

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKARSU HAVZALARINDA HİDROELEKTRİK
POTANSİYEL PARAMETRELERİNİN UZAKTAN
ALGILAMA VE CBS İLE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Uğur ALGANCI

Anabilim Dalı : JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı : GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2008

**AKARSU HAVZALARINDA HİDROELEKTRİK
POTANSİYEL PARAMETRELERİNİN UZAKTAN
ALGILAMA VE CBS İLE BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Uğur ALGANCI
(501061631)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Mayıs 2008**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. H. Gonca COŞKUN
Diğer Jüri Üyeleri: Y. Doç. Dr. Çiğdem GÖKSEL
Prof.Dr. H. Kerem CİĞİZOĞLU**

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği programında gerçekleştirilen yüksek lisans çalışmasında Solaklı havzasında hidroelektrik potansiyel parametreleri, 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 Doç. Dr. H. Gonca Coşkun'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitim süreci içinde, 2228 - BİDEB burs programı çerçevesinde maddi destek sunan, ayrıca 106M043 nolu proje kapsamında çalışmada kullanılan verilerin teminini sağlayan TUBİTAK kurumuna teşekkür ederim.

Gerektiği zaman yardımlarını esirgemeyen arkadaşım, Müh. Gökçe Usta'ya teşekkür ederim.

Çalışmam süresince her alanda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, bilgi ve birikimleriyle bana yol gösteren anneme ve babama saygı ve sevgilerimi sunuyorum.

Haziran 2008

Uğur ALGANCI

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	2
1.2. Materyal ve Yöntem	4
1.3. Literatür Taraması	5
2. ÇALIŞMA ALANININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	7
2.1. Topografik ve Jeomorfolojik Özellikler	7
2.1.1. Bitki örtüsü	8
2.1.2. Eğim özellikleri	8
2.1.3. Bakı özellikleri	9
2.2. Genel Jeoloji ve Tektonik	11
2.3. İklim	11
2.3.1. Yağış	11
2.3.2. Sıcaklık	12
2.3.3. Buharlaşma	12
3. UYGULAMA	13
3.1. GPS Ölçmeleri ve Arazi Çalışmaları	13
3.1.1. İstasyonların Tespiti	17
3.1.2. Sınıfların Arazide Belirlenmesi	19
3.2. Uzaktan Algılama Verilerinin İşlenmesi	21
3.2.1. Uydu görüntülerinin geometrik düzeltilmesi	21
3.2.2. Uydu görüntülerinin çakıştırılması	23
3.2.3. Uydu görüntülerinin sınıflandırılması	24
3.2.4. Stereo uydu görüntülerinden SYM oluşturulması	27
3.3. Hidrolojik ve Hidrolik Model Uygulaması	30
3.3.1. Havza parametrelerinin belirlenmesi	30
3.3.2. Eş yağış haritalarının üretilmesi	37

3.3.3. Regresyon analizi ile akım denklemlerinin oluşturulması	39
3.3.4. CBS Ortamında Akım Değerinin Hesaplanması	42
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ	48

KISALTMALAR

UA	: Uzaktan Algılama
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
DEM	: Digital Elevation Model
UTM	: Universal Transverse Mercator
TIN	: Triangulated Irregular Network
AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
WGS	: World Geodetic System
HES	: Hidroelektrik Santral
GPS	: Global Positioning System
IRS	: Indian Remote Sensing

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 Çalışmada kullanılan uydu görüntülerine ait genel özellikler.....	4
Tablo 3.1 GPS sabit baz istasyonlarının koordinat ve yükseklikleri.....	14
Tablo 3.2 Ölçülen GPS noktalarının koordinat ve yükseklik bilgileri.	17
Tablo 3.3 AGİ ve meteoroloji istasyonlarının koordinat ve yükseklikleri.....	18
Tablo 3.4 Arazi kullanım sınıflarının hektar bazında alansal analizi.....	26
Tablo 3.5 Alt havzaların bir kısmına ait topografik parametreler.	36
Tablo 3.6 Yağış istasyonlarının koordinat ve yağış değerleri.	37
Tablo 3.7 Akım denklemleri ve R^2 değeri.....	40
Tablo 3.8 Doğrusal ve logaritmik regresyon denklemleri ile tahmin edilen debi değerleri.....	41

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1	: Çalışma alanının konumu.....	3
Şekil 2.1	: Solaklı havzası eğim haritası.....	9
Şekil 2.2	: Solaklı havzası bakı haritası.....	10
Şekil 3.1	: Statik GPS ölçüm şeması.....	13
Şekil 3.2	: GPS ölçümünde kullanılan sabit istasyonlar ve ölçülen noktalar ile sabitlerden 8 km uzaklıktaki daireler	15
Şekil 3.3	: Cartosat görüntülerinde yer kontrol noktası olarak ölçülen noktalara örnekler (a) yer kontrol noktası olarak ölçülen 3 yolun kesişiminde kavşak (b) yer kontrol noktası olarak ölçülen köprü yol kesişimi.	15
Şekil 3.4	: GPS ölçümü örneklerinin yersel fotoğraflarından örnekler (a) Tesis edilmiş bir sabit kontrol noktası ve GPS ölçümü (b) Uyduda 9 no.lu noktadaki köprü yol kesişimi ve GPS ölçümü.	16
Şekil 3.5	: GPS nokta ölçmelerinin çözüm vektörleri	16
Şekil 3.6	: Ölçülen istasyonlara ait örnekler (a) Akım Gözlem İstasyonu (b) Yağış İstasyonu	18
Şekil 3.7	: Tespit edilen arazi sınıflarının uydu görüntüsü üzerinde gösterimi ...	20
Şekil 3.8	: Arazi sınıflarının yersel fotoğrafları (a) Çay alanları (b) Fındık ve karışık ağaç türleri (c-d) Uzungöl ve ibreli orman (e) Mera alanları (f) İbreli orman ve mera (g) Çıplak dik kayalar ve karlı alanlar.	21
Şekil 3.9	: 2006 yılına ait geometrik düzeltmesi yapılmış görüntü.	23
Şekil 3.10	: IHS dönüşüm metodunun şematik gösterimi.	24
Şekil 3.11	: 2006 tarihli IRS P6 verisinin kontrollü sınıflandırma işlemiyle oluşturulmuş sonuç görüntüsü.....	26
Şekil 3.12	: Stereoskopik algılamanın temel prensibi.	27
Şekil 3.13	: Stereo görüntülerden oluşturulan SYM' nin üç boyutlu perspektif görüntüsü.....	29
Şekil 3.14	: Stereo görüntülerden oluşturulan SYM.....	29
Şekil 3.15	: Hidrolojik ve hidrolik model uygulamasının akış şeması.	30
Şekil 3.16	: Solaklı havzası akış yönü haritası.	31
Şekil 3.17	: Solaklı havzası yüzeysel akış haritası.	32
Şekil 3.18	: Oluşturulan sentetik drenaj ağının vektör gösterimi.	33
Şekil 3.19	: Belirlenen santral noktalarının vektör gösterimi.	34
Şekil 3.20	: Oluşturulan alt havzaların vektör gösterimi.	35
Şekil 3.21	: 17 no'lu alt havzaya ait boykesit.	37
Şekil 3.22	: Havzaya ait eş yağış eğrileri.....	38
Şekil 3.23	: Ortalama alansal yağış için örnek havza.	38
Şekil 3.24	: Denklemlerde kullanılan istasyonların konumları ve bu istasyonlara ait alt havzaların alan (A), yükseklik değerleri (AVEL).....	39
Şekil 3.25	: Doğrusal ve logaritmik regresyon denklemleri sonucunda bulunan tahmin değerlerine ait saçılma diagramları	40

Şekil 3.26 : CBS ortamında akım değerinin hesaplanmasına ilişkin ekran görüntüsü.....	42
--	----

AKARSU HAVZALARINDA HİROELEKTRİK POTANSİYEL PARAMETRELERİNİN UZAKTAN ALGILAMA VE CBS İLE BELİRLENMESİ

ÖZET

Hidroloji ve su kaynakları araştırma ve çalışmalarında son yıllarda Uzaktan Algılama (UA) yöntemleri ile sağlanan uydu görüntüleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılmaktadır. Uydu teknolojilerinin gelişimi ile yersel ölçümlere göre hızlı ve ekonomik çözümler ve bilgiler elde edilebilmektedir.

Projede çalışılacak olan Trabzon – Solaklı havzası gibi özellikle ulaşımın çok zor veya imkansız olduğu dağlık alanlarda uzaktan algılama yöntemlerinden yararlanarak Hidroelektrik Santral (HES) ve baraj yapımı için uygun bölgelerin seçilmesi ve tanımlanmasında uydu verilerinden yararlanılmaktadır.

Akım ölçümleri olmayan ya da yetersiz olan, küçük havzalarda hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde, oluşturulacak Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ile arazinin yükseklik, eğim, bakı verilerinin elde edilebilmekte ve bu veriler yardımı ile havza sınırları ve drenaj ağları, minimum maksimum ve ortalama yükseklik ve eğim gibi veriler oluşturulabilmektedir. Ayrıca yine uydu verilerinin sınıflandırılması ile arazi kullanım durumu güncel olarak tespit edilebilmektedir. Bu verilerin CBS ortamında modellenmesi, yağış, sıcaklık verilerinin de entegrasyonu ile potansiyel hesaplanmaktadır.

Bu çalışmada Solaklı Havzası için arazi kullanımının belirlenmesi amacıyla 5.8 m geometrik çözünürlüklü IRS P6 multispektral uydu verisi, SYM'nin oluşturulması amacı ile de stereo çekim yapan 2.5 m geometrik çözünürlü IRS P5 uydu verisi kullanılmıştır. Üretilen SYM kullanılarak havzaya ait akış yönü ve yüzey akış haritaları oluşturulmuştur. Sonraki aşamada bu haritalar ve SYM bir arada CBS yazılımında analiz edilerek havzanın sentetik drenaj ağı oluşturulmuştur. Bu drenaj ağı üzerinde, kolların kesişim noktaları üzerinde belirlenen istasyon noktalarını besleyen alt havzalar, yine CBS ortamında analiz sonucu belirlenmiştir. Son aşamada bu alt havzaya ait topografik parametreler hesaplanmış; bu parametreler ve eşyağış eğrilerinden elde edilen ortalama alansal yağış bilgileri çoklu regresyon sonucunda elde edilen akım denkleminde kullanılarak istasyon noktalarına ait akım değerleri hesaplanmıştır.

DETERMINATION OF HYDROELECTRIC POTENTIAL PARAMETERS IN WATERSHEDS BY USING REMOTE SENSING AND GIS

SUMMARY

Nowadays, Remotely Sensing (RS) and Geographical Information Systems (GIS) are being used for the hydrology and water resource studies and researches. With the developments over satellite technologies, it becomes possible to assess rapid and economic solutions and information from the remotely sensed data considered to terrestrial observations.

Remotely sensed data is occasionally used in determination of the area to build a hydroelectric plant, especially in the mountainous basins such as the Trabzon-Solaklı basin which will be studied in this project.

When determining the hydroelectric potential in small ungauged basins, height, slope, aspect information of the basin can be derived from the Digital Elevation Model (DEM). Also, basin boundary, perimeter and area, minimum maximum and mean elevation and slope values can be calculated from this model. In addition, current land use information can be determined from remotely sensed data with image classification. All the data stated above can be modeled in GIS environment and integrated with rainfall and temperature information to calculate the potential.

In this project, IRS P6 multispectral satellite data with 5.8 m spatial resolution will be used for land use classification and IRS P5 stereo satellite data with 2.5 m spatial resolution will be used for deriving the DEM. In the next step, this DEM is used to produce the flow direction and flow accumulation maps of the basin. Then, synthetic drainage network is obtained with the analysis of these maps and DEM together in the GIS software. Station points are determined according to the intersection points at this drainage network. Then, sub basins that feeding the station points are generated in the GIS environment and topographic parameters of these sub basins are calculated. In the last step, these topographic parameters and mean areal rainfall values derived from the rainfall maps are used in the flow equation produced by multiple regression analysis in order to calculate the flow in the stations.

1. GİRİŞ

Türkiye engebeli bir araziye sahip olduğundan akarsuların düşüm yükseklikleri büyük, dolayısıyla hidroelektrik potansiyelleri çok yüksektir.

2006 yılı sonu verilerine göre Türkiye'nin teknik ve ekonomik hidroelektrik potansiyeli yaklaşık 130 GWh olarak belirlenmiştir. Bu değerin hesaplanmasında, işletmede, inşaat halinde olan santrallerle birlikte, kesin projesi, planlaması, master planı ve ilk etüdü hazır olanlar dikkate alınmıştır. Hesaplanan bu toplam potansiyelin 45.8 GWh'i işletmededir. Bu ise yaklaşık olarak %35'tir. Bununla birlikte ülkenin toplam teorik potansiyeli 433 GWh olarak tahmin edilmektedir. 130 GWh'lik potansiyel belirlenirken planlaması yapılmayan ve projesi ele alınmayan muhtemel santrallerin potansiyeli ile küçük hidroelektrik santrallerin potansiyeli dikkate alınmamıştır. Bunlar da dikkate alındığında Türkiye'deki toplam kullanılabilir potansiyelin 2006 yılında henüz % 35'i değil, daha küçük bir yüzdesinin kullanılmakta olduğu anlaşılr.

Öte yandan Türkiye'de Devlet Su İşleri ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi genel müdürlükleri tarafından 3000'e yakın gözlem istasyonunda akarsu akım (debi) ölçümleri yapılmasına rağmen pek çok akarsu ve kollarında akım ölçüm istasyonu yoktur. Üstelik bu akarsu ve kollarının bir kısmına yol bile gitmemektedir. Çoğu yüksek kesimlerde olduğu için kış mevsiminde uzun bir süre kar altında kalmaktadır. Halbuki bu akarsuların hidroelektrik potansiyelinin belirlenmesi için uzun yıllar ölçülmüş debilerine ihtiyaç vardır. Bu yüzden ölçümü olmayan akarsuların hidroelektrik potansiyeli belirlenememekte ve projelendirilememektedir.

Bu potansiyeli ortaya çıkarmak için bu çalışmada akım ölçümü olmayan veya çok az olan havzaların ve alt havzaların debileri ve düşüm yükseklikleri belirlenmelidir. Akım ölçümleri olmayan ya da yetersiz olan havzalarda debilerin belirlenmesi için oluşturulacak modellerde havza ve alt havzalara ait, alan, çevre, eğim, minimum, maksimum ve ortalama yükseklik ve arazi kullanım durumu gibi parametrelerin bilinmesine ihtiyaç vardır.

Uydu görüntüleri, sürekli algılama yapma özellikleriyle, geniş alanların izlenmesinde vazgeçilmez bir kaynaktır. Özellikle stereo çekim yapabilen uydu verileri ile Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturularak havzalara ait topografik parametreler elde edilebilmektedir. Ayrıca bu verinin analizi ile alt havzalar oluşturulabilmektedir. Yüksek çözünürlüklü ve çok kanallı verilerin sınıflandırılması ile güncel arazi kullanım durumu elde edilebilmektedir.

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 saklanması, güncelleştirilmesinde, katmanlar halinde birlikte analiz edilmesinde ve su kaynakları geliştirilmesinde geniş çalışma alanı yaratmıştır. Ayrıca; uzaktan algılama (UA) ve CBS nin bütünleşik ve verimli kullanımı, su kaynaklarındaki birçok problemin çözümünde, hidroelektirik potansiyelin hesaplanması gibi önemli ve stratejik konularda mühendislere büyük ölçüde fayda sağlamıştır.

1.1 Amaç ve Kapsam

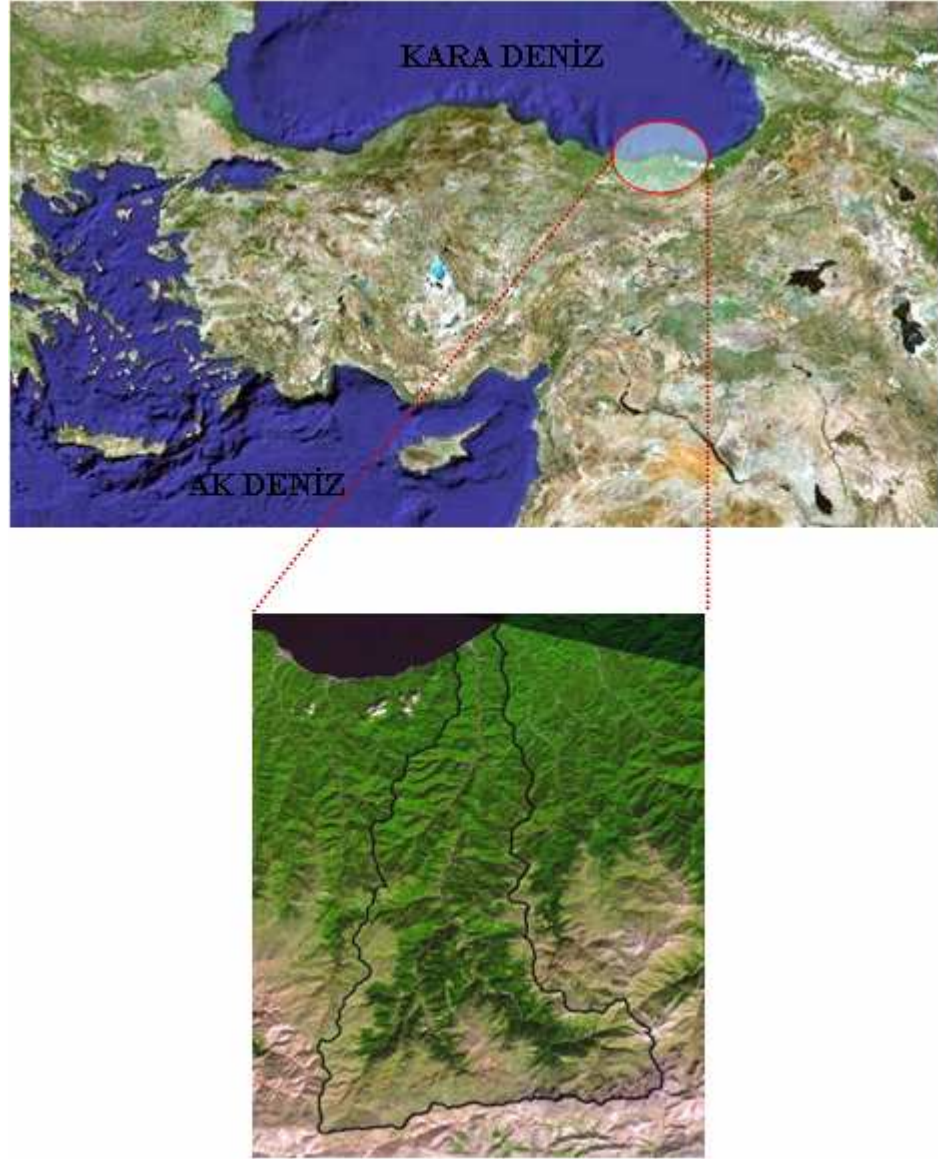
Türkiye’de pek çok akarsu veya kolunun hidroelektrik potansiyeli henüz belirlenmemiş, ayrıca küçük hidroelektrik potansiyeli de ortaya konmamıştır. Bununla beraber Doğu Anadolu, Güney Doğu Anadolu, Karadeniz ve Akdeniz gibi arazi eğimlerinin yüksek olduğu dağlık bölgelerdeki küçük akarsular önemli sayılabilecek hidroelektrik potansiyele sahiptirler. Buna rağmen bu akarsuların birçoğunda akım ölçme istasyonu bulunmadığından mevcut hidroelektrik potansiyelin değerlendirilmesi hakkında bugüne kadar herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

Ölçüm yapılmayan havzalarda kullanılmak üzere akım verisi sağlamak için değişik seçenekler söz konusudur: (1) Yerinde gözlem yapılması, (2) Benzer özellikli yakın havza verilerinin kullanılması, (3) Uzaktan Algılama ve CBS uygulamaları, (4) Hidrolojik model simülasyonu, (5) Entegre edilmiş meteorolojik ve hidrolojik model simülasyonu. Bu çalışmada, yerinde gözlem yapılması ve entegre edilmiş meteorolojik ve hidrolojik verilerin kullanılması dışındaki seçenekler kullanılmıştır.

Çalışmada, Doğu Karadeniz bölgesinde bulunan Solaklı havzası seçilerek bu havzanın alt havzalarındaki teknik hidroelektrik potansiyelinin belirlenmesi

amaçlanmıştır (Şekil 1.1). Hidroelektrik tesislerin teknik potansiyeli, akımın debisi ve düşü yüksekliğine bağlıdır. Akım ölçümü bulunmayan havzalarda belirli kesitlerdeki debiler havza alanı, yağış, buharlaşma, hava sıcaklığı ve deniz seviyesinden olan yükseklik gibi parametrelere bağlı olarak tahmin edilebilir.

Çalışmanın temel amacı akım ölçümleri olmayan veya pek az olan akarsu havzalarında akımın belirlenmesi için gerekli parametrelerin UA ve CBS kullanılarak belirlenmesidir.



Şekil 1.1 : Çalışma alanının konumu.

1.2 Materyal ve Yöntem

Sayısal veri olarak Harita Genel Komutanlığı tarafından üretilmiş olan 1:25.000 ölçekli dijital eşyüksekti eğrileri temin edilmiş ve bu veriler kullanılarak 10 metre uzaysal çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üretilmiştir. Bu SYM verisi, uydu verilerinin ortorektifikasyon işleminde kullanılmıştır..

Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri 106M043 kodlu TÜBİTAK projesi kapsamında temin edilmiştir. Bu verilerden 18.12.2006 tarihli stereo Cartosat -1 verisi SYM oluşturulmasında, 07.10.2006 tarihli IRS P6 Multispektral – Pankromatik veri seti ise sınıflandırma yöntemi ile arazi kullanım durumunun belirlenmesinde 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.

Cartosat - 1	Güneyden Çekim	Kuzeyden Çekim
Çekim açısı	+26 deg	-5 deg
Uzaysal Çözünürlük	2.5 m	2.5 m
Çerçeve genişliği	30 km	27 km
Radyometrik çözünürlük	10 bit	10 bit
Spektral Çözünürlük	500-850 nm	500-850 nm

IRS – P6 (LISS IV)		LISS-IV		LISS-III
		Mono Mode	MX Mode	
Uzaysal	Tüm bantlar	5.8 m	5.8 m	23.5 m
Çerçeve genişliği	Tüm bantlar	70 km	23.9 km	140 km
Radyometrik çözünürlük	Tüm bantlar	7 bit	7 bit	7 bit
Spektral Çözünürlük	Band 2 (yeşil) Band 3 (kırmızı) Band 4 (NIR) Band 5 (SWIR)	620-680 nm	520-590nm 620-680 nm 770-860 nm	520-590 nm 620-680 nm 770-860 nm 1550-1700 nm

Çalışmada CBS yazılımı olarak ArcGIS 9.2 ve Arc View 3.2 yazılımları kullanılmıştır. Havza modelinin oluşturulması için gerekli olan alt analiz modülleri olarak ArcHydro ve Grid Analyst programları kullanılmıştır. Uydu görüntülerinin geometrik dönüşümleri, zenginleştirilmesi, sınıflandırılması için Erdas 8.7 ve stereo uydu görüntülerinden SYM oluşturmak için de PCI Geomatica 9.1 görüntü işleme programları kullanılmıştır.

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 SYM, 2.5 metre çözünürlükte ve ± 4 metre konum doğruluğuna sahip Cartosat – 1 (IRS P5) verisinden üretilmiştir.

Uydu görüntülerinin geometrik dönüşümü, SYM üretimi ve sınıflandırmada örnek alanların belirlenmesi için arazi çalışması yapılmış, arazide, Türkiye ulusal Temel GPS Ağı'ndan (TUTGA) da noktaları kapsamak koşulu ile statik GPS ölçümleri yapılarak, yer kontrol noktaları belirlenmiştir.

Eldeki verilerin düzenlenmesinin tamamlanması, sayısal ortama aktarılması ve uydu görüntülerinin işlenmesinden sonra akım değerlerinin hesaplanmasında kullanılacak olan temel analizler ve değerlendirmeler yapılmıştır. Uygulama kısmında havzanın fiziksel parametreleri alt havzalar bazında belirlenmiş, öngörülen hesaplamalar yapılmıştır. Daha sonra tüm bu veriler CBS ortamında değerlendirilerek, akım değerinin hesaplanması işlemi çoklu regresyonla üretilen formülasyon yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

1.3 Literatür Taraması

Kumar ve Singhal (1999) akım ölçümleri belli olmayan küçük havzalarda hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde, oluşturulacak SYM ile arazinin yükseklik, eğim, baki verilerinin elde edilebileceğini ve bu veriler yardımı ile havza

sınırları ve drenaj ağı gibi verilerin oluşturulabileceğini, bu bilgilerin uydu verileri ile birleştirilerek, CBS yazılımları ile modellenmesi ve yağış, sıcaklık verilerinin entegrasyonu ile potansiyelin hesaplanabileceğini belirtmiştir.

Mwakalila, (2003), Tanzania’da öncelikle mevcut gözlemler yardımıyla veri-tabanlı mekanik hidroloji modeline ait parametreler hesaplanarak 19 havza üzerinde kalibre edilmiştir. Öte yandan topografya, jeoloji, zemin, iklim ve arazi kullanımını temsil eden fiziksel havza karakteristikleri harita ve sayısal yükseklik modellerinden elde edilmiştir. Bu karakteristikler yardımıyla modele ait hidrolojik parametreler çoklu regresyon kullanılarak tahmin edilmiştir. Kalibrasyon sonucu elde edilen parametre değerleri ile tahmin değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Çalışmada ölçüm olmayan havzalarda yalnızca fiziksel havza karakteristikleri kullanılarak akım tahmini yapılabileceği şeklinde bir sonuca ulaşılmıştır.

Shrestha ve diğ. (2004), Nepal’de 1233 km²’lik alana sahip, ölçüm bakımından zayıf dağlık bir bölgedeki Indrawati havzasını kullanmıştır. Topografik veriler (akarsu şebekesi, havza sınırı, havza alanı, eğim, vb.) ile arazi kullanımı ve karakteristikleri, bitki örtüsü CBS ve UA teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmada akım belirlemede kavramsal toplu (ortalananmış) bir hidrolojik model kullanılmıştır.

Shiqiang ve diğ. (2005) SYM kullanarak, yükseklik, eğim, bakı gibi parametreleri hesaplamış, bu verilerden ortalama, medyan, minimum ve maksimum değerleri istatistiksel metodlarla elde ederek topografik indeks oluşturmuşlardır. Sonraki aşamada bu verileri, Landsat 7 ETM uydu verilerinden elde edilen arazi kullanım haritalarını ve uzun yıllara bağlı yağış gözlem değerlerini birlikte analiz ederek havzaya ait akım bilgisine bir yaklaşımda bulunmuşlardır.

Dudhani ve diğ.(2006) özellikle ulaşımın çok zor veya imkansız olduğu dağlık alanlarda uzaktan algılama yöntemlerinden yararlanarak HES ve baraj yapımı için uygun bölgelerin seçilmesi ve tanımlanmasında uydu verilerinden yararlanmışlardır.

Cheng ve diğ. (2006) ölçüm olmayan bir havzadaki akımı ölçümü olan havza akımı ve bölge yağışına bağlı regresyon denklemi ile vermiştir. Modelde ortaya çıkan parametreler CBS ve UA teknolojisi kullanılarak belirlenen havza jeolojisi, havza sayısal yükseklik modeli, Landsat TM görüntüleri, akım gözlem istasyonundan sağlanan akım verisi ile hava tahmin istasyonlarından alınan yağış ve sıcaklık verilerine bağlı olarak hesaplanmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

2.1 Topografik ve Jeomorfolojik Özellikler

Çalışma alanı, ülkemizin kuzeyinde, Doğu Karadeniz Bölgesinde Trabzon il sınırları içerisindeki Solaklı havzasıdır. Proje alanı Trabzon G 44 ve H44 1/25 000 ölçekli topoğrafik haritalarda yer almakta ve 13 paftayı içermektedir.

Trabzon, Doğu Karadeniz Bölgesinde yer almakta ve 4.685 km² 'lik yüzölçümüyle ülke topraklarının % 0,6'sını oluşturmaktadır. Trabzon, Doğu Anadolu'nun kuzeydoğusunda, Karadeniz'in tabii bir limanı kıyısında, Asya ve Ortadoğu transit yolunun başında kurulmuş bir şehirdir. 41° kuzey enleminde ve 39° 43' doğu boylamında bulunur.

Trabzon ili doğuda Rize, güneydoğuda Bayburt, güneyde Gümüşhane, batıda Giresun illeri, kuzeyde Karadeniz ile çevrilidir. Trabzon topraklarının %30'u dağlık %60'ı kıyından içeriye doğru gittikçe yükselen ve ortalama 25-30 m arası değişen bir eğim gösteren alanlar biçimindedir. Ancak %10'u düzlük olan il toprakları genellikle engebelidir.

Proje alanının güney kesimini doğu-batı doğrultusunda uzanan Haldizen ve Soğanlı dağları sınırlar. Yer yer 3000 m'yi aşan bu dağların yüksek kesimleri doğal sınırı oluşturur. Havzanın en yüksek noktası güneydoğudaki Haldizen dağında 3376 m ile Demirkapı Tepesidir. Havza sularını toplayan başlıca akarsu Solaklı Çayıdır. Fazla yağış, gevşek ve kaygan arazi yapısı ve akarsuların derin biçimde yarıdığı bazı dik yamaçlardaki cılız bitki örtüsü ilin çeşitli yörelerinde zaman zaman can ve mal kaybına yol açan sel ve heyelanlara neden olur.

Solaklı havzası üç farklı ilçedeki topraklardan meydana gelir. Bular Kuzeyden başlayarak Of, Dernekpazarı ve Çaykara'dır. Bunların içinde güneydeki Çaykara en geniştir.

Çaykara İlçesi, Karadeniz Bölgesinin doğu bölümünde, Trabzon İlinin Güneydoğusunda, 40° 33' – 40° 55' kuzey enlemleri ile 40° 15' - 40° 30' doğu boylamları arasında yer alır. İlçenin doğusunda Rize ilinin İkizdere İlçesi, güneyde Bayburt İli, Batıda Sürmene İlçesi, Kuzeyde Dernekpazarı İlçesi, kuzey doğusunda Of İlçesi ile çevrilmiştir. Trabzon iline 75 km uzaklıktadır. İlçe merkezi denizden 280 m yükseklikte ve 25 km içeridedir. Of ilçesinden Bayburt ili İstikametine uzanan vadinin içinde kurulmuştur. Solaklı Çayı'nın yatağı dar olduğundan, bu çayın kenarında bulunan Çaykara İlçesi'nin yerleşim alanı da dardır.

2.1.1 Bitki örtüsü

Doğu Karadeniz sıradağlarına bağlı kıyı dağlarının yüksek kesimlerinden Karadeniz kıyısına kadar uzanan Trabzon ilinin doğal bitki örtüsü, doğu ve batı da komşusu olan iller gibi çok zengindir. Kuzeye bakan kesimleri bol yağış alan bu dağlar kızılgağaç, gürgen, kestane, kayın, köknar ve ladinden oluşan yoğun bir orman örtüsü ile kaplıdır. İlin güneydoğusundaki Haldizen Dağı'nın Güneye bakan yamaçlarında ise sarıçam ormanları vardır. Ormanın üst sınırının geçtiği 2000-2100 m yükseklikten sonra rastlanan alp tipi Sultanmurat gibi çayırlarla kaplı yaylalar yer alır. Trabzon İlinde ormanlık alan 176 055 ha olup, il arazisinin % 38'ini; çayır ve mera alanı ise 111 628 ha olup, il arazisinin %24'ünü oluşturmaktadır.

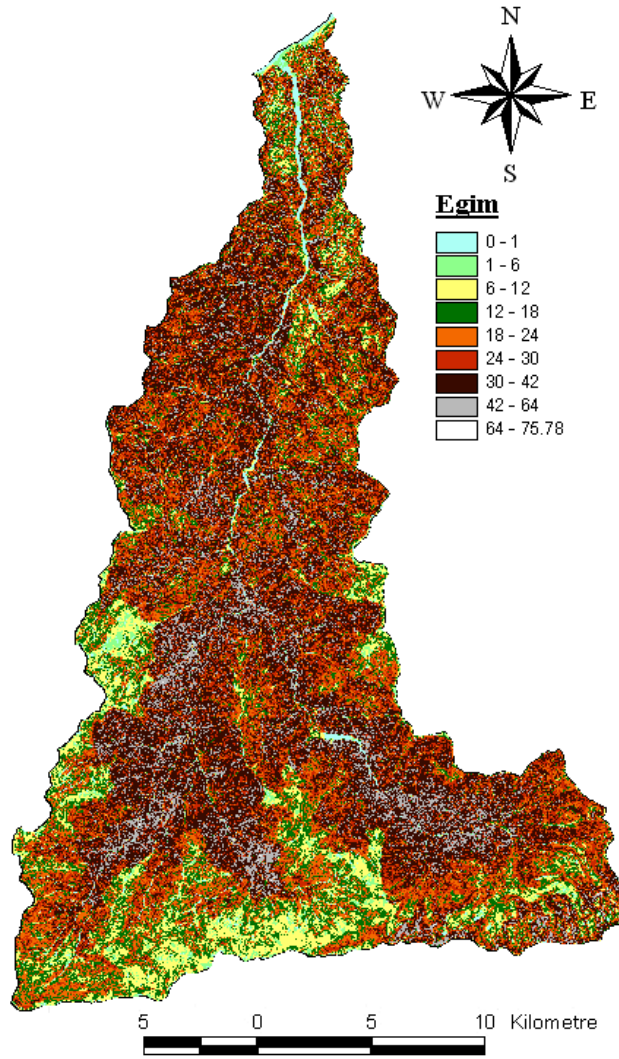
Havzada hemen hemen bütün mevsimlerde yağışın görülmesi, bitki örtüsünün gür ormanlarla kaplı olmasına neden olmuştur. 900 m yüksekliğe kadar nemi seven geniş yapraklı (kayın, gürgen, meşe, çam, sarıçam kızılgağaç, kestane, ceviz ve çeşitli meyve ağaçları), 900-1300 m arası ise iğne yapraklı ile kayın karışık ormanlar, 1300-2200 m ye kadar iğne yapraklı (karaçam- köknar gibi) ağaçlar mevcuttur. Genellikle ağaç türleri ilçe merkezinden yukarıya doğru kestane, kızılgağaç, gürgen, ladin, kayın, sarıçam, köknar, akağaç, saf ve karışık meşeler yer alır. İlçe genelinde ormanın üst sınırı Demirkapı'da 2200 m'ye ulaşır. Havzada mevcut ormanlar özellikle Uzungöl yöresinin ormanlarıdır. Bitki örtüsü, yaban hayatı bakımından elverişli ve zengin oluşu, doğa güzelliğinin olması nedenleriyle Uzungöl çevresi “ Tabiatı Koruma Parkı” olarak ilan edilmiştir (Trabzon Valiliği, 2004).

2.1.2 Eğim özellikleri

Akışın oluşmasında önemli bir etkiye sahip olan eğim faktörü, havzanın jeomorfolojik özellikleri içinde yer alır. Toprağın su tutma kapasitesinin aynı olduğu

varsayıldığında, eğimin fazla olduğu olduğu bölgelerde sızma miktarı, eğimin az olduğu bölgelere oranla daha az oranda gerçekleşir. Bunun sonucunda akışa geçen su miktarı eğimin fazla olduğu alanlarda daha yüksek değerlerde gerçekleşir. Bu alanlarda bitki örtüsünün de çok büyük önemi vardır. Bitki örtüsünün az olduğu yerlerde akarsuyun taşıdığı sediment miktarı daha fazladır.

Solaklı havzası için gerçekleştirilen hidroelektrik potansiyel parametre analizinde, bölgenin eğim karakteristiklerini incelemek için SYM' den oluşturulan eğim haritası kullanılmıştır (Şekil 2.1).



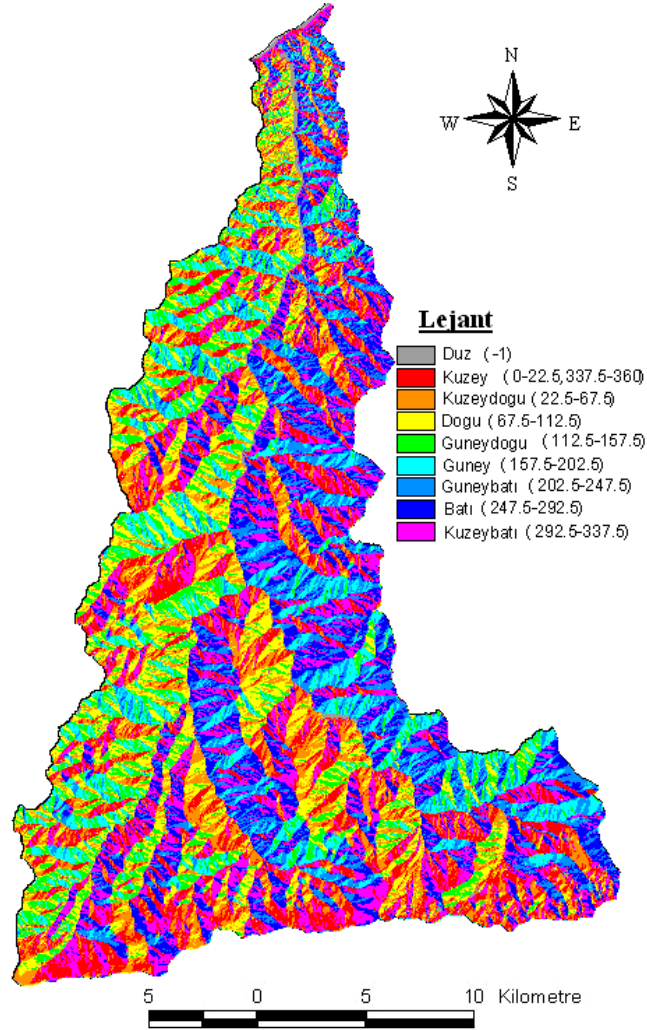
Şekil 2.1: Solaklı havzası eğim haritası.

2.1.3 Bakı özellikleri

Türkiye konumu itibarıyla 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. Yapılan çalışmada, havzanın sayısal arazi modelinden 8 farklı yön ve düz alanlardan oluşan bakı haritası üretilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Solaklı havzası bakı haritası.

2.2 Genel Jeoloji ve Tektonik

Kayaç birimlerinin yaş ve stratigrafik konumları, düşey ve yanal ilişkilere göre belirlenmiştir. İnceleme alanındaki stratigrafik istif alttan üste doğru Üst Kretase yaşlı Bazik Volkanik-Sedimenter Seri (bazalt, andezit, andezitik tüf ve bunları piroklastikleri ile magmatizmada meydana gelen aralarda oluşan tüflü kumtaşları ve kırmızı kireç taşları) ve Kuvaterner-Holosen yaşlı yamaç molozu-eski alüvyon ve yeni alüvyon olarak sıralanmaktadır.

2.3 İklim

Trabzon İlinde, yumuşak bir deniz iklimi hakimdir. En sıcak ay ortalaması 23 °C (Ağustos), en soğuk ay (Şubat) ortalaması 7 °C dir. Ortalama yağış miktarı metrekareye 830 mm. dir. Yılda 51 gün açık, 174 gün parçalı bulutlu ve 140 gün de kapalı olarak geçmektedir.

Çaykara İlçesinde, ılıman serin iklimi göstermekle birlikte ortalama sıcaklıklar sahil kesiminden 4 -7 °C daha düşük düzeyde seyretmektedir. Ayrıca çok yüksek kesimlerde (dağ köyleri ve yaylalarda) geçiş iklimi görülmektedir. İlçe arazisi Doğu Karadeniz sıradağlarının eteklerinde ve yamaçlarında yer alması nedeniyle yılın büyük bir bölümü sisli ve yağışlı geçmektedir.

Çalışma alanı, Doğu Karadeniz havzasının bir bölümünü teşkil eden Solaklı dere havzası içinde genellikle nemli, yağışlı ve ılıman iklim kuşağındadır. Havzada genellikle Karadeniz iklimi hakimdir. Yöre, yurdumuzun en fazla yağış alan kesimini teşkil eder.

Solaklı Deresi havzasının coğrafi konumu nedeni ile iklim özellikleri, genellikle Karadeniz iklimi tesiri altında olmasına rağmen havzanın üst kısımlarına gidildikçe Karadeniz ikliminden uzaklaşılır. İç kesimlere gidildikçe yağış miktarı azalır. Bunda en büyük etken kıyıya paralel uzanan dağların yağışı kesmesi iç kısımlara ulaşmasını önlemesidir. Proje yağış alanı içinde Çaykara (DMİ), Uzungöl (DMİ) ve Köknar (DSİ) meteoroloji istasyonları mevcuttur.

2.3.1 Yağış

Yağış alanına kuzeyden gelen sistemlerinin beraberinde getirdiği nemli hava kütleleri, alan üzerinde hareket ederken yağış alanındaki dağların topografik etkisi ile

neminin önemli bölümünü bol yağış olarak bırakır. Proje alanının ortalarında yer alan Çaykara'nın yıllık ortalama yağışı 1000 mm civarındadır. Membadaki Uzungöl meteoroloji istasyonunda yıllık ortalama yağış miktarı 1121 mm civarındadır. Denizden yukarı kotlara çıkıldıkça yağış miktarı artmaktadır.

2.3.2 Sıcaklık

Çalışma alanı olan Solaklı dere havzası'nda yukarı kesimlere doğru çıkıldıkça kot yükselmesinden ve karasal iklim etkisi ile sıcaklık azalmaktadır. Proje yerini temsil ettiği kabul edilen en yakın sıcaklık rasadı yapan meteoroloji istasyonu Trabzon meteoroloji istasyonunun 1929-2005 yılları arasını kapsayan ortalama sıcaklık değeri 14.6 °C dir. Trabzon meteoroloji istasyonunun sıcaklık ölçümleri Tablo 2.4'de verilmiştir. Bölgede her 100 m yükselmede sıcaklığın ortalama 0.5 °C azaldığı bilinmektedir.

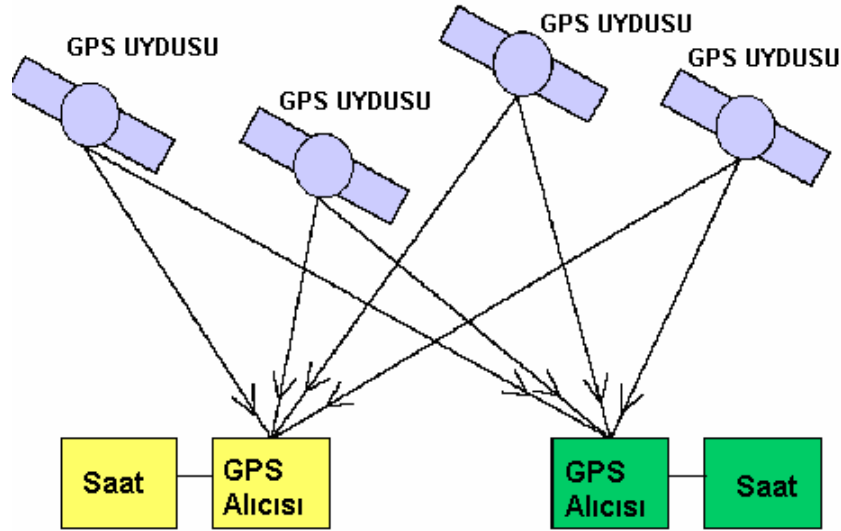
2.3.3 Buharlaşma

Solaklı havzasında ve civarında buharlaşma rasadı yapan meteoroloji istasyonu yoktur. Bunda en büyük etken bölgenin oldukça fazla yağış almasıdır. Civarda buharlaşma rasadı yapan istasyon olmadığı için en yakın istasyon olarak Trabzon meteoroloji istasyonunun buharlaşma değerleri esas alınmıştır. Trabzon'daki yıllık buharlaşma miktarı 830 mm civarındadır.

3. UYGULAMA

3.1 GPS Ölçmeleri ve Arazi Çalışmaları

GPS terimi küresel konum belirleme ifadesinin İngilizce karşılığı olan Global Positioning System teriminin ilk harflerinden oluşmaktadır. Bu sistem basitçe uzayda yörüngelerine oturtulmuş uydulardan ve bu uydulardan gelen sinyalleri toplamak için tasarlanmış yer alıcılarından oluşmaktadır. Bu alıcılar, uydulardan gelen sinyalleri alıp işleyerek konum, hız ve zaman bilgisi verirler. Mühendislik kullanım amaçlı GPS'ler ile mm mertebesinde konum hassasiyetine ulaşılabilmektedir. Değişik yöntemleri olan GPS ölçümlerinin temelinde koordinatı bilinen referans noktasına bir cihaz, ölçülmesi istenen noktaya da başka bir cihaz yerleştirilerek eşzamanlı olarak uzun süreli (bu çalışmada 15-30 dakika) ölçümler yapılır. Sonrasında alıcı tarafından kaydedilen verilerin bilgisayar ortamında analiz edilmesi ile yeni noktanın koordinatları belirlenmiş olur. Bu tekniğe statik ölçüm tekniği denir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Statik GPS ölçüm şeması.

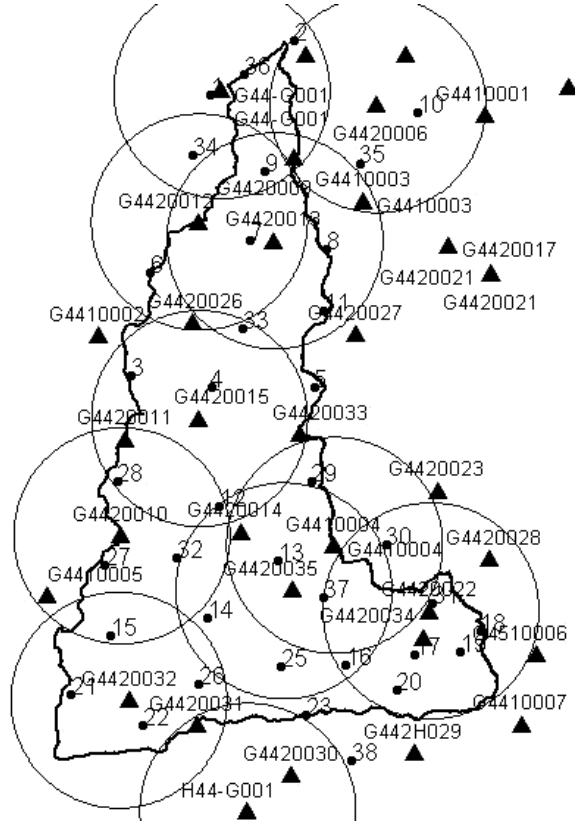
Çalışmada tüm uydu görüntülerinin arazi ile uyumlu olarak koordinatlandırılabilmesi için ortorektifikasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemde görüntüde homojen

olarak dağılmış ve ayırt edilebilen yer kontrol noktalarının (bina köşesi, köprü kenarı, kavşak birleşim yerleri gibi) GPS ile ölçülmüş hassas koordinat ve yükseklik bilgilerine ihtiyaç vardır. Ayrıca stereo uydu görüntülerinden hassas SYM üretilmesi için yine bu yer kontrol noktalarına ihtiyaç vardır. Bu amaçla havza geneline homojen dağılmış yeterli sayıda nokta GPS ile ölçülmüştür. Bu ölçümler sırasında Harita Genel Komutanlığı tarafından koordinatları yüksek doğrulukla belirlenmiş ve tesis edilmiş nirengi noktalarını içeren Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) ve Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü ile İller Bankası projelerinde TUTGA noktalarına bağlı olarak tesis edilmiş ve koordinatları yüksek doğrulukla belirlenmiş olan 1. ve 2.derece kontrol noktaları sabit noktalar olarak kullanılmıştır. Kullanılan sabit baz tesislerin isimleri ve koordinatları Tablo 3.1’de verilmiştir.

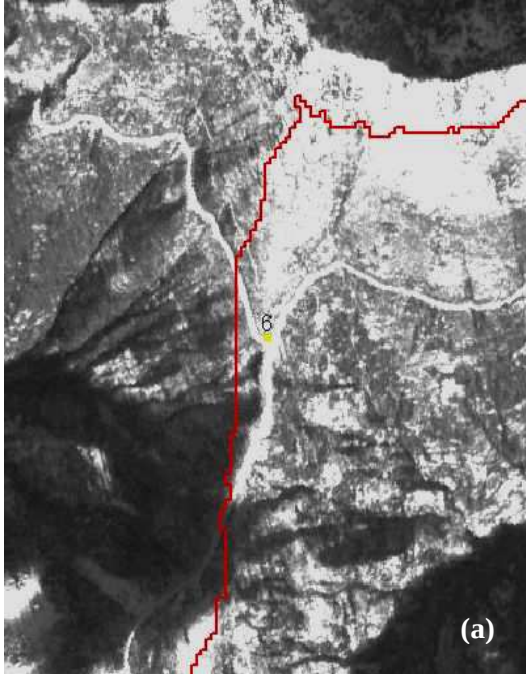
Tablo 3.1: GPS sabit baz istasyonlarının koordinat ve yükseklikleri.

NOKTA ADI	X (doğu)	Y (Kuzey)	Z(ortometrik)	Z(Elipsoidal)
G4410005	591928.95	4494861.10	2411.07	2440.68
G4420006	616312.78	4531226.17	251.84	277.35
G4420013	608691.31	4521146.67	507.31	534.05
G4420014	606252.15	4499611.97	1539.45	1568.41
G4420015	603122.43	4507989.28	913.37	941.65
G4420031	603050.04	4485324.49	2566.94	2596.51
G4420033	610639.76	4506829.52	2087.92	2116.49
G4420034	619716.00	4491799.46	1937.49	1967.07
G4420035	610028.58	4495304.80	1892.96	1922.20
G4420022	620249.51	4493756.29	2118.03	2147.54
G44-G001(TUTGA)	604765.57	4532272.69	14.38	39.60

Proje kapsamında temin edilen uydu verilerinin ortorektifikasyonu ve SYM oluşturulması için, ölçülmüş olan yer kontrol noktaları ve sabit istasyonlar havza sınırı ile birlikte Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Ayrıca ölçülen noktaların uydu verisi üzerinde gösterimi Şekil 3.3’te ve arazide ölçüm sırasında çekilen fotoğrafları Şekil 3.4’te gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : GPS ölçümünde kullanılan sabit istasyonlar ve ölçülen noktalar ile sabitlerden 8 km uzaklıktaki daireler



Şekil 3.3 : Cartosat görüntülerinde yer kontrol noktası olarak ölçülen noktalara örnekler (a) yer kontrol noktası olarak ölçülen 3 yolun kesişiminde kavşak (b) yer kontrol noktası olarak ölçülen köprü yol kesişimi.

Tablo 3.2: Ölçülen GPS noktalarının koordinat ve yükseklik bilgileri

Nokta adı	X(doğu)	Y (Kuzey)	Z (H)	Z (h)
A33	606345.30	4514463.20	411.95	439.50
A2	603770.31	4531713.84	1.86	27.15
A36	606453.99	4533374.33	7.90	32.99
A002	610142.20	4536080.70	6.45	31.24
A1--	601136.37	4508787.58	1352.79	1380.99
A10-	619596.75	4529063.72	115.39	141.26
A12-	604631.18	4501436.27	1577.58	1606.43
A14-	604155.76	4493371.90	1592.03	1621.37
A15-	596587.40	4491805.01	2073.22	2102.76
A17-	618964.27	4490424.05	1982.79	2012.41
A19-	622851.92	4490565.79	2469.97	2499.68
A20-	617653.74	4487817.87	2550.01	2579.65
A21-	593605.59	4487414.11	2436.59	2466.37
A22-	598902.08	4485108.73	2485.00	2514.66
A23-	607773.78	4487867.62	2332.17	2361.69
A25-	609384.05	4491019.50	2475.99	2505.41
A26-	603602.99	4488260.26	2237.65	2267.18
A27-	596095.15	4497023.84	2291.77	2321.08
A28-	597368.70	4505988.35	1867.76	1896.38
A29-	611390.46	4503179.73	2233.03	2261.90
A30-	616918.70	4498507.68	2166.44	2195.73
A31-	620426.44	4494269.25	2212.88	2242.37
A34-	602654.12	4527402.78	445.09	470.98
A35-	614981.27	4526835.08	227.46	253.55
A44-	598476.01	4508741.61	1811.56	1839.83
A5--	611493.27	4510097.29	1875.03	1903.29
A6--	599512.37	4518623.90	1235.58	1262.66
A9--	607991.10	4526252.33	65.72	91.79
AA8-	612790.94	4519959.66	1066.26	1093.29
YYY-	609807.89	4493758.71	1891.82	1921.13
GOL2	609127.81	4497342.75	1118.10	1147.23
Y11-	612181.53	4518003.47	1300.85	1328.14
A7x	606884.30	4521162.15	274.32	301.05

3.1.1 İstasyonların Tespiti

Arazi gezisi sırasında bölgede bulunan Akım Gözlem İstasyonları (AGİ) ve Meteoroloji istasyonlarının konumları el GPS'i ile ± 3 -5 m doğrulukla belirlenmiştir. Şekil 3.6'da ölçülen bu istasyonlara ait fotoğraflar görülmektedir. Tablo 3.3'te ise yerinde ölçülmüş olan istasyonlara ait koordinat ve yükseklikler verilmiştir.



Şekil 3.6 : Ölçülen istasyonlara ait örnekler (a) Akım Gözlem İstasyonu (b) Yağış İstasyonu

Bu çalışma esnasında Sürmene ve Of ilçelerindeki yağış ölçüm istasyonlarının yerleri (koordinatları) belirlenmiş, daha sonra Solaklı Deresi üzerinde, Ulucami AGİ'si incelenmiştir. En son Uzungöl çıkışındaki AGİ incelenmiştir. Uzungöl'deki akım durumu ve membainde yapılan iki katı madde bendinin akım durumu gözlenmiştir. Bu arada Çaykara yağış gözlem istasyonunun yeri belirlenmiştir.

Solaklı Deresi'nin dere ağzından başlayarak 2700 m kotundaki Aygır Gölü'ne kadar çıkılmış, akarsu boyunca bütün yan kollar ve akarsu yatağı akışları gözlenmiştir. Bunlar içinde en göze çarpanları Holo Deresi, Eğridere, Köknar Deresi, Multat Deresi ve İpsil Deresidir.

Tablo 3.3: AGİ ve Meteoroloji istasyonlarının koordinat ve yükseklikleri.

TÜRÜ	ADI	X (m)	Y (m)	Z (m)
AGİ	Eskipazar-Köprü Üzerinde	4535760	609878	12
AGİ	Haldizen Suyu (Serah), Uzungöl	4497459	609060	1116
Göl Gözlem	Uzungöl Üzerinde	4497410	609504	1111
AGİ	Solaklı Ulucami	4513714	606083	243
AGİ	Ögene Deresi - Alçak Köprü	4502760	602599	675
AGİ	İkizdere Mansap	4535841	614861	12
Yağış	Hayrat Meteoroloji Yağış	4527424	615198	176
AGİ	Hayrat Tatlıncık	4522261	618056	363
AGİ	Of-Balaban	4519404	615242	531
Meteoroloji	Köknar	4502007	602839	1218
Meteoroloji	Sürmene	4529502	594327	12
Meteoroloji	Of	4533597	606655	9
Meteoroloji	Uzungöl Çıkış	4497483	609071	1110
Meteoroloji	Çaykara	4511576	604880	264

3.1.2 Sınıfların Arazide Belirlenmesi

Havzanın mansap kısımlarında bitki örtüsü olarak çay, fındık ve mısır görülmektedir. Ayrıca ladin ve özellikle kızılğaç yaygın bitki örtüsüdür. Yukarı çıkıldıkça kestane ve gürgen ağaçları ile ceviz, kiraz, elma, armut gibi meyve ağaçları yer yer bulunmaktadır. Ormanlar arasında sarı orman gülü ve mersin kirazına bol rastlanmaktadır. 1500 m'den sonra yayvan yapraklı ağaçlar azalmakta, ladin ön plana çıkmaktadır. Bu yüksek bölgelerde ayrıca kayın ve huş ağacı yetişmektedir. 2000 m'nin üstünde ancak orman gülü gibi çalılar yer almaktadır. Daha yüksek yerler ise çimen, çayır ve kayalıklarla kaplıdır.

Çakıştırma işlemi sonucu 5.8 m yersel çözünürlüğe ulaşan IRS P6 uydu verilerinin sınıflandırılması ve arazi kullanımının belirlenmesi amacı ile yer doğruluklu araziden alınan örnekleme alanlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla arazide homojen ve araziye temsil edecek şekilde farklı sınıf örnekleri alınmış, bu örneklerin konumları GPS ile belirlenmiş ve yersel fotoğrafları çekilmiştir. Çalışılan havza, iklim özelliklerine bağlı olarak oldukça fazla yağış alması nedeni ile yoğun orman ve bitki türünü bünyesinde barındırmaktadır.

Alınan farklı türlere ait örneklemelerin, havzanın tamamını homojen olarak temsil edebilecek nitelikte olmasına özen gösterilerek aşağıdaki sınıflar belirlenmiştir.

- Su
- Beton
- Kayaç
- Yerleşim
- Açık alanlar
- Yol
- Mera
- Çay
- Fındık
- Geniş yapraklı orman
- İğne yapraklı orman

Şekil 3.7’de uydu görüntüsü üzerinde bu sınıfların yerleri ve Şekil 3.8’de ise bu sınıflara ait yersel fotoğraflar gösterilmektedir.



Şekil 3.7 : Tespit edilen arazi sınıflarının uydu görüntüsü üzerinde gösterimi





Şekil 3.8 : Arazi sınıflarının yersel fotoğrafları (a) Çay alanları (b) Fındık ve karışık ağaç türleri (c-d) Uzungöl ve ibreli orman (e) Mera alanları (f) İbreli orman ve mera (g) Çıplak dik kayalar ve karlı alanlar.

3.2 Uzaktan Algılama Verilerinin İşlenmesi

3.2.1 Uydu görüntülerinin geometrik düzeltilmesi

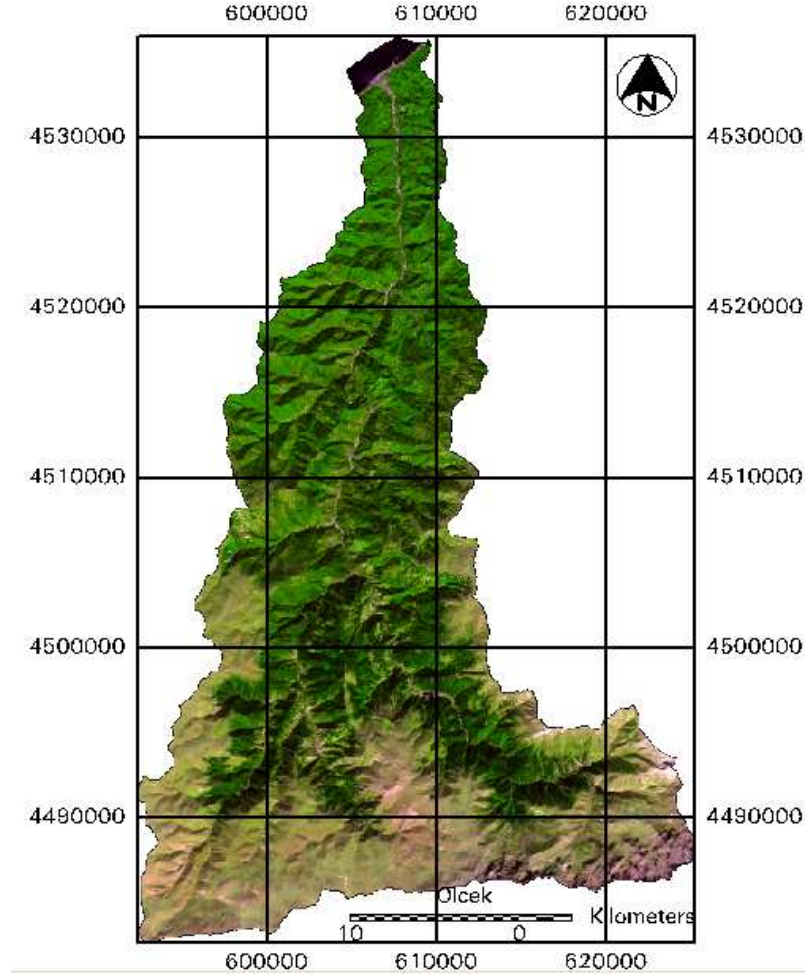
Orijinal uydu dijital görüntüleri, genelde geometrik distorsiyonları (sistemik veya sistematik olmayan) içerdiğinden harita amaçlı kullanılmazlar. Bu distorsiyonlar

yükseklikteki, konumdaki ve algılayıcı platformun hızındaki değişimlerden, yeryüzü eğriliği ve atmosferik kırılma gibi birçok etmenden kaynaklanmaktadır. Geometrik düzeltmenin amacı, bu faktörlerle oluşan distorsiyonları gidererek, düzeltilmiş dijital görüntünün haritanın geometrik entegrasyonuna sahip olmasını sağlamaktır.

Geometrik düzeltme işleminde 2 yaklaşım söz konusudur. İlk yaklaşımda, sistematik olan distorsiyonların hata kaynakları matematiksel olarak modellenerek düzeltme işlemi uygulanır. Sistematik olmayan (gelişigüzel) distorsiyonlar ile bilinmeyen (artık) sistematik distorsiyonların giderilmesini amaçlayan ikinci yaklaşımda ise, görüntüde homojen dağılmış, konumu belirgin (örneğin, yol kesişimleri veya farklı kıyı çizgisi özellikleri gibi) yer kontrol noktaları (GCP) ile bu noktaların harita karşılıkları arasındaki matematiksel bağıntı kurularak düzeltme işlemi tamamlanır. Yer kontrol noktalarının konumları, hem görüntü koordinatları (satır ve sütun) hem de yer koordinatları (haritadan ölçülmüş koordinatlar veya enlem/boylam değerleri) yardımıyla belirlenir. Yer koordinat sistemi ile görüntü koordinat sistemi arasındaki bağıntıyı sağlayan transformasyon eşitlikleri için gerekli katsayıların saptanımı, yer kontrol noktalarının her iki sistemdeki mevcut koordinat değerlerine En Küçük Kareler yönteminin uygulanmasıyla gerçekleştirilir.

Çalışmada kullanılan IRS P6 uydu görüntüleri 2A seviyesinde işlenmiştir, yani bu görüntüler, radyometrik düzeltmesi yapılmış, detektör hataları giderilmiş ve UTM koordinatlarına oturtulmuş görüntülerdir. Bu seviyede işlenmiş verilerde, konumlandırma işlemi, yer merkezli geosentrik WGS 84 elipsoidi referans alınarak gerçekleştirilmektedir. Bu işlemde projeksiyon merkezi, uydu yörüngesi baz alınarak seçilmektedir. Geometrik dönüşüm gerçekleştirilirken yer kontrol noktası ve yükseklik verisi kullanılmamaktadır. Sağlayıcı firmanın açıkladığı teknik bilgilere göre 2A seviyesi için geometrik doğruluk 9 ile 300 metre arasında değişmektedir. Bir sonraki adımda, elde edilen verilerin yüksek doğruluklu konumlandırılması amacı ile, gerçekleştirilen GPS ölçmelerinden elde edilen yer kontrol noktaları ve 1/25000 ölçekli eşyüksekti eğrilerinden üretilen SYM kullanılarak, rasyonel polinom katsayıları (RPC) ve kamera modeli baz alınarak, ortorektifikasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem ± 0.2 piksel karesel ortalama hata ile tamamlanmış ve uydu görüntülerinin yeryüzü ile mekansal olarak birebir örtüşmesi sağlanmıştır. Uydu görüntüleri, ülkemizde kullanılan UTM (Universal Transverse Mercator) projeksiyonu, WGS 84 datumu ve 37. zon kullanılarak referanslandırılmıştır.

Yeniden örnekleme aşamasında görüntülerin spektral değerlerinde değişimin minimum düzeyde gerçekleşmesi amacı ile en yakın komşuluk enterpolasyonu kullanılmıştır (Şekil 3.9).



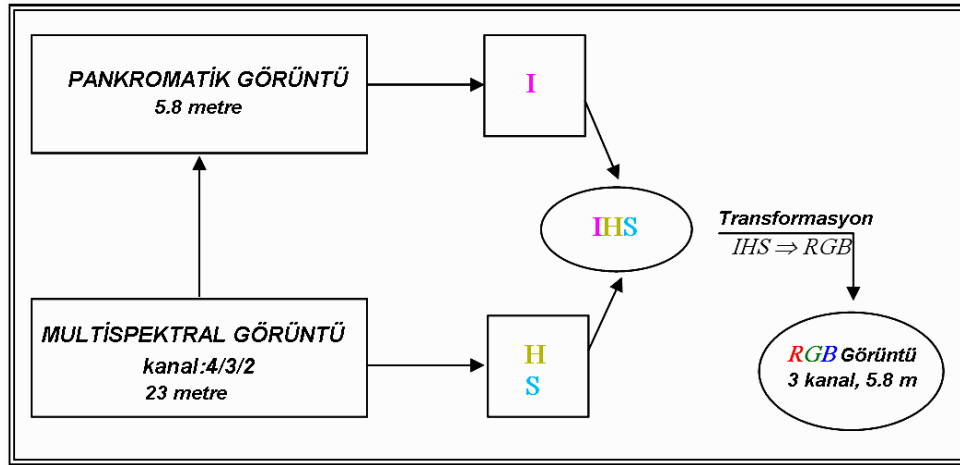
Şekil 3.9 : 2006 yılına ait geometrik düzeltmesi yapılmış görüntü.

3.2.2 Uydu görüntülerinin çakıştırılması

Farklı algılayıcılardan ya da aynı algılayıcının farklı sensörlerinden elde edilen, değişik uzaysal ve spektral çözünürlüğe sahip görüntü verisinin birleştirilmesi amacıyla veri çakıştırma işlemi gerçekleştirilir. Aynı bölgeye ait yüksek uzaysal çözünürlüklü pankromatik görüntü ile, yüksek spektral çözünürlüklü çok kanallı görüntüler çakıştırılarak uzaysal ve spektral anlamda yüksek çözünürlüklü veri elde edilir. Veri çakıştırma işleminde birçok metod var olmakla birlikte bu çalışmada, en çok kullanılan yöntemlerden olan IHS transformasyon metodu kullanılmıştır.

Bu işlemde öncelikle çok kanallı, 23 metre uzaysal çözünürlüklü IRS P6 verisi, yeniden örnekleme işlemiyle çakıştırılacağı IRS P6 pankromatik verisinin uzaysal

Çözünürlüğü olan 5.8 metreye örnekleştirilmiştir. Sonraki adımda çok kanallı görüntünün seçilen 3 kanallı (4/3/2) IHS sistemindeki yoğunluk (I), renk tonu (H), doygunluk (S) sistemine dönüştürölür. Yüksek uzaysal çözünürlüklü pankromatik görüntü bu sistemdeki yoğunluk (I) verisi ile aynı kontrast özelliklerine ve spektral karakteristiklerine sahip olduğundan, yoğunluk verisi ile pankromatik görüntü yer değiştirir. Bu aşamadan sonra geriye dönüşümle RGB (kırmızı / yeşil / mavi) ana renk kombinasyonuna ulaşılır. Böylece yüksek çözünürlüklü 3 kanallı veri elde edilmiş olur. Bu dönüşümün şematik gösterimi Şekil 3.10 da verilmiştir.



Şekil 3.10 : IHS dönüşüm metodunun şematik gösterimi.

3.2.3 Uydu görüntülerinin sınıflandırılması

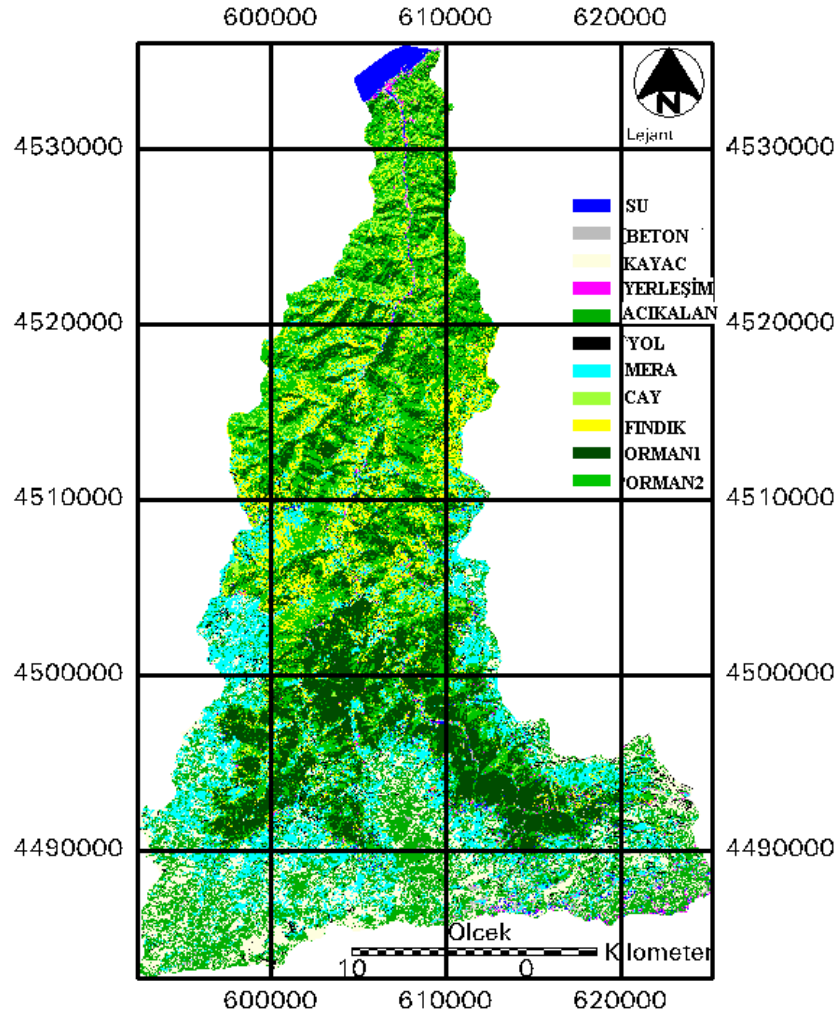
Her bir yüzey elemanı üzerine gelen ışığı farklı oranlarda yansıtır, yutar ve geçirir. Uydu verilerinden elde edilen farklı kanallardaki sayısal verilerin, türleri gösteren görüntülere dönüştürölmesi uzaktan algılamanın kavramsal yöntemleri ile işlenmesi sonucunda elde edilir. Bir multispektral görüntüde her piksel uzay koordinatları olan x, y ve spektral koordinata karşılık gelen dalga uzunluğu ile tanımlanmaktadır. Aynı obje türüne ait yansıtımlar, her bir kanalda farklı değerlere sahiptir. Cisim üzerine gelen ışık ışıma, cismin yapısına bağlı olarak yansıtma, geçirilme ve yutulma değerleri vermektedir. Spektral piksel ölçümlerinin her bir sınıf için vektörlerin bir kümesi olması nedeni ile sınıflandırma sırasında en az iki kanala gereksinim duyulur. Sınıfların birbirleri ile olan korelasyonlarının belirlenerek her bir pikseli en yakın olduğu kümeye atayarak türlerin belirlenebilmesi için başta “Bayes Teoremi” olmak üzere pek çok hesap ve istatistik yöntem uygulanmaktadır.

Sınıflandırma işlemi sırasında, görüntü işleyici görüntü verisinde yersel ölçümlere dayalı örnekleme bölgeleri seçiyor ve daha önce belirlenmiş olan spektral özelliklerden yararlanarak sınıflandırma işlemini yönetiyor veya etkiliyor ise “Kontrollü Sınıflandırma” denir. Kontrollü sınıflandırmanın bir alternatifi ise sınıflandırma sürecinde; çok sayıdaki hangi sınıfa dahil olacağı bilinmeyen piksellerin görüntü verisindeki doğal gruplaşmalarını irdeleyen algoritmaların kullanıldığı “Kontrolsüz Sınıflandırma” yöntemidir. Her iki sınıflandırma yönteminde de temel amaç pikseli sahip olduğu yansıtma değerine göre yeryüzünde o piksele karşılık gelen türün oluşturduğu kümelerle atamaktır (Coşkun ve Algancı, 2006). Bu çalışmada kontrollü sınıflandırma yöntemi ele alınmıştır.

Arazi kullanım sınıflarının analizi için 2006 yılına ait 23 m çözünürlüklü IRS P6 multispektral ve 5.8 m çözünürlüklü IRS P6 pankromatik görüntülerinin çakıştırılması ile elde edilen veri kullanılmıştır. Yapılan sınıflandırmada, uydu görüntüsü üzerinde farklı türleri temsil etmesi amacıyla seçilen 500 adet örnekleme kullanılmış, sınıflandırma prosedürünün gerçekleştirilmesi ile oluşan bu kümelerden, su alanları, beton, kayaç, mera, yol, yerleşim alanları, tarım alanları(1,2), boş alanlar ve ormanlık alanlar (1.2) olmak üzere 11 adet arazi kullanım sınıfı elde edilmiştir (Şekil 3.11).

Doğruluk analizi için, sınıflandırılmış görüntülerden 100 adet kontrol noktası seçilmiş ve yüksek çözünürlüklü uydu verileri, yapılmış olan arazi çalışmaları ile karşılaştırılarak arazi kullanım sınıflarının doğruluğu analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda toplam sınıflandırma doğruluğu %85, bu analize ait kappa istatistik değeri 0,8105 olarak bulunmuştur.

Kontrollü sınıflandırma işlemi sonucunda belirlenen arazi kullanım sınıflarına ilişkin alansal analizler gerçekleştirilmiş ve her bir sınıfın alan değeri hektar bazında belirlenmiştir (Tablo 3.4). Projenin ilerleyen aşamalarında arazi kullanımı sonuçları alt havza sınır vektör verileri ile birlikte analiz edilecek ve her bir alt havza için elde edilen sayısal sınıf alan bilgileri hidrolik model içerisine entegre edilecektir.



Şekil 3.11 : 2006 tarihli IRS P6 verisinin kontrollü sınıflandırma işlemiyle oluşturulmuş sonuç görüntüsü.

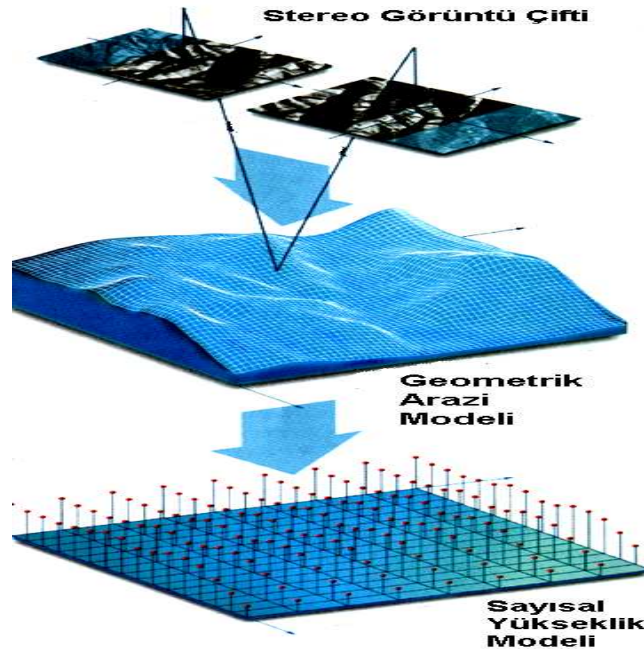
Tablo 3.4: Arazi kullanım sınıflarının hektar bazında alansal analizi.

SINIF	ALAN (ha)
SU	923,46
BETON	410,49
KAYAC	9426,06
YERLEŞİM	666,56
ACIK ALAN	12253,7
YOL	366,57
MERA	10832,9
ÇAY	3599,39
FINDIK	5705,63
ORMAN İĞNE	17476,8
ORMAN GENİŞ	15845,4
TOPLAM	77506,96

3.2.4 Stereo uydu görüntülerinden SYM oluşturulması

İki gözün farklı açılarla aynı cismi gözlemleyerek üçüncü boyutu algılayabilmesini sağlayan optik prensip temel alınarak (stereoskopik görüş), uydular aracılığı ile aynı bölgeye ait farklı açılardan kaydedilmiş görüntü çiftleri ile stereo değerlendirmeler sonunda arazi topografyasının üçüncü boyut bilgileri elde edilebilmektedir (Şekil 3.12).

Solaklı Havzası ile ilgili hidrolojik çalışmalarda hassas sayısal yükseklik modelinin (SYM) belirlenmesi için stereo (iki farklı açıdan) görüntü veren, 2.5 m çözünürlüklü çekim yapan, Hint uydusu Cartosat-1 (IRS P5) verileri ile çalışılmıştır. Bu verilerin işlenmesi ile yatayda ve düşeyde 4 m konum hassasiyetli SYM ve eş yükseklik eğrileri elde edilmektedir. Bu çözünürlük ve doğruluk değerleri göz önünde bulundurulduğunda, oluşturulan SYM 1:10000 ölçeğine arşılık gelektedir (Kumar, 2006).



Şekil 3.12 : Stereoskopik algılamanın temel prensibi.

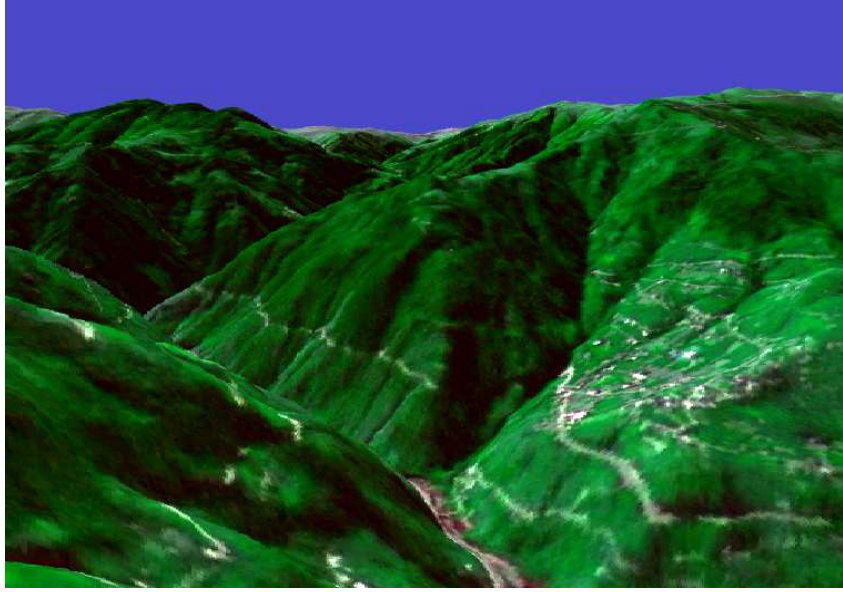
Otomatik stereo-korelasyon metodu, stereo uydu görüntülerinden SYM oluşturma aşamasında son yıllarda en çok kullanılan ve standartlaşan methodur. Stereo-korelasyon, ilişkilendirilmiş stereo görüntü çiftlerinden SYM oluşturma işleminin hesaplamalı ve istatistiksel bir aşamasıdır (Ackerman, 1984; Ehlers ve Welch, 1987; Lang ve Welch, 1999). Stereo-korelasyon işleminin temelinde otomatikleştirilmiş görüntü eşleme yatar. Kullanılan görüntü işleme yazılımına göre değişiklik

göstermekle birlikte, bu işlemin genel adımları; yer kontrol noktalarının işaretlenmesi, görüntü eşleme aşamasında piksel bazında paralaks değerlerinin belirlenmesi ve oluşturulan SYM de meydana gelen anomalilerin giderilmesi şeklindedir (Kok ve diğ., 1987).

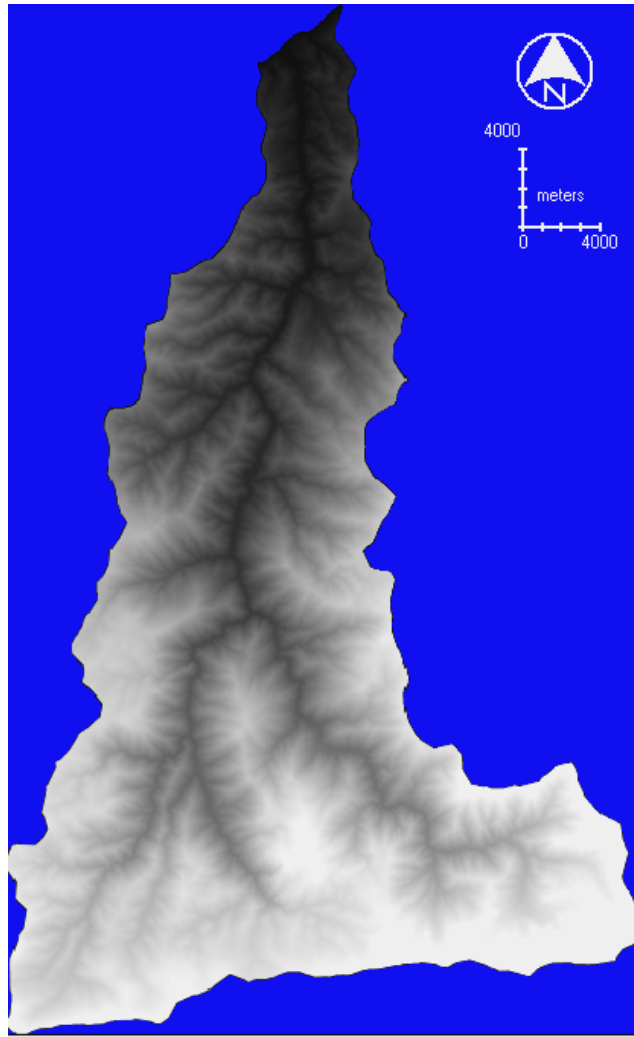
Uygulamada iki tür SYM üretilmektedir. Bunlardan ilki yükseklik değerlerinin herhangi bir datumla ilişkilendirilmediği relatif SYM; ikincisi ise üretilen verinin standart bir harita projeksiyon sistemine, yükseklik değerlerinin ise deniz seviyesine ilişkilendirildiği mutlak SYM dir.

Yapılan işlemde görüntü işleme programı yazılımı olan PCI Geomatica 9.1 programının, Ortho Engine modülü kullanılmıştır. İlk aşamada 1A seviyesinde işlenmiş olan stereo görüntü çifti, sol ve sağ olmak üzere seçilerek sisteme aktarılmıştır. Sonraki aşamada arazide statik GPS ölçme yöntemiyle elde edilen yer kontrol noktaları iki görüntüde de 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 değerin 0 olması ideal olmalıdır. 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, 37. zon ve WGS 84 olmak üzere tanımlanarak SYM oluşturulmuştur (Şekil 3.13, Şekil 3.14).



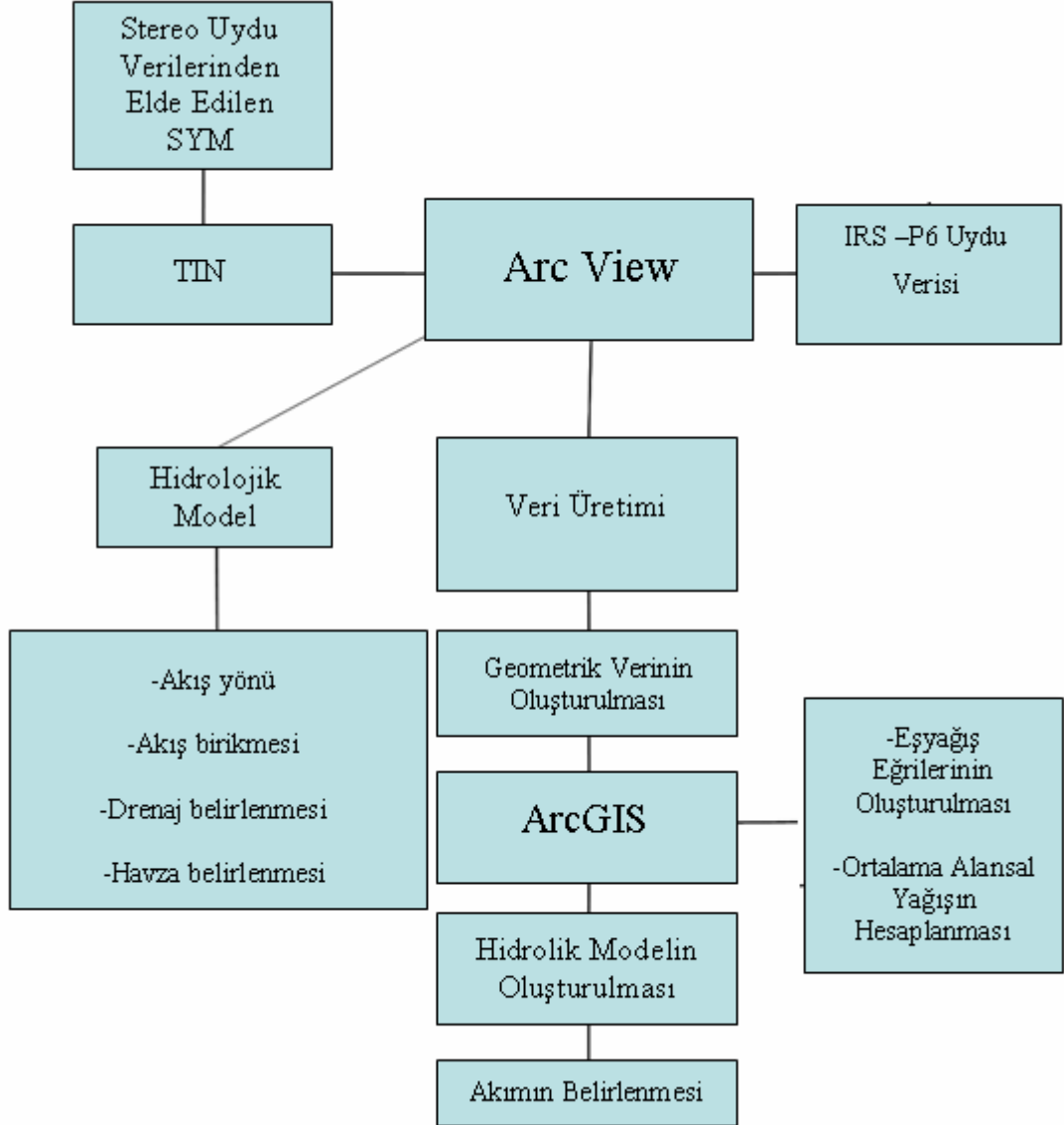
Şekil 3.13 : Stereo görüntülerden oluşturulan SYM' nin üç boyutlu perspektif görüntüsü



Şekil 3.14 : Stereo görüntülerden oluşturulan SYM.

3.3 Hidrolojik ve Hidrolik Model Uygulaması

Hidroelektrik potansiyel parametrelerinin belirlenmesi için yapılan bu uygulamanın akış şeması Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15 : Hidrolojik ve hidrolik model uygulamasının akış şeması.

3.3.1 Havza parametrelerinin belirlenmesi

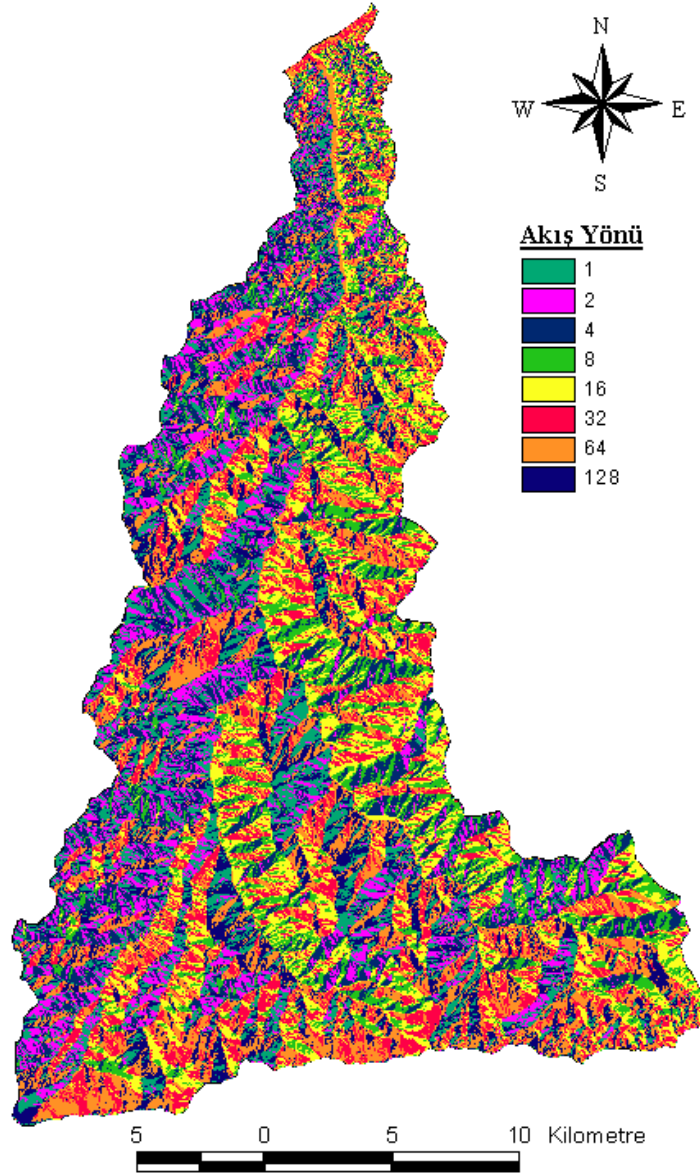
Havzaya ait; alan, çevre, minimum, maksimum ve ortalama yükseklik gibi parametrelerinin belirlenmesi için, grid yapılı SYM verisi, ArcView alt programı olan Hydro modülü kullanılarak bir dizi işleme tabi tutulmuştur.

Bu işlemlerin ilk adımı olarak sayısal yükseklik modelinin onarılması (DEM reconditioning) tamamlanmıştır. Bir sonraki adımda SYM deki çöküntü alanlarının

doldurması işlemi (fill sinks) gerçekleştirilmiştir. Bu adımdan sonraki işlemler yeni oluşturulan, daha yüksek doğruluklu SYM kullanılarak yapılmıştır.

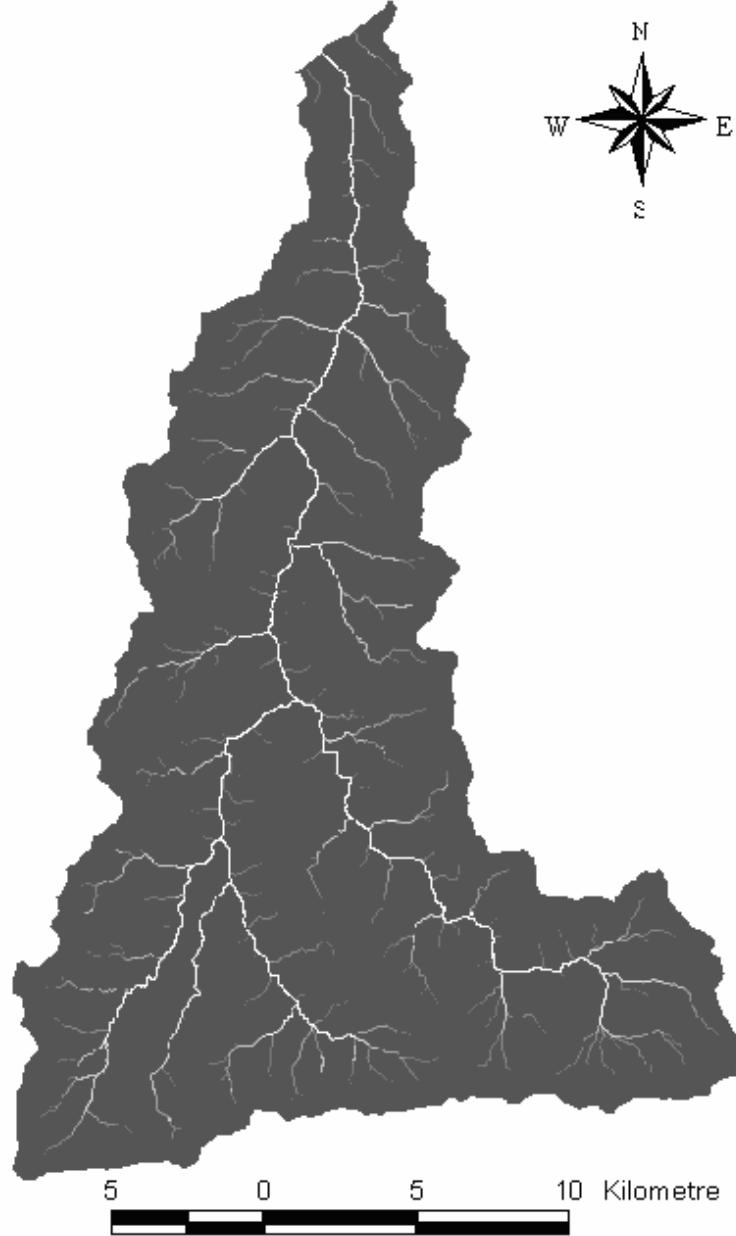
Yüksek doğruluklu SYM nin oluşturulmasından sonra sırası ile; akış yönü (flow direction) haritasının oluşturulması, yüzeysel akış miktarı (flow accumulation) haritasının oluşturulması, drenaj ağının belirlenmesi (stream delineation), alt havzaların belirlenmesi (watershed delineation) işlem adımları gerçekleştirilmiştir.

Akış yönü, sayısal arazi modelinden; en yüksek noktadan, en alçak noktaya doğru belirlenmiştir (Şekil 3.16). Bu veride 8 komşu piksel, 1 (Doğu), 2 (Güneydoğu), 4 (Güney), 8 (Güneybatı), 16 (Batı), 32 (Kuzeybatı), 64 (Kuzey), 128 (Kuzeydoğu) akış yönlerini göstermektedir.



Şekil 3.16 : Solaklı havzası akış yönü haritası.

Yüzeysel akış miktarı değeri; dere üzerindeki pikseller olarak tanımlanan hücreye gelen akışı sağlayan hücrelerin sayısını gösterir. Bu hücreye, akış sağlayan drenaj alanı ise; yüzeysel akış miktarı değeri ile hücre alanının çarpılması ile elde edilir (Şekil 3.17).



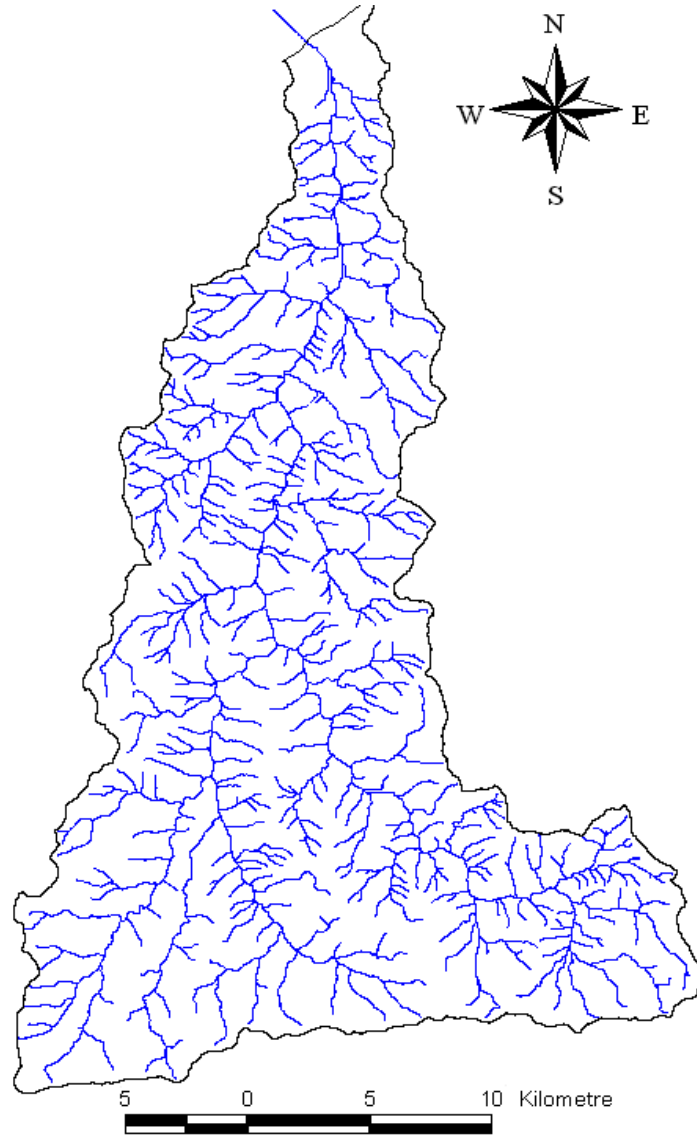
Şekil 3.17 : Solaklı havzası yüzeysel akış haritası.

Yüzeysel akış miktarı; Arc View yazılımının Hydro modülü kullanılarak grid yapıdaki SYM den drenaj ağının sayısallaştırılması işlemi için kullanıcı tarafından belirlenen bir eşik değere göre hesaplanmaktadır. Bu eşik değeri, akış biriktirmesinin olmadığı 0 değeri ile yazılımın tüm havza için belirlediği maksimum hücre değeri arasında yer alan herhangi bir değer olabilir. Sayısallaştırmanın gerçekleşmesi için

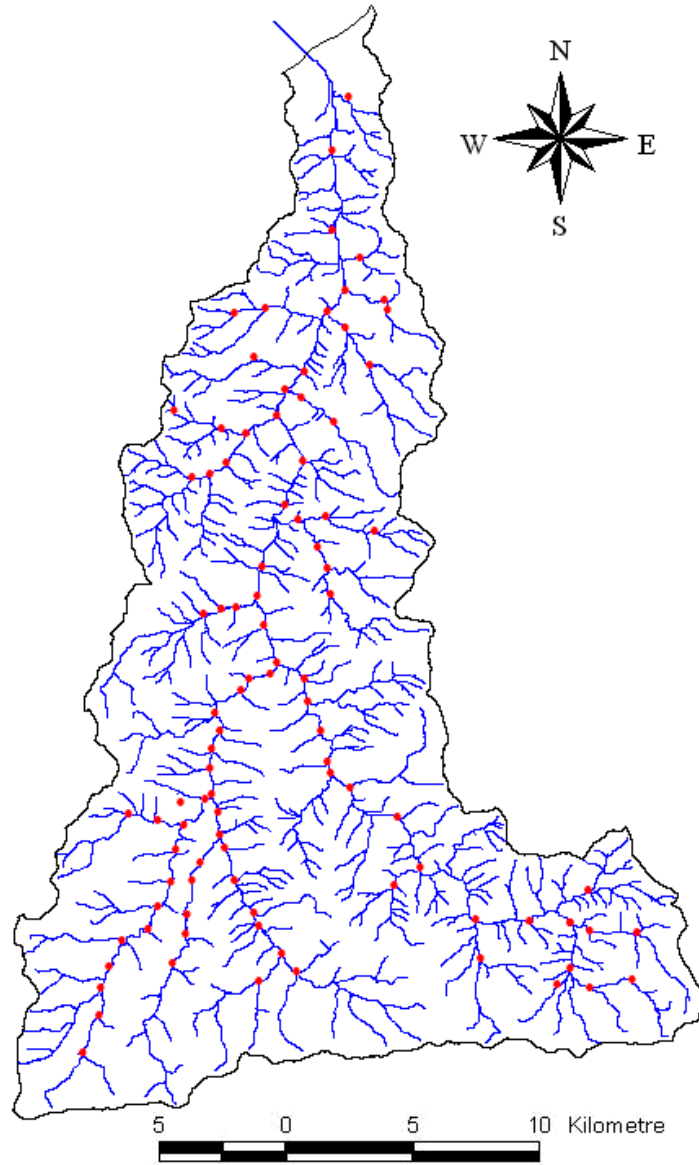
hücredeki yüzeysel akış miktarı değeri yukarıda açıklanan eşik değerden büyük olmalıdır. Eşik değerin küçük olması durumunda fazla sayıda drenaj ağı oluşur (Özdemir, 2007). Bu çalışmada minimum akış biriktirmesinin değerlendirilmesi amacı ile 1 (bir) değeri, eşik olarak alınmıştır.

Bu işlem adımından sonra, havzanın sentetik drenaj ağı oluşturulmuştur (Şekil 3.18). Akış yönü ve yüzeysel akış miktarı haritalarının tanıtılması ile aktif olarak kullanılan CBS modülü sayesinde drenaj ağının çıkarımı, dere kolu başlangıçlarını manuel olarak tanımlamak koşulu ile otomatik olarak sağlanmaktadır.

Oluşturulan sentetik drenaj ağı ve eşyüksekti eğrilerinden yararlanılarak, ayrıca yüksek çözünürlüklü IRS-P6 uydu verisi üzerinde görsel yorumlama ile, havza içerisinde 98 adet muhtemel santral noktası (pour point) belirlenmiştir (Şekil 3.19).

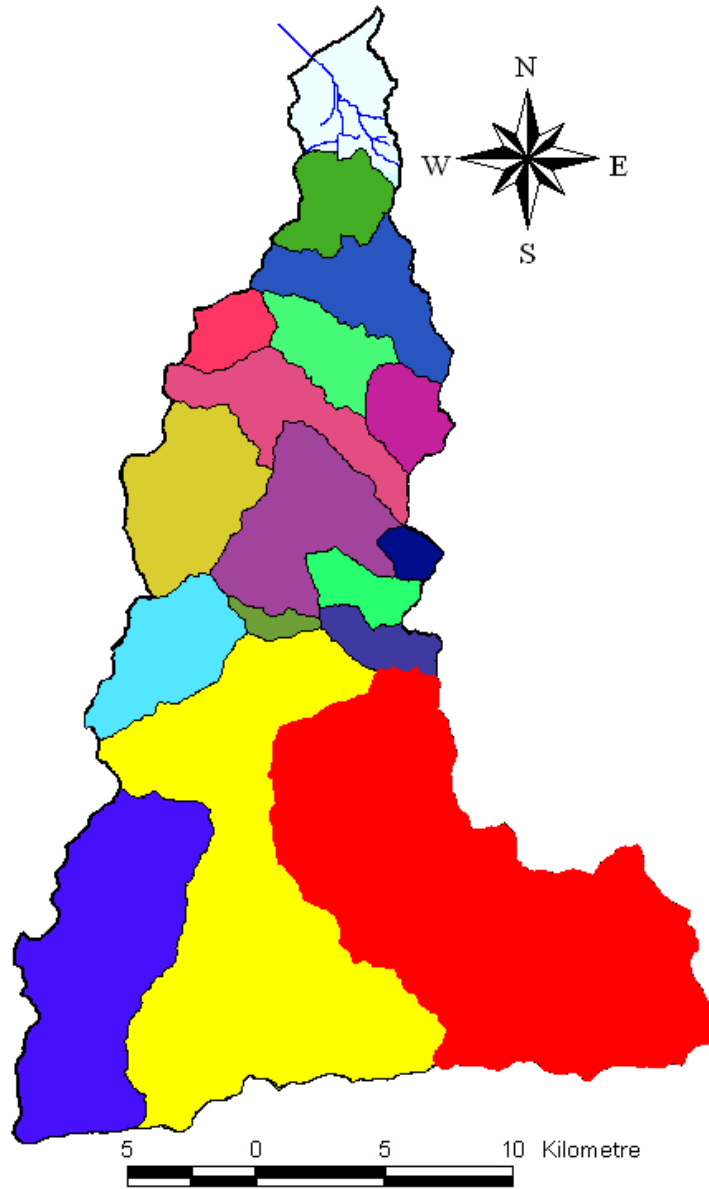


Şekil 3.18 : Oluşturulan sentetik drenaj ağının vektör gösterimi.



Şekil 3.19 : Belirlenen santral noktalarının vektör gösterimi.

Bir sonraki işlem adımında ise bu santral noktalarını besleyen havza alanları üretilmiş ve böylece 98 adet alt havza vektör formatında oluşturulmuştur (Şekil 3.20). Oluşturulan alt havzalarda debi hesabını gerçekleştirebilmek için, bu alt havzalara ait topografik parametrelerin belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Projenin bu aşamasında topografik parametreler olarak havzaya ait; alan, çevre, minimum, maksimum ve ortalama yükseklik bilgileri ile havzaların ait olduğu santral noktalarının üç boyutlu koordinatları grid yapındaki SYM verisinden hesaplanmıştır (Tablo 3.4). Bu bilgiler hem havzaya ait vektör verinin hem de santral noktalarını ifade eden nokta verisinin öznitelik tablolarına yazdırılarak, sorgulamaya hazır hale getirilmiştir.

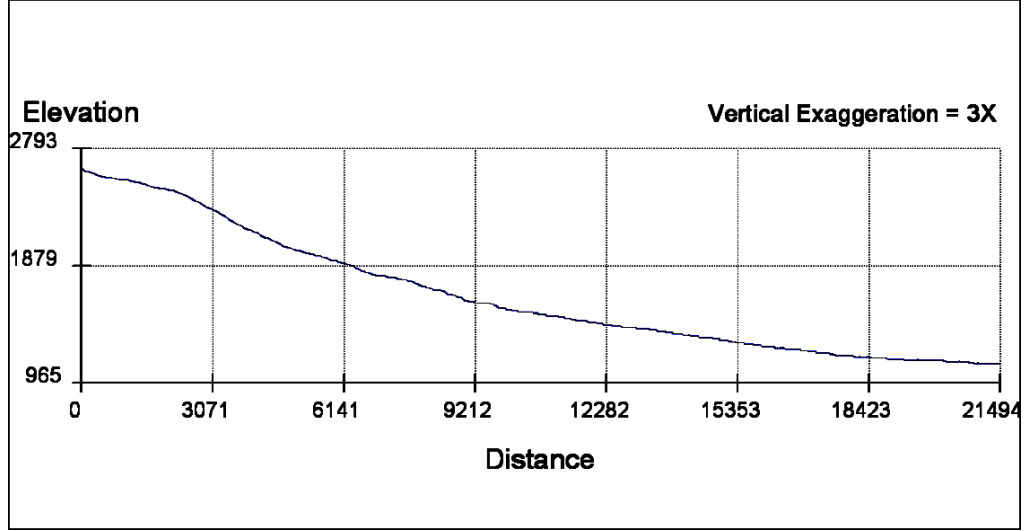


Şekil 3.20 : Oluşturulan alt havzaların vektör gösterimi.

Su potansiyelinin belirlenmesinde belirleyici ikinci parametre olan düşüm yüksekliğinin belirlenmesi işlemini gerçekleştirmek amacı ile ilk olarak sentetik drenaj ağının alt havza sınırlarından kesilmesi ile oluşturulan vektör parçaları SYM üzerinde analiz edilerek, her bir alt havza için alt havza boyuna göre boykesitleri oluşturulmuştur. Bu boykesitler yardımı ile alt havza boyunca dere yatağının topografik parametrelerinin tanımlanması ve yükseklik değişimine bağlı olarak belirli bir alt limitle düşüm yüksekliklerinin analizi gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 3.21).

Tablo 3.5: Alt havzaların bir kısmına ait topografik parametreler.

NO	X (m)	Y (m)	Z (m)	Alan (m ²)	Çevre (m)	MinH (m)	MaxH (m)	OrtH (m)
S1	622046,51	4491529,79	2272,43	10690895,48	15903,37	2272,06	3385,00	2775,43
S2	619845,25	4491646,63	1970,88	15608437,32	19768,14	1970,00	3385,00	2655,34
S4	621819,48	4489297,32	2559,47	5603904,85	10669,46	2559,31	3380,00	2931,86
S5	619860,93	4488922,81	2321,34	11457623,73	14869,79	2321,63	3380,00	2841,92
S6	618895,04	4489856,64	2052,35	25797224,02	23503,99	2051,59	3380,00	2732,95
S7	618928,58	4492053,67	1795,23	46924898,47	30492,37	1794,75	3385,00	2641,94
S8	619793,87	4493555,67	1931,13	105592236,63	14286,53	1931,83	3170,00	2556,13
S9	618291,68	4489055,29	2305,89	4182591,57	9198,92	2305,20	3070,00	2689,34
S10	616935,08	4492096,67	1550,00	69441353,16	39454,03	1550,00	3381,22	2548,48
S11	614615,14	4490316,46	1730,00	14377351,96	17564,45	1728,23	3190,00	2516,51
S12	614424,89	4492176,76	1400,00	98503960,19	44723,47	1400,00	3385,00	2466,95
S13	610546,08	4493832,30	1630,00	11880035,07	17261,61	1630,00	2755,00	2293,76
S14	611754,13	4494654,55	1180,00	131398232,18	55964,77	1180,00	3385,00	2364,48
S15	610665,88	4497105,30	1130,00	141569731,78	58307,19	1129,79	3381,22	2316,54
S16	608425,63	4498475,86	980,00	166549689,03	67952,59	980,00	3385,00	2247,66
S17	607494,13	4499155,94	890,00	180526874,99	72004,32	890,00	3381,71	2211,21
S18	607362,11	4499709,90	863,98	182770522,94	72657,39	864,62	3381,22	2202,65
S19	607010,37	4501215,03	780,00	189635410,66	73812,84	780,00	3385,00	2172,11
S20	606391,61	4502588,50	684,65	208758928,79	76851,54	685,25	3382,95	2124,55
S21	606227,89	4503703,70	614,80	214677884,26	77783,45	614,33	3381,22	2101,05
S23	605843,82	4489654,39	1730,00	36851962,89	27301,63	1730,00	3080,00	2417,72
S24	604104,81	4489216,74	2010,00	15874621,08	17562,76	2010,00	2730,00	2322,72
S25	605195,18	4490536,69	1480,86	55112840,09	35636,52	1480,66	3080,00	2370,21
S26	604045,24	4491876,95	1230,00	62371799,00	36115,12	1230,00	3077,49	2325,35
S27	603834,94	4492516,67	1180,00	69521837,10	38061,06	1180,00	3077,49	2307,59
S28	602886,15	4494058,21	1050,00	79286391,71	41854,47	1050,00	3080,00	2229,33
S29	602484,45	4495596,00	981,30	83472223,54	43471,34	981,26	3080,00	2189,00
S30	599985,15	4490085,98	1880,00	17946472,59	20221,98	1880,00	2748,70	2318,42
S31	600605,88	4491465,93	1740,00	22949995,65	25005,22	1740,00	2748,70	2278,38
S32	600565,02	4492376,51	1600,00	24305086,60	26087,25	1600,00	2748,70	2259,03
S33	600855,03	4494048,03	1233,03	26417924,65	29416,09	1233,03	2748,70	2210,71
S34	601295,08	4494921,22	1090,00	27792348,71	31816,59	1090,00	2748,70	2169,38
S35	602199,44	4496221,30	960,00	113339431,98	51554,93	960,00	3080,00	2166,23
S36	602087,49	4497300,75	930,00	117270999,05	53827,27	930,00	3080,00	2143,06
S37	595724,67	4485836,51	2040,00	13291783,62	17619,43	2040,00	2820,00	2405,75
S38	596456,70	4487576,23	1920,00	17066675,53	20207,91	1920,00	2820,00	2354,75
S39	596524,97	4488925,66	1805,75	29936284,49	23235,70	1805,75	2820,00	2292,15
S40	596968,17	4489913,59	1740,00	36215755,71	27594,36	1736,65	2820,00	2275,35
S41	597594,92	4491056,72	1539,39	47711811,39	34775,73	1539,34	2820,00	2242,68
S42	598795,04	4491736,76	1350,00	50842900,51	37086,76	1350,00	2820,00	2216,76
S43	599254,94	4492827,11	1250,00	59939999,39	38417,84	1250,00	2820,00	2177,00
S44	599889,33	4493977,90	1160,00	63551436,90	40536,34	1160,00	2820,00	2146,04
S45	600115,18	4495536,09	1070,00	68921071,43	43377,77	1070,00	2820,00	2107,86
S46	600474,87	4496646,71	1010,00	86887690,71	50008,97	1010,00	2820,00	2076,70
S47	597854,81	4497186,82	1511,84	10693376,74	15152,59	1511,84	2465,00	2172,23
S48	599254,13	4496886,75	1207,65	15414625,69	18925,06	1207,32	2465,00	2066,25
S50	601485,24	4497911,49	920,00	91303601,99	51470,57	920,00	2820,00	2045,66



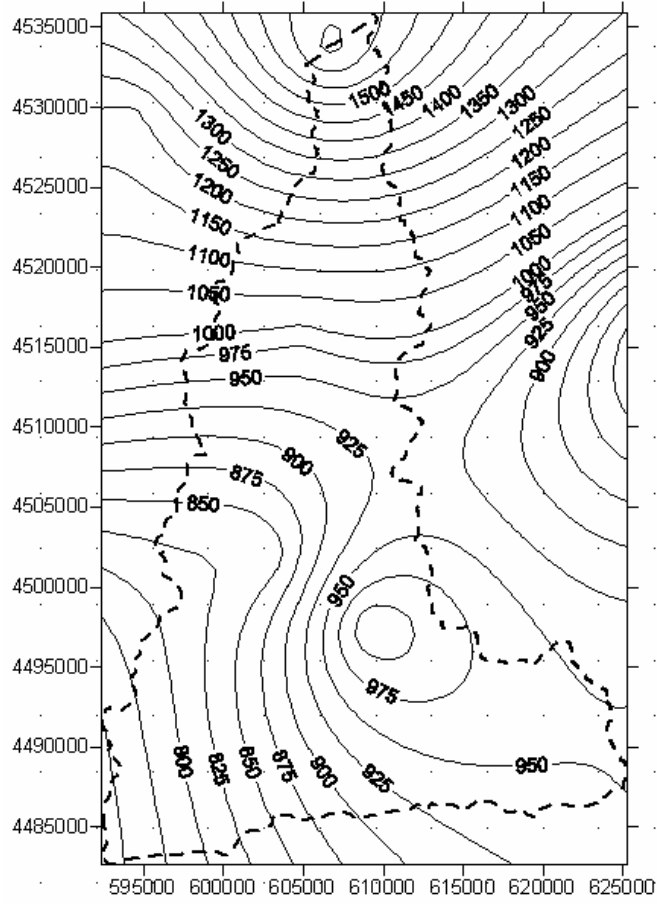
Şekil 3.21 : 17 no’lu alt havzaya ait boykesit.

3.3.2 Eş yağış haritalarının üretilmesi

Çalışmanın bu aşamasında Solaklı havzası eş yağış haritasının üretilmesi için “ordinary” kriging yönteminin uygulanmasına karar verilmiştir. Solaklı havzası içerisinde 4 adet yağış istasyonu mevcuttur. Eşyağış haritalarının gerçeğe daha yakın çizilebilmesi amacıyla bu 4 adet istasyonla beraber havzasın sağ ve sol kesiminde kalan benzer havzaların yağış istasyonları da kullanılmıştır. Haritaların çizilmesinde kullanılan yağış istasyonlarına ait koordinat bilgileri ve ortalama yıllık yağış değerleri Tablo 3.6’da özetlenmiştir. Bu istasyonlara göre çizilen eşyağış haritası Şekil 3.22’de verilmiştir.

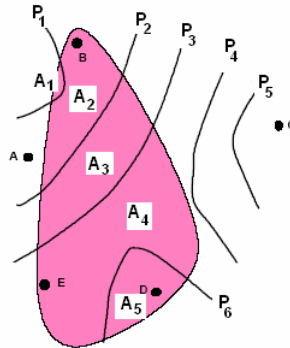
Tablo 3.6: Yağış istasyonlarının koordinat ve yağış değerleri.

İstasyon	UTM Koordinatları		Ort. Yıl. yağış (mm)
	X	Y	
Uzungöl	609200	4497483	1024.1
Köknar	602839	4502007	829.6
Çaykara	604880	4515760	983.6
Of	606655	4533597	1668.1
Sürmene	594327	4529502	1184.3
Araklı	589783	4531798	1242.7
Dağbaşı	577387	4509452	1072.3
Kayaiçi	576055	4502037	588.3
İkizdere	629365	4515729	723.0
Sivrikaya	645053	4504915	1094.8
Küçükdere	588624	4511428	952.4



Şekil 3.22 : Havzaya ait eş yağış eğrileri.

Ortalama alansal yağışın hesaplanması Şekil 3.23'te gösterilen örnek havza üzerinde açıklanmıştır. Her iki izohiyet arasında kalan alan, arasında kaldığı izohiyet değerlerinin ortalaması ile çarpıldıktan sonra toplanarak tüm havza alanına bölünür (Denklem 3.1).



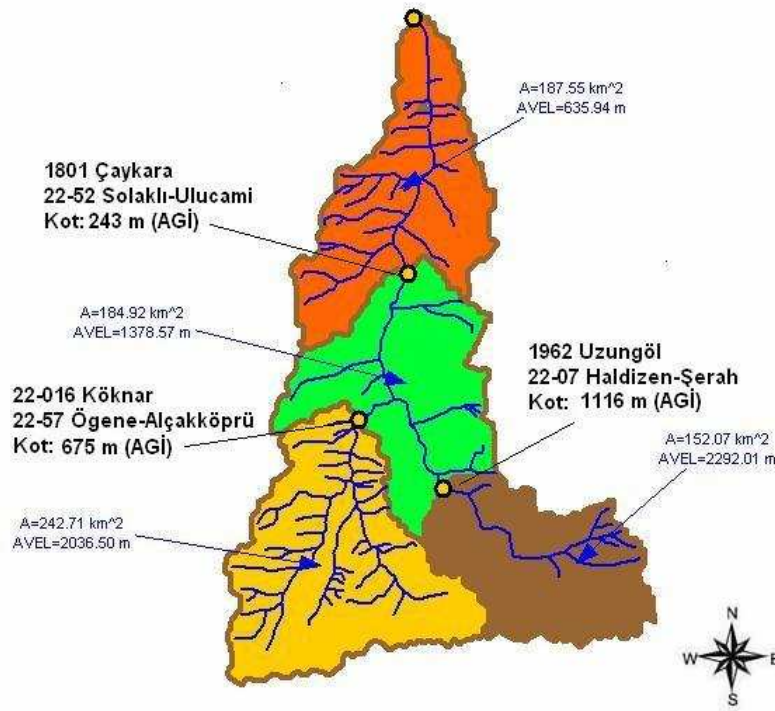
Şekil 3.23 : Ortalama alansal yağış için örnek havza.

$$P_{ORT} = \frac{\frac{(P_0 + P_1)}{2} A_1 + \frac{(P_1 + P_2)}{2} A_2 + \frac{(P_2 + P_3)}{2} A_3 + \frac{(P_3 + P_6)}{2} A_4 + \frac{(P_6 + P_7)}{2} A_5}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5} \quad (3.1)$$

Bu model temel alınarak, CBS ortamında alt havza vektör verileri ve 10mm yağış aralıklı eş yağış eğrileri birlikte analiz edilmiş ve her alt havza için ortalama alansal yağış değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler havza vektör verilerinin öznitelik tablolarına eklenerek sonraki analiz aşaması için hazır hale getirilmiştir.

3.3.3 Regresyon analizi ile akım denklemlerinin oluşturulması

Solaklı havzası içersindeki üç alt havzanın alan ve ortalama yükseklik değerleri SYM'lerden yararlanılarak Arc View yazılımı ile bulunmuştur. Denklemlerde verileri kullanılan istasyonlar ve bu istasyonlara ait havzaların alan ve ortalama yükseklik değerleri Şekil 3.24'te görülmektedir.



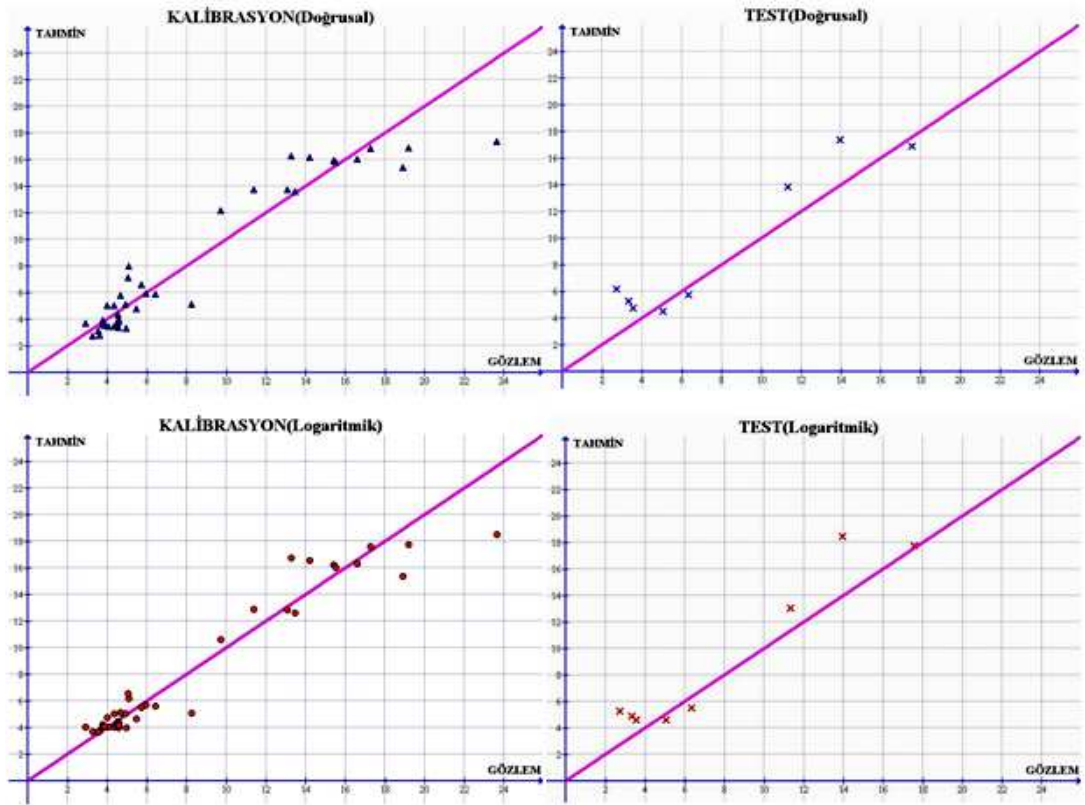
Şekil 3.24 : Denklemlerde kullanılan istasyonların konumları ve bu istasyonlara ait alt havzaların alan (A), yükseklik değerleri (AVEL).

Farklı şekillerde kurulan modeller için bulunan denklemler ve belirlilik katsayısı (R^2) değerleri Tablo 3.7'de özetlenmiştir. Tablodaki denklemler belirlilik katsayıları ile birlikte incelendiğinde; yağış, alan, yükseklik verileri ile oluşturulan 3.4 ve 3.5 no'lu denklemlerin sadece yağış ve alan verileri ile oluşturulan 3.2 ve 3.3 denklemlerinden daha doğru sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca her iki fonksiyon için oluşturulan

denklemlerden logaritmik olanlar (3.3 ve 3.5), doğrusal olanlara göre (3.2 ve 3.4) daha yüksek belirlilik katsayısına sahip olup, daha doğru sonuçlar vermektedir. Bu sonuçlar göz önüne alınarak, (3.4) ve (3.5) doğrusal ve logaritmik denklemleri için akım tahminleri gerçekleştirilmiştir (Tablo 3.8). Bu denklemler sonucunda bulunan debi tahmin değerlerine ait saçılma diyagramları ise Şekil 3.25'te ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 3.7: Akım denklemleri ve R^2 değeri.

Fonksiyon	Denklem	R^2	Denklem No
$Q = f(P, A)$	$Q = -7.843 + (0.0071 * P) + (0.025 * A)$	0.893	(3.2)
	$Q = (10^{-4.598}) * (P^{1.057}) * (A^{0.907})$	0.932	(3.3)
$Q = f(P, A, H)$	$Q = 18.692 + (0.0105 * P) + (0.0132 * A) - (0.0128 * H)$	0.904	(3.4)
	$Q = (10^{5.748}) * (P^{1.337}) * (A^{0.469}) * (H^{-3.053})$	0.937	(3.5)



Şekil 3.25 : Doğrusal ve logaritmik regresyon denklemleri sonucunda bulunan debi tahmin değerlerine ait saçılma diyagramları.

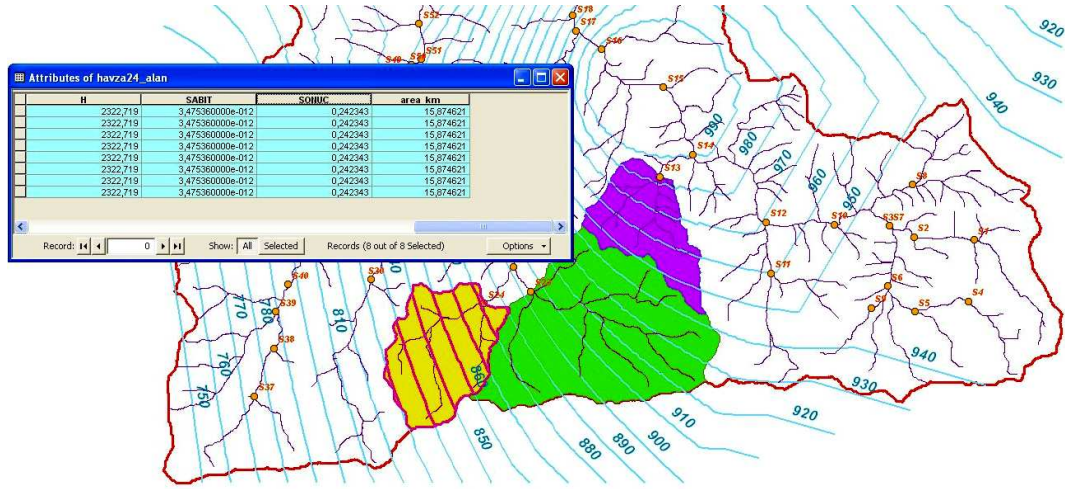
Tablo 3.8: Doğrusal ve logaritmik regresyon denklemleri ile tahmin edilen debi değerleri.

	Gözlem Debi (Q) m^3/s	DOĞRUSAL			LOGARİTMİK		
		Tahmin	Mutlak Hata m^3/s	Rölatif Hata (%)	Tahmin	Mutlak Hata m^3/s	Rölatif Hata (%)
		Debi (Q) m^3/s			Debi (Q) m^3/s		
Uzungöl-Haldizen Havzası	4,33	3,47	0,86	-19,90	4,04	0,29	-6,75
	4,05	3,45	0,60	-14,79	4,03	0,02	-0,48
	3,75	3,94	0,19	5,10	4,25	0,50	13,33
	3,77	3,59	0,18	-4,87	4,09	0,32	8,55
	4,54	4,39	0,15	-3,22	4,46	0,08	-1,78
	4,49	3,75	0,74	-16,40	4,17	0,32	-7,20
	5,45	4,82	0,63	-11,63	4,65	0,80	-14,68
	4,57	3,35	1,23	-26,83	3,99	0,59	-12,88
	4,96	3,32	1,64	-33,00	3,97	0,98	-19,85
	4,67	5,79	1,12	23,95	5,11	0,44	9,35
	3,87	3,54	0,33	-8,46	4,07	0,20	5,23
	3,24	2,75	0,49	-15,11	3,72	0,48	14,97
	3,61	2,82	0,79	-21,96	3,75	0,14	3,83
	5,09	7,97	2,88	56,57	6,16	1,07	21,09
	5,72	6,61	0,89	15,47	5,50	0,22	-3,93
	4,58	4,05	0,53	-11,48	4,30	0,28	-6,06
	3,99	5,02	1,03	25,77	4,74	0,76	18,96
	3,55	4,73	1,18	33,19	4,61	1,06	29,91
	2,70	6,18	3,48	129,17	5,29	2,60	96,27
	3,31	5,30	2,00	60,30	4,88	1,57	47,44
Köknar-Ögene Alçakköprü Havzası	4,34	5,06	0,72	16,56	5,02	0,68	15,68
	2,90	3,70	0,80	27,72	4,06	1,16	40,07
	3,55	3,15	0,40	-11,15	3,68	0,14	3,89
	4,93	5,11	0,17	3,53	5,06	0,12	2,49
	5,05	7,12	2,07	40,94	6,57	1,52	30,12
	8,26	5,14	3,12	-37,75	5,08	3,18	-38,49
	5,94	5,96	0,02	0,41	5,69	0,25	-4,20
	6,43	5,89	0,54	-8,35	5,63	0,79	-12,34
	4,58	3,86	0,72	-15,77	4,17	0,41	-9,02
	6,34	5,73	0,61	-9,66	5,51	0,83	-13,05
5,03	4,50	0,54	-10,67	4,62	0,42	-8,31	
Çaykara-Ulucami Havzası	15,40	15,95	0,55	3,57	16,21	0,81	5,28
	14,18	16,17	1,98	13,98	16,56	2,37	16,72
	15,52	15,85	0,33	2,14	16,06	0,54	3,48
	11,39	13,77	2,38	20,92	12,89	1,51	13,23
	13,08	13,75	0,67	5,09	12,86	0,22	-1,67
	9,71	12,18	2,47	25,46	10,60	0,89	9,20
	13,46	13,59	0,14	1,02	12,63	0,82	-6,10
	13,28	16,30	3,02	22,78	16,77	3,49	26,30
	23,63	17,40	6,24	-26,38	18,52	5,11	-21,63
	18,91	15,41	3,49	-18,47	15,38	3,53	-18,64
	19,20	16,91	2,29	-11,91	17,74	1,46	-7,61
	16,60	16,03	0,57	-3,41	16,34	0,26	-1,54
	17,27	16,83	0,44	-2,53	17,61	0,34	1,99
	17,54	16,92	0,61	-3,50	17,76	0,22	1,25
	11,33	13,87	2,54	22,46	13,05	1,72	15,17
13,94	17,36	3,42	24,50	18,46	4,51	32,38	
Ortalama		1,31	4,97		1,06	5,74	

TEST

3.3.4 CBS Ortamında Akım Değerinin Hesaplanması

Son aşamada, alt havzalara ait topografik parametreler ve ortalama alansal yağış değerleri, havza ve yan havzalarda mevcut olan AGİ verileri ile regresyon analizi yardımı ile kalibre edilen, 3.5 no'lu akım denkleminde (Tablo 3.6) yerine konarak, alt havzalar için akım değerleri hesaplanmıştır. Bu işlem CBS yazılımının hesaplama modülü ile gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar her bir havza vektör verisinin öznetelik tablosuna yazdırılmak suretiyle sorgulamaya hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.26).



Şekil 3.26 : CBS ortamında akım değerinin hesaplanmasına ilişkin ekran görüntüsü.

Bu entegre model kullanılarak 1982-1996 yılları arasında $5.21 \text{ m}^3/\text{s}$ ortalama yıllık akıma sahip olan Ögene-Alçakköprü havzası için yapılan hesapta akım değeri yaklaşık % 4 hatayla $5.17 \text{ m}^3/\text{s}$ bulunmuştur. Alansal yağış ve topografik parametrelerin alana bağlı analizleri ile bulunan akım değeri ile noktasal ölçüm değerinin % 4 oransal hata ile uyuşması modelin tutarlılığına bir işaret olarak yorumlanabilir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesinin bir bölümünü oluşturan Solaklı Havzasının hidroelektrik potansiyel parametreleri Uzaktan Algılama ve CBS ile belirlenmiştir. Hidroelektrik potansiyel parametreleri; alan, çevre, minimum, maksimum ve ortalama yükseklik gibi topografik parametrelerin, eğim ve bakı gibi fiziksel parametrelerin, yağış ve sıcaklık gibi hidrometeorolojik parametrelerin ve arazi kullanım bilgisi parametresinin bir bütün olarak ifadesidir. Bu amaçla, öncelikle çalışma alanının fiziksel özellikleri üzerinde durulmuş, sonraki aşamalarda hidrolojik ve hidrolik model kurularak topografik parametreler belirlenmiştir.

Hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde en önemli işlem adımı akım (debi) değerinin hesaplanması ve düşüm yüksekliğinin belirlenmesidir. Akım gözlem istasyonlarının yeterli sıklıkla bulunduğu havzalarda, havza içerisinde HES kurulması planlanan bir noktadaki akım değeri, istasyonlarda ölçülmüş olan değerler ve planlanan noktayı besleyen havza alanı kullanılarak oluşturulacak matematiksel bağıntılar ile kolaylıkla belirlenebilmektedir. Akım ölçümü olmayan ya da yetersiz olan havzalarda ise HES kurulması planlanan noktada akım değerinin hesaplanabilmesi için, alan, çevre, minimum, maksimum ortalama yükseklik gibi topografik parametrelerin üretilmesi, havzaya ait bakı ve eğim gibi fiziksel özelliklerin belirlenmesi, arazi kullanımının güncel durumunun tespiti ve tüm bu bilgilerin yağış, sıcaklık gibi hidrometeorolojik verilerle birlikte analiz edilerek bir hidroelektrik potansiyel modelinin oluşturulması gerekmektedir. Böylece alana bağlı olarak tanımlanan ve belirlenen bu parametrelerle noktasal tahmin yoluna gidilebilmektedir. Literatür taraması sonuçları göstermiştir ki, bu parametrelerin hepsi, oluşturulan modelin tutarlılığını, havzanın karakteristik özelliklerine göre belirli oranlarda etkilemektedir.

Çalışma kapsamında stereo Cartosat-1 (IRS P5) uydu verileri kullanılarak 2.5 metre uzaysal çözünürlüklü, 1:10000 ölçeğinde SYM oluşturulmuştur. Bu veri, havzaya ait yukarıda bahsi geçen topografik parametrelerin hesaplanması ve havzanın fiziksel özelliklerin tanımlanmasında kullanılmıştır. Oluşturulan SYM, Arc View 3.2 CBS

yazılımına aktararak, Hydro modülü ile havzanın hidrolojik parametrelerinin analizi aşaması gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada SYM nin onarılması ve çukur alanların doldurulması işlemleri gerçekleştirilerek yüksek doğruluklu yükseklik verisi elde edilmiştir. Bir sonraki aşamada, yüksek doğruluklu SYM kullanılarak akış yönü ve yüzeysel akış miktarı haritaları oluşturulmuştur. Bu sayısal haritalar kullanılarak havzanın sentetik drenaj ağı oluşturulmuştur. Bu drenaj ağının analizi sonucu, havzada muhtemel santral noktaları belirlenmiştir. Bu santral noktalarını besleyen alt havzaların sınırları vektör formatında üretilmiş ve Grid Analyst modülü ile her alt havza için topografik parametreler belirlenmiştir.

Yüksek çözünürlüklü IRS P6 verileri, arazi çalışmaları sırasında gerçekleştirilen statik GPS ölçmeleri ile elde edilen yer kontrol noktaları ve 1:25000 ölçekli verilerden elde edilen SYM kullanılarak ortorektifikasyon işlemine tabi tutulmuştur. Sonraki aşamada, bu veri üzerinde kontrollü sınıflandırma işlemi gerçekleştirilerek arazi kullanım durumu tespit edilmiştir. Sınıflandırma sonucunda belirlenen arazi kullanım durumu sayısal değerler olarak değerlendirilecek ve projenin ilerleyen dönemlerinde hidrolik model içerisine bir parametre olarak eklenecektir.

Havzada bulunan meteoroloji istasyonlarının azlığı nedeni ile komşu havzadaki yağış verileri de birlikte değerlendirilerek, kriging metodu ile havzanın yağış özelliklerini temsil eden eşyağış eğrileri oluşturulmuştur.

Bütün bahsi geçen verilerin üretilmesinden sonra, ArcGIS yazılımında akım değerlerinin hesaplanması aşamasına geçilmiştir. Öncelikle, eş yağış eğrileri ve her bir alt havza vektör verisi bir arada analiz edilerek her bir alt havzaya ait ortalama alansal yağış bilgisi üretilmiştir. Sonraki adımda çoklu regresyon analizleri ile elde edilen akım denklemi yazılımın hesap modülüne entegre edilmiştir. Her vektör veride mevcut olan öznitelik tabloları kullanılarak, denklemin ihtiyaç duyduğu değerler ile vektör veri ilişkilendirilmiş, denklemin hesaplanması sonucu elde edilen akım değerinin havzayı temsil eden istasyon noktası vektör verisinin öznitelik tablosuna yazdırılması ile sorgulama arayüzü oluşturulmuştur.

Uzaktan Algılama ve CBS ile kurulan modelin doğruluğunu test etmek amacı ile Ögene-Alçakköprü Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) için akım hesaplanmış, sonuç olarak alana bağlı parametrelerle kurulmuş olan hidrolojik model sonucu ile noktasal

bir ölçüm olan AGİ uzun yıllar ortalaması değeri arasında $0.04 \text{ m}^3/\text{sn}$ gibi oldukça küçük bir fark çıkmıştır. Bu fark % 4 oransal hataya karşılık gelmektedir.

Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, özellikle akım ölçümleri olmayan ya da yetersiz olan havzalarda, havzanın topografik, fiziksel ve hidrometeorolojik parametrelerine bağlı olarak kurulan hidrolojik modeller güvenilir sonuçlar vermektedir. Bu aşamada, modelde yer alan parametrelerin hassasiyeti ve üretim doğrulukları modelin doğruluğunu etkilemektedir.

Uydu görüntüleri, geniş alanları görüntüleyebilme özellikleri ve son yıllardaki gelişime bağlı olarak artan uzaysal çözünürlükleri ile hidroelektrik potansiyel parametrelerinin belirlenmesinde hızlı, doğru ve güvenilir bir veri kaynağıdır.

Küresel iklim değişiminin olumsuz etkilerinin belirgin bir şekilde yaşandığı bu dönemde mevcut su kaynaklarının tesbiti ve etkin bir şekilde kullanılması büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde özellikle kentleşmenin yoğun olduğu büyük şehirlerde su sıkıntısı yaşanmakta iken bol yağış ve iklim özellikleri ile yüksek su potansiyeli barındıran Karadeniz Bölgesi gibi bölgelerde su kaynakları kontrolsüz bir şekilde boşa harcanmaktadır. Günümüz dünyasında savaşa neden olan kullanılabilir enerji dar boğazı da göz önüne alındığında, Uzaktan Algılama ve CBS yöntemleri ile potansiyeli tespit edilerek akarsu kaynakları enerji üretiminde hızlı ve etkin bir şekilde kullanılabilecektir. Enerji üretimi aşamasında akış hızı kontrol altına alınan bu su kaynakları, Melen Projesine benzer yöntemlerle su sıkıntısı yaşayan bölgelere aktarılabilecektir.

Bu çalışmada Uzaktan Algılama , CBS ve hidrolik disiplinlerinin ortak çalışmaları sonucunda pilot bölge olarak seçilen Solaklı Havzası' nda hidroelektrik enerji potansiyeli belirlenmiştir. Bu çalışma sonuçları değerlendirildiğinde, çalışmaya konu olan yöntemlerle, su kaynakları açısından zengin bir ülke olan Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyeli hesaplanarak bugüne kadar % 36 gibi düşük bir oranla değerlendirilen hidroelektrik potansiyelin geri kalan % 64 ü efektif bir şekilde kullanılabileceği ve böylece kaynağı yabancı ülkelere temin edilerek üretilen farklı enerji türlerinin kullanımı minimum düzeyde tutularak ülke ekonomisine büyük bir katkı sağlanabileceği açıkça ortaya konmaktadır.

KAYNAKLAR

- Ackermann, F.**, 1984: Digital image correlation: performance and potential application in photogrammetry. *Photogrammetric Record*, 11 (64), 429– 439.
- Cheng, Q., Ko, C., Yuan, Y., Ge, Y., Zhang, S.**, 2006: GIS Modeling for predicting river runoff volume in ungauged drainages in Greater Toronto Area, Canada, *Computers and Geosciences*, 32:1108-1119.
- Coskun, H.G., Algancı, U.**, 2006: Küçükçekmece Sularında ve Su Havzasında Zamana Bağlı Yerleşim ve Su Kalitesi Analizinin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemi ile Modellenmesi. I. Uzaktan Algılama CBS Çalıştay ve Paneli, 27 -29 Kasım, İTÜ Ayazağa Kampüsü, İstanbul.
- Djokic, D.**, 2000: Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems. Redlands Calif.:Esri Press.
- Dudhani, S., Sinha, A. K., Inamdar, S. S.**, 2006: Assessment of small hydropower potential using remote sensing data for sustainable development in India, *Energy Policy*, 34:3195-3205.
- Ehlers, M., Welch, R.**, 1987: Stereocorrelation of Landsat TM images, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53 (9), 1231– 1237
- ENVI**, 2007: ENVI Tutorials, *The DEM Extraction Module*.
- Kok, A.L., Blais, J.A.R., Rangayyan, R.M.**, 1987: Filtering of digitally correlated Gestalt elevation data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 53 (5), 535– 538.
- Kumar, A., Singhal, M. K.**, 1999: Hydropower assessment for small ungauged catchments in Himalayan region using GIS techniques, Workshop on GIS Applications in Power Sector, Map India.
- Kumar, A.**, 2006: Cartosat –1 (IRS –P5) Stereo Data Processing – A Case Study of DehradunArea.www.gisdevelopment.net/proceedings/mapindia/2006/.

- Lang, H., Welch, R.,** 1999: Algorithm Theoretical Basis Document for ASTER Digital Elevation Models, Version 3.0 Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA. 69 pp.
- Melesse, A.M.,** 2002: Spatially Distributed Storm Runoff Modeling Using Remote Sensing and Geographic Information Systems, *Ph.D. Dissertation*, University of Florida, Gainesville.
- Mwakalila, S.,** 2003: Estimation of stream flows of ungauged catchments for river basin management, *Physics and Chemistry of the Earth*, 28:935–942.
- Özdemir, H.,** 2007: Havran Çayı Havzasının CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Taşkın ve Heyelan Risk Analizi, *Doktora Tezi*, İ.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Shiqiang, Z., Yongjian, D., Shiyin L., Zhang, X.,** 2005: Comparing hydrological characters of ungauged area via RS, GIS and observation, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2005, Vol 6, p. 4461
- Shrestha,R., Takara, K, Tachikawa, Y., and Jha, R., N.,** 2004: Water resources assessment in a poorly gauged mountainous catchment using a geographical information system and remote sensing, *Hydrol. Process.*,18, 3061–3079.
- Singh, V.P.,** 1996: Hydrologic Modeling with GIS, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Trabzon Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü,** 2004: Trabzon İl Çevre Durum Raporu, Trabzon.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Ankara’da doğdu. İlk öğrenimini Salih Alptekin İlkokulu, orta ve lise öğrenimini Çankaya Milli Piyango Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2001 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitime başladı. 2006 – 2007 eğitim ve öğretim yılı güz döneminde İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği programında yüksek lisans eğitime başladı. Lisans öğrenimi süresince Vehbi Koç Vakfı Başarı Bursu, yüksek lisans eğitimi süresince de TÜBİTAK-BİDEB Yurtiçi Yüksek Lisans Bursu ile öğrenimini sürdürdü. Şu anda “Akım Ölçümleri Olmayan Akarsu Havzalarında Teknik Hidroelektrik Potansiyelin Belirlenmesi” isimli TÜBİTAK araştırma projesinde çalışmaktadır.