

FARKLI ÇÖZÜNÜRLÜKTEKİ UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN GEOMETRİK DÖNÜŞÜMÜ

Elif Saroğlu¹, Şinasi Kaya², Cankut Örmeci³

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Uzaktan Algılama Anabilim Dalı, İstanbul, saroglu@itu.edu.tr.

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Uzaktan Algılama Anabilim Dalı, İstanbul, skaya@ins.itu.edu.tr.

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Uzaktan Algılama Anabilim Dalı, İstanbul, cankut@itu.edu.tr.

ÖZET

Bu çalışmada, İstanbul-Avrupa yakasını içeren farklı mekansal çözünürlüğe sahip, IRS 1C (5,8m), SPOT P (10m) ve Landsat 5 TM (30m) görüntülerinin, DGPS ve 1/25000 ölçekli haritalardan elde edilen koordinat değerleri kullanılarak geometrik dönüşümü yapılmıştır. Dönüşüm için birinci derece polinom eşitlikleri ve farklı sayıda yer kontrol noktaları kullanılmıştır. Her bir dönüşümün iç doğruluk değerini belirlemek amacıyla dönüşüme ait karesel ortalama hata değeri hesaplanmıştır. Dönüşümde kullanılan modelin doğruluğunu analiz etmek amacıyla, yer kontrol noktalarından bağımsız 12 adet test noktası seçilmiştir. Test noktalarına ait koordinat değerleri statik GPS ölçmelerinden elde edilmiş ve bu noktaların koordinat değerleri, dönüşüm sonucunda elde edilen koordinat değerleri karşılaştırılarak, her bir dönüşüm için dış doğruluk değeri hesaplanmış ve dış doğruluğa etki eden faktörler belirlenmiştir. Yapılan dönüşümler sonucunda elde edilen iç ve dış doğruluk değerleri incelendiğinde, iç doğruluk değerinin geometrik dönüşüm sonucunda görüntünün tümü için geçerli olmadığı dış doğruluk değerleri hesaplanarak belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Uzaktan Algılama, Geometrik Dönüşüm, İç doğruluk, Dış doğruluk

ABSTRACT

GEOMETRIC CORRECTION MULTISENSOR REMOTELY SENSED DATA

In this research, images of Istanbul-European side acquired from IRS 1C (5,8m), SPOT P (10m) and Landsat 5 TM (30m) satellites were geometrically corrected using data obtained from DGPS survey and 1/25000 scaled topographic maps data. First order polinom equations and different numbers of GCPs (Ground Control Points) were used for geometric correction. Root mean square error of each rectification was computed to determine the inner accuracy. 12 test points were used to assess the accuracy of the model used in geometric correction. Coordinates of test points were acquired by static GPS method and these coordinates were compared with the geometrically corrected coordinates of these points. Outer accuracy of each geometric correction was determined using these comparisons. Inner and outer accuracy of each geometric correction were computed. Consequently, outer accuracy results demonstrated that inner accuracy is not valid for whole image surface.

Keywords: Remote Sensing, Geometric Correction, Inner Accuracy, Outer Accuracy.

1. GİRİŞ

Uzaktan algılama sistemlerinden elde edilen görüntüler, yeryüzü özellikleri hakkında hızlı, ekonomik ve güncel bilgiler vermekte ve farklı uygulama alanlarında kullanılabilir. Uydu görüntülerinin çözünürlüklerinin gelişmesi, uyduların sağladığı sinoptik görüş, çok zamanlı veri elde edebilme imkanı ve kısa zamanda bilgi toplanabilmesi nedeniyle uydu ve uzaktan algılama teknolojileri bir çok disipline önemli bilgiler sağlamaktadır (Saroğlu, 2004).

Uydu görüntüleri, farklı zamansal ve mekansal ölçeklerde haritalar üreterek yeryüzünün araştırılması için, birçok bilim dalında kullanılabilen önemli kaynaklardır. Orijinal uydu görüntüleri, genellikle geometrik distorsiyonları içerdiğinden ve bir projeksiyon düzleminde kaydedilemediğinden dolayı harita amaçlı kullanılamazlar (Kaya v.d, 2003). Uydu görüntülerini yersel bir koordinat sisteminde tanımlayarak bir projeksiyon düzlemine kaydetmek ve geometrik distorsiyonları gidermek amacıyla uygun yer kontrol noktaları seçilip matematiksel eşitlikler kullanılarak görüntünün geometrik dönüşümü gerçekleştirilir. Yer kontrol noktaları, görüntü üzerinde keskin bir şekilde ayırt edilebilen, düzgün geometriye sahip ve görüntü koordinatlarına ait eşlenik yer koordinat değerleri haritalardan veya ölçmelerden elde edilebilen noktalar olmalıdır (Saroğlu, 2004; Kaya v.d 2002).

Bu çalışmada, farklı mekansal çözünürlüğe sahip uydu görüntülerinin farklı iki tür GPS ölçme tekniğinden elde edilen koordinat verileri ve harita koordinat verileri kullanılarak geometrik olarak düzeltilmiştir. Bu amaçla, İstanbul Avrupa yakasına ait IRS 1C (5,8m), SPOT P (10m) ve Landsat 5 TM (30m) uydu görüntüleri kullanılmıştır. İstanbul gibi metropol bir kentte arazi örtü tipleri hızla değişmekte ve mevcut topografik haritalar güncelliğini

yitirmektedir. Bu nedenle güncel yer kontrol noktalarını mevcut topografik haritalardan üretmek zorlaşmaktadır. Son yıllarda, küresel konum belirleme tekniği yer kontrol noktalarının koordinat değerlerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Küresel konum belirleme tekniği ile güncel ve hassas konum doğruluğuna sahip yer kontrol noktaları üretilebilmektedir. Ancak, yer kontrol noktası üretimi uydu görüntüsünde tanımlanabilen detay noktalar ile sınırlıdır ve bu durum uydu görüntüsünün mekansal çözünürlüğü ile yakından ilişkilidir.

Çalışmada yer kontrol noktaları, her üç görüntü üzerinde de ayırt edilebilecek ve homojen olarak dağılacak biçimde belirlenmiştir. Bu noktaların koordinat değerleri, DGPS yöntemi ve 1/25000 ölçekli haritalar kullanılarak elde edilmiştir. İki farklı koordinat değeri kullanılarak her bir görüntünün geometrik dönüşümü yapılmış ve dönüşümlerin iç doğrulukları karşılaştırılmıştır. Ayrıca, farklı sayıda yer kontrol noktası kullanılarak, doğruluğun nokta sayısı ile olan ilişkisi incelenmiştir. Her görüntüde yer kontrol noktaları haricinde, dönüşümün doğruluğunu analiz etmek amacıyla 12 tane test noktası seçilmiştir. Seçilen bu noktaların dönüşüm sonrası koordinat değerleri ile statik GPS ölçme yönteminden elde edilen koordinat değerleri arasındaki fark hesaplanarak her noktanın dış doğruluğu hesaplanmıştır. Son olarak, bu farklar kullanılarak dönüşümlerin dış doğruluğu için karesel ortalama hatalar bulunmuştur.

2. ÇALIŞMADA BÖLGESİ VE VERİLER

2.1 Çalışma Bölgesi

Çalışma bölgesi olarak $40^{\circ} 52' 38''$.20- $41^{\circ} 21' 56''$.03 enlemleri, $28^{\circ} 30' 51''$.69- $29^{\circ} 7' 32''$.11 boylamları arasında kalan, İstanbul Avrupa yakasının büyük kısmını içeren bölge seçilmiştir. Çalışma bölgesi, yaklaşık olarak 45 km x45 km alan kaplamakta ve Büyük Çekmece, Avcılar, Bakırköy, Bahçelievler, Zeytinburnu, Fatih, Eyüp, Eminönü, Beyoğlu, Şişli, Beşiktaş, Sarıyer, Küçük Çekmece ve Gaziosmanpaşa ilçelerini içermektedir.

2.2 Veriler

Çalışma bölgesini içeren farklı özelliklere sahip uydu görüntüleri, 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar ve GPS ölçmelerinden elde edilmiş koordinatlar kullanılmıştır.

Çalışmada, 9 Mayıs 2000 tarihli IRS 1C, 13 Haziran 1993 tarihli SPOT Pankromatik ve 16 Haziran 1997 tarihli Landsat 5 TM uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Yararlanılan uydu görüntülerinden IRS 1C Pankromatik 5.8 m, SPOT Pankromatik 10 m ve Landsat 5 TM ise 30m mekansal çözünürlüğe sahiptir.

Çalışma bölgesine ait, Harita Genel Komutanlığı tarafından, fotogrametrik yöntemlerle üretilen 11 adet 1/25000 ölçekli pafta yer kontrol noktalarının koordinatlarını belirlemede referans olarak kullanılmıştır.

Çalışma bölgesine ait farklı uydu görüntülerinin geometrik dönüşümünü gerçekleştirmek için seçilen yer kontrol noktalarının koordinatlarını belirlemek amacıyla GPS ölçme teknikleri kullanılmıştır. GPS ölçmeleri, çift frekanslı Ashtech Zextreme GPS alıcıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yer kontrol noktalarının konumlarının belirlenebilmesi için, statik ve DGPS olmak üzere farklı iki ölçme tekniği kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan Ashtech Zextreme alıcısıyla uygulanan ölçme yöntemine bağlı olarak elde edilen doğruluk değerleri Tablo 1' de verilmiştir (Ashtech Manual, 2000).

Ölçme Yöntemi	Yatay Konum Doğruluğu	Maksimum Veri Toplama Aralığı	Uygulanabilir Maksimum Mesafe
SPS	SA etkisi ile 100m SA etkisiz 10-20 m	5Hz	Her yerde kullanılabilir.
Gerçek zamanlı diferansiyel kod ölçümü	1.0 m + 10ppm	5Hz	Yüzlerce kilometre.
Post proses Statik	5mm + 1ppm	5Hz	Yüzlerce kilometre. (Uydu geometrisine bağlı)
Gerçek zamanlı diferansiyel faz ölçümü	1.6 cm + 2ppm	5Hz	< 15 km.

Tablo 1: GPS ölçme yöntemine bağlı olarak elde edilen doğruluklar

3. GEOMETRİK DÜZELTME

Uzaktan algılanmış görüntüler ilk kaydedildikleri zaman geometrik hatalar içerirler. Bu hatalar sistematik olan ve sistematik olmayan geometrik hatalar olmak üzere ikiye ayrılır.

Sistematik distorsiyonlar; yeryüzü tarama hataları, tarama aynası hızındaki değişimler, panoramik distorsiyon, platform hızı değişimleri, yeryüzü eğikliği ve perspektif görüş hataları nedeniyle meydana gelir. Sistematik hatalar platform efemeris verileri ve iç algılayıcı distorsiyon bilgileri kullanılarak düzeltilir.

Sistematik olmayan distorsiyonlar; uydunun konumu ve yüksekliğinde meydana gelen değişimler nedeniyle ortaya çıkar. Sistematik olmayan hatalar ise; görüntü üzerinde keskin ve net olarak ayırt edilebilen yer kontrol noktaları ile bu noktaların yeryüzündeki koordinatları arasındaki matematiksel bağıntı kurularak giderilir. (Jensen, 1996; Richards, 1993).

Geometrik düzeltme işlemini gerçekleştirebilmek için takip edilmesi gereken üç adım vardır. Bu adımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- I. Yer kontrol noktalarının seçilmesi, noktalara ait görüntü ve referans (harita ya da GPS) koordinatlarının sisteme girilmesi,
- II. Uygun matematiksel modelin belirlenip, transformasyon matrisinin hesaplanması ve uyumsuz noktaların elemine edilmesi,
- III. Piksellerin yeniden örnekleme.

3.1 Matematik Model

Bu çalışmada matematik model olarak, birinci derece polinom eşitlikleri kullanılmıştır. Polinomlarla modelleme; basit olması, kolay uygulanabilmesi ve bir çok uzaktan algılanmış görüntü için yeterli doğruluk vermesi nedeniyle çok fazla kullanılan bir yaklaşımdır. Geometrik distorsiyonların kaynağı hakkında kesin bilgi sahibi olunmadığı zamanlarda kullanılabilen en doğrudan yöntemdir (Yang, 1997).

Birinci derece polinom eşitliklerine ait formülasyon aşağıdaki gibidir.

$$X = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^i a_k .x^{i-j} .y^j \quad (1)$$

$$Y = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^i b_k .x^{i-j} .y^j \quad (2)$$

Burada X, Y referans koordinatlarını, x, y görüntü koordinatlarını, N polinom derecesini ve a_k ve b_k polinom katsayılarını göstermektedir.

3.2 Geometrik Dönüşümün Doğruluğu

Her bir yer kontrol noktası için mutlak konum hatası hesaplanır. Mutlak konum hatası, X ve Y yönündeki gerçek hata olmak üzere iki bileşenden oluşur. X yönündeki gerçek hata bir noktanın orijinal görüntüdeki X koordinatı ile transformasyon sonucunda elde edilen X koordinatı arasındaki fark olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle, X koordinatının gerçek değeri ile X koordinatının kestirim değeri arasındaki farktır. Y yönündeki gerçek hata ise, aynı noktanın orijinal görüntüdeki Y koordinatı ile yeniden dönüşümü yapılmış görüntüdeki Y koordinatı arasındaki fark olarak ifade edilir (Erdas, 1999).

Mutlak konum hatası aşağıdaki 3 eşitliği ile ifade edilebilir.

$$m_p = \sqrt{(x_r - x_i)^2 + (y_r - y_i)^2} \quad (3)$$

Burada; m_p = mutlak konum hatası,

x_i ve y_i = kaynak (görüntü) koordinatları,

x_r ve y_r = yeniden dönüştürülmüş koordinatları temsil etmektedir.

Geometrik transformasyona ait hata ölçütü karesel ortalama hata ile ifade edilebilir. Karesel Ortalama Hata, gerçek hataların kareleri toplamının ortalamasının kareköküdür. Dönüşümün toplam karesel ortalamasını hesaplamada kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$R_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n XR_i^2} \quad (4)$$

$$R_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n YR_i^2} \quad (5)$$

$$T = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (6)$$

R_x, R_y = X ve Y yönündeki karesel ortalama hatalar,

T = toplam karesel ortalama hata

n= yer kontrol noktası sayısı

i= i-nci yer kontrol noktası

XR_i = i-nci yer kontrol noktasını X yönündeki gerçek hatası,

YR_i = i-nci yer kontrol noktasını Y yönündeki gerçek hatası.

3.3 Yeniden Örnekleme

Geometrik dönüşüm esnasında uydu görüntüleri bir grid sisteminden yeni bir grid sistemine dönüştürülmektedir. Yeni grid sistemindeki piksel değerleri, orijinal piksel değerleri ile uyuşmayacağı için, pikseller yeniden örneklenmelidir. Bu çalışmada, yeni grid sistemindeki piksellerin parlaklık değerlerinin hesaplanmasında en yakın komşuluk yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, geometrik olarak düzeltilmiş görüntünün piksel değerleri, orijinal görüntüdeki en yakın pikselin parlaklık değerinin atanmasıyla elde edilir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı mekansal çözünürlüğe sahip IRS 1C (5,8m), SPOT P (10m) ve Landsat 5 TM (30m) uydu görüntülerinin, 19 tane yer kontrol noktası kullanılarak birinci derece polinom eşitlikleriyle geometrik düzeltmesi yapılmıştır. Yer kontrol noktalarının referans koordinatları, DGPS ölçme yöntemi ve 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalardan elde edilmiştir. Her bir geometrik dönüşümde yer kontrol noktalarına ait karesel ortalama hata değerleri hesaplanarak, dönüşümlerin iç doğrulukları belirlenmiştir. Ayrıca, literatürde geçerli olan yer kontrol noktaları için 0.5 piksel doğruluk değerine erişebilmek için yüksek hata değerlerine sahip yer kontrol noktaları elemine edilmiş ve bu durumda elde edilen iç ve dış doğruluk değerleri belirlenmiştir. Uygulanan geometrik modelin tüm görüntü yüzeyinde neden olduğu hata hakkında bilgi sahibi olabilmek için, yer kontrol noktalarının haricinde 12 tane test noktası seçilmiştir. Bu test noktalarının koordinatları, statik GPS tekniği ile yüksek doğrulukla belirlenmiştir. Test noktaların statik GPS koordinatları ile, geometrik dönüşüm sonucu elde edilen koordinatları karşılaştırılarak; bu noktalara ait karesel ortalama hata değerleri belirlenmiştir. Bu değerler yardımıyla geometrik dönüşümlere ait dış doğruluk değerleri belirlenmiştir. Tablo 2’ de IRS 1C (5,8m), SPOT P (10m) ve Landsat 5 TM (30m) uydu görüntülerinin geometrik dönüşümleri sonucunda elde edilen değerler gösterilmiştir.

Tablo 2: IRS 1C (5,8m), SPOT P (10m) ve Landsat 5 TM (30m) uydu görüntülerine geometrik düzeltme sonuçları.

IRS 1C görüntüsünün geometrik dönüşüm sonuçları incelendiğinde, 19 tane yer kontrol noktası kullanılması durumunda, iç doğruluk değeri; DGPS verileri için 0.705 piksel, harita verileri için ise 1.373 piksel bulunmuştur. Bu dönüşümlerin dış doğrulukları incelendiğinde ise sırasıyla 0.939 piksel ve 1,374 piksel değerleri elde edilmiştir. İç

UYDU GÖRÜNTÜLERİ				İÇ DOĞRULUK		DIŞ DOĞRULUK	
Algılayıcı	Çözünürlük (m)	YKN sayısı	TN sayısı	DGPS KOH (Piksel)	1/25000 KOH (Piksel)	DGPS KOH (Piksel)	1/25000 KOH (Piksel)
IRS1C	5.8	19	12	0.705	1.373	0.939	1.374
IRS1C	5.8	15	12	0.497	0.948	1.099	1.376
IRS1C	5.8	14	12	-	0.842	-	1.389
IRS1C	5.8	9	12	-	0.471	-	1.405
SPOT P	10	19	12	0.578	0.801	0.961	1.098
SPOT P	10	15	12	0.461	0.534	0.968	1.227
SPOT P	10	14	12	-	0.496	-	1.230
Landsat 5 TM	30	19	12	0.476	0.523	0.784	0.799
Landsat 5 TM	30	18	12	-	0.471	-	0.819

doğruluk değerini 0.5 pikselin altına düşerebilmek amacıyla yüksek karesel ortalamaya sahip yer kontrol noktaları elemine edilmiş ve bu durumda DGPS verileri için 0.497 piksel, harita verileri için ise 0.471 piksel karesel ortalama hata bulunmuştur. Nokta elminasyonun dış doğruluğa etkisi irdelendiğinde ise; DGPS verileri için 1.099 piksel, harita verileri için ise 1.405 piksel karesel ortalama hata bulunmuştur. IRS 1C görüntüsünün geometrik

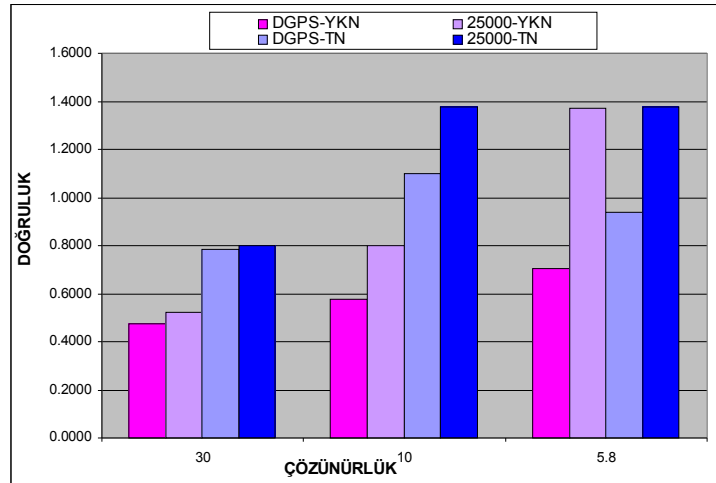
dönüşümünde 19 tane yer kontrol noktası kullanılması durumunda elde edilen iç doğruluk değeri ve dış doğruluk değerleri birbirine yakınken, nokta elemine edildikçe dış doğruluk değerinin çok fazla değişmediği fakat iç doğruluk değerinde bir iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Sadece iç doğruluk değerlerine bakılıp karar verilmesi durumunda, geometrik düzeltme sonuçları daha iyiye gitmiş gibi gözükse de; test noktalarıyla yapılan analizde bu durumun doğru olmadığı, dış doğruluk değerinin yaklaşık aynı kaldığı bulunmuştur. DGPS verileri, 1/25000 ölçekli harita verilerine göre daha iyi sonuçlar vermiş bu durum hem iç doğruluk hem de dış doğruluk değerlerinde kendini göstermiştir.

SPOT Pankromatik görüntüsünün geometrik dönüşüm sonuçları incelendiğinde, 19 tane yer kontrol noktası kullanılarak iç doğruluk değeri, DGPS verileri için 0.578 piksel, harita verileri için ise 0.801 piksel bulunmuştur. Bu dönüşümlerin dış doğrulukları incelendiğinde ise sırasıyla 0.961 piksel ve 1,098 piksel değerleri elde edilmiştir. İç doğruluk değerini 0.5 pikselin altına düşerebilmek amacıyla yüksek karesel ortalama hata sahip yer kontrol noktaları elemine edilmiş ve bu durumda DGPS verileri için 0.461 piksel, harita verileri için ise 0.496 piksel karesel ortalama hata bulunmuştur. Nokta elminasyonun dış doğruluğa etkisi irdelendiğinde ise; DGPS verileri için 0.968 piksel, harita verileri için ise 1.230 piksel karesel ortalama hata bulunmuştur. SPOT Pankromatik görüntüsünün geometrik dönüşümünde, DGPS verileri ile 1 pikselin altında dış doğruluk elde edilebilirken; 1/25000 ölçekli harita verileri ile bu değer 1 pikselin üstünde çıkmıştır.

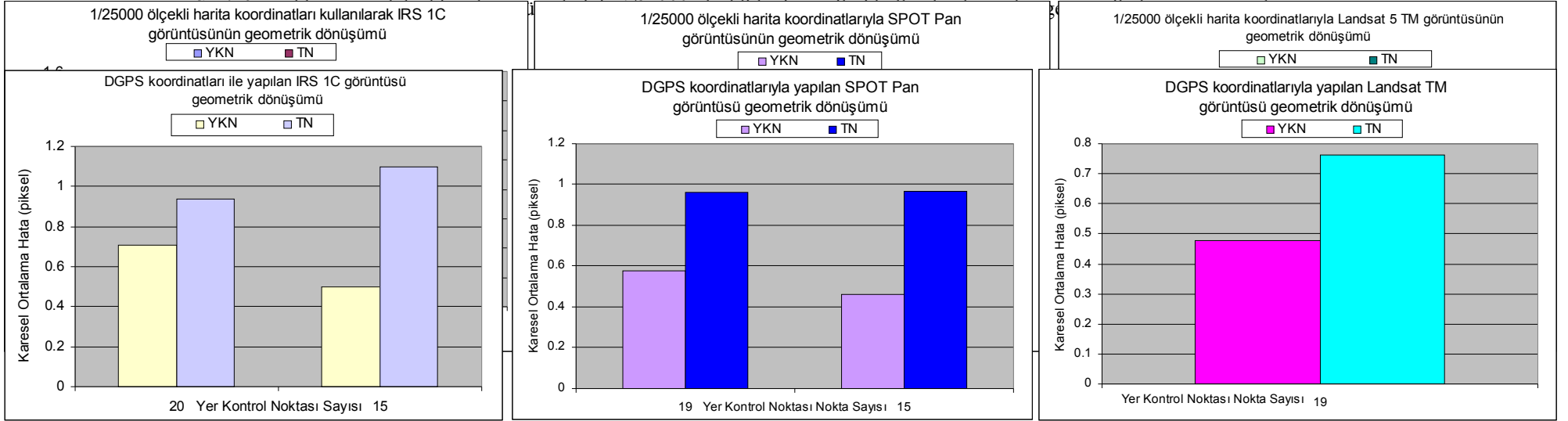
Landsat TM görüntüsünün geometrik düzeltme sonuçları incelendiğinde ise her iki referans veri ile yaklaşık aynı değerler elde edilmiştir. İç doğruluk değerleri DGPS verileri için 0.476 piksel, harita verileri için ise 0.523 piksel bulunmuştur. Bu dönüşümlerin dış doğrulukları incelendiğinde ise sırasıyla 0.784 piksel ve 0.799 piksel değerleri elde edilmiştir.

Uydu görüntülerin geometrik dönüşümünde sadece yer kontrol noktalarına ait karesel ortalama hata yani iç doğruluk değeri incelendiğinde, görüntülerde 0.5 pikselin altında doğruluk elde edilmiş olsa bile, test noktaları kullanarak geometrik modelin dış doğruluğu analiz edildiğinde bu durumun geçerli olmadığı ispatlanmıştır. DGPS verileri ile her üç görüntü için de 1 pikselin altında dış doğruluk elde edilmesine karşın, 1/25000 ölçekli harita verileri ile sadece Landsat TM görüntüsünün geometrik dönüşümünde 1 pikselin altında doğruluk değeri elde edilmiştir. SPOT pankromatik ve IRS 1C pankromatik görüntülerinin 1/25000 ölçekli harita verileri ile rektifiye edilmesi sonucundaki doğruluk değeri 1 pikselin üstündedir. Birinci dereceden polinom kullanılarak yapılan geometrik dönüşümlerin hiçbirinde dış doğruluk için 0.5 piksel değeri elde edilememiştir. İç doğruluk değerlerinde 0.5 piksel değerine ulaşılmış olsa da bu durum tüm görüntü yüzeyi için geçerli değildir.

Uydu görüntülerinin mekansal çözünürlüğü arttıkça daha yüksek doğruluklu referans verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Farklı mekansal çözünürlüğe sahip görüntülerim 19 tane yer kontrol noktası ile yapılan geometrik dönüşümlerinin, 12 tane test noktası ile analiz edilmesinden elde edilen doğruluk değerlerini gösteren grafik Şekil 1' de verilmiştir. Gerek iç, gerekse dış doğruluk için en iyi değerler DGPS verileri ile elde edilmiştir. Kullanılan referans verinin doğruluğunun önemi, mekansal çözünürlük büyüdükçe daha da artmaktadır.



Şekil 1: Farklı çözünürlükteki uydu görüntülerinin iç ve dış doğrulukları.



Yapılan geometrik dönüşümlerin, mekansal çözünürlüğe, referans veri türüne ve yer kontrol noktası sayısına bağlı olarak iç ve dış doğruluklarını ifade edebilmek amacıyla grafikler çizilmiştir. Bu grafiklerde yatay eksen, geometrik dönüşüm için kullanılan yer kontrol noktası sayısını; dikey eksen piksel biriminde karesel ortalama hatayı göstermektedir.

IRS 1C, SPOT Pan ve Landsat TM görüntülerinin 1/25000 ölçekli harita koordinatlarıyla yapılan geometrik dönüşümlerinin yer kontrol noktası sayısına bağlı olarak iç ve dış doğruluklarını gösteren grafikler aşağıda verilmiştir (Şekil 2).

IRS 1C, SPOT Pan ve Landsat TM görüntülerinin DGPS koordinatlarıyla yapılan geometrik dönüşümlerinin yer kontrol noktası sayısına bağlı olarak iç ve dış doğruluklarını gösteren grafikler Şekil 3' de gösterilmiştir.

4. ÖNERİLER

Uydu görüntülerinin, birbirleriyle ya da farklı kaynaklardan gelen verilerle entegrasyonunun yapılabilmesi için, görüntülerin belirli bir projeksiyon sisteminde tanımlanarak geometrik dönüşümünün yapılması gerekir. Görüntülerin, yersel verilerle entegrasyonunun doğru bir biçimde yapılabilmesi ve güvenilir analiz sonuçlarının elde edilebilmesi için geometrik dönüşümün doğruluğu çok önemli bir etkidir. Geometrik dönüşümün doğruluğu;

- ✓ görüntünün mekansal çözünürlüğüne,
- ✓ yer kontrol noktalarının sayısına,
- ✓ YKN larının ölçülme doğruluğuna,
- ✓ YKN larının görüntü üzerindeki dağılımına bağlıdır.

Geometrik dönüşümün doğruluğunu etkileyen faktörlerden yer kontrol noktası sayısı ve dağılımı ele alındığında, nokta sayısı ile dönüşümün iç doğruluğu arasında ters orantı olduğu söylenebilir. Yer kontrol noktası sayısı azaldıkça, dönüşümlerin iç doğrulukları artmaktadır. Bu durum hayali bir doğruluk artışı anlamına gelmektedir. Öte yandan, bu orantıyı dış doğruluk ile yer kontrol nokta sayısı arasında kurabilmek mümkün değildir. İç doğruluk değerinin aksine, dış doğruluk yer kontrol noktası sayısının azalmasıyla birlikte azalmaktadır. İç doğruluğu arttırmak için yüksek mutlak konum hatasına sahip yer kontrol noktaları elemine edilmekte ve bununla beraber noktaların homojen dağılımı bozulmaktadır. Homojenliğin bozulması dış doğruluğu olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle, geometrik transformasyonun doğruluğu için önemli bir diğer faktör de, yer kontrol noktalarının dağılımıdır. Yer kontrol noktalarının homojen dağılım göstermesi durumunda, dış doğruluk değerleri daha yüksek çıkmıştır.

Literatürde, bugüne kadar yalnız iç doğruluk değerinin analizine yönelik çalışmaların yapıldığı gözlemlenmiştir (Smith ve Atkinson, 2001; Gao, 2001; Cook ve Pinder, 1996). Bu çalışmada, farklı çözünürlükteki uydu görüntüleri kullanılarak görüntü çözünürlüğüne, referans veri türüne, yer kontrol noktası sayısına ve dağılımına bağlı olarak, yapılan geometrik dönüşümlerin iç ve dış doğrulukları incelenmiştir. Yapılan dönüşümlerde iç doğruluk değerinin 0.5 pikselin altına düşmesi için yer kontrol noktaları elimine edilmiştir. İç doğruluk değerinin değişmesiyle, dış doğruluk değerinde de değişim meydana gelmiştir (Şekil 1, Şekil 2). Bu değişim dış doğruluk değerinin 1 pikselin üstüne çıkması, yani dış doğruluğun azalması yönündedir. Dış doğruluk değerinin artmasının, iç doğruluk analizinde kullanılan yer kontrol noktası sayısı ile doğru orantılı olduğu saptanmıştır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilimsel Projeleri Destekleme Birimine; 1634, 1636 ve 30367 numaralı projeleri desteklediği için teşekkür etmektedirler.

KAYNAKLAR

Astech Zextreme Technical Reference Manual, 2000. Magellan Corporation, USA.

Cook, E. A., Pinder, J. E., 1996, *Relative accuracy of rectifications using coordinates determined from maps and the global positioning system*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 62, 73-77.

Erdas Field Guide, 1999. Fifth Edition V.8.5, Erdas Inc., Atlanta, USA.

Gao, J., 2001, *Non-differential GPS as an alternative source of planimetric control for rectifying satellite imagery*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 67, 49-55.

Farklı Çözünürlükteki Uydu Görüntülerinin Geometrik Dönüşümü

Jensen, J. R., 1996. *Introductory Digital Image Processing, A Remote Sensing Perspective*, Prentice Hall, United States of America.

Kaya, Ş., Şahin, M., İnce, D.C., Musaoğlu, N., Erden, T., ve Bilgi, S., 2003, *Uydu görüntülerinin GPS verileri ile geometrik dönüşümü ve İstanbul avrupa yakası yerleşim bölgelerinin zamansal analizi*. Proje no: 1634, İTÜ Araştırma Fonu Projesi, İstanbul.

Kaya, Ş., İnce, C. D., Şahin, M., 2002. *Geometric correction of satellite images using DGPS*, 22 th EARSEL Symposium, Geoinformation for European wide Integration, 4-6 June.

Kaya, Ş., İnce, C. D., Şahin, M., 2002. *Uydu görüntülerinin çözünürlüğe bağlı geometrik doğruluğunun GPS ve harita koordinatları kullanılarak analizi*, Jeodezi Ve Fotogrametri Mühendisliğinde 30. Yıl Sempozyumu, 16-18 Ekim.

Richards, J. A., 1993. *Remote Sensing Digital Image Analysis : an introduction*, Springer-Verlag, Heidelberg.

Saroğlu, E., 2004. *Farklı Çözünürlükteki Uydu Görüntülerinin Geometrik Dönüşümü ve Dönüşüm Sonucunda Elde Edilen Görüntülerin Dış Doğruluğunun Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Smith, D. P., Atkinson S. F., 2001, *Accuracy of rectification using topographic map versus GPS ground control points*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 67, 565-570.

*TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası
10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı
28 Mart - 1 Nisan 2005, Ankara*