizik yasalarıyla tam olarak açıklanamayan rasgele değişken niteliği taşırlar. Bunun en önemli nedeni yağışın rasgele karakteridir. Bu nedenle yağışla ilişkili olan akım değişkenlerinde de rasgelelik görülür. Hidrolojik sistemin rasgele karakteri, hidrolojik verilerdeki örnekleme hataları ve hidrolojik süreç için kabul edilen modeldeki hatalar hidrolojik değişkenlerin rasgele nitelik taşımalarına neden olur. Bir hidrolojik büyüklüğün rasgele değişkenliği önemli değilse bu yanı ihmal edilip ortalama değeri ile çalışılarak olay deterministik bir yaklaşımla incelenebilir. Ancak taşkın debisi gibi bazı büyüklükler için böyle bir yaklaşım



anlamli olmamaktadır. Bu durumda olasilik teorisi ve istatistik bilimlerine dayanan olasilik dagilim modellerinden yararlanilir (Beyazit, 1998).

Taşkın debisi dagilim modelleri, hidrolojik tasarımda özel bir önem taşıyan taşkın debileri için uygun dagilim fonksiyonlarının belirlenmesi ve bunlarla proje dönüş aralığına karşı gelen taşkın debisinin tahmini için geliştirilen modellerdir.

### **3.1.1 Taşkın frekans analizleri**

Hidrolojik verilerin gelecekteki miktarları, frekans analizlerine göre belirtilir. Frekans analizi, hidrolojik bir olayın hangi aralıklarda meydana geleceğinin belirtilmesi olarak tanımlanabilir. Akım verilerinin söz konusu olayı niteleyecek kadar uzun bir süreyi kapsamaması gerekmektedir. Diğer yandan akarsuların frekansı, bu analizlerde kullanılan verilerin elde edildiği koşulların değişmediği durumda, ancak güvenilir olmaktadır (Benson, 1968). Taşkın frekans analizi, su kaynakları projelerinin ekonomik ve hidrolojik olarak değerlendirilmesinde oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Frekans analizi, ekstrem olayların gelecekteki büyüklüğünün ve meydana gelme sürelerinin tahmin edilmesine yardım etmesi açısından; hidrolik yapıların uygun tasarım kriterlerinin saptanması ve proje maliyetinin düşürülmesi açısından etkili bir yöntemdir. Bu yüzden bir havzada meydana gelen akımlara istatistiksel frekans analizi yöntemi uygulanarak bu akımlara uygun olasılık dagılımları saptanabilir (Singh, 1980).

Hidrolik yapıların tasarlanması, su kaynakları sistemlerinin yönetimi ve taşkın ötelenmesi gibi mühendislik aktivitelerinde taşkın karakteristiklerinin doğru tahminleri gerekmektedir. Eğer gereğinden büyük tahmin yapılmışsa maliyette önemli artışlar, eksik tahmin yapılmışsa can ve mal kayıpları riski meydana gelebilmektedir. Bu yüzden hidrolojik frekans analizlerinde bir dagilımın verilere uygun olup olmadığı kesin olarak bilinmediği için çeşitli olasılık dagılımları denenerek bunların arasından veriye hem en yakın dagilımı saptamak, hem de yapılan tahminlerin ne denli doğru olduğunun da değerlendirmesinin yapılması çok önemlidir (Anlı, 2006).

Yapılan çalışmada, Sakarya alt havzasında akım gözlem istasyonu (AGİ) verileri için 23 yıllık akım verileri kullanılmıştır. Böylelikle havzaya ait maksimum taşkın debilerinin 5, 10, 20 ve 100 yıllık tekrarlama sıklıkları Log Pearson Tip III olasılık dagilım fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır.

### 2.1.1.1 Log Pearson Tip III dağılımı

Yıllık maksimum akım verilerine uygulanan istatistiksel bir teknik olan Log Pearson Tip III dağılım fonksiyonu, akarsular üzerinde farklı aralıktaki taşkın sıklıklarını tahmin etmekte kullanılır. Bu fonksiyon için kullanılan formül;

$$Z_T = \overline{\log x} + K\sigma_{\log x}$$

şeklindedir (USACE, 1993). Formülde,

$\overline{\log x}$ : Yıllara ait akım verilerinin logaritmalarının ortalama değerlerini,

$K$ : Taşkın sıklık faktörü olup çarpıklık ( $C_{skew}$ ) ve tekrarlama aralığının ( $T$ ) bir fonksiyonunu,

$\sigma_{\log x}$ : Yıllara ait akım verilerinin logaritmalarının standart sapma değerini gösterir.

Formülde yer alan  $\overline{\log x}$ ,  $\sigma_{\log x}$  ve  $K$  için gerekli olan çarpıklık ( $C_{skew}$ ) değerleri Excel'de hesaplanmıştır (Tablo 3.1).

**Tablo 3.1:** Havzanın akım verilerinin log, ortalama,  $\sigma_{\log x}$  ve  $C_{skew}$  değerleri

Yıllar	Akım log
1953	2.543
1954	2.487
1955	2.068
1956	2.465
1957	1.804
1958	2.378
1959	2.347
1960	2.218
1961	2.121
1962	2.097
1963	2.745
1964	2.381
1965	2.715
1966	2.608
1967	2.355
1968	2.727
1969	2.618
1970	2.653
1971	2.373
1972	2.246
1973	2.235
1974	2.102
1975	2.288
1976	2.272
1977	2.249
1978	2.396
1979	2.440
1980	2.341
<b>Ortalama</b>	<b>2.367</b>
$\sigma_{\log x}$	<b>0.224</b>
$C_{skew}$	<b>-0.227</b>

Çarpıklık katsayısı ve çalışmada baz alınan tekrarlama sıklıkları olan 5, 10, 20 ve 100 yıl için  $K$  değeri, Pearson Tip III dağılımının  $K$  frekans faktörü tablosundan bulunmuştur. Bu değerler kullanılarak taşkın debilerinin ( $Q$ ) hesaplanması ise  $Z_T$ 'nin antilogaritması alınarak elde edilmiştir (Tablo 3.2).

**Tablo 3.2:** Havzanın AGİ verilerinin Log Pearson Tip III dağılımı

<b>T</b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b><math>C_{skew}</math></b>	<b><math>K</math></b>	<b><math>Z_T</math></b>	<b><math>Q</math> (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>5</b>	0.224	-0.227	0.850	2.557	<b>360.68</b>
<b>10</b>	0.224	-0.227	1.258	2.648	<b>445.09</b>
<b>20</b>	0.224	-0.227	1.586	2.722	<b>527.07</b>
<b>100</b>	0.224	-0.227	2.178	2.854	<b>715.12</b>

### 3.2 Hidrolik Modelleme

Akışın akarsu boyunca hareketi sırasında akarsuyun her kesitinde debinin veya su seviyesinin değişimi saptanmak istenirse süreklilik ve momentum denklemlerine dayanan hidrolik modeller kurulur.

Çalışmada hidrolik modelleme için ArcGIS 9.2 CBS yazılımı ve bu yazılımın uzantıları olan ArcHydro ve Hec-GeoRAS 4.1 alt programları kullanılmıştır. Modelleme için gerekli olan geometrik data ve değişik akım hesaplamaları için HEC-RAS 3.1.3 (Hydrologic Engineering Center- River Analysis System) hidrolik modelleme yazılımı kullanılmıştır. Hec-GeoRAS, HEC-RAS sistemi için tasarlanmış CBS ara yüzüdür. HEC-RAS, çok kollu ve prizmatik olmayan enkesitli akarsularda, tek boyutlu hidrodinamik hesapları yapabilecek şekilde tasarlanıp geliştirilmiştir. Sistem; nehir rejimi, taşkın rejimi ya da hidrolik sıçrama gibi karışık rejim durumlarında hesap yapabilmektedir. Birçok hidrolik yapı ve su seviyesi kontrol elemanının su yüzü profiline etkisini de hesaplayabilmektedir. Kararlı akım hidrolik analiz bileşeni, Manning formülüne dayanmaktadır.

Çalışma alanında taşkın risk analizine ilişkin hidrolik modelleme çalışması CBS ve Uzaktan Algılama yöntemleri kullanılarak tamamlanmıştır.

## **4. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME ANALİZİ**

### **(Multi-Criteria Decision Analysis - MCDA)**

Sonlu sayıda seçeneğin seçilme, sıralanma, sınıflandırma, önceliklendirme veya elenme amacıyla genellikle ağırlıklandırılmış, birbirleri ile çelişen ve aynı ölçü birimini kullanmayan hatta bazıları nitel değerler alan çok sayıda kriter kullanılarak değerlendirilmesi işlemidir. (Yoon ve Hwang, 1995)

### **4.1 Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY)**

#### **4.1.1 Karar verme süreci**

Karar verme, genel olarak seçenek kümesinden, en az bir amaç doğrultusunda ve bir kritere dayanarak en uygun, mümkün bir ya da birkaç seçeneği seçme sürecidir. Buna göre karar verme süreci karar verici, seçenekler, kriterler, çevresel etkiler, karar vericinin öncelikleri ve kararın sonuçları elemanlarını içerir. Karar verme süreci, karar vericinin mevcut seçenekler arasından bir seçim, sıralama ya da sınıflandırma yapması şeklinde bitebilir (Evren ve Ülengin, 1992).

Karar süreci, bilginin toplanması ve analizi için yoğun bir çaba ve zaman gerektirir.

Karar verme probleminde çözüme ulaşmak için basit biçimde beş adımdan oluşan bir yaklaşım ortaya konmuştur.

1. Problemin Tanımlanması: Karar verme ihtiyacının, sorunun tanımlanması.
2. Karar Kriterlerinin Saptanması: Hedeflere uygun olarak değerlendirme kriterleri belirlenmelidir.
3. Çözüm Seçeneklerinin Belirlenmesi: Çözümlerden veya seçeneklerden oluşan küme oluşturulmalıdır.
4. Karar Verme: Çözüm kümesindeki seçenekler karar kriterlerine göre kıyaslanmalı ve seçim yapılmalıdır.
5. Kararın Uygulanması : Alınan karar uygulamaya konmalı ve uygulama sonuçları tartışılmalıdır.

#### 4.1.2 Analitik hiyerarşi yöntemi

1970'lerde Thomas Saaty tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY), birden çok kriter içeren karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan bir karar verme yöntemidir (Kuruüzüm ve Atsan, 2001). AHY, belirlilik ya da belirsizlik altında çok sayıda alternatif arasından seçim yaparken, çok sayıda karar vericinin bulunduğu, çok kriterli, çok amaçlı bir karar verme durumunda kullanılır.

AHY, karar vericilerin karmaşık problemleri, problemin ana hedefi, kriterleri, alt kriterler ve alternatifleri arasındaki ilişkiyi gösteren bir hiyerarşik yapıda modellemelerine olanak verir. AHY'nin en önemli özelliği karar vericinin hem objektif hem de sübjektif düşüncelerini karar sürecine dahil edebilmesidir.

AHY her sorun için amaç, kriter, olası alt kriter seviyeleri ve seçeneklerden oluşan hiyerarşik bir model kullanır. Karışık, anlaşılması güç veya yapısallaşmamış sorunlar için genel bir yöntemdir ve üç temel prensip üzerine kurulmuştur:

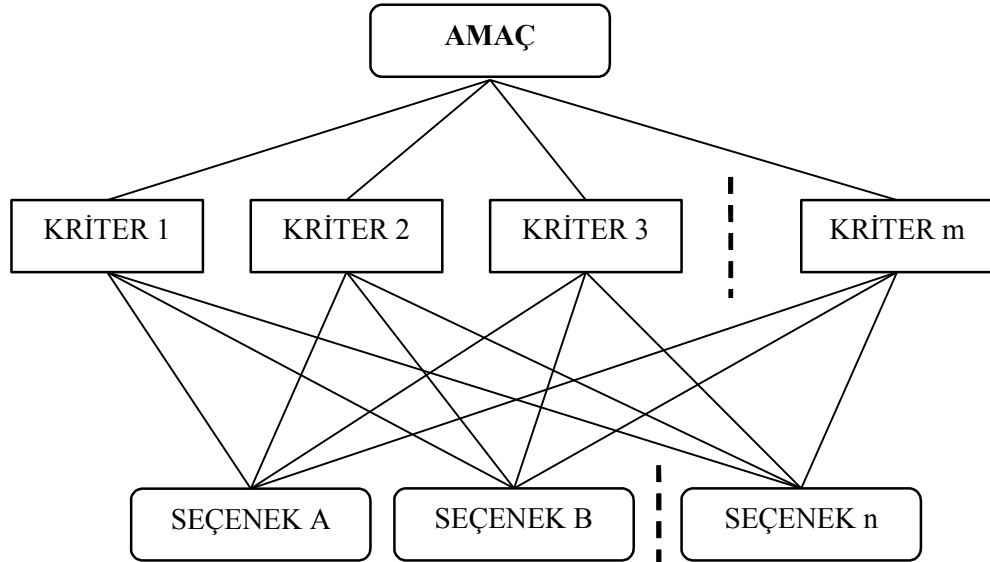
- Hiyerarşilerin Oluşturulması
- Önceliklerin Belirlenmesi
- Mantıksal ve Sayısal Tutarlılık

AHY ile karar verme süreci aşağıdaki aşamalardan oluşur:

1. Karmaşık ve düzensiz bir problemin parçalara (alt öğelere) ayrılması, bir başka deyişle, problemin temel öğelerini ve bu öğeler arasındaki ilişkileri gösteren bir modelin oluşturulması,
2. İlgili alt öğeleri gruplayıp düzenleyerek, hiyerarşik bir yapının oluşturulması. Burada oluşturulan hiyerarşik yapı öğeler arasındaki fonksiyonel bağımlılık ilişkisini yansıtacak şekilde olmalıdır. Bu ilişkileri oluştururken değerlendirmeler probleme ilişkin olarak elde edilen bilgileri yansıtmalıdır.
3. Aynı gruptaki diğer alt öğelere bağlı olarak yani alt öğenin algılanan önemine dayalı olarak, her bir alt öğeye sayısal değerler verilmesi, bir başka deyişle, değerlendirmelerin anlamlı sayılarla ifade edilmesi,
4. Hiyerarşinin alt öğelerinin önceliğini belirlemek için bu değerlerin kullanılması,

5. Karar alternatiflerini belirlemek için bu önceliklerin birleştirilmesi, genel sonuç için daha önceki aşamada elde edilen değerlerin sentez edilmesi,
6. Daha önce alt öğelere verilen sayısal değerleri değiştirerek nihai kararın duyarlılığının analiz edilmesi, yani subjektif değerlerde değişiklik yaparak verilen kararın incelenmesi.

AHY, sorunun karar vermeye yönelik olarak ayrıntılı biçimde katmanlara ayrıştırılması yöntemini, oluşturulan hiyerarşi yapısı sayesinde oldukça etkin bir metodoloji ile kullanır. En basit AHY'nin bu yapısı Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Bu şekilde gösterilen yapıda kriterlerin değerlendirilmesinde alt kriterler kullanılabilir. Dolayısıyla, hiyerarşi yapısında, kriterler ile seçenekler arasında istenilen sayıda alt kriter katmanı eklenebilir.



**Şekil 4.1:** Analitik hiyerarşi yöntemi yapısı

Çok kriterli karar verme süreçlerinde temel sorunlarından biri de, değerlendirilen seçenekler için çok sayıda kriter göz önünde bulundurularak farklı tercih puanları, önem sıralamaları ve ağırlıkların doğru biçimde saptanmasıdır.

AHY, hiyerarşik yapısına dayanarak, farklı katmanlar için öğelerin kendi aralarında görece üstünlüklerini belirleyerek, çok kriterli karar verme süreçleri için geçerli bu temel soruna oldukça etkin bir çözüm getirmiştir. Amaç, kriter ve alt kriterler belirlendikten sonra, kriter ve alt kriterlerin kendi aralarındaki önem derecelerinin belirlenmesi için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur.

Karar verici, bir düzeydeki öğelerin, hiyerarşide hemen bir üst düzeyde yer alan öğeler açısından görelî önemlerinin saptayacak şekilde Tablo 4.1’de görülen değerler ve tanımlara dayalı bir puanlama yapar ve ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturur.

**Tablo 4.1:** AHY değerlendirme ölçeği (Saaty, 1989)

Önem Derecesi	Tanımı	Açıklaması
1	Eşit Derecede Önemli	Her iki faaliyet de amaca eşit katkıda bulunur
3	Orta Derecede Önemli	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine göre biraz daha fazla tercih edilir.
5	Güçlü Derecede Önemde	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine göre çok daha fazla tercih edilir.
7	Çok Güçlü Derecede Önemde	Bir faaliyet diğerine göre çok güçlü şekilde tercih edilir. Uygulamada üstünlüğü ispatlanmıştır.
9	Son Derece Önemli	Bir faaliyet diğerine göre mümkün olan en yüksek derecede tercih edilir.
2,4,6,8	Ara Değerler	

#### 4.1.3. Analitik hiyerarşi yöntemi algoritması

AHY’de karar verme en genel biçimiyle aşağıdaki adımlarla tanımlanan yöntem ile yürütülür.

- I. İkili Karşılaştırmalar Matrisi: Kriterlerin amaca ulaşmakta, seçenekler açısından önemleri, ikili kıyaslama yöntemi çerçevesinde belirlenir. Bu karşılaştırmalar ile elde edilen sonuçlar ve kriterler için aşağıda gösterildiği biçimde ikili karşılaştırmalar matrisi elde edilir (Şekil 4.2).

	<b>K<sub>1</sub></b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>K<sub>3</sub></b>	....	<b>K<sub>m</sub></b>
<b>K<sub>1</sub></b>	a <sub>11</sub>	a <sub>12</sub>	a <sub>13</sub>	....	a <sub>1m</sub>
<b>K<sub>2</sub></b>	a <sub>21</sub>	a <sub>22</sub>	a <sub>23</sub>	....	a <sub>2m</sub>
:	:	:	:	....	:
<b>K<sub>m</sub></b>	a <sub>m1</sub>	a <sub>m2</sub>	a <sub>m3</sub>	....	a <sub>mm</sub>

**Şekil 4.2:** İkili karşılaştırmalar matrisi

- II. Öncelik Vektörlerinin Bulunması:** İkinci adım her bir özelliğin önem derecesini gösteren, öncelik vektörlerinin bulunmasıdır. AHY metodolojisine uygun olmak şartıyla uygulamada kolaylık olması açısından geliştirilmiş pek çok durumda çok iyi sonuçlar veren bir algoritma geliştirilmiştir:

İkili karşılaştırma matrisindeki her bir sütunun elemanları, o sütunun toplamına bölünür. Böylece  $A_w$  olarak adlandırılan ve her sütundaki değerler toplamı 1'e eşit olan bir 'Normalleştirilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi' elde edilir.

$$a_{w11} = \frac{a_{11}}{\sum_{i=1}^m a_{i1}}$$

Elde edilen  $A_w$  matrisinde, her bir satırda yer alan elemanların aritmetik ortalaması alınır. Bu aritmetik ortalama (1 x m) boyutlu matrisin ilgili satırını oluşturacaktır. Bunun sonucu olarak, m boyutlu  $\omega$  öncelik vektörü elde edilir:

$$\omega = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m]^T$$

- III. Tutarlılık Oranlarının Hesaplanması:** Bu aşamada AHY'de yapılan ikili karşılaştırmaların tutarlılık derecesi hesaplanmalıdır. Yapılan hesaplama sonucunda elde edilen tutarlılık derecesi kabul edilebilir limitin altında ise, değerlendirmeler yenilenmeli, oluşturulan yapı ve süreçler gözden geçirilmeli ve bu aşamaya kadar yürütülen çalışmalar tekrar edilmelidir.
- IV. Değerlendirme ve Sonuç:** Tutarlılık kontrolleri yapıldıktan sonra karar seçeneklerinin öncelik sıralamasını geliştirmek için kriter öncelikleri ve karar seçeneklerinin her bir kritere göre göreceli önceliklerinin birleştirilmesi ile öncelik matrisi oluşturulur. Her bir karar seçeneği için öncelik, bu kriterlere göre karar seçeneğinin önceliğinin kriterin önceliğiyle çarpılması ve çarpım sonuçlarını toplanması ile elde edilir.

Sonuçta AHY ilgili kriterler temelinde karar vericinin verdiği hükümlere bağlı olarak ilgili karar seçeneklerinin sıralar.

Yapılan çalışmada, taşkın risk analizi için kullanılan bu yöntemin çalışma adımları uygulama kısmında ayrıntılı olarak anlatılmıştır.



## 5. UYGULAMA

Çalışmada uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri teknolojileri kullanılarak Sakarya Nehri alt havzasındaki taşkın risk analizi

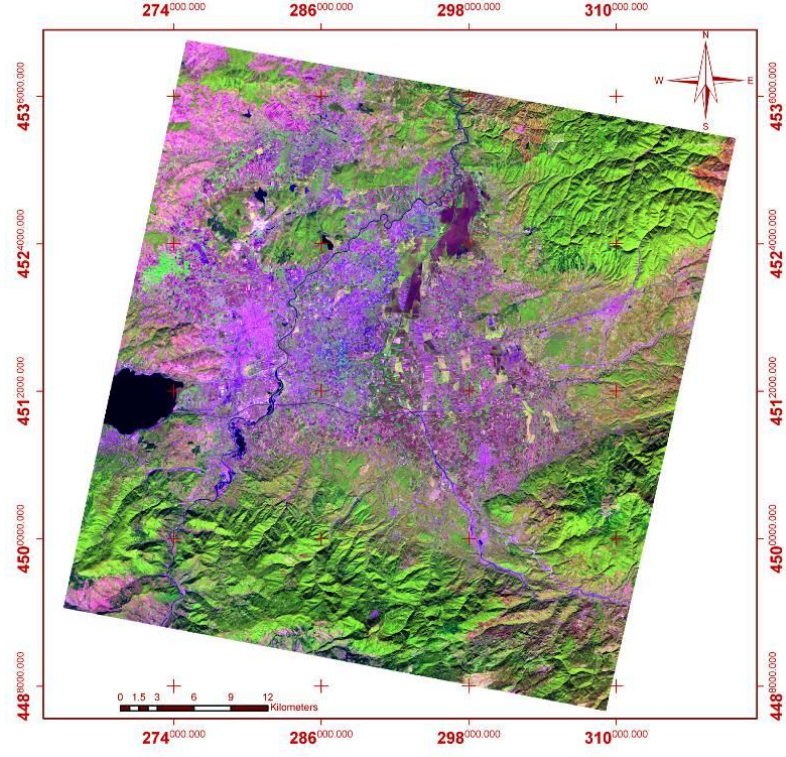
- a) Hidrolojik ve hidrolik model oluşturulması,
- b) Çok kriterli karar verme analizindeki Analitik Hiyerarşi Yöntemi uygulanması

olmak üzere 2 ayrı yöntemle yapılmış, taşkın haritaları oluşturulmuş ve çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

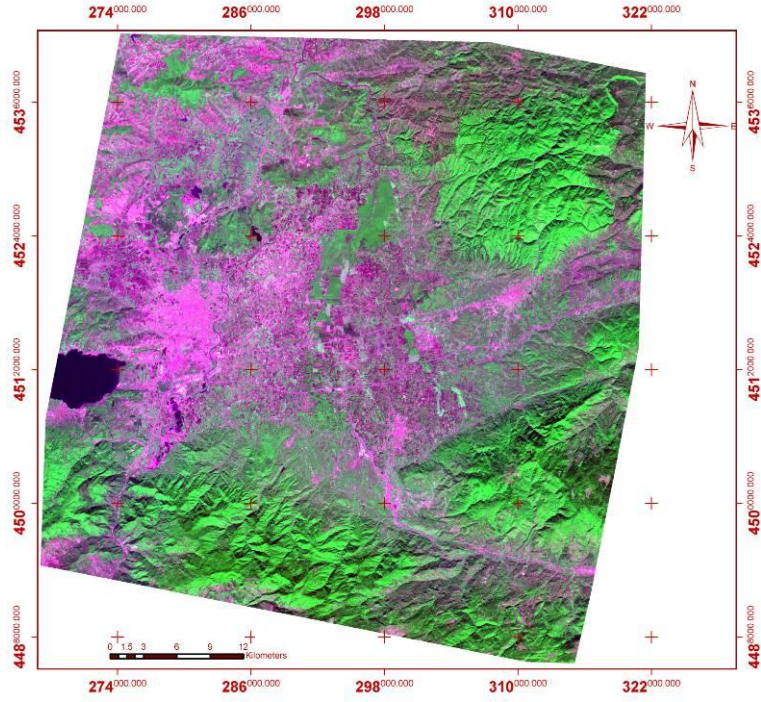
### 5.1 Uzaktan Algılama Verilerinin İşlenmesi

#### 5.1.1 Uydu görüntülerinin geometrik düzeltmesi

Geometrik düzeltme işlemi ile görüntülerdeki sistematik olmayan hatalardan dolayı oluşan geometrik distorsiyonları giderilir, görüntü koordinat bilgisi taşır ve görüntülerin coğrafi bilgi sistemi içinde diğer verilerle birlikte değerlendirilmesi sağlanır. Çalışma alanı için uydu görüntülerine uygulanan geometrik düzeltme işlemi için, çalışma alanına homojen dağılmış 1:25.000 ölçekli haritalardan seçilen belirgin noktalar ve yapılan arazi çalışmasında ölçülen yer kontrol noktaları kullanılmıştır. Uydu görüntüleri, seçilen bu yer kontrol noktaları ile 1. dereceden polinom eşitlikleri kullanılarak ülkemizde kullanılan UTM (Universal Transverse Mercator) projeksiyonu, WGS 84 datumu ve 36. zon kullanılarak referanslandırılmıştır. Görüntülerin spektral özelliklerinde az veri kaybı için, görüntülerin geometrik dönüşümünde en yakın komşuluk enterpolasyonu uygulanmıştır (Şekil 5.1).



(a)



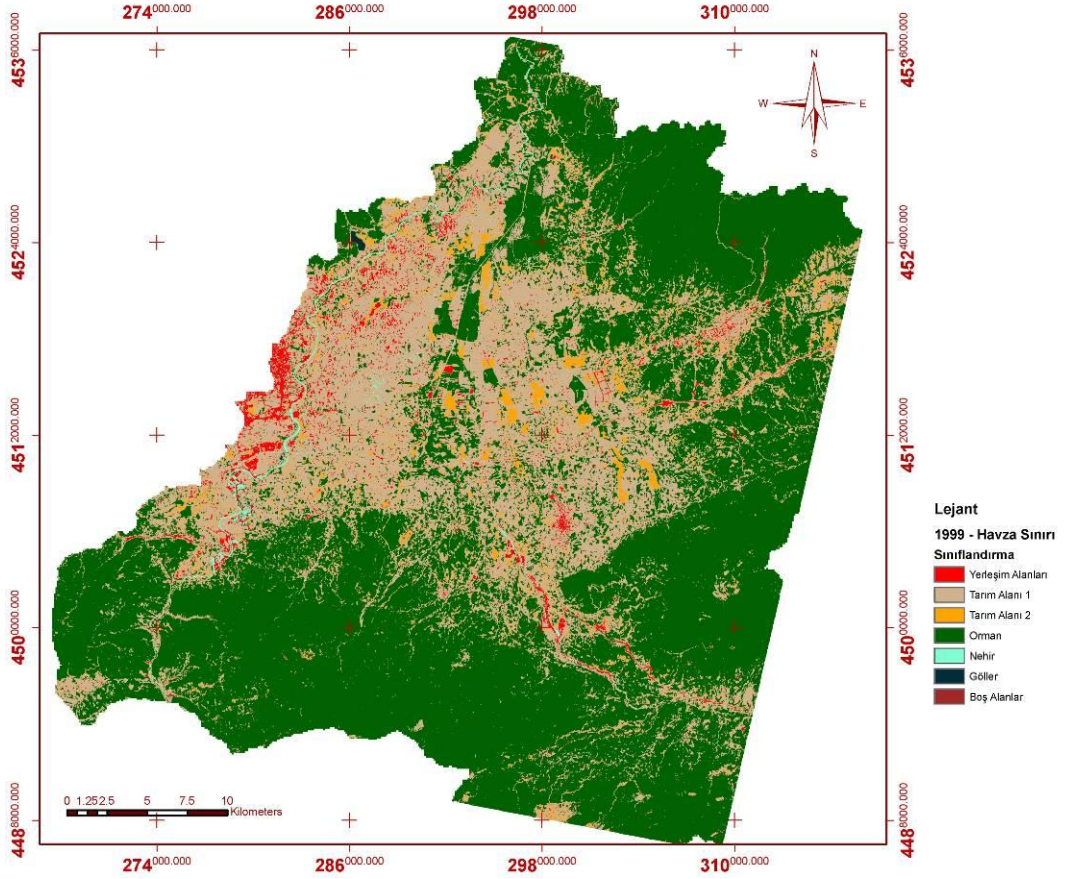
(b)

**Şekil 5.1:** (a) 1999 yılına ait geometrik düzeltmesi yapılmış görüntü, (b) 2006 yılına ait geometrik düzeltmesi yapılmış görüntü

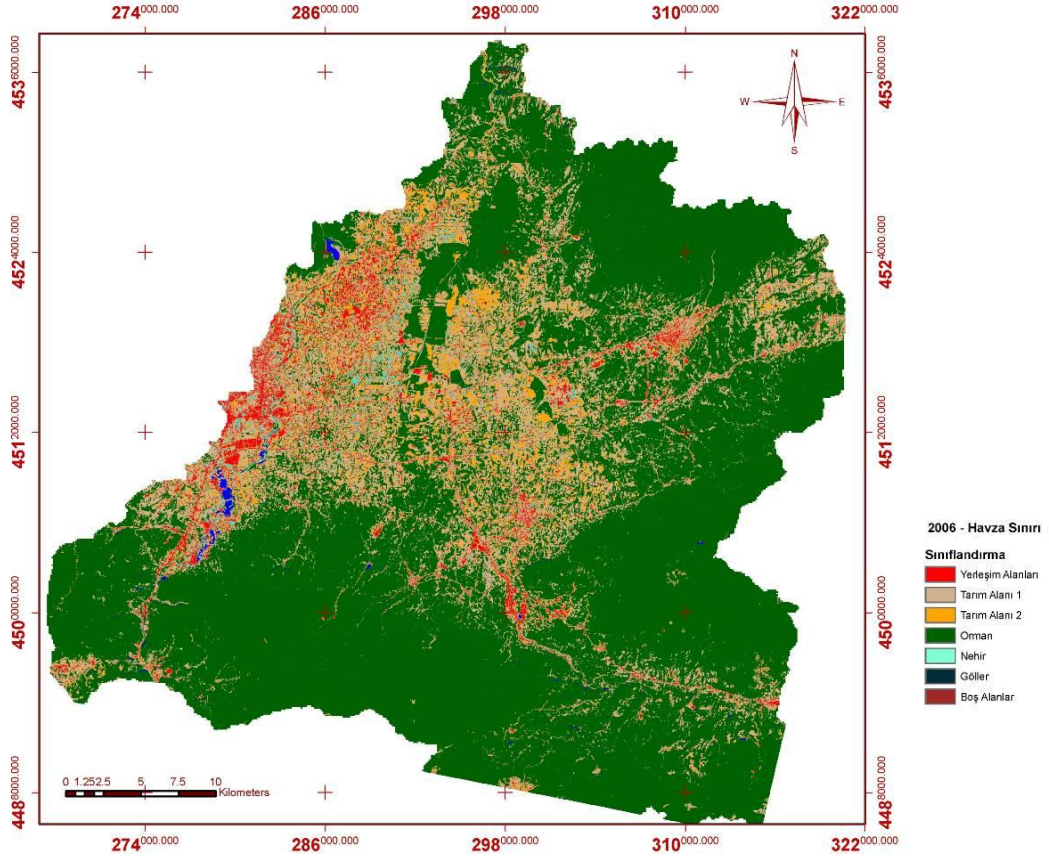
### 5.1.2 Uydu görüntülerinin sınıflandırılması

Arazi kullanım sınıflarının ve mekansal değişimlerin analizi için 1999 ve 2006 yıllarına ait 20 m çözünürlüklü Spot XS ve 10 m çözünürlüklü Spot PAN görüntüleri kullanılmıştır.

Yapılan sınıflandırmada, 1999 ve 2006 yıllarına ait 20 m çözünürlüklü Spot XS uydu görüntülerine kontrolsüz sınıflandırma (ISODATA- Iterative Self Organizing Data Analysis) algoritması 500 adet küme oluşturularak uygulanmış, bu kümelerden yerleşim alanları, tarım alanları(1,2), göller, nehir, boş alanlar ve ormanlık alanlar olmak üzere 7 adet arazi kullanım sınıfı elde edilmiştir (Şekil 5.2, 5.3).



Şekil 5.2: 1999 yılı Sakarya alt havzasına ait sınıflandırılmış görüntü



Şekil 5.3: 2006 yılı Sakarya alt havzasına ait sınıflandırılmış görüntü

### 5.1.2.1 Sınıflandırma doğruluğu

Yapılan sınıflandırmanın doğruluğunun analizi için, 1999 ve 2006 yıllarına ait sınıflandırılmış görüntülerden 60'şar adet kontrol noktası seçilmiş ve topografik haritalar, yapılmış olan arazi çalışmaları karşılaştırılarak arazi kullanım sınıflarının doğruluğu analiz edilmiştir. 1999 ve 2006 yıllarına ait uydu görüntülerine uygulanan sınıflandırma işleminin doğruluk analizleri Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1: Sınıflandırma doğruluk analizleri

Sınıf Adı	Referans Toplam	Sınıflandırılmış Toplam	Doğru Nokta Sayısı	Üretici Doğruluğu	Kullanıcı Doğruluğu
<b>1999 Spot</b>					
Yerleşim Alanları	17	18	16	94.1	88.9
Orman	20	17	15	75.0	88.2
Tarım alanları	23	25	21	91.3	84.0
<b>Toplam</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>52</b>		
<b>2006 Spot</b>					
Yerleşim Alanları	12	13	11	91.7	84.6
Orman	22	23	19	86.4	82.6
Tarım alanları	26	24	21	80.8	87.5
<b>Toplam</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>51</b>		

### 5.1.2.2 Sınıflandırma sonuçları

Çalışmada yapılan sınıflandırma sonuçlarına göre 1999 yılından 2006 yılına kadar geçen 7 yıllık sürede yerleşim alanlarında 1769 ha'lık bir artış söz konusudur. Bunun yanında 4213 ha tarım alanının azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak, yerleşim alanlarının gerek göç, gerekse sanayi yapılarının tarım alanları üzerine kurulması olarak düşünülebilir. Ormanlık alanlarda ise 1034 ha azalma görülmüştür (Tablo 5.2).

**Tablo 5.2:** Sınıflandırma sonuçlarına göre arazi kullanımı

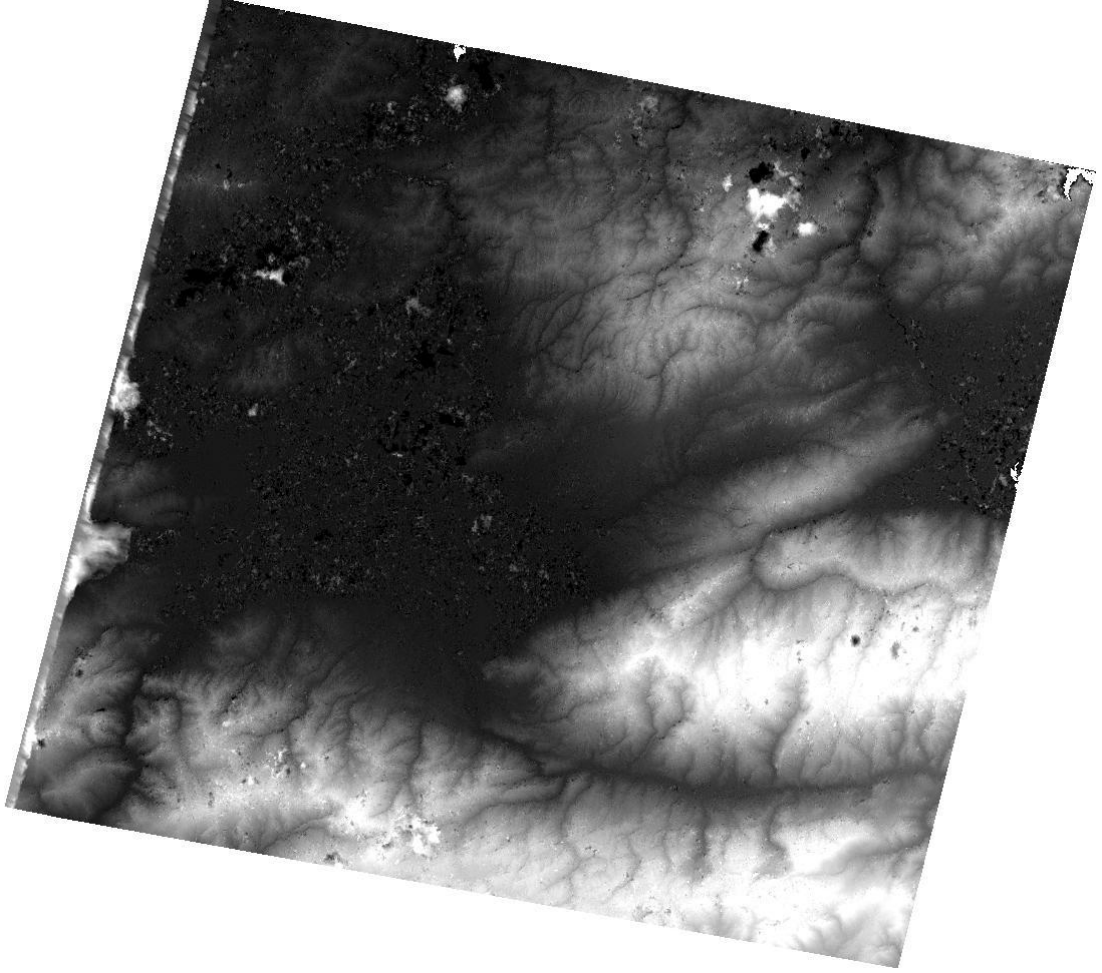
Arazi Kullanımı	1999 Yılı Sınıflandırma Sonuçları (ha)	2006 Yılı Sınıflandırma Sonuçları (ha)
Yerleşim	3115	4884
Tarım Alanları	54164	49951
Orman	91537	90503

### 5.1.3 Stereo uydu görüntülerinden SYM oluşturulması

18.09.2005 ve 24.10.2005 tarihlerinde çekilen Spot 4 stereo uydu görüntülerinden, eş zamanlı arazi çalışması yapılarak gerekli yer kontrol noktaları ölçülerek ve referans olarak 1:25.000 ölçekli topografik haritalardan oluşturulmuş SAM kullanılarak sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur.

Yapılan işlemde görüntü işleme programı olan Envi 4.3 kullanılmıştır. Programda SYM çıkartma (DEM Extraction) modülü kullanılmış, görüntüler sol ve sağ olmak üzere seçilerek sisteme aktarılmıştır. Daha sonra iki görüntüde de yer kontrol noktaları etkileşimli olarak tanımlanmış ve bağ noktaları otomatik olarak üretilmiştir. Otomatik üretilen bağ noktaları tekrar gözden geçirilerek ve uygunsuz olanlar silinerek düzenlenmiş, maksimum Y paralaks değeri 1.03'e kadar düşürülmüştür. Bu değer, piksel bazında görüntüler arasında y yönünde yer değiştirmeyi gösterir ve değer 0 olması ideal olandır. Maksimum kabul edilebilir Y paralaks değeri 10'dur (Envi, 2007). Bir sonraki adımda ise her iki görüntünün birbiriyle eşleşme oranının artırılması için görüntü eşleme işleminden önce ham görüntülerden epipolar görüntüler oluşturulmuş ve bindirmeli görüntülerdeki eşleşen noktaları bulmak için kullanılan hiyerarşik normalize edilmiş çapraz korelasyon tekniği uygulanmıştır. Bindirilmiş görüntülerdeki yükseklikler üç boyutlu kesişim

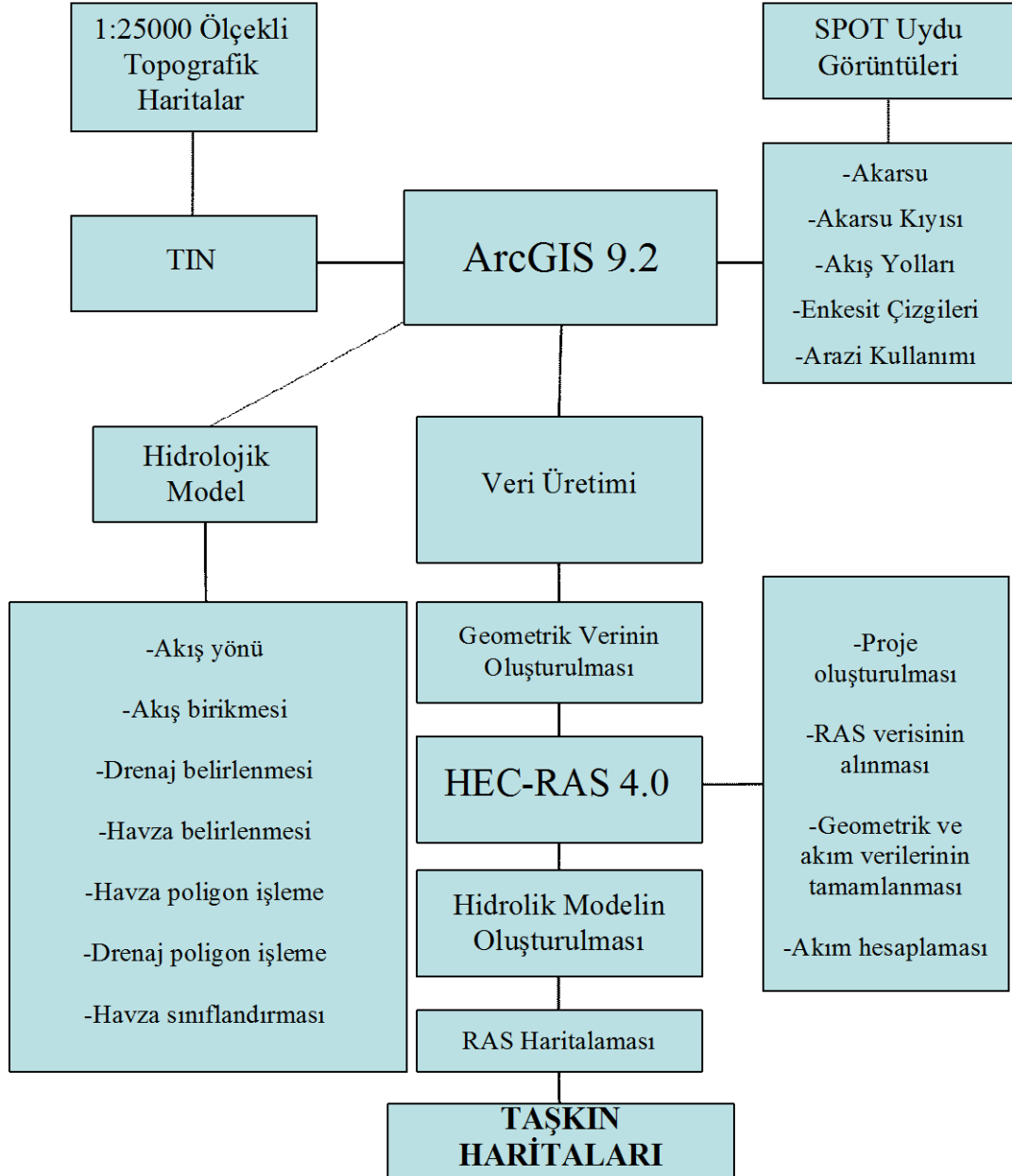
metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Projeksiyon, zon ve datum bilgileri sırasıyla UTM, 36. zon ve WGS 84 olmak üzere girilerek sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur (Şekil 5.4).



**Şekil 5.4:** Envi 4.3'te stereo görüntülerden oluşturulan SYM

## 5.2 Hidrolojik ve Hidrolik Model Uygulaması

Taşkın haritalaması için yapılan bu uygulamanın akış şeması Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5: Hidrolojik ve hidrolik model uygulamasının akış grafiği

### 5.2.1 Havza parametrelerinin belirlenmesi

Havza parametrelerinin belirlenmesi için uygulamada, grid yapılı sayısal arazi modelinden yararlanılarak ArcGIS alt programı olan ArcHydro modülü kullanılmıştır.

Havzanın drenaj ağı, arazi önışleme (terrain preprocessing) analizi;

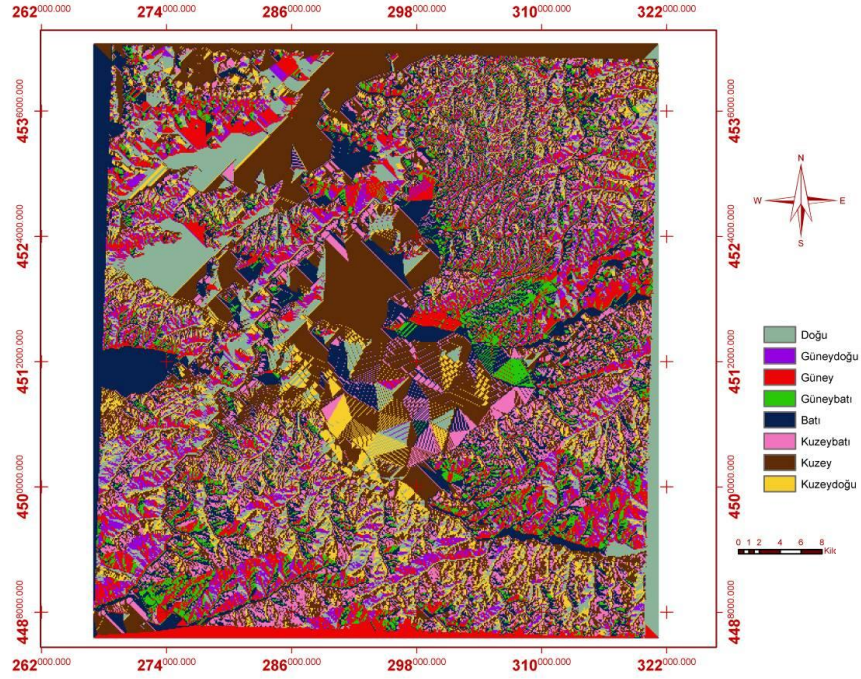
- a) Akış yönü (flow direction)
- b) Yüzeysel akış miktarı (flow accumulation)
- c) Drenaj belirlenmesi (stream delineation)
- d) Havza belirlenmesi (watershed delineation)
- e) Havza poligon işleme (watershed polygon processing)
- f) Drenaj poligon işleme (stream polygon processing)
- g) Havza sınıflandırması (watershed aggregation)

adımları uygulanarak oluşturulmuştur.

Bu adımlardan önce arazi önışleme kısmında sayısal arazi modeli ve Nehrin vektör verisi kullanılarak sayısal arazi modelinin onarılması (DEM reconditioning) tamamlanmıştır. Bundan sonra da Nehrin vektör verisiyle oluşturulmuş SAM'ndeki çöküntü alanların doldurma işleme (fill sinks) yapılmıştır. Bundan sonraki işlemler yeni oluşturulan SAM kullanılarak yapılmıştır.

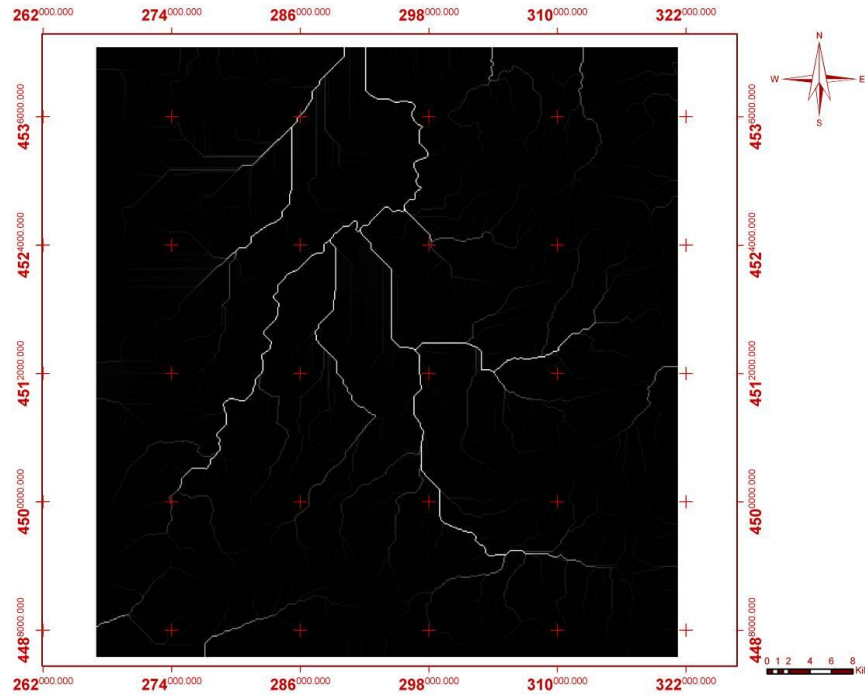
Akış yönü, sayısal arazi modelinden yüksek noktadan alçak noktaya doğru belirlenmiştir (Şekil 5.6). Bu veride 8 komşu piksel, 1 (Doğu), 2 (Güneydoğu), 4 (Güney), 8 (Güneybatı), 16 (Batı), 32 (Kuzeybatı), 64 (Kuzey), 128 (Kuzeydoğu) akış yönlerini gösterir.





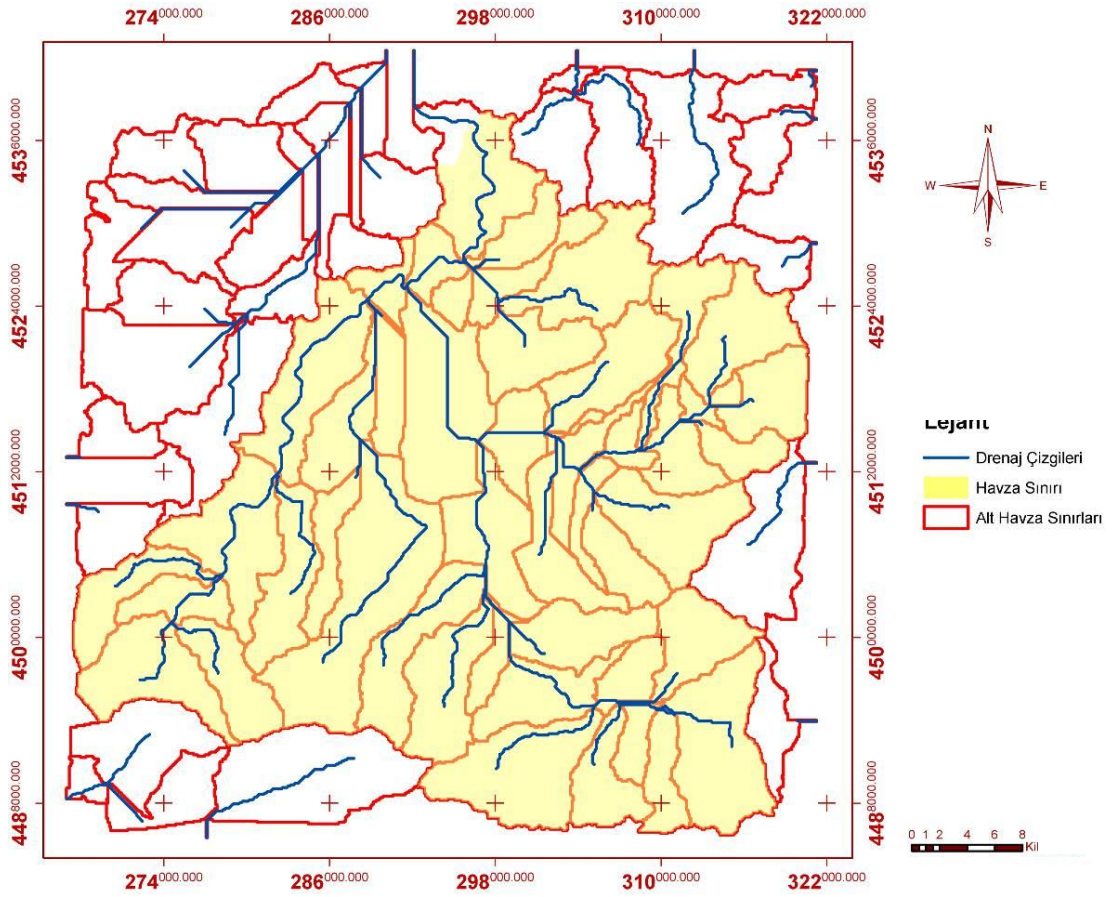
Şekil 5.6: Sakarya Nehri alt havzası akış yönü

Yüzeysel akış miktarı değeri hücreye akış veren hücrelerin sayısını gösterir. Bu hücreye akışı olan drenaj alanı, yüzeysel akış miktarı değeri ile hücre alanının çarpılması ile elde edilir (Şekil 5.7).



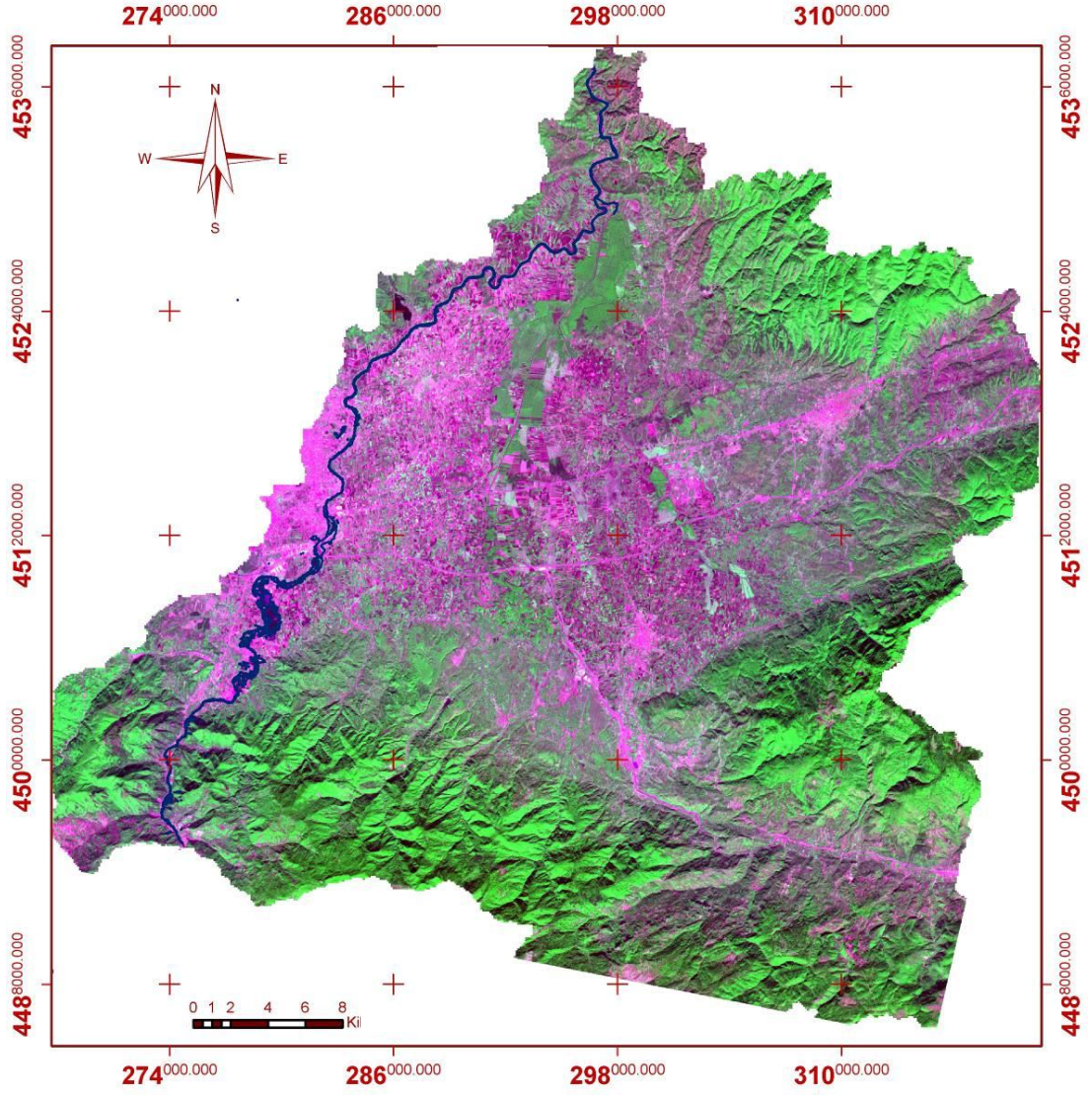
Şekil 5.7: Sakarya Nehri alt havzası yüzeysel akış miktarı

Yüzeysel akış miktarı, grid yapısından drenaj ağının sayısallaştırılması drenaj belirlenmesi adımı ile kullanıcı tarafından belirlenen bir eşik değere göre yapılır. Sayısallaştırmanın yapılması için hücredeki yüzeysel akış miktarı değeri bu eşik değerden büyük olmalıdır. Eşik değer küçük olması durumunda fazla sayıda drenaj ağı oluşur. Drenaj ağının sayısallaştırılmasından sonra drenaj belirlenmesi adımı uygulanmıştır. Bu adım, drenaj ağını birleştiren noktalar ve dere kolları olarak drenaj ağını iki kısma ayırır. Daha sonra birleşim noktaları göz önünde bulundurularak havza belirlenmesi adımı ile her dere kolu alt havzalara ayrılır. Alt havzaları grid gösterimde elde ettikten sonra havza poligon işleme adımı ile vektör formata dönüştürülür (Şekil 5.8).



Şekil 5.8: Dereler ve alt havza vektör gösterimi

Dereler ve alt havzalar vektör formatta elde edildikten sonra Sakarya Nehri alt havza sınırı belirlenmiştir (Şekil 5.9).



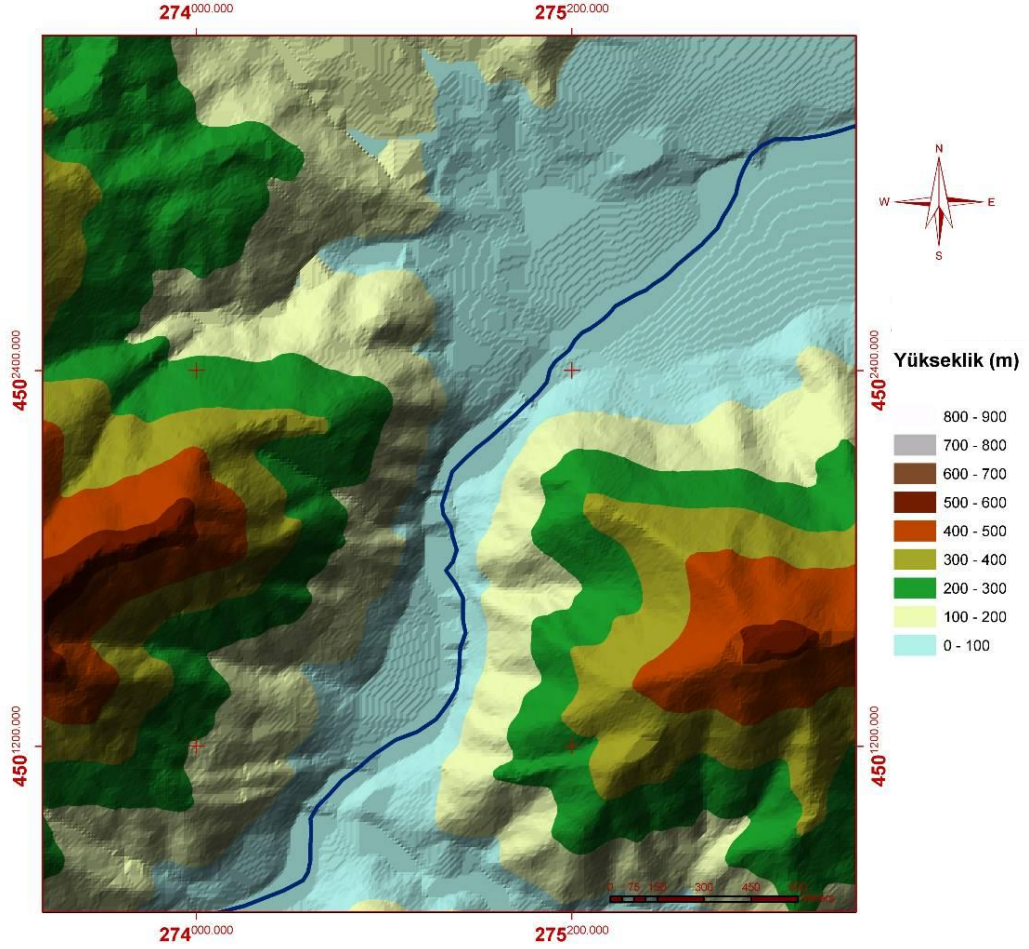
**Şekil 5.9:** Sakarya alt havza sınırı

### 5.2.2 Geometrik verilerin oluşturulması

Hec-GeoRAS'ta taşkın modellemesi için gerekli olan; sayısal arazi modeli olarak TIN (Triangulated Irregular Network) modeli, nehir geometrisi ve akarsu yatağı enine profilleri oluşturulmuştur.

Sayısal arazi modeli, elde bulunan, arazinin topografyasını en iyi şekilde gösteren sayısal 1:25.000'lik topografik haritalardan üretilmiş ve raster formattan TIN formatına çevrilmiştir. Arazi modelinden nehir geometrisinin çıkartılması işleminde; Nehrin geçkisi, kanal şev sınırları, kanal kesitleri, nehir akış yolu ve taşkın akış doğrultularına yönelik bilgiler Hec-GeoRAS ile tanımlanan bölgeden alınmıştır.

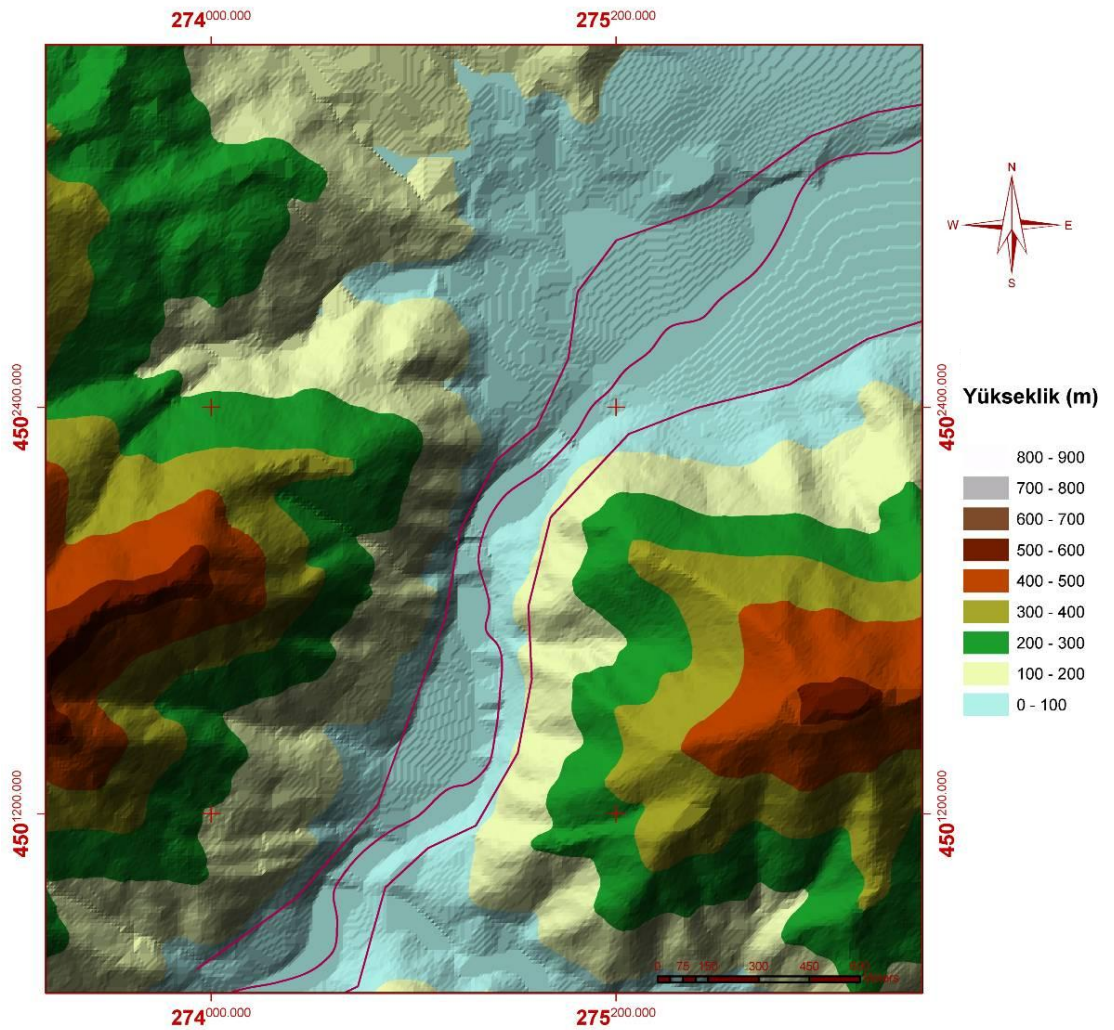
Nehir geçkisi, uydu görüntüsü ve TIN modeli kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 5.10). Ayrıca, çalışmada TIN tabanlı arazi modeli kanal şev sınırlarını arazinin geri kalanından ayırmak için kullanılmıştır. Enine kesitlerin sınırlarının ve taşkın alanı üzerindeki taşkın yollarının da tamamlanmasından sonra geometrik verilerin HecRAS'a aktarılması, simülasyonun çalıştırılması ve ArcGIS'te sonuçların görüntülenmesi sağlanmıştır.



Şekil 5.10: Sakarya Havzası'nın nehir geçkisi

Nehir geçkisinin elde edilmesinin ardından, her bir nehir çizgisi tanımlanarak ve arazi modeline dayanılarak nehir merkez doğrusu üzerindeki her bir kesit hesaplandı. Daha sonra birleşim yerleri düğüm noktaları ile bağlanarak yukarıdan ve aşağıya olarak tanımlanırlar. Bağlantı noktalarının arasındaki mesafe, yukarı istasyondan aşağı istasyona olmak üzere gösterilir.

Ana kanal şev kenarları da arazi modeliyle sayısallaştırılarak, TIN'de bulunan eğim farkları belirlenmiş ve nehir şev kenarlarına ait sınırlar ortaya çıkarılmıştır (Şekil 5.11).



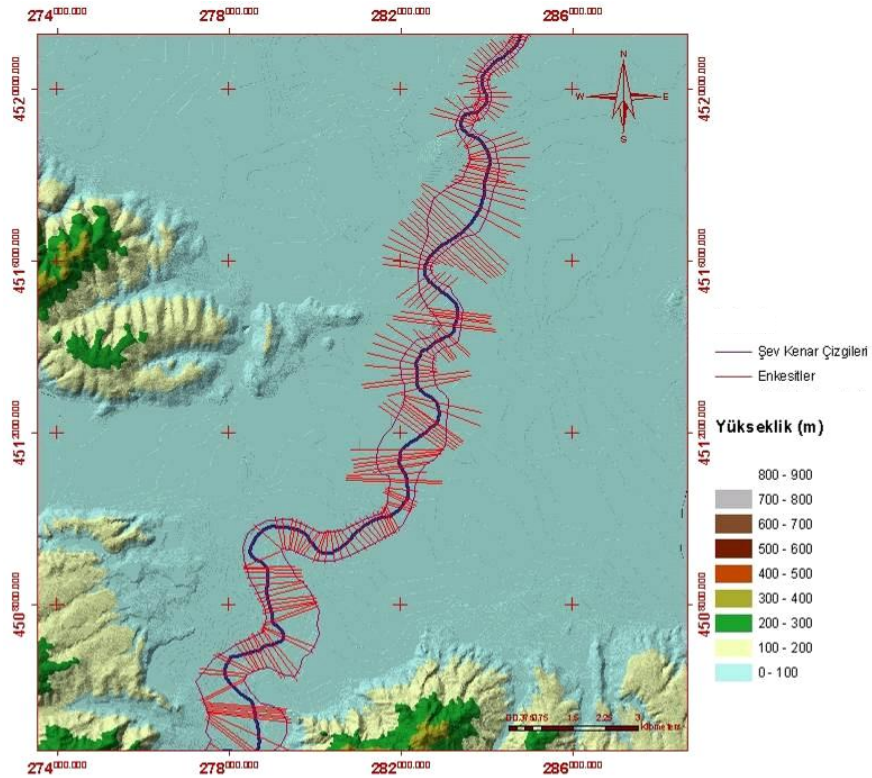
Şekil 5.11: Sakarya alt havzasının ana su yolu üzerindeki şev kenar çizgileri

Akış yolları nehir geçkisi, sol ve sağ taşkın alanları için belirlenmiş ve mansap ulaşma mesafelerinin hesabında kullanılmıştır. Akış yolları isimlendirme işlemi, nehir merkez doğrusu “kanal”, sol taşkın bölgesi “sol” ve sağ taşkın bölgesi “sağ” olmak üzere belirlenmiştir (Tablo 5.3).

**Tablo 5.3:** Akış yolları nehir geçkisi özellikleri

Uzunluk (m)	Tip
46374.16	Kanal
42913.77	Sol
44626.36	Sağ

Bu sınırların ortaya çıkarılmasından sonra HecGeoRAS'ta RAS Geometry kısmında belli aralıklarla enkesitler çizilmiştir. Bu enkesitler akış yönünde, soldan sağa ve ana kanal çizgilerine dik olarak ve tüm sınırları kapsayacak şekilde çizilmiştir (Şekil 5.12). Enkesit çizimleri, taşkın seviyesi ile sınırlanan yerlerde uzatılarak oluşturulmuştur.



**Şekil 5.12:** Enkesitlerin gösterimi

Enkesit kimliği (HydroID), Manning sürtünme katsayısı ile enkesitleri ilişkilendirmek üzere atanır. İstasyonlar (Station) enkesitlerin aşağıdan olan uzaklıklarını, LLength, ChLength ve RLength ise akış yönünde iki enkesit arasındaki sırasıyla sol şev doğrusunun, ana kanal doğrusunun ve sağ şev doğrusunun uzunluklarını verir. Yapılan uygulamada, nehir geometrisinin daha iyi ve anlamlı olması için birbirine yakın toplam 430 adet enkesit çizilmiştir. Bu enkesitlere ait özellikler Tablo 5.4'te gösterilmiştir.

**Tablo 5.4:** Oluşturulan 430 enkesitten bazılarının özellikleri

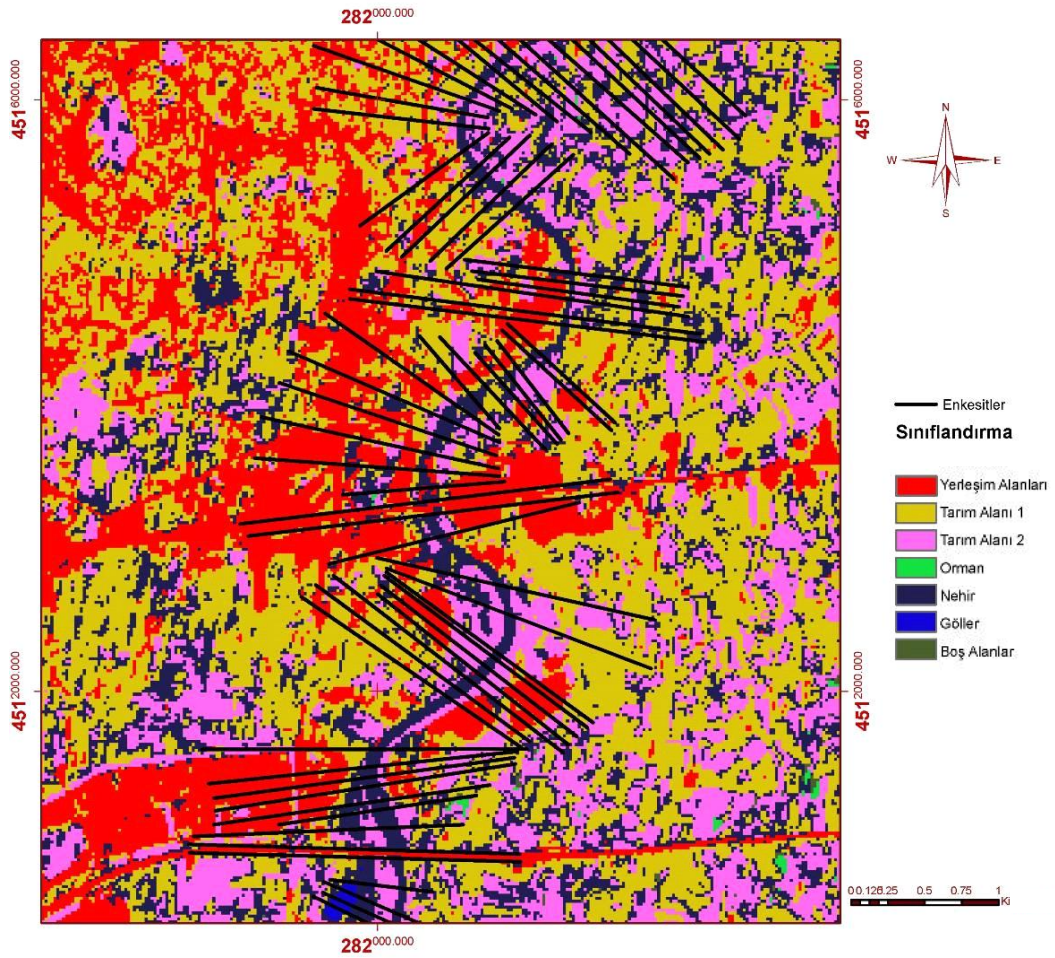
<b>HydroID</b>	<b>Station</b>	<b>River</b>	<b>Reach</b>	<b>LLength</b>	<b>ChLength</b>	<b>RLength</b>
156	46176.844	sakarya	tum	138.49	106.64	33.69
157	46073.516	sakarya	tum	93.62	69.04	50.92
158	46005.840	sakarya	tum	74.17	54.49	52.39
159	45950.625	sakarya	tum	39.54	43.63	46.16
160	45907.336	sakarya	tum	28.21	48.17	56.09
161	45860.672	sakarya	tum	39.37	196.74	273.14
162	45672.137	sakarya	tum	88.35	81.62	73.28
163	45589.215	sakarya	tum	34.61	35.50	39.57
164	45552.609	sakarya	tum	61.96	57.53	45.08
165	45496.730	sakarya	tum	57.80	52.06	35.35
166	45445.664	sakarya	tum	65.06	53.55	32.40
167	45394.484	sakarya	tum	48.14	45.80	45.62
168	45350.367	sakarya	tum	79.27	61.51	57.04
169	45288.320	sakarya	tum	72.96	52.82	47.27
170	45233.816	sakarya	tum	55.39	110.14	130.62
171	45127.719	sakarya	tum	27.07	83.52	96.63
172	45046.426	sakarya	tum	32.98	77.19	87.56
173	44969.750	sakarya	tum	46.57	58.44	61.54
174	44910.660	sakarya	tum	40.10	72.61	83.29
175	44837.867	sakarya	tum	61.12	62.12	63.34
176	44773.711	sakarya	tum	29.86	72.89	89.20
177	44701.926	sakarya	tum	107.81	80.82	39.18
178	44616.266	sakarya	tum	64.05	77.18	89.21
179	44535.324	sakarya	tum	34.19	47.49	62.08
180	44487.617	sakarya	tum	35.36	35.92	36.93
181	44449.125	sakarya	tum	92.90	74.62	28.09
182	44369.969	sakarya	tum	57.68	49.85	30.16
183	44319.723	sakarya	tum	65.87	58.59	37.71
184	44258.949	sakarya	tum	84.80	70.39	35.96
185	44188.156	sakarya	tum	93.53	83.78	66.94
186	44106.594	sakarya	tum	76.98	71.07	64.06
187	44035.660	sakarya	tum	74.66	65.74	60.02
188	43970.039	sakarya	tum	74.43	61.08	52.58

### 5.2.3 Manning sürtünme katsayısının belirlenmesi

Sayısal arazi modeli ile değerlendirmek üzere, elimizdeki sınıflandırılmış uydu görüntüsü, sisteme ayrı bir katman olarak eklenmiştir. Hec-GeoRAS modülünde arazi kullanım sınıfları belirlenmiş, Tablo 5.5'te verilen Manning sürtünme katsayıları arazi kullanım tablosuna girilmiştir. Sınıflandırılmış görüntü ve enkesitler arasındaki arazi kullanımı Şekil 5.13'te gösterilmiştir.

**Tablo 5.5:** Manning sürtünme katsayıları (Melesse, 2002)

Arazi Kullanımı	Manning Katsayısı
Nehir	0.05
Orman	0.15
Tarım	0.04
Boş alanlar	0.055
Yerleşim	0.038



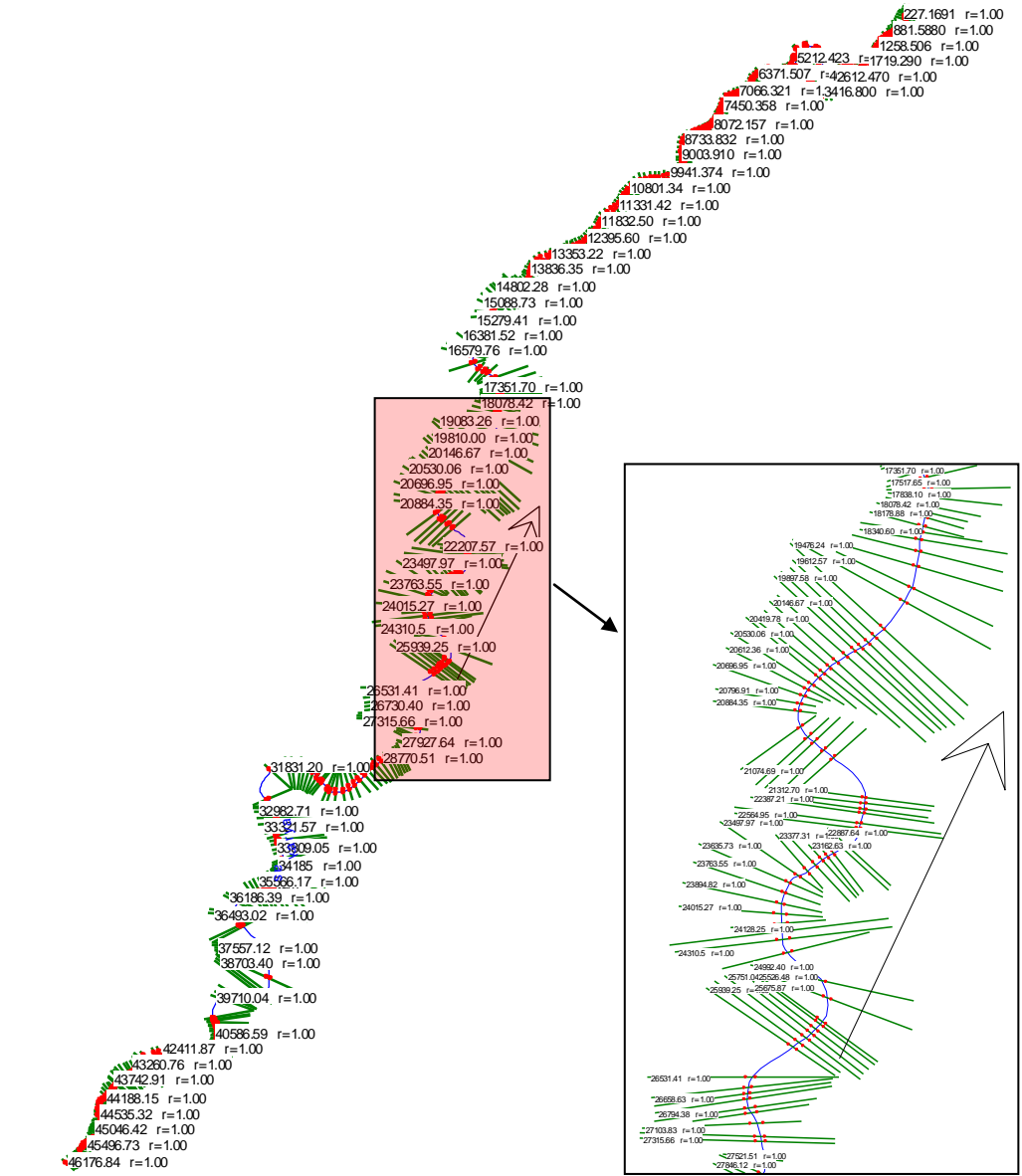
**Şekil 5.13:** Sınıflandırma ve enkesitler arasındaki arazi kullanımı



Bütün bu işlemlerden sonra oluşturulan verilerden nehir merkez doğrusu, ana kanal kenarları, enkesit çizgileri ve akış yolu katmanlarına karşılık gelen 3 boyutlu özellikler, Hec-RAS modelleme uygulamasına aktarılması için oluşturulur. Çıkarılan tüm geometrik veri tabloları ve arazi kullanım tablosu HecRAS programı içerisine aktarılmıştır.

#### 5.2.4 HecRAS'ta modelin oluşturulması

Çalışmada oluşturulan geometrik veriler HecRAS geometri editörü içerisinde GIS formatında belirtilerek veriler metrik birimde ifade edilmiştir. Alınan geometri verisi ve Manning katsayılar tablosu Şekil 5.14 ve Tablo 5.6'da gösterilmiştir.

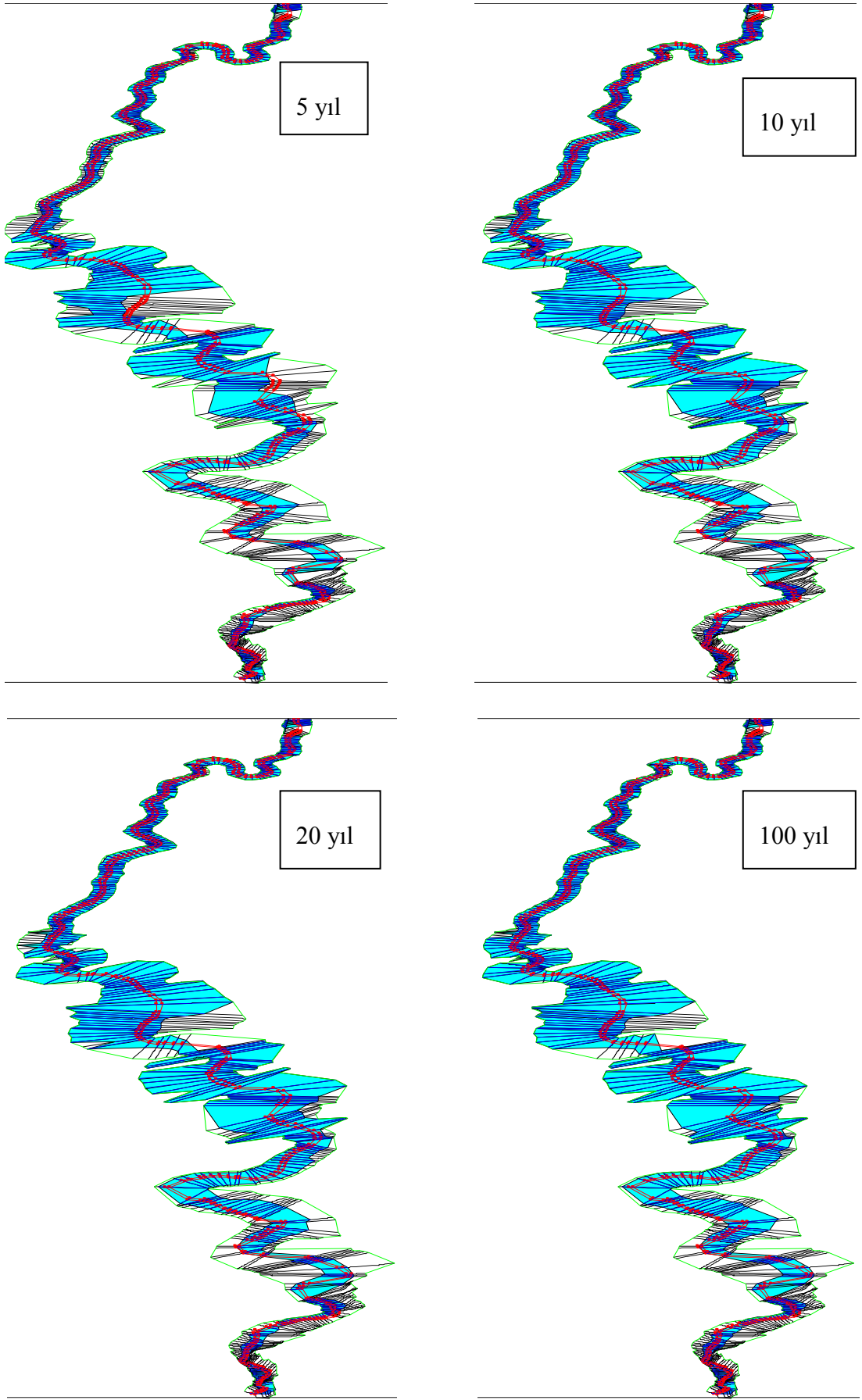


Şekil 5.14: HecRAS'ta oluşturulan geometrik model

**Tablo 5.6:** HecRAS'ta bazı enkesitler arası Manning katsayıları

<b>River Station</b>	<b>Frctn (n/K)</b>	<b>n #1</b>	<b>n #2</b>	<b>n #3</b>	<b>n #4</b>
41231.88	n	0.04	0.05	0.15	0.15
41101.22	n	0.04	0.05	0.04	
41046.64	n	0.04	0.05	0.04	
40979.74	n	0.04	0.05	0.04	
40932.14	n	0.04	0.05	0.04	
40871.91	n	0.04	0.05	0.04	
40815.4	n	0.04	0.05	0.04	
40768.14	n	0.04	0.05	0.04	
40699.65	n	0.04	0.05	0.04	
40655.64	n	0.04	0.05	0.04	
40586.59	n	0.04	0.05	0.04	
40526.08	n	0.04	0.05	0.04	
40470.44	n	0.04	0.05	0.04	
40425.64	n	0.04	0.05	0.04	
40372.16	n	0.04	0.05	0.04	
40315.77	n	0.04	0.05	0.04	
40290.55	n	0.04	0.05	0.04	
40247.65	n	0.04	0.05	0.04	
39710.04	n	0.038	0.05	0.04	
39606.57	n	0.038	0.05	0.04	
39439.05	n	0.038	0.05	0.04	
38703.4	n	0.038	0.05	0.04	
38638.3	n	0.038	0.05	0.04	
38567.99	n	0.038	0.05	0.04	
38227.1	n	0.038	0.05	0.04	0.15
37785.71	n	0.038	0.05	0.04	
37723.5	n	0.038	0.05	0.04	
37670.6	n	0.038	0.05	0.04	
37610.75	n	0.038	0.05	0.04	
37557.12	n	0.038	0.05	0.04	
37495.66	n	0.038	0.05	0.04	
36821.87	n	0.038	0.05	0.04	
36774.3	n	0.038	0.05	0.04	
36493.02	n	0.038	0.05	0.04	
36423.1	n	0.038	0.05	0.04	
36186.39	n	0.038	0.05	0.04	
36107.85	n	0.04	0.038	0.05	0.04
35756.19	n	0.04	0.05	0.04	

28 yıla ait maksimum akım verileri ile hesaplanan 5, 10, 20 ve 100 yıllık gelebilecek maksimum akım verileri sisteme girilmiş ve sınır koşul olarak havzanın eğimi olan ‰ 0.78 değeri sınır koşul editörüne işlenmiştir. Çalışma alanının fazla eğimli olmamasından dolayı akış rejimi kritik altı (subcritical) olarak seçilmiş ve daha sonra model hesaplanmıştır. 5, 10, 20 ve 100 yıllık maksimum akış değerlerine göre muhtemel akım modelinin simülasyonu gerçekleştirildi. Farklı tekraralama sıklıklarına göre oluşturulan taşkın modelleri Şekil 5.15'te X-Y-Z perspektif düzleminde gösterilmiştir.

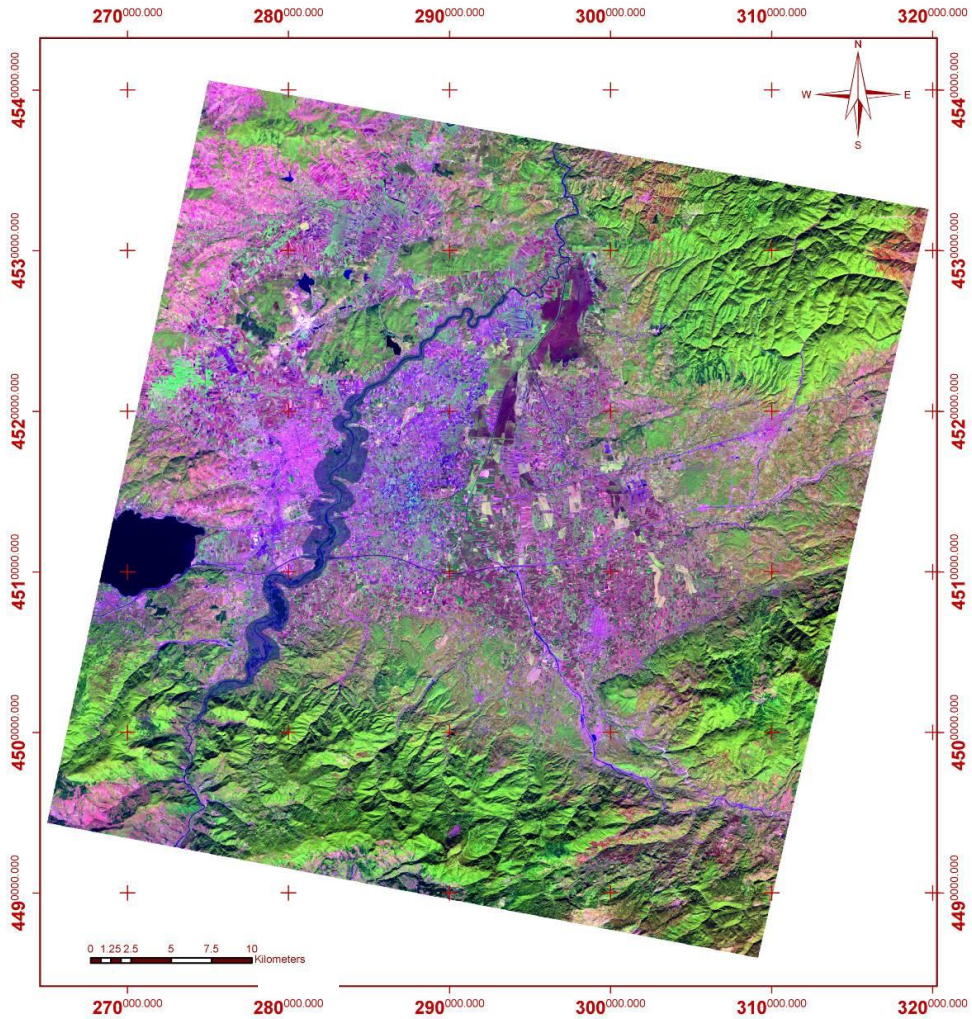


Şekil 5.15: Farklı tekrarlama sıklıklarına göre oluşturulan taşkın modelleri

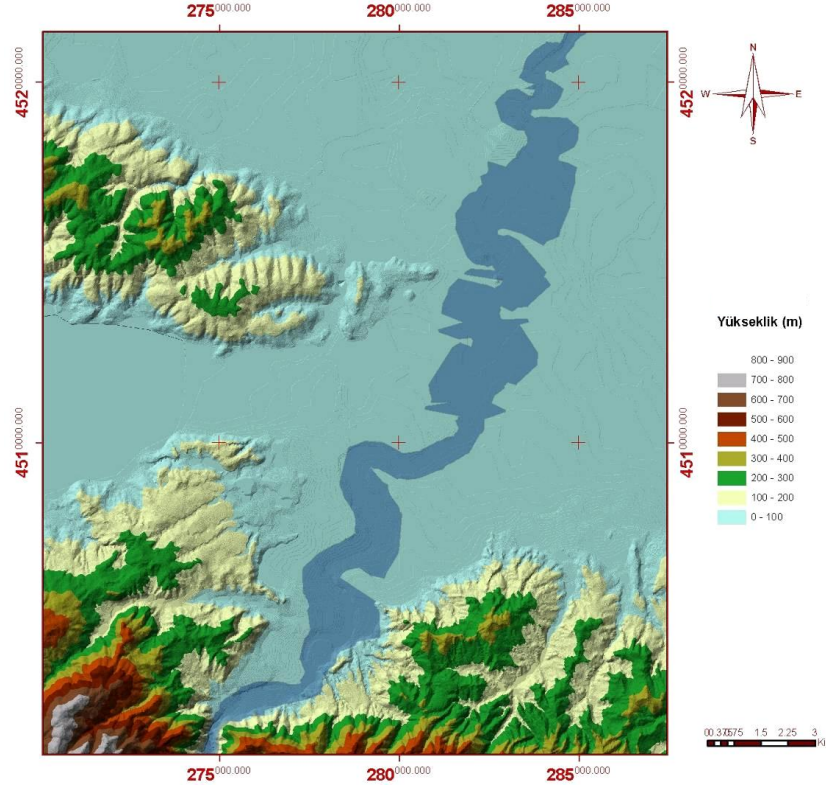
### 5.2.5 Taşkın alanlarının belirlenmesi

Taşkın modellerinin oluşturulmasından sonra bu modeller Hec-RAS'tan .sdf dosyaları, Hec-GeoRAS'ın çalışma uzantısı olan .xml uzantısına dönüştürülmüş ve RAS Mapping araç kutusundan öncelikle her bir modelin su yüzeyine ait yükselti seviyeleriyle oluşturulmuş ve TIN modelleri meydana getirilmiştir. Daha sonra, çalışmada kullanılan TIN modeliyle son oluşturulan su yüzeyine ait TIN modeli arasındaki fark alınarak suyun dağılışı alanı oluşturulmuş, sınırları belirlenmiş ve taşkın grid haritaları üretilmiştir.

Yapılan çalışmada tekrarlama sıklıklarına göre oluşturulan modellerden, 100 yıl içerisinde olabilecek muhtemel taşkın alanı kullanılmıştır (Şekil 5.16 ve 5.17). Elde edilen sonuçlara göre Şekil 5.18'de sular altında kalan alanlar sınıflandırılmış Spot uydu görüntüsünde gösterilmiş ve hesaplanmıştır (Tablo 5.7).



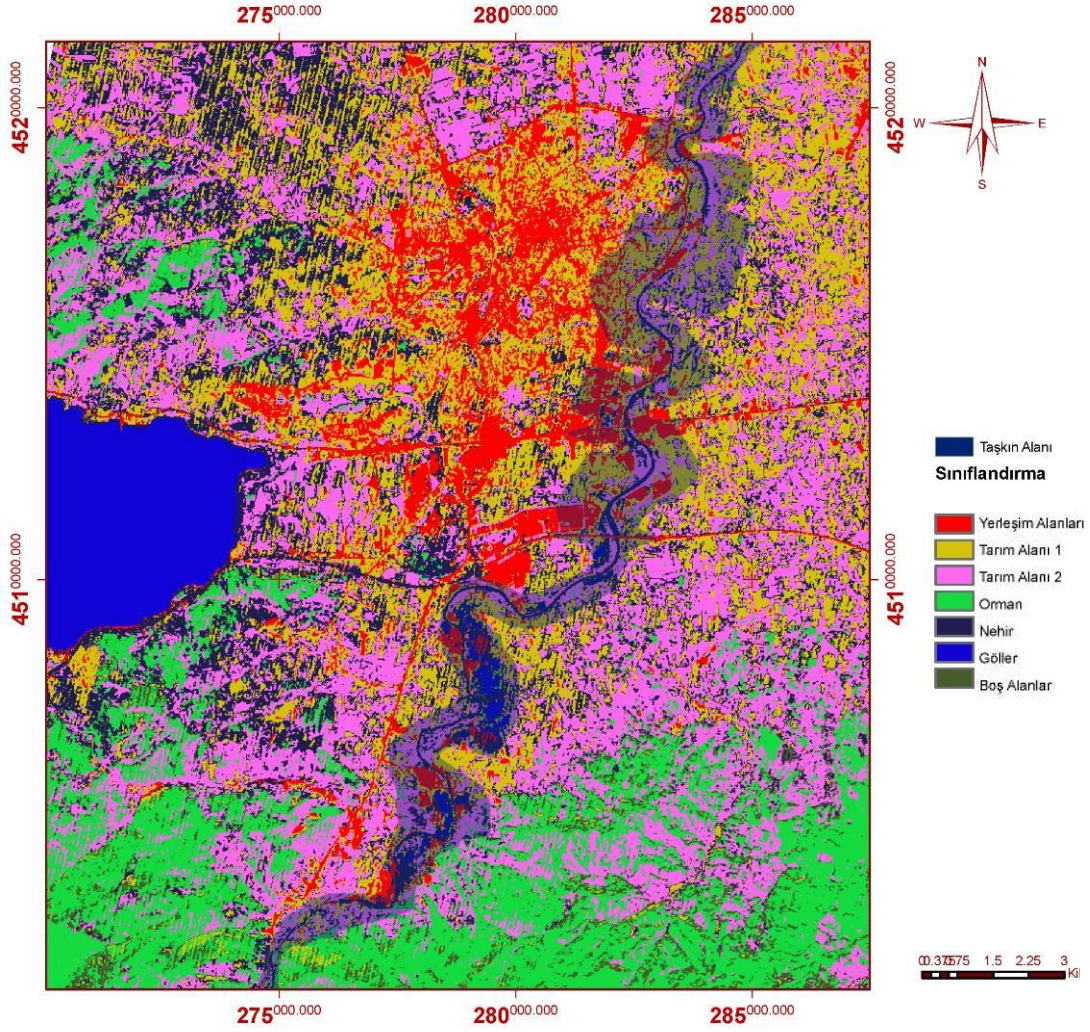
Şekil 5.16: 100 yıllık maksimum taşkın alanının Spot üzerinde gösterimi



**Şekil 5.17:** 100 yıllık maksimum taşkının TIN modeli üzerinde gösterimi

**Tablo 5.7:** Taşkında sular altında kalan alanlar.

<b>Arazi Kullanımı</b>	<b>Alan (ha)</b>
Yerleşim Alanları	620
Tarım Alanları	3.330

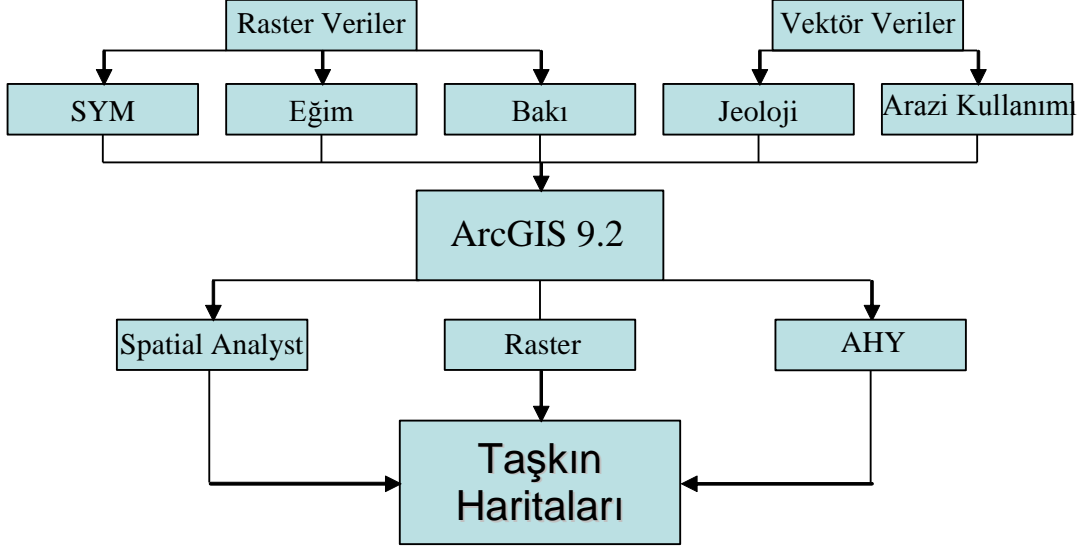


Şekil 5.18: Sınıflandırılmış Spot görüntüsünde taşkın alanları

### 5.3 Çok Kriterli Karar Verme Analizi (MCDA)

#### 5.3.1 Analitik hiyerarşi yöntemi uygulaması

Uygulanan yöntemde riskli alanlar belirlenirken parametreler tek tek ele alınmıştır. Havza için gerçekleştirilen taşkın riskine ait temel elemanları, havzanın coğrafi özellikleri ile taşkın karakteristikleri oluşturmaktadır. Yöntemin akış şeması Şekil 5.19'da ayrıntılı olarak verilmiştir.



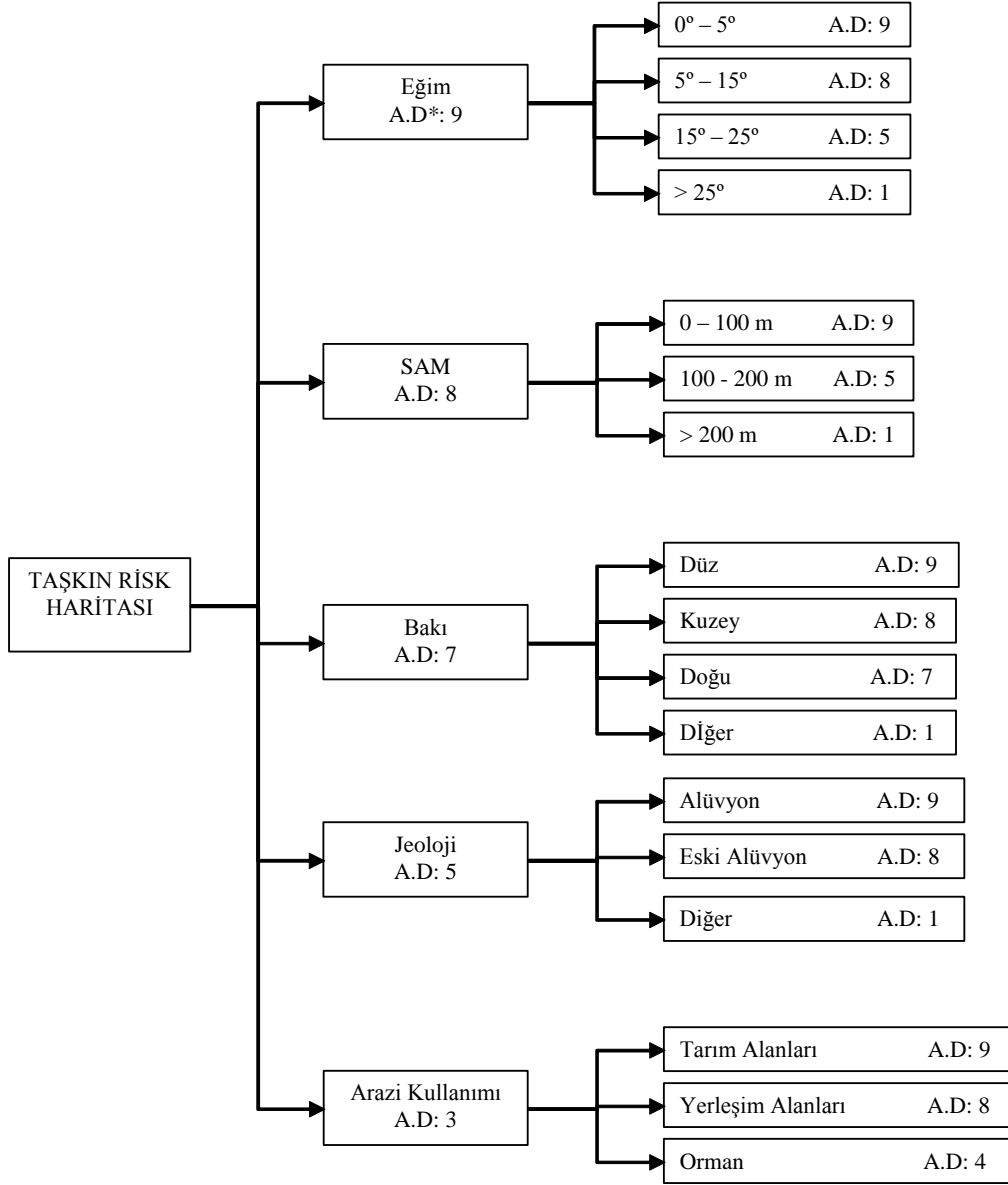
**Şekil 5.19:** MCDA yöntemi akış şeması

Çalışma alanının risk analizi yapılırken temel altlık haritalarının oluşturulması önemli bir aşama olduğundan dolayı dijital ortamda sayısallaştırılan havzaya ait bu verilerden topografik, bitki örtüsü, toprak, jeoloji özelliklerini gösterir altlıklar üretilmiştir. Spot stereo uydu görüntülerinden sayısal yükseklik modeli oluşturulmuş, eğim ve bakı haritaları üretilmiştir.

Arazi kullanım özellikleri ve jeoloji verileri de analiz amaçlı kullanılmak amacıyla raster data yapısına dönüştürülmüştür. Uygulanan AHY’nde çalışma alanındaki taşkın riskine ilişkin parametreler değerlendirilmiş ve bunların her birine ağırlık değeri verilmiştir (Tablo 5.8). Ağırlık değerleri 1-9 arasında değişmektedir. 1’e en yakın olan en az, 9’a en yakın olan ise en fazla riske sahiptir. Parametrelerin ilgili afetlere olan etkileri farklı oranda olması dolayısıyla her birine farklı değerler girilmiştir.

Bu, değer atamalarından sonra üst üste bindirme (Overlay) işlemi gerçekleştirilmiştir. Taşkın risk haritası oluşturulmasında en mantıklı ve güvenilir sonuç, çalışma alanının fiziksel parametrelerine bağlı olarak yapılan farklı yorumlamalara ve buna bağlı olarak verilen değerlere göre bulunmuştur.

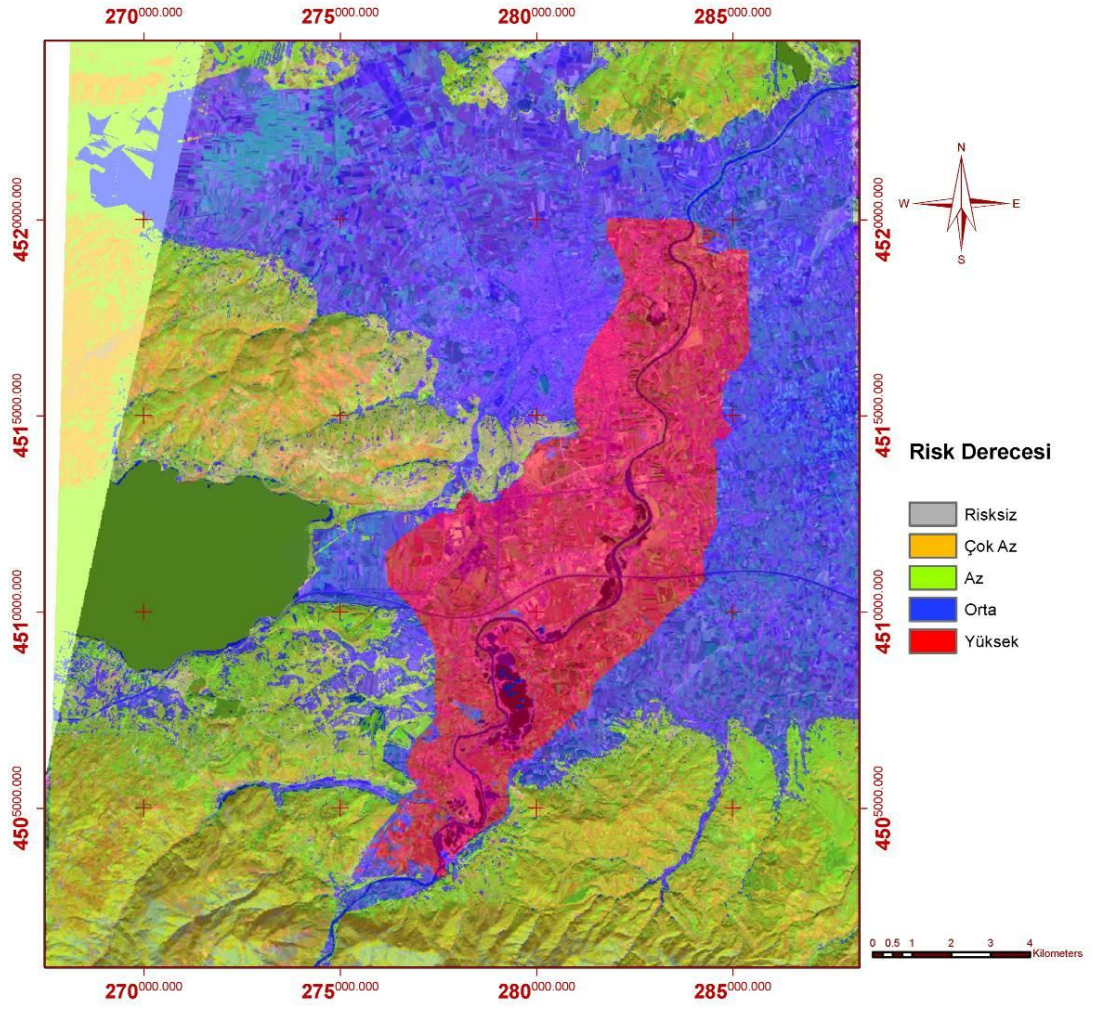
**Tablo 5.8:** Taşkın riskini oluşturan parametrelerin hiyerarşik yapısı



(\*A.D: Ağırlık Değeri)

Yöntemin uygulanmasıyla Sakarya alt havzasına ait taşkın risk haritası belirlenmiştir (Şekil 5.20). Taşkın riski için 5 farklı derece seçilmiştir.





Şekil 5.20: Sakarya alt havzası taşkın risk haritası

Tablo 5.9: MCDA yöntemine göre yüksek risk alanları

Arazi Kullanımı	Alan (ha)
Yerleşim Alanları	1.400
Tarım Alanları	5.550

## **SONUÇ ve ÖNERİLER**

Yapılan çalışmada, Sakarya il sınırının bir bölümünü de içine alan Sakarya Nehri alt havzasının taşkın risk analizi çalışmaları, Uzaktan Algılama ve CBS ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, öncelikle çalışma alanının fiziksel özellikleri üzerinde durulmuş ve hidrolojik ve hidrolik parametreleri belirlenmiştir. Risk analizi için, Hidrolojik ve Hidrolik Model ile birlikte Çok Kriterli Karar Verme Analiz metodu kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan uzaktan algılama verileri sayısal yükseklik modelinin oluşturulması, arazi kullanımının belirlenmesi ve değişiminin ortaya konması, Sakarya Nehri yatak özelliklerinin belirlenmesi ve taşkınlar için geometrik verilerin oluşturulmasında kullanılmıştır. Üretilen SYM, MCDA yönteminde parametrelerden biri olarak kullanılmıştır. Yapılan sınıflandırma çalışmasında elde edilen sonuçlara göre, 1999 yılından 2006 yılına kadar geçen sürede belli bir kesim tarım arazisi, sanayi veya yerleşim bölgesi olarak kullanılmaya başlanmış, ormanlık alanlarda ise fazla bir değişim görülmemiştir. Bu sonuçlara dayanarak, çözünürlüğü daha yüksek uydu görüntülerinin, farklı sınıflandırma tekniklerinin kullanılması ve arazi kullanımının belirlenmesi Hidrolojik ve Hidrolik Model tahmininin doğruluğunu arttıracaktır.

Sakarya Nehri alt havzası taşkın risk potansiyeline sahip bir havza olmakla birlikte meydana gelebilecek olası taşkınlar, yerleşim alanlarını, sanayi bölgelerini ve verimli tarım arazilerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir.

Taşkın risk çalışmaları için yapılan Hidrolojik ve Hidrolik Modellemede, 28 yıllık maksimum taşkın debileri Log Pearson Tip III olasılık dağılım fonksiyonu

kullanılarak 5, 10, 20 ve 100 yıllık taşkın debileri hesaplanmış ve elde edilen değerlere göre hidrolik modelleme yapılarak taşkın risk haritaları oluşturulmuştur. Ancak uygulanan yöntemde kullanılan 28 yıllık akım verileri, taşkın frekans analizi için sınırlı olmuştur. Tutarlı bir modelleme çalışması için 50 veya daha fazla yıllık akım değerleri kullanılmalıdır. Taşkın risk modellemesinde kullanılan parametreler için çok önemli bir veri olan sayısal yükseklik modeli, yapılan çalışmada 1: 25.000 ölçekli topografik haritalardan üretilmiş 10 m aralıklı eş yükseklik eğrilerine sahiptir. Sonuç olarak Hidrolojik Modelleme çalışmasında SYM'den üretilen havza parametreleri kullanılarak havza sınırı 165.700 ha olarak belirlenmiştir. Hidrolik Model uygulamasında üretilen geometrik veriler için TIN modeli kullanılmış ve nehir merkez doğrusu, akış yolları ve enkesitler, uydu görüntüsü ve TIN modeli üzerinden sayısallaştırılmıştır. Ancak Nehrin taban yükseklik modeli temin edilememiştir. Enkesitler arasındaki arazi kullanım katsayıları da belirlenerek farklı tekrarlama sıklıklarına göre taşkın modelleri oluşturulmuş ve taşkın alanlarının belirlenmesinde 100 yıllık muhtemel taşkın modeli kullanılmıştır. Modelleme sonucuna göre, olası taşkın etkileyeceği alanlar; yerleşim alanları için 620 ha, tarım alanları için ise 3.330 ha olarak belirlenmiştir. Enkesitlerin birbirine eşit uzaklıkta ve gerektiği yerlerde geniş tutulması modellemenin doğruluğunu etkilemektedir. Yapılan çalışmada toplam 430 adet enkesit çizilmiş ancak Nehrin menderesli olmasından dolayı bazı yerlerde enkesitler istenilen uzunlukta ve sıklıkta alınamamıştır. Hidrolik Modelleme çalışmasında TIN modeli, nehir merkez doğrusunun, akış yollarının ve enkesitlerin doğruluğu açısından büyük öneme sahiptir. Bu nedenle daha yüksek doğrulukta temin edilecek TIN verisi ve Nehrin taban yükseklik modeli, olası taşkın riski ve etkileyeceği alanlar açısından daha kesin sonuçlar verecektir. Ayrıca kullanılan Hec-GeoRAS ve HEC-RAS hidrolik yazılımlarında modellemenin daha gerçekçi yapılabilmesi için daha fazla veriye gereksinim duyulmaktadır.

Uygulanan diğer bir yöntem olan MCDA'da Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılarak taşkın risk analizi için kriterler belirlenmiştir. Yapılan çalışmada taşkın riski; havzanın sayısal yükseklik modeli, SYM'den üretilen eğimi ve bakışı, jeolojisi ve arazi kullanımı olmak üzere 5 parametreye bağlı olarak düşünülmüştür. Gerekli yorumlamalar ve önem sıralaması yapılarak üretilen taşkın risk haritasında, yüksek

taşkın riskine sahip bölgeler; yerleşim alanları için 1.400 ha ve tarım alanları için 5.550 ha olarak belirlenmiştir.

Elde edilen bu sonuçlara göre yapılan risk analizlerinde MCDA'dan alansal olarak daha yüksek risk değerleri elde edilmiştir. Bunun nedeni MCDA'da kullanılan kriterlerin yeterli olmaması ve bu kriterler arasındaki sınırlamaların, Hidrolojik ve Hidrolik Modelleme'ye göre daha az olmasıdır. Bu nedenle, taşkın risk analizi çalışmalarında kullanılan iki yöntemin de sınır koşulları göz önünde bulundurularak gerekli hesaplamalar yapılmalıdır. Ayrıca taşkın risk analizi çalışmalarında, havzanın fiziksel özellikleri ve bunlara bağlı parametrelerin kısa sürede güncellenmesi zordur. Uydu görüntüleri yardımıyla bu güncellemeler gerçekleştirilip CBS ile entegrasyonu sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

- Anlı, A.**, 2006. Giresun Aksu havzası maksimum akımlarının frekans analizi, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, **19**(1), 99-106.
- Benson, M. A.**, 1968. Uniform Flood-Frequency Estimating Methods For Federal Agencies. *Water Resources Research*, 4(5); s. 891-908
- Beyazıt, M.**, 1998. Hidrolojik Modeller, İTÜ, İstanbul.
- Bridge, J.S.**, 2003. Rivers and Floodplains: Forms, Processes and Sedimentary Record, Blackwell Publ., 491pp., Oxford, London.
- Djokic, D.**, 2000. Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems. Redlands Calif.:Esri Press
- Doğan, A.**, 2004. **Sakarya Havzası (Plio-Kuvaterner) Güney Kesimi Holosen İstifinin Sedimanter Özellikleri ve Jeolojik Evrimi, Yüksek Lisans Tezi, A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara**
- DSİ**, 2005. DSİ Genel Müdürlüğü, *Faaliyet Raporu*, Ankara, Türkiye.
- Emre, Ö. ve Awata, Y.** 2003. Doğu Marmara Bölgesi'nde Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nin Neotektonik Özellikleri. MTA Özel Yayın Serisi-1, Bölüm-1, s.1-9
- ENVI**, 2007. ENVI Tutorials, *The DEM Extraction Module*.
- Evren, R., Ülengin, F.**, 1992. Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme, İTÜ Yayınları, İstanbul
- Kılıçer, Ü.**, 2000. Meteorolojik kaynaklı doğal afetler, *alt komisyon raporu*, Ankara, Türkiye.
- Kuruüzüm, A., Atsan, N.**, 2001. Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları. *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*. Sayı:1 83-105.
- Letis, W., Bauchhuber, J., Barka, A., Witter, R. and Brankman, C.**, 2000. Surface Fault Rupture and Segmentation during the Kocaeli Earthquake, The 1999 İzmit and Düzce Earthquakes: preliminary

results. Eds: A. Barka, Ö. Kozacı, S. Akyüz and E. Altunel, İst. Tec. Univ., İstanbul, 2000.

**Melesse, A.M., 2002.** Spatially Distributed Storm Runoff Modeling Using Remote Sensing and Geographic Information Systems, *Ph.D. Dissertation*, University of Florida, Gainesville.

**Özdemir, H., 2007.** Havran Çayı Havzasının CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Taşkın ve Heyelan Risk Analizi, *Doktora Tezi*, İ.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

**Saaty, T.L., 1989.** Hierarchical-Multiobjective Systems, Control-Theory and Advanced Technology, Vol:5 (4), 485-489.

**Sakarya, 2004.** Sakarya Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, *Sakarya İl Çevre Durum Raporu*, Sakarya, Türkiye.

**Singh, V.P., 1996.** Hydrologic Modeling with GIS, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

**Tarı, U., 2007.** İzmit Körfezi ve Çevresinin Morfotektoniği, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**USACE., 1993.** Engineering and Design Hydrologic Frequency Analysis, Department of Army, EM-1110-2-1415, USA

**Yoon, K., Hwang, C., 1995.** Multiple Attribute Decision Making: Springer-Verlag and Heidelberg GmbH & Co. KG, Berlin

**Özdemir, H., 2007.** Kişisel görüşme.

## **TEŐEKKÖR**

Yapılan yűksek lisans alıŐması, İstanbul Teknik Ŭniversitesi Uydu Yer İstasyonu tarafından desteklenmiŐtir.

## ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini TED Ankara Koleji’nde tamamladı. 2000 yılında Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başladı. 2005 – 2006 eğitim ve öğretim yılı güz döneminde İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama programında yüksek lisans eğitimine başladı. Şu anda aynı programda doktora öğrencisi olarak devam etmekte ve Rize Afet Bilgi ve Meteorolojik Erken Uyarı Sistemi projesinde çalışmaktadır.