

# HARİTA VE GPS İLE ÜRETİLMİŞ KONTROL NOKTALARI KULLANARAK 1-D GÖRÜNTÜSÜNÜN GEOMETRİK DOĞRULUĞUNUN ARAŞTIRILMASI

Arif Önder GACEMER\*  
Yrd. Doç. Dr. Mustafa TÜRKER\*\*

## ÖZET

*Bu çalışmada, IRS-1D PAN uydu görüntüsünün geometrisi farklı yöntemlerle toplanmış kontrol noktaları kullanılarak düzeltilmiştir. Yer kontrol noktaları diferansiyel GPS, diferansiyel olmayan GPS, sayısallaştırma masası ve ekrandan sayısallaştırma yöntemleriyle elde edilmiştir. Diferansiyel GPS ile üretilen yer kontrol noktalarıyla elde edilen doğruluğun diferansiyel olmayan GPS ve haritadan sayısallaştırma yoluyla üretilen noktalardan daha iyi olduğu bulunmasına rağmen diferansiyel olmayan GPS ve haritadan sayısallaştırılan noktalarda da 1 pikselden daha düşük hassasiyet elde edilmiştir. Öte yandan, ekrandan sayısallaştırma yöntemiyle elde edilen kontrol noktaları ile yapılan rektifikasyon işleminde 1 pikselden daha büyük Karesel Ortalama Hata değerleri bulunmuştur.*

## ABSTRACT

### GEOMETRIC CORRECTION ACCURACY OF IRS 1-D PAN IMAGERY USING MAP VERSUS GPS CONTROL POINTS

*In this study, IRS-1D PAN image was geometrically corrected using ground control points (GCP) derived from various sources. The GCPs were derived from differential GPS, non-differential GPS, digitising and raster scanning map measurements. The results showed that the GCPs acquired using the differential GPS were superior to those acquired from non-differential GPS and digitized topographic maps. However, less than 1 pixel accuracy was achieved using both non-differential and digitized map-derived points. On the contrary, the RMSE of raster scanned map-derived GCPs were obtained as larger than the size of one pixel for polynomially rectified IRS-1D PAN image.*

---

\*Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü APK.Dairesi Başkanlığı

\*\*ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı

# 1. GİRİŞ

Uzaktan algılama metodu ile elde edilen görüntüler çok değerli bilgiler içerir. Uzaydan çekilen ilk resimler incelendiğinde bunların haritalama işlerine ve bir coğrafi bilgi sistemi (CBS) oluşturulmasına önemli katkılar sağlayabileceği görülmüştü. O tarihe kadar, coğrafi bilgiler genelde haritalardan elde edilen verilerle, haritalarda yersel ölçüler yada hava fotoğrafları kullanılarak meydana getirilirdi. Oysa (i) verilerin daha ucuza mal edilmesi, (ii) verilerin doğrudan sayısal formatta elde edilmesi, (iii) verinin en güncel hali içermesi ve (iv) uyduların görüntülerinin özellikle coğrafi nesnelere yorumlanmasında kolaylıklar sağlaması bu verileri geleneksel yersel ölçüler ve fotogrametrik metoda göre daha avantajlı kılıyordu.

Ancak, içinde böylesine değerli bilgiler barındıran uydu görüntüleri, geometrik düzeltme işleminden geçirilmeden CBS ile entegre edilemez. Richards'a göre (1986), uydu görüntülerinin CBS ile entegrasyonunu sağlayacak olan geometrik düzeltme işlemi Yer Kontrol Noktalarının (YKN) resim üzerindeki koordinatları (sıra ve sütun numaraları) ile bunların harita üzerindeki karşılığı olan harita koordinatları (genelde UTM yada enlem/boylam değerleri) arasında kurulan bir dönüşüm ile sağlanır. YKNlerin sayısı, dağılımı ve kaliteleri -ki kalite genelde verilerin kaynağı ile ilgilidir-geometrik düzeltme işleminin doğruluğuna etki eden başlıca faktörlerdir.

Koordinatlarının harita üzerinden okunması ile elde edilen YKNler kullanılarak yapılan geometrik düzeltme işlemi ile ilgili pek çok araştırma yapılmıştır. Landsat-4 ve Landsat-5 uydularından elde edilen görüntülerin geometrik düzeltmeleri, 1:24.000 ölçekli topoğrafik haritaların sayısallaştırıcı yardımıyla koordinatları elde edilen YKNler kullanılarak Welch (1985) tarafından yapılmış ve her iki veri seti için de sadece 5 YKN ve düşük dereceli polinomlar kullanıldığı halde yarım piksel civarı doğruluk elde edilmiştir. Benzer bir çalışmada Borgeson (1985), yine Landsat-4 ve 5 görüntülerinin 1:24.000 ölçekli haritalardan elde ettiği YKNleri kullanarak 0.4 piksel doğrulukla düzeltildiğini yayınlamıştır. Aynı YKN toplama tekniği, daha sonra, Salamonowicz (1986) tarafından Landsat MSS uydusuna ait görüntünün az sayıda nokta kullanılarak geometrik düzeltmesini yapan bir programın test edilmesinde kullanılmıştır. Bu çalışmada koordinatları mevcut haritalardan elde edilmiş, iyi dağılımlı, 13 noktadan 6 tanesi YKN olarak seçilirken geriye kalan 7 nokta Bağımsız Kontrol Noktası (BKN) olarak kullanılmış ve 1 pikselden fazla bir doğruluk değeri elde edilmiştir. Bundan başka, Termal Infrared Multispektral Tarayıcılar, SPOT ve Landsat TM görüntüleri Welch (1990) tarafından 1:50.000 ölçekli haritalardan sayısallaştırılmış 20, 13 ve 8 YKN kullanılarak düzeltilmiş ve 1 pikselden daha iyi doğrulukta sonuç elde edilmiştir. Son olarak, Cheng (2000) tarafından geliştirilen parametrik model Landsat 7 görüntüsünün ortorektifiyesinde kullanılmış, 1:24.000 ölçekli haritalardan üretilmiş 30m grid genişliğinde Sayısal Arazi Modeli (SAM) ve 15 BK noktasının kullanıldığı ortorektifikasyon işlemi sonucunda, x yönünde 6.7m, y yönünde de 5.2m'lik hata miktarı tespit edilmiştir.

Yukarıdaki çalışmalar; geometrik düzeltme doğruluğunun resmin çözünürlüğü, YKNlerin kalitesi ve dağılımı gibi değişkenlere bağlı olduğunu göstermiştir. YKNlerin kalitesi ise alt-

lık olarak kullanılan haritaların kalitesi ve koordinatların elde ediliş yöntemine bağlıdır. YKNlerin haritalardan sayısallaştırılarak elde edilmesi basit, çabuk ve düşük maliyetli bir yöntemdir. Ancak, (i) haritaların genelde güncel olmaması ve (ii) her zaman uygun ölçekte haritalara ulaşılamaması, haritaları YKN elde etmek için uygun altlıklar olmaktan uzak kılabilir. Bu durumda küresel konum belirleme (GPS) teknolojisi YKNlerin koordinatlarının arazide elde edilmesi için bir çözüm olabilir. GPS; uzayda konuşlandırılmış 24 adet uydu ve bu uyduları sürekli takip eden yer istasyonlarından oluşmuş dünyanın her yerinde kullanılan bir konum belirleme sistemidir. GPS teknolojisi kullanılarak dünyanın herhangi bir noktasının konumu metre, hatta santimetre altı bir duyarlılıkla elde edilebilir. 1990 yılından bu yana GPS teknolojisi bilimin pek çok dalında kullanıldığı gibi son günlerde otomobil, uçak, deniz taşıtları, yapı ekipmanları, tarım araçları gibi hayatın pek çok noktasında da karşımıza çıkmaktadır. Umulan, bu teknolojinin yakın bir gelecekte cep telefonu kadar basite indirgeneceği ve geniş bir kullanım alanının olacağıdır.

Sağladığı yüksek konum hassasiyeti nedeniyle GPS teknolojisi, son on yılda pek çok araştırmacı tarafından geometrik düzeltme için gerekli olan YKNlerin elde edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Clavet (1993), SPOT uydusuna ait Pankromatik resmin geometrik düzeltmesini GPS teknolojisiyle, fotogrametrik yöntemle ve topoğrafik haritalardan elde ettiği YKNleri kullanarak gerçekleştirmiş ve böylece el-gps'si ve diferansiyel-GPS teknolojisi kullanılarak elde edilmiş YKNler ile diğer iki metotla elde edilenlerin sonuca etkisini karşılaştırmıştır. Bu çalışmada Ashtec'in ürettiği yüksek duyarlılıkta GPS aletleri ile elde edilen YKNlerin, hassasiyeti daha düşük fotogrametrik yada el-gps teknolojisiyle üretilmiş noktalardan daha iyi sonuçlar vermediği görülmüştür. Bir diğer harita ve GPS tabanlı doğruluk karşılaştırması da Cook ve Pinder III (1996) tarafından yapılmıştır. Sırasıyla 30m, 20m ve 10m çözünürlüklü Landsat TM, SPOT XS ve SPOT PAN uydu görüntüleri hem GPS hem de haritadan üretilmiş YKNler kullanılarak rektifiye edildiğinde GPS verisi ile her üç resimde de harita verisinden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Gao (2001) tarafından yapılan son bir çalışmada SPOT PAN, SPOT XS ve Landsat TM görüntülerinin planimetrik kontrolleri diferansiyel olmayan GPS ölçümleri kullanılarak yapılmıştır. Her YKN için üç farklı zamanda el-gps'si kullanılarak 30 ölçüm yapılmış, elde edilen YKN'ler ile SPOT PAN için yaklaşık 3 piksel, SPOT XS için 1.5 piksel ve Landsat TM için de 1.2 piksellik doğruluk elde edilmiş olup birkaç kötü YKNnin işlemin dışında tutulması halinde kabul edilebilir doğrulukta sonuçlara ulaşıldığı belirtilmiştir.

Yukarıda örneklenen çalışmaların pek çoğunda YK noktaları en hassas ölçüm yöntemi olan diferansiyel GPS metoduyla elde edilmiştir. Diferansiyel GPS her ne kadar yüksek doğruluk avantajı taşısa da maliyetinin yüksekliği ve ölçüm sonrasında hesap yapılması ihtiyacı gibi dezavantajları da bünyesinde taşır. Öte yandan yaygın ismiyle el-gps'si olarak bilinen diferansiyel olmayan GPS teknolojisi tek bir aletin yeterli olması ve sonradan herhangi bir hesap işlemine ihtiyaç duyulmaması nedeniyle YK noktalarının ölçümü için alternatif olarak düşünülebilir. El-gps aletleri 2000 yılının Mayıs ayına kadar, uydu görüntülerinin geometrik düzeltmesi için yeterli hassasiyete sahip olmadıklarından YK noktalarının ölçümünden ziyade daha çok navigasyon amaçlı kullanılmıştır. Ancak, 1 Mayıs 2000 tarihinde bu aletlerin dü-

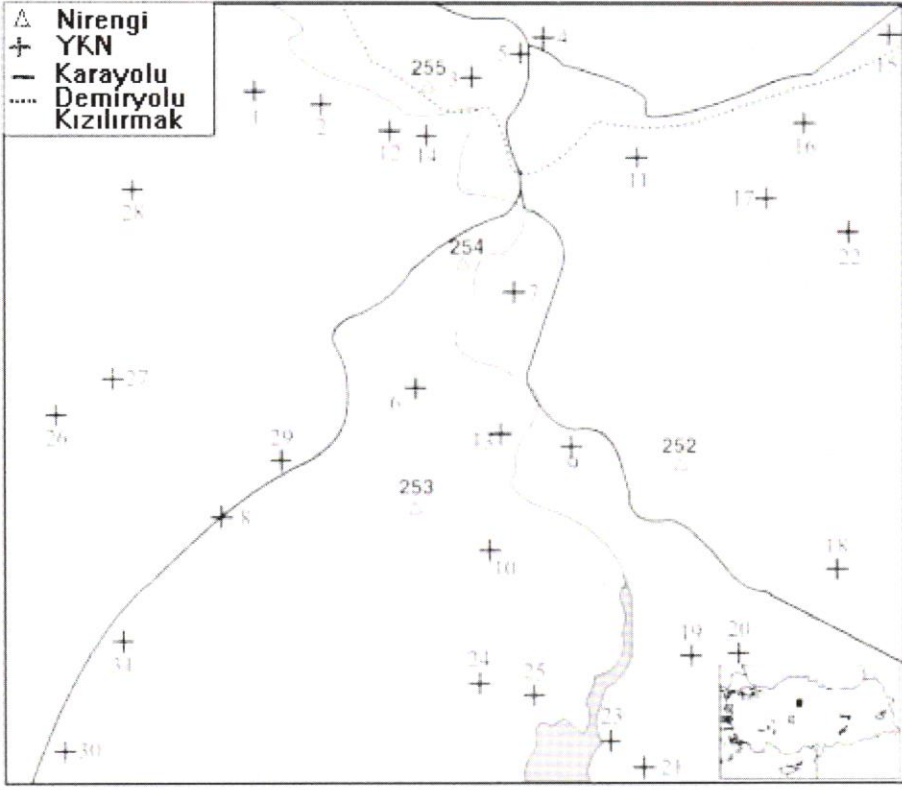
şük hassasiyette sonuçlar vermesine neden olan Selective Availability (SA) özelliğinin Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı tarafından kaldırılması sonucu diferansiyel olmayan metot ile elde edilen konumsal doğruluk artmış ve bu tip çalışmalarda da kullanılmaya başlanmıştır. Yakın zamanda Smith ve Atkinson (2001) tarafından yapılan bir çalışmada SPOT ve Landsat MSS uydularına ait görüntülerin geometrik düzeltmeleri, el-gps'si, gerçek zamanlı (real time) diferansiyel GPS ve 1:24.000 ölçekli topoğrafik haritalardan elde edilmiş noktalar kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmanın sonunda SPOT görüntüsü için en iyi sonuç diferansiyel GPS ile elde edilmişken, şaşırtıcı bir şekilde, Landsat MSS için en iyi sonuç el-gps'si ile ölçülmüş noktalar sağlamıştır.

Yukarıdaki tüm çalışmalarda, geometrik doğruluğun araştırılması için , uzaktan algılama dünyasında en çok tercih edilen görüntüler olan SPOT ve Landsat resimleri kullanılmıştır. Bu resimlerden yersel çözünürlüğü en yüksek olanı ,pek çok uygulama için yeterli olmasa bile, 10m ile SPOT PAN verisidir. Öte yandan 1995 yılında fırlatılan Hindistan'a ait IRS 1-C ve 1997'de yörüngeye oturtulan benzer özelliklerdeki IRS 1-D uyduları yüksek çözünürlükte resim çekebilen bir pankromatik kamera ile donatılmıştır (5.8m piksel boyutlu). IRS 1-D PAN görüntüsü bu yüksek yersel çözünürlüğünden dolayı özellikle temel veri elde etme ve veri tabanı güncellemesi gibi amaçlar için topoğrafik haritalama uygulamaları alanında ilgi odağı olmuştur.

Bu çalışmada haritadan ve GPS teknolojileri kullanılarak elde edilmiş YK noktaları ile IRS 1-D PAN görüntüsünün geometrik düzeltmesi yapıp sonuçlar incelenmiştir. Bu çalışmanın yapılış amaçları (i) farklı metotlarla elde edilmiş YK noktalarının IRS 1-D PAN görüntüsünün geometrik düzeltme doğruluğuna olan etkilerinin değerlendirilmesi, (ii) günümüz el-gps teknolojisinin IRS 1-D PAN görüntüsünün geometrik düzeltmesi için yeterliliğinin araştırılması olarak sıralanabilir.

## 2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı, 300.000 nüfuslu Kırıkkale şehri sınırları içerisinde, K 33° 11' - K 33° 27' enlem ve D 39° 41' - D 39° 53' boylamları arasında yaklaşık olarak 23km x 23km boyutunda bir bölgeyi kapsamaktadır. Bölgenin batısı yerleşime uygun olmayan dağlık ve kırsal bir yapıya sahip olup Ankara-Samsun kara yolu doğu-batı, Kızılırmak nehri de kuzey-güney boyunca uzanmaktadır. Kapulukaya baraj gölü çalışma alanının güneyinde yer alırken TÜPRAŞ Orta-Anadolu rafinerisi ve MKE silah fabrikası da yine bölge içindeki önemli yapılardır. Hem Kırıkkale şehir içi hem de kırsal bölgeler, bünyelerinde kontrol noktası seçimine uygun yol ve patika kesişim noktaları barındırmaktadır. Arazinin büyük bir bölümünün tarıma ayrıldığı bölgede yükseklik farkları 680 m ile 1550 m arasında değişim göstermektedir. Yerleşim alanları genelde düzlüklerde toplanmış olup Orta-Anadolu bitki örtüsü karakteristiğinin tüm özelliklerini taşımaktadır. Arazinin dağlık bölümünde eğim farkları oldukça keskin değişimler göstermektedir. Çalışma alanı ve tüm kontrol noktaları Resim 1'de gösterilmiştir.



Resim 1. Çalışma Alanı

### 3. VERİLER

#### 3.1. Uydu Görüntüsü

Uydu verisi 17 Temmuz 1998 tarihinde çekilmiş, 5m piksel çözünürlüklü bir IRS 1-D PAN görüntüsü olup 23 km x 23 km'lik bir alanı kaplamaktadır. Resim toz, duman ve bulut gibi uzaktan algılama verilerini kullanışsız kılan maddeler içermeyip iyi kalitede bir uydu görüntüsü olarak kabul edilebilir. Görüntü Resim 2'de, coğrafi köşe koordinatları ise Tablo 1'de verilmiştir.

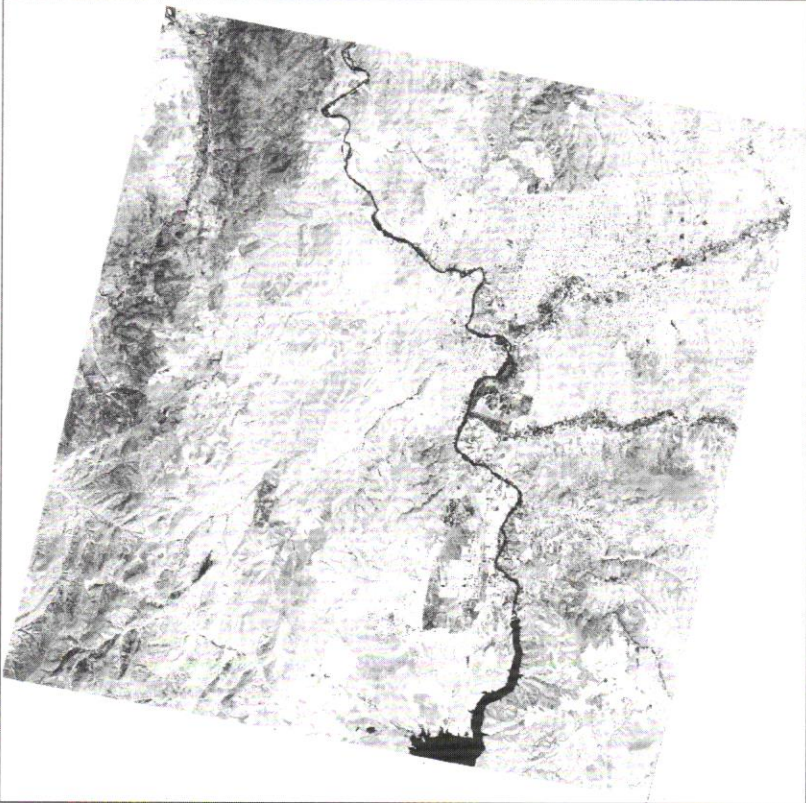
#### 3.2. YK Noktalarının Koordinat Değerleri

YK noktaları, GPS ölçüleri ve 1: 25,000 ölçekli topoğrafik haritaların sayısallaştırılması sonucu elde edilmiştir. Toplam 31 noktanın tamamı en ideal YKN olarak kabul edilen yol keşim noktalarından seçilmiştir. Bu çalışmada IRS 1-D PAN görüntüsünün yüksek çözünürlüklü

lükte olmasının getirdiği avantaj sayesinde mümkün olduğu kadar dar yol kesişimleri (yaklaşık olarak 3-4m) YKN olarak seçilmiştir. 31 YK noktasından bazıları geometrik düzeltme işlemi sırasında BKN olarak ayrılmış ve ölçümler European Datum 1950 (ED50) ve UTM-Zone 36 projeksiyonuna dönüştürülmüştür.

Tablo 1. IRS 1-D PAN görüntüsünün köşe noktalarına ait coğrafi (enlem/boylam) koordinatlar

<b>Köşe</b>	<b>Doğu</b>	<b>Kuzey</b>
Sol Üst	33:12:57.40	39:55:27.27
Sağ Üst	33:29:51.92	39:52:56.51
Sol Alt	33:26:38.40	39:40:04.27
Sağ Alt	33:09:46.91	39:42:34.58



Resim 2 IRS 1-D PAN Görüntüsü

### 3.2.1 YK Nokta Koordinatlarının GPS ile Belirlenmesi

YK Noktalarının koordinatları ASHTECH Z12 GPS alıcıları ile ölçülmüştür. Kontrol ünitesi olmayan bu alıcılar, çift frekanslı (L1,L2) , 10 MB depolama kapasiteli ve aynı anda 12 kanalı kullanabilme özelliklerine sahip olup, ölçüm hassasiyeti  $10\text{mm} \pm 1\text{ppm}$ 'dir (ASHTECH kullanım kılavuzu 1996). Diferansiyel GPS ölçümleri Eylül 2000 ve Şubat 2001 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde iki alıcıdan bir tanesi 3. derece ülke nirengi noktasında sabit olarak bekletilirken diğer alıcı koordinatları bilinmeyen YK noktalarında gezdirilmiştir. Bu çalışmada 3. derece nirengi noktası olarak bölgenin kuzey-batısında askeri bölge sınırındaki Balkaya tepesinde bulunan 255 numaralı nirengi seçilmiş ve ölçüm sırasında alıcılar her noktada santimetre hassasiyetinde sonuç elde etmek için yeterli olan 10 dakika süreyle bekletilmiştir. Ölçme işlemine başlanmadan önce alıcıların sinyal alma aralığı 5 saniye olarak belirlendiğinden durulan noktalarda uydu başına yaklaşık 100-120 ölçüm yapılmıştır. Her iki ölçüm gününde de hava şartları bulutsuz ve ölçüm yapmaya elverişli geçmiş, arazi çalışmalarının sonunda ham GPS verisi WINPRISM (versiyon 2.1) programı kullanılarak koordinata dönüştürülmüştür.

Diferansiyel GPS ölçümlerinden sonra aynı YK noktaları Nisan 2001'de 12 paralel kanalı ve 9 farklı navigasyon ekranı bulunan Magellan 315 el-gps alıcısı kullanılarak ölçülmüştür. Alıcının çalışma prensibine göre her ölçüm noktasında 4 farklı uydudan sinyal yakalandığı an yaklaşık olarak bir başlangıç koordinatı hesaplanıp ekranda görüntülenmiş, bu başlangıç koordinatları daha sonra uydulardan alınan sinyaller sayesinde 2-3 dakika boyunca sürekli olarak yeniden hesaplanarak en son iyileştirilmiş haline geldiğinde ekranda sabitlenmiş ve o noktanın koordinatı olarak kaydedilmiştir (Burada hesabın hassasiyeti işlem anında alıcının ulaşabildiği uydu sayısı ve bu uyduların gökyüzündeki dağılımına göre değişir ancak ne yazık ki alıcının kullandığı algoritma 4 uydudan sonraki uydu sayısı ve dağılımını görmeyi engeller). Alıcının kullandığı algoritma sayesinde Türkiye'de herhangi bir noktanın WGS84 datum koordinatları 3m'nin altında doğrulukla hesaplanabilmektedir (Magellan 315 kullanım kılavuzu 2001).

El-gps'si ile yapılan ölçümler diferansiyel GPS tekniğiyle ölçülen 31 noktadan ancak 27 tanesinde gerçekleştirilebilmiştir. Kalan 4 noktanın ölçülemezliği sebebi ise zaman içerisinde topografyadaki değişimdir. Aynı noktaların koordinatlarının hem diferansiyel hem de el-gps'si ile ölçülmesi sayesinde iki veri setinin karşılaştırılma imkanı da yakalanmıştır. Daha öncede anlatıldığı gibi diferansiyel GPS ölçülerinin hassasiyeti 10cm'nin altında olduğundan bu koordinatlar doğru kabul edildiğinde el-gps'si ile elde edilen sonuçlarla arasında maksimum 6 metrelik farklar olduğu görülmüştür. Diğer bir deyişle diferansiyel olmayan GPS ölçülerindeki maksimum konum hatası IRS 1-D PAN görüntüsünün 1 piksel boyutu civarında olarak bulunmuştur.

### 3.2.2 *YK Nokta Koordinatlarının 1: 25,000 Ölçekli Topoğrafik Haritalardan Elde Edilmesi*

YK noktalarının koordinatları ayrıca, çalışma alanını kaplayan 4 adet 1: 25,000 ölçekli topoğrafik harita kullanılarak ta elde edilmiştir. Kullanılan haritalar 1992 tarihinde ED 50 datum ve UTM zone-36 projeksiyonuna göre Harita Genel Komutanlığı tarafından üretilmiştir. İlk olarak GPS ile ölçülen noktalardan harita üzerinde tespit edilebilen 15 tanesinin koordinatları sayısallaştırıcı kullanılarak elde edilmiştir. Sayısallaştırma işlemi iki kez tekrarlanmış, iki ölçünün ortalaması noktaların harita koordinatı olarak kullanılmıştır.

Koordinatlar sayısallaştırıcı ile elde edildikten sonra aynı 15 nokta bir kez de haritaların tarayıcıdan geçirilmiş raster görüntüleri üzerinden ekranda el ile sayısallaştırılmıştır. Bu işlem için, haritalar önce CANNON KIP 2080 Image Scanner ile taranmış, daha sonra her bir haritaya 20 grid noktası ortak nokta kabul edilerek piecewise-afin dönüşümü uygulanmış ve böylece raster haritalar koordinatlandırılmıştır. Bu işlem sona erdiğinde haritaların tamamı, ortak nokta olarak alınmayan gridlerin koordinat değerleri ekran üzerinden okunarak kontrol edildiğinde orijinal değerlerle 15 metrelik farklar gözlenmiştir. Kağıt haritalardaki deformasyonlar ve tarayıcının silindirik mekanizmasının bu farkların oluşumuna neden olduğu düşünülmüş ve son olarak 15 noktanın koordinatları el ile ekran üzerinden sayısallaştırılıp kaydedilmiştir.

## 4. IRS 1-D PAN GÖRÜNTÜSÜNÜN GEOMETRİK DÜZELTMESİ

IRS 1-D PAN görüntüsünün geometrik düzeltmesi, PCI GEOMATICA görüntü analizi yazılımı ile polinom model kullanılarak yapılmıştır. Düzeltme işleminde ikinci derece polinom ve en yakın komşu yeniden örnekleme tekniği kullanılmıştır. İlk olarak, YK noktaları görüntü üzerine diferansiyel GPS koordinatlarına göre mümkün olduğunca hassas olarak yerleştirilmiş ve bu aşamada Toplam Karesel Ortalama Hata (KOH) yazılımı tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır. 31 noktadan 22 tanesi YK noktası olarak seçilirken bağımsız bir doğruluk değerlendirmesi yapabilmek için 9 tane nokta BK noktası olarak ayrılmıştır. Daha sonra YKN sayısı 22 den sırasıyla 15, 10, 7 ve 5'e düşürülerek rektifikasyon işlemi tekrar edilmiş, her işlem için kalan noktalar BKN olarak bırakılmıştır. Veri setlerinden sadece 5 YK noktası için zorunlu olarak birinci derece polinom kullanılmıştır.

Ardından, diferansiyel GPS noktalarının koordinatları el-gps'si koordinatlarıyla değiştirilmiştir. Bu esnada toplam 27 adet el-gps'si koordinatından 9 tanesi işleme BK noktası, 18 tanesi de YK noktası olarak tanıtılmış ve geometrik düzeltme işleminde yine ikinci derece polinom ile en yakın komşu yeniden örnekleme tekniği kullanılmıştır.

Son olarak, IRS 1-D PAN görüntüsünün geometrik düzeltmesi aynı 10 tane sayısallaştırıcı ve taranmış pafta koordinatları kullanılarak yapılmıştır. Böylece sayısallaştırıcı ve taranmış



paftaların sayısallaştırılmasıyla elde edilen koordinatların sonuçlarını da karşılaştırma şansı yakalanmıştır. Geometrik düzeltme işleminin doğruluğu ile ilgili daha iyi bir değerlendirme yapabilmek için 5 adet nokta BK noktası olarak ayrılmış ve bir kez daha, önceki işlemlerde takip edilen polinom rektifikasyon prosedürüne bağlı kalmıştır.

## 5. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tablo 2’de de görüldüğü gibi 7, 10, 15 ve 22 YKN kullanılarak yapılan polinom rektifikasyon işleminde Karesel Ortalama Hata (x,y) 1 pikselden daha küçük olarak elde edilmiştir. Sonuçlara göre, en iyi doğruluk değeri 15 YKN ile  $\pm 2,65m$  ( $\pm 0,53$  piksel) olarak bulunmuştur. Kullanılan YKN sayısına göre KOH değerleri 5 YKN ile  $\pm 6,05m$  ( $\pm 1,21$  piksel) den 7 YKN ile  $\pm 3,60m$  ( $\pm 0,72$  piksel), 10 YKN ile  $\pm 2,75m$  ( $\pm 0,55$  piksel) ve 15 YKN ile  $\pm 2,65m$  ( $\pm 0,53$  piksel)’lik değerlere düşüş gösterdikten sonra 22 YKN ile  $\pm 3,05m$  ( $\pm 0,61$  piksel)’e yükselmiştir. Beş YKN dışındaki 7, 10, 15 ve 22 nokta ile yapılan hesaplamalarda hep ikinci derece polinom, 5 YKN için ise yeterli sayıda nokta olmadığından zorunlu olarak birinci derece polinom kullanılmıştır. Bu sebepten, en kötü sonuç olarak göze çarpan  $\pm 6,05m$  ( $\pm 1,21$  piksel)’lik değer kullanılarak düşük dereceli polinomdan kaynaklanmış olabileceği sonucuna varılmıştır.

Tablo 2 Yer, bağımsız ve tüm kontrol nokta sayısı ve toplam KOH değerleri

Yer Kontrol Noktaları	Bağımsız Kontrol Noktaları	KOH		Bağımsız Kontrol Noktaları	KOH		Tüm Noktalar		KOH
		(m)	Piksel		(m)	Piksel	No	(m)	
DGPS	No			No			No		
	5	6,05	1,21	26	4,15	0,83	31	3,10	0,62
	7	3,60	0,72	24	3,75	0,75	31	3,10	0,62
	10	2,75	0,55	21	4,15	0,83	31	3,10	0,62
	15	2,65	0,53	16	3,60	0,72	31	3,10	0,62
	22	3,05	0,61	9	4,65	0,93	31	3,10	0,62
El-GPS	18	4,14	0,82	9	3,55	0,71	27	4,55	0,91
Harita (Digitizer)	10	5,00	1,00	5	6,10	1,22	15	5,00	1,00
Harita (Taranmış)	10	10,90	2,18	5	10,00	2,00	15	9,60	1,92

BK noktalarından elde edilen KOH değerleri bize geometrik düzeltme işlemi ile ilgili daha güvenilir belirtiler sunmuştur (Tablo 2). Yer kontrol noktalarından elde edilen sonuçların aksine bağımsız kontrol noktalarında düzenli bir trende rastlanmamıştır. Elde edilen en iyi doğruluk değerinin 16 bağımsız kontrol noktası ile  $\pm 3,60\text{m}$  ( $\pm 0,72$  piksel) olduğu görülmüştür. Burada, 24 BKN kullanılarak alınan sonuç en iyi değerden çok da farklı çıkmazken en kötü doğruluk değeri de 9 BKN ile  $\pm 4,65\text{m}$  ( $\pm 0,93$  piksel) olmuş ki bu değer bile 1 piksel boyutunun altında kalmıştır. 26 ve 21 BKN ile elde edilen doğruluk ise  $\pm 4,15\text{m}$  ( $\pm 0,83$  piksel) olmuştur. Ne yazık ki, bağımsız kontrol noktalarının doğruluğunda gözlemlenen bu düzensiz trendin sebebine mantıklı bir açıklama getirecek her hangi bir sonuca varılamamıştır. Burada dikkat çekici olan nokta bütün bağımsız kontrol noktaları için elde edilen geometrik doğrulukların bir piksel boyutunun altında olduğudur. Yer kontrol noktalarının tamamı (31 adet) göze alındığında, x ve y için elde edilen toplam KOH, IRS 1-D PAN görüntüsünün yarım piksel boyutuna çok yakın bir değere denk düşen  $\pm 3,10\text{m}$  ( $\pm 0,62$  piksel) olarak karşımıza çıkmıştır.

IRS-1D PAN görüntüsünün geometrik düzeltilmesi ayrıca el-gps'si (diferansiyel olmayan GPS) ile elde edilmiş YKNler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tamamı görüntü üzerinde ayırt edilebildiğinden 27 noktanın hepsi rektifikasyonda kullanılmıştır. İşlem sırasında 27 noktadan 18 tanesi YKN geri kalan 9 tanesi de BKN olarak seçilmiştir. Tablo 2'de de görüldüğü gibi, koordinatları el-gps'si ile hesaplanmış 18 YK noktası kullanılarak yapılan polinom rektifikasyon işleminin KOH (x,y) değeri  $\pm 4,14\text{m}$  ( $\pm 0,82$  piksel) olarak bulunmuştur. Öte yandan, bağımsız kontrol noktalarının doğruluk değeri ise  $\pm 3,55\text{m}$  ( $\pm 0,71$  piksel) olarak gerçekleşmiştir. El-gps'si ile bulunan nokta koordinatlarının tamamı (27 adet) YKN olarak işleme girdiğinde geometrik doğruluk değeri bir piksel boyutunun altında kalan  $\pm 4,55\text{m}$  ( $\pm 0,91$  piksel) olarak hesaplanmıştır.

Önceden tahmin edildiği gibi en iyi sonucu diferansiyel GPS noktaları vermiştir. Buna rağmen, el-gps'si ile elde edilen noktaların verdiği sonuçların kabul edilebilir seviyede olduğu görülmüştür. Burada dikkat çekici olan konu, diferansiyel GPS ile bulunmuş koordinat setlerinde, beş YK noktasından oluşan setin haricinde, geometrik düzeltmenin doğruluk analizi için YK noktalarının BK noktalarına göre daha yüksek doğruluk değeri vermeleridir. Ayrıca bu sonuçlar 15 YK noktasına kadar nokta sayısı arttıkça planimetrik doğruluğun arttığını ancak BKN için böyle bir trendin olmadığını içermektedir. En iyi geometrik doğruluğa diferansiyel GPS ölçümleri ile elde edilmiş 15 YKN kullanıldığında ulaşılmıştır.

IRS-1D PAN görüntüsünün geometrik düzeltilmesi son olarak 1:25,000-ölçekli topoğrafik haritaların sayısallaştırılması ile elde edilen 10 adet YKN kullanılarak yapılmıştır. Bu işlem sırasında 10 adet YK noktasına ek olarak 5 adet nokta da BKN olarak kullanılmıştır. Onbeş noktanın tamamı iki farklı sayısallaştırma prosedürü olan (i) sayısallaştırma masasında el ile sayısallaştırma ve (ii) taranmış görüntü üzerinden ekrandan sayısallaştırma yöntemleri ile elde edilmiştir. Tablo 2'de de görüldüğü gibi, toplam KOH değerleri sayısallaştırıcı ile koordinatlandırılan noktalarda  $\pm 5,00\text{m}$  ( $\pm 1,00$  piksel) ve raster haritalardan elde edilmiş noktalarda da  $\pm 10,90\text{m}$  ( $\pm 2,18$  piksel) olarak hesaplanmıştır. BK ve tüm noktalar göze alındığın-

da yine benzer bir trend olduğu görülmüştür. BKNler için (toplam 5 adet), sayısallaştırıcı koordinatlarıyla elde edilen doğruluk  $\pm 6,10\text{m}$  ( $\pm 1,22$  piksel) iken taranmış pafta koordinatları ile  $\pm 10,00\text{m}$  ( $\pm 2$  piksel) olarak gerçekleşmiştir. Onbeş noktanın tamamı YKN olarak kullanıldığında planimetrik doğruluk açısından 10 nokta ile arasında pek fazla bir fark olmadığı görülmüştür. Kısaca, üç YKN seti de göz önüne alındığında, taranmış(raster) haritalardan üretilmiş kontrol noktalarının IRS-1D PAN görüntüsünün rektifikasyonu için yeterli kalitede olmadığı sonucu ortaya çıkmıştır.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tahmin edildiği gibi diferansiyel GPS teknolojisi kullanılarak elde edilen noktalar IRS-1D PAN görüntüsünün rektifikasyonunda en iyi sonucu vermesine rağmen, bu YKN elde etme metodu seçicilikte kriter teşkil edebilecek yüksek maliyet ve komplike ekipman ihtiyacı gibi dezavantajları da bünyesinde barındırmaktadır. Yüksek maliyeti nedeniyle, YKN koordinatlarının diferansiyel GPS ölçümleri ile elde edilmesi yöntemi çok yüksek çözünürlüklü görüntülerin rektifikasyonu için tercih edilmelidir (örn. 1-m yersel çözünürlüklü IKONOS PAN, 0.62-m çözünürlüklü QUICKBIRD görüntüleri).

Bir piksel boyutundaki konumsal doğruluğun yeterli olduğu çalışmalarda IRS-1D PAN görüntüsünün rektifikasyon işlemine girecek YK noktalarının koordinatlarını elde etmek için el-gps teknolojisi kullanılabilir. El-gps alıcıları hem ucuzdur hem de SA kaldırıldığından bu yana 3m'ye kadar ölçüm doğruluğuna destekleyebilmektedir. Diferansiyel düzeltme getirilmeden elde ettikleri doğruluk çalışma alanına ait uygun haritaların olmaması durumunda IRS-1D PAN görüntüsünün geometrik düzeltmesi için gerekli kontrol noktalarının elde edilmesinde kullanılabilirmeleri açısından önemlidir.

Diferansiyel ve diferansiyel olmayan GPS teknolojisinin her ikisiyle elde edilmiş kontrol noktaları, 1:25,000-ölçekli topoğrafik haritalardan elde edilen noktalara göre daha yüksek hassasiyette geometrik doğruluk sağlamıştır. Topoğrafik haritalar uzun yıllardan bu yana YKN koordinatı elde etmek için en çok tercih edilen kaynak olmuşlar ancak, uygun ölçekte harita bulmakta yaşanan zorluklar, güncelliğini yitirmiş haritalar, görüntüde farkedilen bir objenin haritada bulunamaması ve kağıt paftalarda oluşan deformasyonlar bu haritaların kullanımlarını kısıtlamıştır. Bu çalışma, IRS-1D PAN görüntüsünün geometrik düzeltmesi için sayısallaştırıcı kullanılarak elde edilmiş 1:25,000 ölçekli topoğrafik harita koordinatlarının da kullanılabilceğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlara göre, tarayıcıdan geçirilip raster hale getirilmiş haritalardan elde edilen YKN koordinatları IRS 1-D PAN görüntüsünün geometrik düzeltmesinde kullanılmaya elverişli değildir.

**Teşekkür:** Çalışmalarımızda kullandığımız IRS 1-D PAN uydu görüntüsünü bize sağlayan HAT CBS şirketine teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Ashtech, Z12 GPS Receiver Operating Manual, Ashtech Ltd. USA. 1993
- Borgeson W. T., Batson R. M., Kieffer H. H., Geometric Accuracy of Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper Images, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 51, No. 12, pp. 1893-1898. 1985
- Cheng P., Toutin T., Tom V., Orthorectification and Data Fusion of Landsat 7 Data. 2000
- Clavet D., Lasserre M., Pouliot J., GPS Control for 1:50,000-Scale Topographic Mapping from Satellite Images, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 59, No. 1, pp. 107-111. 1993
- Cook A. E., Pinder III J. E., Relative Accuracy of Rectifications Using Coordinates Determined from Maps and The Global Positioning System, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 62, No. 1, pp. 73-77. 1996
- Gao J., Non-Differential GPS as an Alternative Source of Planimetric Control for Rectifying Satellite Imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 67, No. 1, pp. 49-55. 2001
- Magellan Systems Corporation., *Magellan GPS 315/320 User Manual*. Magellan Systems Corporation, 960 Overland Court, San Dimas, California. 1999
- Salamonowicz P. H., Satellite Orientation and Position for Geometric Correction of Scanner Imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 52, No. 4, pp. 491-499. 1986
- Smith D. P., Atkinson S. F., Accuracy of Rectification Using Topographic Map versus GPS Ground Control Points, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 67, No. 5, pp. 565-570. 2001
- Welch R., Jordan T. R., Ehlers M., Comparative Evaluations of the Geodetic Accuracy and Cartographic Potential of Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper Image Data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 51, No. 11, pp. 1799-1812. 1985
- Welch R., Jordan T. R., Luval J. C., Geocoding and Stereo Display of Tropical Forest Multisensor Datasets, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, No. 10, pp. 1389-1392. 1990