

**DEPREM HASARLARININ İZLENMESİ AMACIYLA UYDU  
GÖRÜNTÜLERİNDEN ELDE EDİLEN KONUMSAL VERİ  
YIĞINLARININ İYİLEŞTİRİLMESİ**

**IMPROVING OF SPATIAL DATA OBTAINED FROM REMOTE SENSING  
IMAGES FOR MONITORING OF EARTHQUAKE DAMAGES**

İNCE C.D<sup>1</sup>., KONAK H<sup>2</sup>., ARSLAN O.<sup>1</sup>

**Posta Adresi:** <sup>1</sup> Kocaeli Üniversitesi, İhsaniye MYO, Harita-Kadastro Programı, <sup>2</sup> Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü

**E-posta:** cankut00@yahoo.com

---

**Anahtar Kelimeler** Uydu Görüntüleri, Konumsal Veri Yığınları, Deprem Hasarları, Doğruluk

**ÖZ** Uydu görüntülerinde geometrik düzeltme işlemleri oldukça zor ve özen isteyen bir süreci gerektirir. Öte yandan uydu görüntülerinden elde edilen konumsal veri yığınları, özellikle deprem hasarlarının belli bir süre izlenmesini gerektiren farklı ölçekli ve doğruluklu bir çok araştırma ve uygulama projelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, uydu görüntülerinden elde edilen ölçülerin olabildiğince bozucu etkilerden arındırılması, arındırılmayan ölçülerin model parametrelerini olumsuz yönde etkilememesi istenir. Bu durumlarda bozuk yapıyı gözlemlerin etkilerini, önceden belirlenmiş belli amaçlar için kısıtlayabilen Sağlam Kestirim yöntemleri tercih edilmektedir.

**ABSTRACT** Rectification of remote sensing images required quite difficult and careful process. Otherwise, spatial data obtained from remote sensing images are commonly used for many research and application projects about monitoring of earthquake damages. Therefore, data obtained from images should be purified from noises or noise affections at model parameters should be prevented. In this situation, robust estimation methods, which could restrict effects of observations with noise for predetermined aims, should be preferred.

## GİRİŞ

Orijinal uydu görüntüleri; yer küreselliği, atmosfer kırılması, algılayıcının konumundaki ve hızındaki değişimler vb. birçok etmeden dolayı geometrik distorsiyonlara sahiptirler. Bu nedenle orijinal bir uydu görüntüsünün, harita gibi kullanılabilmesi için uydu görüntü sisteminden bir harita projeksiyon sistemine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem, geometrik düzeltme (rektifikasyon) olarak anılmaktadır. Yer Kontrol Noktaları yardımıyla yapılan bir geometrik düzeltme işleminin ilk aşamasında, hem uydu görüntü sisteminde hem de harita projeksiyonu sisteminde koordinatları bilinen eşlenik noktalar kümesi oluşturulur. Son yıllarda GPS ölçme teknikleri yardımıyla bizzat yerinde saha çalışmaları yapılarak, eşlenik yer noktaları daha güvenilir olarak üretilebilmektedir. Böyle bir teknolojik avantaj, geometrik düzeltme işleminin daha sağlıklı yapılabilmesi için, güncel eşlenebilir nokta sayısını arttırdığı gibi yer kontrol noktalarının tüm görüntü üzerinde homojen bir şekilde dağılmasını da kolaylaştırmıştır.

Uydu görüntüleri ve yeryüzü üzerinde, çok sayıda üretilen homojen dağılımlı eşlenik noktalardan yararlanılarak, geometrik düzeltme işlemi için uygun bir dönüşüm modeli kurulur. Kurulan dönüşüm modelinin geçerliliği sınıdır. Gereğinde dönüşümün kalitesini bozan uyuşumsuz ölçüler yerelleştirilerek etkileri olabildiğince azaltılabilir ya da tamamen

giderilir. Son adımda ele alınan model, kalitesini simgeleyen doğruluk, duyarlık ve güvenilirlik ölçütleri yönünden gözden geçirilir. Dönüşümden beklenen kalitenin yeterince sağlanamadığı durumlarda, model ek parametrelerle genişletilebilir ya da ele alınan model dış koşullarla denetlenerek güçlendirilebilir.

Uyuşumsuz ölçülerin yerelleştirilmesi ve diğer ölçüler ile model parametreleri üzerinde etkilerinin azaltılması amacıyla genellikle normal dağılım testlerine dayanan özel istatistik test yöntemleri kullanılmaktadır: Data Snooping Testi, Student Testi, Tau testi vb. Bu testler En Küçük Kareler (EKK) kestiriminden elde edilmiş ölçü düzeltmelerine uygulanır. EKK kestiriminde başlangıçta ölçülerin dağılımının belirgin olması gerekmez. Buna karşın EKK yöntemi ile elde sonuçlara Normal Dağılım yasaları uygulanabilir. EKK kestirimi yansız, tutarlı, minimum varyanslı bir kestirimdir. Öte yandan bir ölçüdeki olası bir hatayı ölçü kümesindeki tüm ölçülere yayabilmekte ve bu durumda giderilemeyen düzenli bir hatanın etkisi dağılımın sonuçlarını bozabilmektedir. Bu nedenle ölçü kümesinin dağılımının çok iyi bilindiği durumlarda En Büyük Olabilirlik Kestirimine dayanan Sağlam (Robust) Kestirim yöntemleri tercih edilmektedir.

Bu amaçla, İstanbul'un Avrupa yakasına ait farklı çözünürlükteki üç ayrı uydu görüntüsü seçilmiştir. Bu uydu görüntüleri üzerinde geometrik düzeltme işlemleri aşamasında kullanılan modeller, istatistik açıdan ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Uydu görüntüleri sırasıyla 5.8, 10 ve 30'ar metrelik uzaysal çözünürlüklere sahip IRS 1C, SPOT P ve Landsat 5 TM görüntüleridir. Geometrik düzeltme işlemlerinde kullanılan Yer Kontrol Noktalarının UTM projeksiyon sistemindeki koordinatları da farklı doğruluklara sahip değişik ölçme yöntemleri ve veri altlıklarından elde edilmiştir. Sonuç olarak; her bir görüntü üzerinde seçilen Yer Kontrol Noktalarının resim koordinatları kümesi için, UTM projeksiyon sisteminde farklı doğruluklarda 4 ayrı koordinat kümesi elde edilmiştir. Bu koordinat kümeleri afin dönüşümü işlemiyle ayrı ayrı görüntü koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Geometrik düzeltme amacıyla yapılan bu dönüşüm işlemleri sonucunda;

- Dönüşüm modelinin geçerliliği,
  - Dönüşüm parametrelerin anlamlılığı,
  - Verilen noktalar kümesinde Uyuşumsuz Ölçüler Testi yapılarak; Her bir Yer Kontrol Noktasının tüm kümenin özelliklerini taşıyıp taşımadığı,
  - Verilen noktalar kümesinde Sağlam Kestirim Yöntemi ile Eşdeğerlik Testi yapılarak Geleneksel Uyuşumsuz Ölçüler testi ile açığa çıkarılmayan uyuşumsuz nokta çiftinin kalıp kalmadığı,
  - Dönüşüme giren Yer Kontrol Noktalarının modele katkıları ya da diğer noktalar tarafından denetlenebilirlikleri,
  - Her bir koordinat çiftinde ortaya çıkarılmayan olası hatanın büyüklükleri ve bu hataların dönüşüm bilinmeyenleri üzerindeki etkileri,
- ayrı ayrı araştırılmış ve ulaşılan sonuçlar karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

## GEOMETRİK DÜZELTME (Rektifikasyon) İŞLEMLERİ

**a) Afin Dönüşüm:** Uydu görüntülerinde geometrik düzeltme amacıyla genellikle t. Dereceden polinomlarla ifade edilen dönüşüm modelleri önerilmektedir (İnce vd., 2005).Yapılan uygulamaların çoğunluğunda, dünya yüzeyinde küçük alanlar kaplayan uydu verileri üzerinde çalışıldığı gözlenmektedir. Bu nedenle geometrik düzeltme için kullanılacak dönüşüm (transformasyon) modelinin çok karmaşık (kompleks) olması gerekmemektedir. Deneysel ve kuramsal çalışmalara göre; uydu verilerinin geometrik düzeltmesi için birinci derece afin dönüşümü ile yeterli doğrulukta sonuçlara ulaşıldığı özellikle vurgulanmaktadır (Welch and Utery, 1984).

Birinci dereceden bir polinom elemanları göz önüne alınırsa, afin dönüşümüne ilişkin

$$X = a_0 + a_1x + a_2y \quad (1)$$

$$Y = b_0 + b_1x + b_2y$$

temel dönüşüm bağıntısına ulaşılır. Uygulamada; koordinat sisteminin başlangıcı, eşlenik noktalardan oluşan sistemin ağırlık merkezine taşınır ve dönüşüm işleminde katsayılar matrisinde oluşan yapı bozukluğu da giderilmiş olur.

Gerçekleştirilen dengelemeli bir afin dönüşümü işlemi sonucunda;

$$t = (A^T A)^{-1} A^T \ell : \text{Dönüşümün Bilinmeyenleri}$$

ve

$$v = Ax - \ell : \text{Düzeltilmeler Vektörü}$$

eşitliklerinden elde edilir. Burada  $\ell$ : Ötelenmiş Gözlemler Vektörü ve

$$t^T = [a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2,]: \text{afin dönüşümüne ilişkin bilinmeyenleri vektörü olmak üzere;}$$

$$A^T = [d_1^T, d_2^T, \dots, d_n^T]$$

$$d_i = \begin{bmatrix} 1 & \bar{x}_i & \bar{y}_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \bar{x}_i & \bar{y}_i \end{bmatrix} : \text{Dönüşüme İlişkin Katsayılar Matrisidir.}$$

Dönüşüme ilişkin doğruluk ölçütleri sırasıyla;

$$m_0 = \sqrt{\frac{[v_x v_x] + [v_y v_y]}{2n - 6}} \quad \text{Dönüşümünün Karesel Ortalama Hatası (KOH)} \quad (2)$$

$$m_x = m_y = \hat{m}_0 \sqrt{(A Q_u A)^{-1}} \quad \text{Herhangi bir noktanın eksenler yönündeki ortalama hatası} \quad (3)$$

$$m_p = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \quad \text{Dönüşüme giren noktanın konum hatası} \quad (4)$$

eşitliklerinden bulunabilir (İnce vd., 2005; Uzun vd., 2005).

**b) Matematik Modelin Test Edilmesi:** Bir dönüşüm modelini temsil eden gerçekçi duyarlık ölçütü, geçerli bir matematik model ile sağlanabilir. Geçerli bir model hipotezi testi, aynı zamanda çok önemli bir güvenilirlik ölçütü olarak da ele alınır. Bir model hipotezi ile; aynı koşullarda, benzer türden yapılan çok sayıda deneysel çalışmalar sonucunda öncül (a priori) varyansın ( $m_0^2$ ), aynı kuramsal varyans  $\sigma_0^2$ 'ın deneysel (soncul, a posteriori) değerlerini yeterince temsil edip etmediği sınıanır. Bu amaçla Sıfır ( $H_0$ ) Hipotezine karşılık bir Seçenek (alternatif) ( $H_s$ ) hipotezi;

$$H_0 : E\{m_0^2\} = E\{\hat{m}_0^2\} = \sigma_0^2 \quad (4)$$

$$H_s : E\{m_0^2\} \neq E\{\hat{m}_0^2\} \neq \sigma_0^2$$

olarak kurulur. Aynı kümeyi temsil eden iki varyansın oranı Merkezil F dağılımına uyar. Model hipotezine ilişkin  $m_0^2 / \hat{m}_0^2$  test büyüklüğü hesaplanır.  $\alpha=0.05$  yanılma olasılığı seçilir.

$$\frac{m_0^2}{\hat{m}_0^2} \leq F_{f, \hat{f}, 1 - \frac{\alpha}{2}} \quad (5)$$

Burada,  $f$  öncül,  $\hat{f}$  (n-u) soncul varyansın serbestlik dereceleridir. (5) eşitsizliğinin geçerli olduğu durumlarda sıfır hipotezi geçerlidir. Başka bir deyişle kurulan matematik model istatistiksel anlamda geçerlidir (İnce vd., 2005).

## Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi

Normal koşullarda her hangi bir ölçüye gelen düzeltmenin ümit değerinin sıfır olması beklenir.  $v_i^T = [v_{xi} \quad v_{yi}]$ , afin dönüşümüne ilişkin çakışma artıkları vektörü olmak üzere; her bir eşlenik noktadaki koordinat düzeltmeleri için ayrı ayrı  $H_0 : E\{v_j\} = 0$ ; Sıfır Hipotezine karşın  $H_s : E\{v_j\} \neq 0$  Seçenek Hipotezleri kurulabilir. Yada bu hipotezler her bir noktadaki çakışma artıklarının karesel büyüklüğü için kurulurlar ve testler bu koşullar altında sınanırlar. Bu hipotezlere ilişkin test büyüklükleri ve test dağılımları aşağıda özetlenmiştir.

$$\sqrt{\frac{v_i^T (Q_{vv})_i^{-1} v_i}{2\sigma_0^2}} \leq N(0,1)_{1-\frac{\alpha}{2}} \quad \sqrt{\frac{v_i^T (Q_{vv})_i^{-1} v_i}{2\hat{m}_0^2}} \leq \tau_{1-\frac{\alpha}{2}} \quad \sqrt{\frac{v_i^T (Q_{vv})_i^{-1} v_i}{2(\hat{m}'_0)^2}} \leq t_{1-\frac{\alpha}{2}} \quad (6)$$

$(\hat{m}'_0)^2$ : Uyuşumsuz olarak ele alınan her bir ölçünün etkisinden arındırılmış soncul varyans

## Sağlam Kestirim Yöntemi İle Eş Değerlik Testi

EKK Kestirimi yapısı gereği, bir ölçüdeki hatanın etkisini diğer ölçülere yaymaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak; bir ölçünün uyuşumsuzluğu yalnızca kendi hatasından değil, bu ölçünün ölçme planındaki yeri ile özellikle komşu ölçülerin duyarlıklarından ve hatalarından da kaynaklanabilmektedir. Bu durumdan hareketle, söz konusu ölçü hatasının başka bir ölçüyü de uyuşumsuz gibi göstermeye neden olduğu kolayca anlaşılabilir (Konak vd., 1999; 2005).

EKK kestiriminin kaba hatalı ölçülere karşı duyarlı olması, bu yöntemin en çok eleştirilebilir yanını oluşturmaktadır. Bu durumda tüm ölçüler arasından ayıklanabilir uyuşumsuz ölçüleri daha etkin olarak belirleyebilen Sağlam (robust) kestirim yöntemleri, uyuşumsuz ölçüler testleri yerine önerilmektedir. Kaba hatalı jeodezik gözlemlerin ayıklanmasında en uygun Sağlam kestirim yöntemi, en büyük olasılıklı M-Robust (Maksimum Likelihood) yöntemidir. Jeodezik gözlemlerin normal dağılımlı olması, öncül dağılımların bilinmesini gerektiren M-Robust kestiriminin yaygın olarak kullanılmasını kolaylaştırmaktadır.

$$M = \sum_{i=1}^n \rho(v_i) \Rightarrow \min. \text{ M-Robust kestiriminin amaç fonksiyonu} \quad (7)$$

yazılarak düzeltmeler ve bilinmeyenlere göre türeve açılır ve sıfıra eşitlenirse;

$$M = \sum_{i=1}^n \rho\left(\sum_{j=1}^U a_{ij} x_j - l_i\right) \Rightarrow \min. \quad (8)$$

$$\frac{\partial M}{\partial x_j} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial \rho(v_i)}{\partial v_i} \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = \sum_{i=1}^n \psi(v_i) \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = \sum_{i=1}^n \psi(v_i) a_{ij} = 0 \quad (9)$$

$\psi(v_i)$  etki fonksiyonu olmak üzere (9) eşitliği elde edilir. Bu eşitlik matris gösterimiyle

$$A^T \psi(v) = 0 \text{ olarak düzenlenebilir. } W = W(v) = \frac{\Psi(v)}{v} \text{ kısaltması ile bir ağırlık fonksiyonu}$$

olarak ele alınabilir. Bu durumda M-robust kestirimi  $x = (A^T W A)^{-1} A^T W \ell$  biçiminde EKK çözümüne dönüştürülerek yalınlaştırılabilir.

**Tablo 1.** Ağırlıklandırma fonksiyonu ve ağırlıklandırma süreci

$W(v_i) = \begin{cases} e^{-\left(\frac{v_i}{c}\right)^2} &  v_i  > c \\ 1 &  v_i  \leq c \end{cases} \quad (10)$ $Q_i = Q_{(v_{xi}, v_{xi})} = Q_{(v_{yi}, v_{yi})}$ $ v_i  = \sqrt{v_{xi}^2 + v_{yi}^2}$ $c = \sqrt{2Q_i \hat{m}'_0 t_{f, 1-\frac{\alpha}{2}}} : \text{Eşik Değer} \quad (11)$ <p>kullanılabilir (Uzun vd., 2005).</p>	<p>Ya da</p> $W(v_i) = \begin{cases} e^{-\frac{v_i^T (Q_{vv})_i^{-1} v_i}{c^2}} &  v_i  > c \\ 1 &  v_i  \leq c \end{cases} \quad (12)$ $ v_i  = \sqrt{v_i^T (Q_{vv})_i^{-1} v_i}$ $c = \sqrt{2\hat{m}'_0 t_{f, 1-\frac{\alpha}{2}}} : \text{Eşik Değer}$ <p>genel karesel biçim kullanılarak genelleştirme yapılabilir</p>
--	---

Bu çözüm sürecinde  $W(v)$  ağırlık fonksiyonu kapalı bir ilişki olup doğrudan çözülemez. Bu nedenle çözümün ilk adımında ağırlık fonksiyonu için öncül ağırlık matrisi ( $W(v) = P$ ) tanımlanır. Her bir t değerlendirme adımında test eşik değerini geçen düzeltmeye karşılık gelen ölçünün ağırlığı azaltılır ve ağırlık ilişkileri  $W_t$  belirlenir. Yeni değerlendirme adımı ( $t+1$ ) için ağırlık matrisi  $W_{t+1} = PW_t$  alınarak EKK çözümü yinelemeli ağırlıklandırılmalı bir süreç sonunda tamamlanır. Bu çözüm sonucunda uyumsuz ölçülerin ağırlıklarının sıfır ya da sıfıra yakın değerler alarak, normal dağılımlı ölçüler kümesinden ayrılması beklenir. M-Sağlam kestirim yönteminde jeodezik değerlendirmeler için değiştirilmiş Danimarka yönteminden elde edilen ağırlıklandırma fonksiyonunun kullanılması yeterlidir (Konak vd., 2005).

### Afin Dönüşümde Parametrelerin Test Edilmesi

Afin dönüşümünün matematik modelinde, eksenler yönündeki ölçek ve dönüklük parametrelerinin birbirlerine göre farklı oldukları kabul edilmektedir. Diğer bir deyişle (1) eşitliğindeki bilinmeyen parametreleri arasında ( $a_2 \neq -b_1$ ) ve ( $a_1 \neq b_2$ ) şeklinde bir matematiksel ilişki olduğu düşünülmektedir. Aksi durumda, yani  $a_2 = -b_1$  ve  $a_1 = b_2$  olması durumunda (1) Benzerlik (Helmert) Dönüşümü biçimini alır (İnce vd., 2005). Dolayısıyla afin dönüşümden söz edilebilmesi için afinlik koşullarının ayrı ayrı geçerli olması gereklidir. Her iki koşulun da geçerli olup olmadığı ( $1-\alpha/2$ ) güven aralığında istatistik olarak test edilebilir. Bu bildiride, matematik modelin  $a_2 \neq -b_1$  koşulu 1. Afinlik Koşulu;  $a_1 \neq b_2$  koşulu ise 2. Afinlik Koşulu olarak adlandırılmışlardır. Koşullardan yalnızca birinin geçerli olması durumunda matematik model Yarı Afin olarak anılacaktır:

$$\begin{aligned} H_0 : E\{f_1\} = E\{a_2 + b_1\} = 0; & \quad H_0 : E\{f_2\} = E\{a_1 - b_2\} = 0 \\ H_s : E\{f_1\} = E\{a_2 + b_1\} \neq 0; & \quad H_s : E\{f_2\} = E\{a_1 - b_2\} \neq 0 \end{aligned} \quad (13)$$

$$1. \text{ Afinlik Kosulu} \rightarrow \frac{|f_1|}{m_{f1}} \geq t_{f, 1-\frac{\alpha}{2}}; \quad 2. \text{ Afinlik Kosulu} \rightarrow \frac{|f_2|}{m_{f2}} \geq t_{f, 1-\frac{\alpha}{2}} \quad (14)$$

( $1-\alpha/2$ ) aralığında test edilen (14) eşitsizliklerin sağlanması durumundan dönüşümün afin olarak gerçekleştirilebildiği sonucuna varılabilmektedir.

## Dönüşüm Modelinin Güvenilirliği

Verilen noktalar kümesi için ortaya konulan doğruluk ölçütleri, dönüşüm modelinin geçerli olduğu durumlarda gerçekçi bilgi taşırlar. Dönüşüm modelinin gerçeğe uygun olmaması ya da ölçülerin bir kaçında kaba yanlışların bulunması, stokastik modelin hatalı kurulması gibi durumlarda model hataları ortaya çıkar. Bu durumda; her bir koordinat çiftinde ortaya çıkarılamayan olası hatanın büyüklükleri ve bu hataların dönüşüm bilinmeyenleri üzerindeki etkileri denetlenmelidir (İnce vd., 2005; Uzun vd., 2005; Konak vd. 2005).

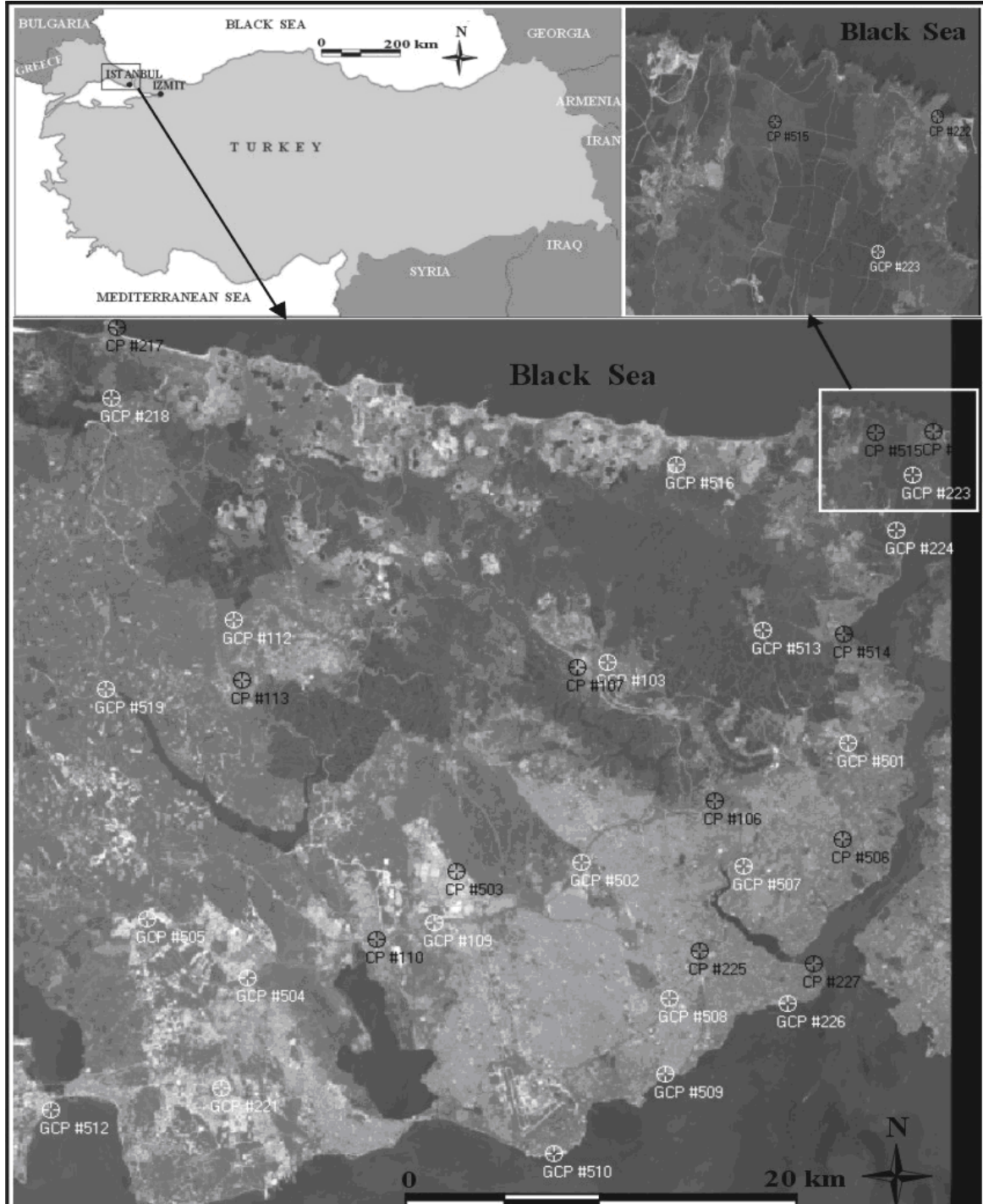
## UYGULAMA

Geometrik düzeltme işlemleri için uygulayıcılar genellikle bu amaçla hazırlanan paket programları tercih etmektedir. Ancak bu yazılımlar genellikle sınırlı istekleri karşılamakta ve istatistik yöntemler yerine geçebilecek yaklaşık yöntemler önermektedirler. Model doğruluğunun sınanması için (15) eşitliğinde verilen ve resim koordinatlarına dönüştürülmüş eşlenik noktalara ilişkin çakışma artıklarından hesaplanan bir Toplam karesel ortalama hata (Total Root Mean Square Error, TRMS)

$$T = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (15)$$

tanımı yapılmış ve böylece eşlenik noktalar kümesinin tamamını temsil eden yaklaşık bir dış doğruluk ölçütü geliştirmiştir. Genel olarak uygulamalarda, Toplam RMS değeri 0.5 piksele ulaşınca kadar en büyük çakışma artığına sahip yer kontrol noktalarının sırayla dönüşümden uzaklaştırılması yaklaşık istatistik bir yöntem olarak benimsenmiştir. Yaklaşık bir doğruluk ölçütünün kullanıldığı bu süreçte; tutarlı sonuçlara ulaşılması her zaman garanti edilemez.

Bu çalışmada, İstanbul'un Avrupa yakasına ait farklı çözünürlükteki IRS 1C, SPOT P ve Landsat 5 TM görüntülerinin, farklı doğruluklara sahip yer kontrol noktaları koordinatları ile yapılan 12 ayrı geometrik düzeltme işlemi ele alınmıştır. Geometrik dönüşümlerin 10 adedi Şekil 1.'de daireyle gösterilen 19-20 yer kontrol noktası ile; iki adedi bunların yanı sıra kare ile gösterilen noktalarda dahil olmak üzere toplam 31-32 yer kontrol noktası ile yapılmıştır. Geometrik düzeltme işlemi sonuçlarına göre tüm uydu görüntü sonuçlarının benzer özellikler sergiledikleri ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bildiride, elde edilen sonuçların içinden diğerlerine göre daha anlamlı olanların sergilenmesi uygun görülmüştür.



**Şekil 1.** Çalışma Alanı ve Yer Kontrol Noktaları

Tablo 2’de Spot P görüntüsünün statik GPS tekniğiyle üretilmiş yer kontrol noktaları ile dönüşüm sonuçları verilmiştir. Bu görüntünün dönüşümünde afin yerine benzerlik dönüşümünün yeterli olabileceği diğer tüm dönüşüm sonuçlarında da görülmüştür. Dönüşümlerin hepsinde Karesel Ortalama Hata 0.5 pikselden daha küçüktür. Öte yandan TRMS ölçütü amaçlandığında; yüksek doğruluklu (Statik GPS) yer kontrol noktaları ile yapılan dönüşümün kalitesinin olumsuz yönde zorlandığı hatta geçersiz bir matematik modele yönlendiği gözlenmektedir.

**Tablo 2.** Statik GPS ile Üretilmiş Yer Kontrol Noktaları ve SPOT P Görüntü Koordinatları Arasındaki Dönüşüm Sonuçları

Nokta No	Model	t Student Tablo Değeri	TEST	KARAR	Kalan GCP	V <sub>x</sub> piksel	V <sub>y</sub> piksel	V <sub>p</sub> piksel	Dönüklük Gon	Redundans	İç Güven	Dış Güven	KOH m0 (piksel)	Total RMS (piksel)
										r <sub>x</sub>	k <sub>x</sub>	δ <sub>0x</sub>		
106	Benzerlik	2.01	2.36	<b>Uyuşumsuz</b>	31	1.06	1.24	1.64	54.93	0.95	3.50	4.23	0.54	0.73
110	Benzerlik	2.01	2.03	<b>Uyuşumsuz</b>	30	0.95	0.92	1.32	48.80	0.94	3.52	4.25	0.50	0.67
222	Benzerlik	2.01	2.04	<b>Uyuşumsuz</b>	29	-	-	1.19	261.57	0.84	3.72	4.49	0.48	0.64
217	Benzerlik	2.01	1.82	Uyuşumlu	28	0.90	0.29	0.94	380.41	0.73	4.01	4.83	<b>0.45</b>	<b>0.60</b>
<b>İSTATİSTİK OLARAK ÖNERİLEN İTERASYON (Maksimum m<sub>p</sub>=± 0,33 piksel)</b>														
502	Benzerlik	2.01	1.81	Uyuşumlu	27	0.90	0.49	1.03	231.41	0.96	3.49	4.22	0.43	0.57
112	Benzerlik	2.02	1.67	Uyuşumlu	26	0.62	0.61	0.87	49.79	0.87	3.66	4.42	0.41	0.55
508	Benzerlik	2.02	1.67	Uyuşumlu	25	0.68	0.52	0.86	358.70	0.90	3.59	4.33	0.40	0.52
507	Yarı Afin	2.02	1.72	Uyuşumlu	24	0.27	0.80	0.85	320.82	0.92	3.56	4.30	0.38	0.50
	<b>Geçersiz</b>				23								0.36	0.48
$\alpha_0 = 0.001; \beta = 0.80 \rightarrow w_0 = 17.08$														

Yapılan diğer dönüşümlerde de TRMS ölçütünün zorlanması durumunda, dönüşümlerin matematik modellerinin geçerliliklerinin istatistik anlamda zorlandığı, yukarıda verilen örnekte olduğu gibi bazı durumlarda da tümünden geçerliliğini yitirdiği tespit edilmiştir.

**Tablo 3.** Statik GPS ile Üretilmiş Yer Kontrol Noktaları ve IRS 1C Görüntü Koordinatları Arasındaki Dönüşüm Sonuçları

Nokta No	Model	t Student Tablo Değeri	TEST	KARAR	Kalan GCP	V <sub>x</sub> piksel	V <sub>y</sub> piksel	V <sub>p</sub> piksel	Dönüklük Gon	Redundans	İç Güven	Dış Güven	KOH m0 (piksel)	Total RMS (piksel)
										r <sub>x</sub>	k <sub>x</sub>	δ <sub>0x</sub>		
112	Yarı Afin	2.00	2.08	<b>Uyuşumsuz</b>	32	1.23	0.86	1.50	38.84	0.91	4.31	1.27	0.56	0.76
107	Yarı Afin	2.01	2.15	<b>Uyuşumsuz</b>	31	-1.42	-0.42	1.48	218.3	0.95	4.23	0.94	0.53	0.72
503	Yarı Afin	2.01	2.01	Uyuşumlu	30	-0.04	-1.32	1.32	297.89	0.96	4.21	0.86	0.50	0.67
<b>İSTATİSTİK OLARAK ÖNERİLEN İTERASYON (Maksimum m<sub>p</sub>=± 0,67 piksel)</b>														
106	= Afin =	2.01	1.99	Uyuşumlu	29	-0.77	0.96	1.23	142.85	0.95	4.23	0.96	0.47	0.64
103	= Afin =	2.01	2.15	<b>Uyuşumsuz</b>	28	-1.25	0.03	1.25	198.54	0.96	4.22	0.89	0.45	0.60
111	= Afin =	2.01	1.72	Uyuşumlu	27	-0.93	-0.07	0.94	204.74	0.90	4.34	1.34	0.42	0.56
109	= Afin =	2.02	1.78	Uyuşumlu	26	-0.87	-0.36	0.95	225.01	0.95	4.24	0.98	0.40	0.54
510	= Afin =	2.02	1.95	Uyuşumlu	25	-0.86	-0.37	0.93	225.75	0.86	4.45	1.67	0.39	0.51
506	= Afin =	2.02	2.16	<b>Uyuşumsuz</b>	24	-0.88	0.42	0.97	171.25	0.90	4.34	1.37	0.36	0.48
508	= Afin =	2.02	2.09	<b>Uyuşumsuz</b>	23	0.07	-0.86	0.86	304.99	0.89	4.38	1.47	0.34	0.44
	<b>Geçersiz</b>			?	22								0.31	0.41



Benzer bir durum yukarıda verilen Tablo 3'te, IRS 1C uydu görüntüsünün statik GPS ile üretilen yer kontrol noktalarıyla dönüşümünde de gözlenebilmektedir. Bu dönüşümde ise, t testi sonucunda uyumsuz yer kontrol noktalarının ayıklanma süreci ile, afin yerine başlangıçta yarı afin dönüşümün yeterli olduğu; ancak TRMS ölçütünün zorlanması durumunda, nokta küme ilişkilerinin bozulduğu ve daha sonrasında dönüşüm için afin modelinde geçersiz kaldığı dikkati çekmektedir. Tablo 4'te aynı dönüşümün sağlam (robust) kestirim sonucunda uyumsuz olarak belirlenen 112 ve 107 no'lu noktaların yeniden ağırlıklandırılması ile elde edilen yeni dönüşüm sonuçları verilmektedir.

**Tablo 4.** Statik GPS ile Üretilmiş Yer Kontrol Noktaları ve IRS 1C Görüntü Koordinatları Arasındaki Dönüşümün Sağlam Kestirim Sonuçları

Nokta No	Model	t Student Değeri	TEST	KARAR	Kalan GCP	V <sub>y</sub> piksel	V <sub>x</sub> piksel	V <sub>p</sub> piksel	KOH m0 (piksel)	Total RMS (piksel)	Yeni Ağırlık
112	Yarı Afin	2.00	1.33	<b>Uyşumlu</b>		1.30	0.91	1.59			<b>0.35</b>
107	Yarı Afin	2.00	1.30	<b>Uyşumlu</b>	32	-1.47	-0.43	1.53	0.51	0.69	<b>0.37</b>
<b>(Maksimum m<sub>p</sub> = ±0.37)</b>											

Sağlam Kestirim sonucunda belirlenen yeni ağırlıklar ile yapılan bu dönüşümde, uyumsuz noktaların veri kümesinden uzaklaştırıldığında elde edilen doğruluk ölçütlerine eş değer büyükler elde edilebilmektedir. Benzer bir başka uygulama Tablo 2'de verilen Spot P görüntüsünün statik GPS tekniğiyle üretilmiş yer kontrol noktalarının dönüşümü için uygulandığında, ilginç sonuçlara ulaşılabilmektedir.

**Tablo 5.** Statik GPS ile Üretilmiş Yer Kontrol Noktaları ve SPOT P Görüntü Koordinatları Arasındaki Dönüşümün Sağlam Kestirim Sonuçları

Nokta No	Model	t Student Değeri	TEST	KARAR	Kalan GCP	V <sub>y</sub> piksel	V <sub>x</sub> piksel	V <sub>p</sub> piksel	KOH m0 (piksel)	Total RMS (piksel)	Yeni Ağırlık
106	Benzerlik	2.01	1.33	<b>Uyşumlu</b>	31	1.10	1.29	1.70	0.51	0.68	<b>0.31</b>
<b>(Maksimum m<sub>p</sub> = ±0.37)</b>											

Tablo 2'de her bir iterasyondan sonra, EKK kestirimi sonucunda uyumsuz olarak belirlenen 106, 110 ve 222 no'lu noktaların sırasıyla ayıklanması ile istatistik olarak önerilebilen bir standarda ulaşılmıştır. Tablo 5'te ise uyumsuz olarak belirlenen 106 no'lu noktanın yeni Robust ağırlığının belirlenmesi sonucunda 110 ve 222 no'lu noktaların artık uyumsuz olmadığı ve dönüşüme katkı sundukları belirlenmiştir.

Her iki örnekte sunulmaya çalışılan robust yaklaşımın özellikle afet çalışmaları amaçlı uydu görüntülerinin iyileştirilmesinde sağlayacağı avantajlara, sonuçlar ve tartışmalar bölümde değinilmiştir.

## SONUÇ ve ÖNERİLER

Günümüzde uydu görüntülerinin çözünürlükleri giderek yükselmektedir. Buna bağlı olarak; uydu görüntülerinde işaretlenen yüzey noktalarının karşılıkları arazide daha iyi belirlenebilmekte ve yüksek doğruluklu konum bilgilerine ulaşılabilmektedir. Bu durumda uydu görüntü sistemi ile projeksiyon sistemi arasındaki sapmalar, oldukça duyarlı olarak

kestirilebilmektedir. Başka bir deyişle, ölçülerdeki doğruluk arttıkça, modelin duyarlılığı ve hataları ayıklamadaki gücü de giderek artmaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak; uydu görüntülerinin iyileştirilmesi amacıyla gerçekleştirilen dönüşüm sonuçlarının matematik – istatistik yaklaşımlarla sınanmaları kaçınılmaz hale gelmektedir.

Dönüşümün matematik modelin geçerliliği, modelin fonksiyonel ve stokastik yapısının yanı sıra ölçü kümesine de bağlıdır. Ölçü kümesindeki kaba veya uyuşumsuz ölçüler matematik modeli geçersiz olmaya zorlarlar. Elde çok sayıda kontrol noktası olması durumunda, Baarda, t-student veya tau gibi klasik uyuşumsuz ölçü ayıklama yöntemlerini kullanılarak uyuşumsuz ölçülerin yerleri başarıyla belirlenebilir ve bu ölçülerin ölçüler kümesinden ayıklanmaları dönüşümün doğruluğunu pek fazla etkilemeyebilir. Ancak, bir afet sonrası kontrol noktalarının bir çoğunun uydu görüntüsünde gözlemlenemeyeceği gerçeği göz önünde tutulmalıdır. Gözlemlenen eşlenik noktalarında yeterli doğruluğu sağlayacak, görüntü üzerinde homojen dağılımlı bir küme oluşturması mümkün olmayabilecektir. Denetlenebilirliği azalan bir ölçü, EKK yöntemine göre çalışan bu testlerde uyuşumsuz olmaya mahkum edilebilir.

Bu durumda, arazide yeniden yüksek doğruluklu kontrol noktalarının üretilmesi afet sonrası karar alma süreçlerini doğal olarak çok yavaşlatır. Daha kolay kaynaklardan yeni noktaların üretilmesi de farklı doğrulukta ölçü kümelerinin oluşmasına neden olur; bu farklı kümelerin öncül varyansların iyi belirlenmesine ihtiyaç duyulur.

Özellikle afet sonrası durumlarda benzeri sorunları barındıran ölçü kümelerinde; ölçüler uyuşumsuz olsalar bile, her bir ölçünün modele verebileceği katkı yok edilmemelidir. Başka bir deyişle; uyuşumsuz ölçü belirleme yöntemleri ile ayıklanması öngörülen ölçülerin (eşlenik noktaların) yeniden ölçülerek değerlendirmeye alınması gerekmektedir.

Oysa afet sonrası durumlarda, böyle bir seçenek pek olanaklı değildir. Bu nedenle Sağlam Kestirim yöntemleri sonucunda ulaşılan uyuşumsuz eşlenik noktalar kümesine kuşkulu noktalar kümesi gözüyle bakılmalıdır. Bu durumda kuşkulu noktalar kümesine ilişkin düzeltmeler, fonksiyonel modele bilinmeyenler olarak eklenerek, bu düzeltmeler için kurulan global hipotez testinin sınanması yoluna gidilebilir. Bu testler sonucunda uyuşumsuz olup da ağın yapısını bozan eşlenik noktalar kümesi varsa; anlamlı robust ağırlıklarına sahip kuşkulu noktalar kümesi diğer noktalar ile birlikte, bir kez de ağıdaki geometrik yerlerini temsil eden ağırlıklara göre topluca değerlendirilmelidir.

## TEŞEKKÜRLER

*Bu bildiriye 1634 numaralı "Uydu Görüntülerinin GPS Verileri ile Geometrik Dönüşümü ve İstanbul Avrupa Yakası Yerleşim Bölgelerinin Zamansal Analizi" adlı İTÜ Araştırma Fonu Proje verileriyle destek veren proje yürütücüsü Sayın Yrd. Doç. Dr. Şinasi KAYA'ya özellikle teşekkür ederiz.*

## KAYNAKLAR

İnce, C. D., Konak, H., Kaya, Ş. ve Saraoğlu, R., 2005, Uydu Görüntülerinde Geometrik Düzeltme Verileri için Kullanılan Modellerin Sorgulanması, **Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu**, 16-18 Kasım, Turkey, KOÜ No: 204, ISBN:975-8047-59-0, 651-659

Welch, R. and Usery, L.E., 1984, Cartographic Accuracy of Landsat 4 MSS and TM Image Data, **IEEE, Transaction on Geoscience and Remote Sensing**, vol. GE-22, No:3.

Uzun, S., Dilaver, A., ve Konak, H., 2005, Sayısallaştırma Modelleri ve Sayısallaştırılmış Harita Konum Bilgilerinin Güvenirliği, **Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu**, 16-18 Kasım, Turkey, KOÜ No: 204, ISBN:975-8047-59-0, 168-170.

Konak, H, Dilaver, A ve Kurt, O., 1999. Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi sürecinde Fuzzy Logic, Bulanık Mantık Yaklaşımı, **HKMO 7. Harita Kurultayı**, 1-5 Mart, s.229-238, Ankara

Konak H., Dilaver, A., ve Öztürk, E. 2005, Effects of Observation Plan and Precision on Duration of Outlier Detection and Fuzzy Logic: A Real Network Application, **Survey Review**, October, Vol.38, No.298, s:331-341.