

# Akım Ölçümleri Olmayan Akarsu Havzalarında Hidroelektrik Potansiyelin Belirlenmesine Yönelik Uzaktan Algılama ve CBS ile Hidrolojik Modelleme

Uğur ALGANCI<sup>1</sup>, H. Gonca COŞKUN<sup>2</sup>, Ebru ERİŞ<sup>3</sup>, Necati AĞIRALIOĞLU<sup>4</sup>, Kerem CİĞIZOĞLU<sup>5</sup>, Levent YILMAZ<sup>6</sup>, Z. Fuat TOPRAK<sup>7</sup>

## Özet

Hidroloji ve su kaynakları çalışmalarında son yıllarda Uzaktan Algılama (UA) yöntemleri ile sağlanan uydu görüntüleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılmaktadır. Uydu verileri ile yersel ölçümlere göre hızlı ve ekonomik çözümler elde edilebilmektedir. Bu çalışmada Solaklı Havzası için arazi kullanımının belirlenmesi amacıyla IRS P6, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) nin oluşturulması amacı ile de stereo IRS P5 uydu verisi kullanılmıştır. SYM kullanılarak havzanın akış yönü ve yüzey akış haritaları oluşturulmuştur. SYM, CBS yazılımında analiz edilerek havzanın sentetik drenaj ağı oluşturulmuştur. Bu drenaj ağı üzerinde, kolların kesişimlerinde belirlenen istasyon noktalarını besleyen alt havzalar, CBS ortamında belirlenmiştir. Son aşamada alt havzalara ait topografik parametreler hesaplanmıştır. Havzada ve komşu havzalardaki meteoroloji istasyonlarının yağış verileri kriging yöntemi ile değerlendirilip havzaya ait eşyağış haritası oluşturulmuştur. Topografik parametreler ve ortalama alansal yağış bilgileri çoklu regresyonla elde edilen akım denkleminde kullanılarak istasyon noktalarına ait akım değerleri hesaplanmıştır.

## Anahtar Sözcükler:

Uzaktan Algılama, Coğrafi Bilgi Sistemi, Sayısal Yükseklik Modeli, Hidrolojik Modelleme, Hidroelektrik Potansiyel.

## Abstract

### Hydrologic Modelling with Remote Sensing And GIS for Determination of Hydroelectric Potential in Ungauged Water Basins

Nowadays, Remotely Sensing (RS) and Geographical Information Systems (GIS) are being used for the hydrology and water resource studies. It is possible to asses rapid and economic solutions and information from the remotely sensed data considered to terrestrial observations. In this project, IRS P6 multispectral satellite data is used for land use classification and IRS P5 stereo satellite data is used for DEM derivation. DEM is used to produce the flow direction and flow accumulation maps of the basin. Synthetic drainage network is obtained with the analysis of DEM in the GIS software. Station points are determined according to 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. These topographic parameters and mean areal rainfall values are used in the flow equation produced by multiple regression analysis in order to calculate the flow in the stations.

## Keywords:

Remote Sensing, Geographical Information System, Digital Elevation Model, Hydrologic Modeling, Hydroelectric Potential.

## 1. Giriş

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. Hesaplanan bu toplam potansiyelin 45.8 GWh'i işletmededir. Bu ise yaklaşık olarak %35'tir. 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.

Çalışmaya konu olan Trabzon – Solaklı havzası gibi özellikle ulaşımın çok zor veya imkânsız 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, baki verileri elde edilebilmekte ve bu veriler yardımı ile havza sınırları ve drenaj ağları, minimum maksimum ve ortalama yükseklik gibi bilgileri oluşturulabilmektedir. Ayrıca yine uydu verilerinin sınıflandırılması ile arazi kullanım durumu güncel olarak tespit edilebilmektedir. Bu verilerin Bununla birlikte Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında modellenmesi, yağış, sıcaklık gibi hidro-meteorolojik verilerinin de entegrasyonu ile potansiyel hesaplanmaktadır (SHRESTHA v.d. 2004, SHIQIANG v.d. 2005).

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 (COŞKUN VE ALGANCI 2006).

Bugün ülkemizde bu alanda çalışmalar yavaş yavaş artmaktadır. 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,

<sup>1</sup> Arş.Gör., İTÜ, Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Merkezi, Maslak İstanbul

<sup>2</sup> Doç.Dr., İTÜ, Jeodezi ve Fotogrametri Müh.Bölümü, Uzaktan Algılama ABD, Maslak İstanbul

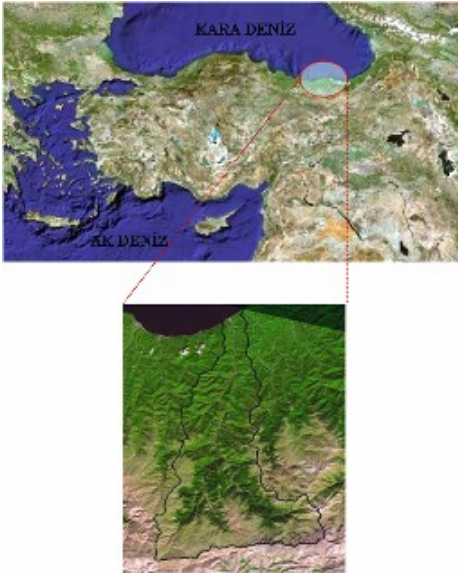
<sup>3</sup> Araş.Gör., <sup>4</sup> Prof.Dr., <sup>5</sup> Prof.Dr., <sup>6</sup> Doç.Dr., İTÜ, İnşaat Müh.Bölümü, Hidrolik ABD, Maslak İstanbul

<sup>7</sup> Yrd.Doç.Dr., DÜ, İnşaat Müh.Bölümü, Diyarbakır

hidroelektirik potansiyelin hesaplanması gibi önemli ve stratejik konularda mühendislere büyük ölçüde fayda sağlamıştır (KUMAR v.d. 1999, DUDHANI v.d. 2006).

Çalışmada, Doğu Karadeniz bölgesinde bulunan Solaklı havzası seçilerek bu havzanın alt havzalarındaki teknik hidroelektrik potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır (Şekil 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: Çalışma alanının konumu

## 2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada kullanılan uydu görüntülerinden 18.12.2006 tarihli stereo IRS P5 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.

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). Bugüne kadar benzer çalışmalarda çoğunlukla 30 m çözünürlüğe sahip ulusal veri üretim merkezlerinin sunduğu yükseklik verileri (USGS DEM, HGK Yükseklik). Bu nedenle, diğer çalışmalardan farklı olarak hidrolik modellemede kullanılacak olan SYM, 2.5 metre çözünürlükte ve  $\pm 4$  metre gibi yüksek 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 ile gerçekleştirilmiştir.

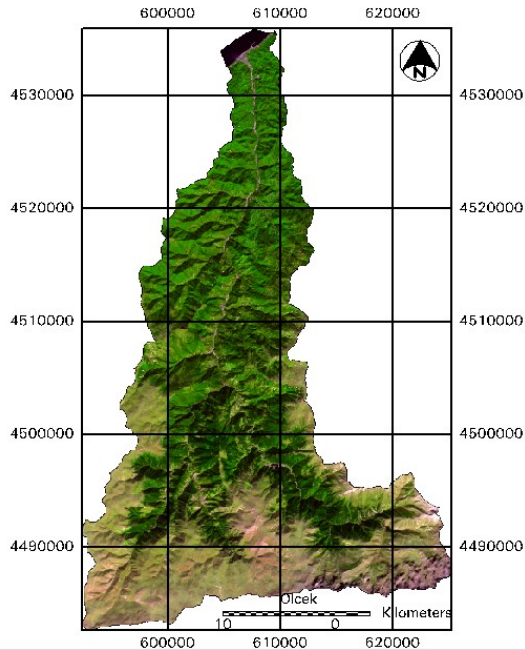
## 3. Uygulama

### 3.1 Uydu Verilerinin Geometrik Düzeltmesi ve Sınıflandırılması

Orijinal uydu dijital görüntüleri, genelde geometrik distorsiyonları (sistemik veya sistemik 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.

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.

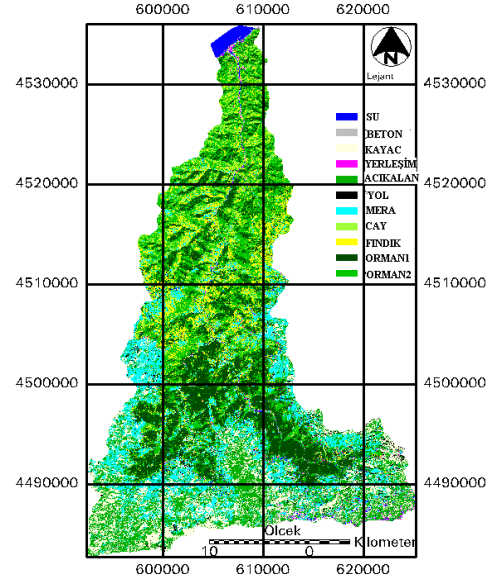
Bir sonraki adımda, elde edilen verilerin yüksek doğruluklu konumlandırılması amacı ile, gerçekleştirilen GPS ölçmelerinden elde edilen homojen dağılımlı yer kontrol noktaları ve 1/25000 ölçekli eşyüksekti eğrilerinden üretilen SYM kullanılarak, rasyonel polinom katsayıları (RPC) ve kamera modeli baz alınarak, ortorektifikasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem  $\pm 0.2$  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 2).



Şekil 2: 2006 yılına ait geometrik düzeltmesi yapılmış görüntü.

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). 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 kappas 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 1).



Şekil 3: 2006 tarihli IRS P6 verisinin kontrollü sınıflandırma işlemiyle oluşturulmuş sonuç görüntüsü

Tablo 1: Arazi kullanım sınıflarının hektar bazında alansal analizi

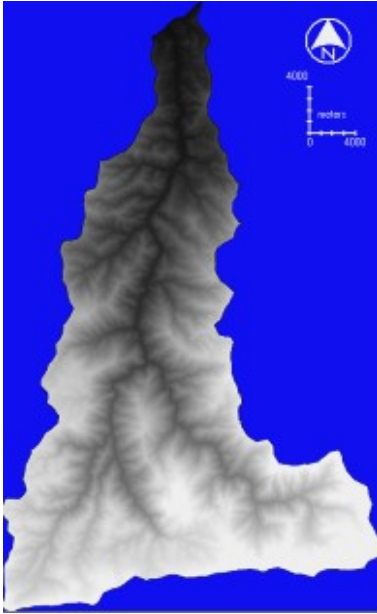
SINIF	ALAN (ha)
SU	923,46
BETON	410,49
KAYAC	9426,06
YERLEŞİM	666,56
ACIK ALAN	12253,7
YOL	366,57
MERA	10832,9
ÇAY	3599,39
FINDIK	5705,63
ORMAN IĞNE	17476,8
ORMAN GENİŞ	15845,4
TOPLAM	77506,96

### 3.2 Stereo Uydu Verilerinden Sayısal Yükseklik Modelinin Oluşturulması

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 değerinin 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 (Ehlers ve Welch, 1987). 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 4). Mekansal çözünürlüğü 2.5 m olan veriden üretilen bu SYM'nin yatayda ve düşeyde konum doğruluğu  $\pm 4$  m dir.



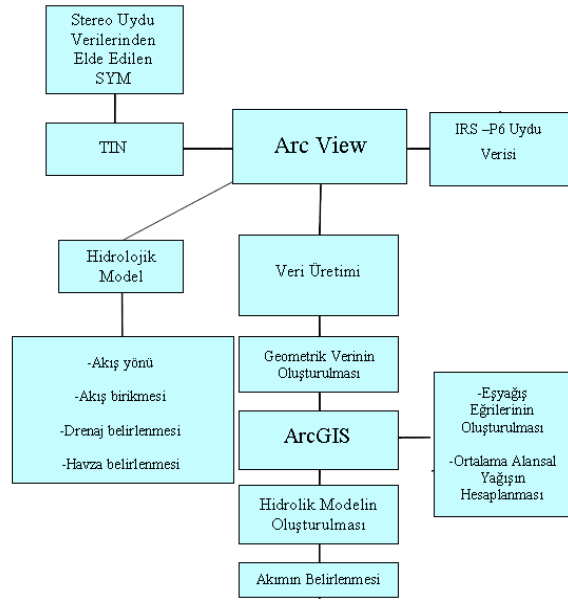
Şekil 4: Stereo görüntülerden oluşturulan SYM

### 3.3 Hidroelektrik Potansiyel Parametrelerinin Belirlenmesi

Hidroelektrik potansiyel parametrelerinin belirlenmesi için yapılan bu uygulamanın akış şeması Şekil 5'te gösterilmiştir.

Havza parametrelerinin belirlenmesi işlemlerinin 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 (KUMAR 2006). 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.

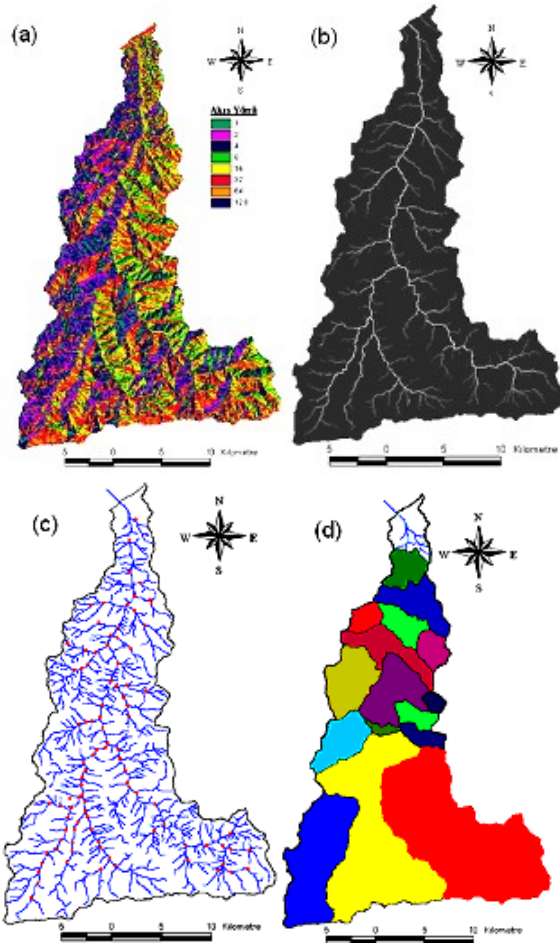
Akış yönü, sayısal arazi modelinden; en yüksek noktadan, en alçak noktaya doğru belirlenmiştir (Şekil 6a). Bu veride 8 komşu piksel, 1 (Doğu), 2 (Güneydoğu), 4 (Güney), 8 (Güneybatı), 16 (Batı), 32 (Kuzeybatı), 64 (Kuzey), 128 (Kuzeydoğu) akış yönlerini göstermektedir. Yüzeysel akış miktarı değeri; dere 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 6b.). Bu işlem adımından sonra, havzanın sentetik drenaj ağı oluşturulmuştur (Şekil 6c). 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 eşyükselti eğrilerinden yararlanılarak, ayrıca yüksek çözünürlüklü IRS-P6 uydu verisi üzerinde görsel yorumlama ile, havza içerisinde 98 adet muhtemel santral noktası (pour point) belirlenmiştir (Şekil 6c).



Şekil 5: Hidrolojik ve hidrolik model uygulamasının akış şeması

Bir sonraki işlem adımında ise bu santral noktaları besleyen havza alanları üretilmiş ve böylece 98 adet alt havza vektör formatında oluşturulmuştur (Şekil 6d). 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 yapıdaki SYM verisinden hesaplanmıştır. Bu bilgiler hem havzaya ait vektör verinin hem de santral noktalarını ifade eden nokta verisinin öznitelik tablolarına yazdırılarak, sorgulamaya hazır hale getirilmiştir.

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 havzaya ait dere kollarının boykesitleri oluşturulmuştur. Bu boykesitler yardımı ile alt havza boyunca dere yatağının topografik parametrelerinin tanımlanması ve yükseklik değişimine bağlı olarak belirli bir alt limitte düşüm yüksekliklerinin analizi gerçekleştirilebilmektedir.



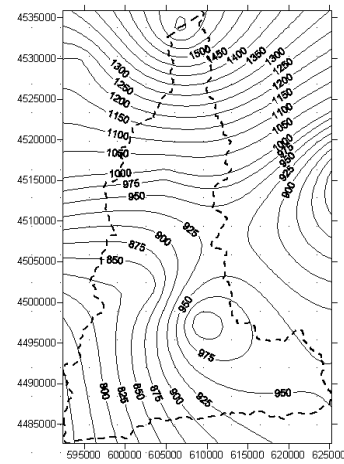
Şekil 6: Solaklı Havzasına ait, a-) Akış Yönü Haritası, b-) Akış Biriktirmesi Haritası, c-) Belirlenen sentetik drenaj ağının ve santral noktalarının vektör gösterimi, d-) Oluşturulan alt havzaların vektör gösterimi

### 3.4 Eş yağış Eğrilerinin Üretilmesi ve Ortalama Alansal Yağışın Hesaplanması

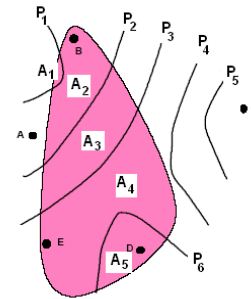
Çalışmanın bu aşamasında Solaklı havzası eş yağış haritasının üretilmesi için çalışma kapsamında denenen diğer geostatistiksel yöntemlere göre daha yüksek doğruluklu sonuçlar veren “ordinary” kriging yönteminin uygulanmasına karar verilmiştir. Solaklı havzası içerisinde 4 adet yağış istasyonu mevcuttur. Eşyağış haritalarının gerçeğe daha yakın çizilebilmesi amacıyla bu 4 adet

istasyonla beraber havzanın sağ ve sol kesiminde kalan benzer havzaların yağış istasyonları da kullanılmıştır. Bu istasyonlara göre çizilen eşyağış haritası, Şekil 7’ de verilmiştir.

Ortalama alansal yağışın hesaplanması Şekil 8’de gösterilen örnek havza üzerinde açıklanmıştır. Her iki eş yağış eğrisi arasında kalan alan, arasında kaldığı eş yağış değerlerinin ortalaması ile çarpıldıktan sonra toplanarak tüm havza alanına bölünür (Denklem 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 öznelitik tablolarına eklenerek sonraki analiz aşaması için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 7: Havzaya ait eş yağış eğrileri



Şekil 8: Ortalama alansal yağış için örnek havza.

$$P_{ORT} = \frac{\frac{(P_0 + P_1)}{2} A_1 + \frac{(P_1 + P_2)}{2} A_2 + \frac{(P_2 + P_3)}{2} A_3 + \frac{(P_3 + P_6)}{2} A_4 + \frac{(P_6 + P_7)}{2} A_5}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5} \quad (1)$$

### 3.5 Regresyon Analizi ve Akım Hesabı

Farklı şekillerde kurulan modeller için bulunan denklemler ve belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) değerleri Tablo 2’de özetlenmiştir. Tablodaki denklemler belirlilik katsayıları ile birlikte incelendiğinde; yağış, alan, yükseklik verileri ile oluşturulan 2.3 ve 2.4 no’lu denklemlerin sadece yağış ve alan verileri ile oluşturulan 2.1 ve 2.2 denklemlerinden daha doğru

sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca her iki fonksiyon için oluşturulan denklemlerden logaritmik olanlar (2.2 ve 2.4), doğrusal olanlara göre (2.1 ve 2.3) daha yüksek belirlilik katsayısına sahip olup, daha doğru sonuçlar vermektedir. Bu sonuçlar göz önüne alınarak, (2.3) ve (2.4) no' lu denklemler akım hesabında kullanılmıştır.

Son aşamada, alt havzalara ait topografik parametreler ve ortalama alansal yağış değerleri, havza ve yan havzalarda mevcut olan Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) verileri ile regresyon analizi yardımı ile kalibre edilen, 2.4 no' lu akım denkleminde yerine konarak, alt havzalar için akım değerleri hesaplanmıştır. Bu işlem CBS yazılımının hesaplama modülü ile gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar herbir havza vektör verisinin öznitelik tablosuna yazdırılmak suretiyle sorgulamaya hazır hale getirilmiştir (Şekil 9).

Tablo 2: Akım denklemleri ve R<sup>2</sup> değeri.

Fonk.	Denklem	R <sup>2</sup>	Denk. No
$Q=f(P, A)$	$Q = -7.843 + (0.0071 * P) + (0.025 * A)$	0.89	2.1
$Q=f(P, A)$	$Q = (10^{-4.598}) * (P^{10.57}) * (A^{0.907})$	0.93	2.2
$Q=f(P, A, H)$	$Q = 18.692 + (0.0105 * P) + (0.0132 * A) - (0.0128 * H)$	0.90	2.3
$Q=f(P, A, H)$	$Q = (10^{5.748}) * (P^{1.337}) * (A^{0.469}) * (H^{-3.053})$	0.94	2.4



Şekil 9: CBS ortamında akım değerinin hesaplanmasına ilişkin ekran görüntüsü.

#### 4. Sonuçlar

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.

İlk aşamada SYM nin onarılması ve çukur alanların doldurulması işlemleri gerçekleştirilerek yüksek doğruluklu yükseklik verisi elde edilmiştir. Bir sonraki aşamada, yük-

sek 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.

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.

Uzaktan Algılama ve CBS ile kurulan modelin doğruluğunu test etmek amacı ile Ögene-Alçakköprü Akım Gözlem İstasyonu 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 m<sup>3</sup>/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.

#### Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK destekli 106M043 no.lu “Akım Ölçümü Olmayan Havzalarda Hidroelektrik Potansiyelin Belirlenmesi” adlı proje kapsamında hazırlanmıştır.

#### Kaynaklar

COSKUN, H.G., ALGANCI, U.: **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. 2006.

DJOKIC, D.: **Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems**. Redlands Calif.:Esri Press. 2000

DUDHANI, S., SINHA, A. K., INAMDAR, S. S.: **Assessment of small hydropower potential using remote sensing data for sustainable development in India**, Energy Policy, 34, 3195-3205, 2006.

EHLERS, M., WELCH, R.: **Stereocorrelation of Landsat TM images**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 53 (9), 1231– 1237, 1987.

ENVI: **ENVI Tutorials, The DEM Extraction Module**. 2007

KUMAR, A., SINGHAL, M. K.: **Hydropower assessment for small ungauged catchments in Himalayan region using GIS techniques**, Workshop on GIS Applications in Power Sector, Map India. 1999.

KUMAR, A.: **Cartosat –1 (IRS –P5) Stereo Data Processing – A Case Study of Dehradun Area**, [www.gisdevelopment.net/proceedings/mapindia/2006/](http://www.gisdevelopment.net/proceedings/mapindia/2006/). 2006

SHIQIANG, Z., YONGJIAN, D., SHIYIN L., ZHANG, X.: **Comparing hydrological characters of ungauged area via RS, GIS and observation**, International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 6, 4461, 2005.

SHRESTHA, R., TAKARA, K, TACHIKAWA, Y., JHA, R., N.: **Water resources assessment in a poorly gauged mountainous catchment using a geographical information system and remote sensing**, Hydrologic Process, 18, 3061–3079. 2004