

## Sıklaştırma Ağlarının Yer Kabuğu Hareketlerine Karşı Duyarlılıkları ve Olası Algılayabilirlik Düzeyleri

Pakize KÜREÇ<sup>1</sup>, Haluk KONAK<sup>2</sup>

### Özet

TUTGA ağının sıklaştırılması çalışmalarında oluşturulan C1 ve C2 dereceden AGA ve SGA sıklaştırma ağlarının topluca değerlendirilmesi aşamasında, yer kabuğu hareketlerinin de izlenebilme olanaklarının araştırılması bu çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Jeodezik ağların değerlendirilmesi ve kalite sorgulaması işlemlerinde, duyarlık ve güven ölçütlerinin yanı sıra bu ölçütlerden türetilen ve ağın datumundan bağımsız olan yeni ölçütler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma içerisinde bu ölçütlerden bir ağın deformasyonları algılama gücü anlamına gelen algılayabilirlik (sensitivity) düzeyleri araştırılmıştır. Bununla birlikte dengeleme modeline eklenen ek koşulların deformasyonları algılayabilirlik düzeylerini nasıl etkilediği incelenmiştir.

### Anahtar Sözcükler

Doğruluk Analizi, Güvenirlilik, Algılayabilirlik, Yetersizlik, Jeodezik Ağlar.

### Abstract

#### Precision of Densification Networks Against to Crustal Movements And Possible Sensitivity Levels

The main purpose of this study is to investigate the possibilities of monitoring of crustal movements, during the evaluation of First and Second Order Networks are collectively evaluated. The new criteria which are independent of the network datum are widely used for evaluation of geodetic networks and quality assesment processing. In this study, capacity of the detection of network's deformation (levels of sensitivity) are investigated. Furthermore, how levels of sensitivity are effected by additional conditions which are added to the adjustment model are investigated.

### Key Words

Accuracy Analysis, Reliability, Sensitivity, Worst Capability, Geodetic Networks.

### 1. Giriş

Farklı zamanlarda ölçülen jeodezik ağların karşılaştırılması sürecinde elde edilen koordinat farkları içerisinde ortaya çıkarılmayan düzenli hatanın kestirilebilen en küçük değeri, ele alınan jeodezik ağların ayırma gücü hakkında önemli bilgiler verebilmektedir. Bu amaçla belirlenebilen en küçük konumsal yer değiştirme değeri, deformasyon modelinin güvenirliliği başka bir deyişle algılayabilirlik düzeyi olarak adlandırılmaktadır (KONAK, 2008). Günümüzde farklı

amaçlarla karşılaştırılan jeodezik ağlarda ağın iç duyarlılığı ve güvenirliliğinin yanı sıra algılama gücü ya da algılayabilirlik düzeylerinin araştırılması işlemleri giderek daha çok önemsenmektedir (HSU ve HSIAO, 2002; KÜREÇ, 2010).

### 2. Yöntemin Esasları

Araştırılan jeodezik ağda yapılan ölçümler Gauss-Markoff modelinde, En Küçük Kareler İlkesine göre Dolaylı Ölçüler olarak topluca değerlendirilir ve bunun sonucunda bilinmeyenlerin en uygun değeri;

$$\hat{x} = (A^T P A)^{-1} A^T P l \quad (1)$$

elde edilir.  $t_1$  ve  $t_2$  anlarında değerlendirilen bir jeodezik ağın dengeli koordinatları arasında;

$$d = \hat{x}_2 - \hat{x}_1 \quad (2)$$

fark vektörleri oluşturulur. Ters ağırlıkların yayılması ilkesine göre Deformasyon modelinin ters ağırlıklar matrisi;

$$Q_{dd} = (A_1^T P_1 A_1)^+ + (A_2^T P_2 A_2)^+ = Q_{x_1 x_1} + Q_{x_2 x_2} \quad (3)$$

olarak elde edilir. Deformasyon modelini temsil eden fark vektörü ve onun ters ağırlıkları yardımıyla; deformasyon modeline ilişkin test büyüklüğü ( $T = \frac{d^T Q_{dd}^{-1} d}{s_0^2 h}$ ) ve test büyüklüğünün sınır değeri ( $F_{h, f, 1-\alpha}$ ) hesaplanır. Ön görülen sınır değerini aşılması durumunda ele alınan ağ noktaları arasında anlamlı bir yer değiştirme olduğu kanısına varılır.

Bir jeodezik ağın, herhangi bir periyotta değerlendirilmesi sonucunda elde edilen kesin değerlerin büyüklüğü ( $\hat{x}$ ), ölçüler vektöründe ( $l$ ) ortaya çıkan olası hatalara bağlıdır. Farklı zamanlarda değerlendirilen bu ağlarda, ağın datumunun, geometrik şeklinin ve ağırlık dağılımının değişmemesi önerilmektedir. Ağ noktaları arasında herhangi bir yer değiştirme yoksa ölçüler vektörünün rasgele dağılımlı ölçülerden oluştuğu varsayılır.

Bu durumda deformasyon modeli, rasgele dağılımlı diferansiyel ölçülerin ( $\delta$ ) bir fonksiyonu olarak;

$$d = N^{-1} A^T P \delta \quad (4)$$

biçiminde yeniden düzenlenir ve yer değiştirme vektörünün ters ağırlıkları da hata yayılma ilkesine göre;

$$Q_{dd} = N^{-1} \quad (5)$$

<sup>1</sup> Arş. Gör., <sup>2</sup> Prof. Dr., Kocaeli Üniv., Müh. Fak., Harita Müh. Bölümü, Kocaeli, Türkiye

olarak elde edilir. Yer değiştirme vektörü ( $d$ ), ortalaması ( $\bar{d}$ ), varyansı ( $\Sigma_d$ ) ve serbestlik derecesi ( $u$ ) ile normal dağılımda olmak üzere,  $\xi_0^2 = \bar{d}^T \Sigma_{dd}^{-1} \bar{d}$  büyüklüğü Chi-Kare dağılımındadır. Chi-Kare Dağılımı,

$$\xi^2 = \bar{d}^T \Sigma_{dd}^{-1} \bar{d} = \frac{d^T P_{dd} d}{\sigma^2} \approx \chi_{u, \xi_0^2}^2 \quad (6)$$

$\sigma^2$ , birim ölçünün ortalama hatasının öncül varyansı olmak üzere, sıfır hipotezini belirtir. Hipotezin geçerli olduğu durumlarda Dış Merkezlik Parametresi,

$$\frac{d^T P_{dd} d}{\sigma^2} \leq \delta_0^2 \quad (7)$$

eşitliğini sağlar. Bu durumda  $d$  vektörü, istatistiksel anlamda, anlamlı bir deformasyon bilgisi içermeyen, rasgele özellikli aykırı bir hata vektörü (marginal random error vector) olarak düşünülür (HSU ve HSIAO, 2002). Bu eşitliğin çözümlenmesi sonucunda belirlenebilir en küçük yer değiştirme miktarı, algılayabilirlik düzeyi de elde edilir. (7) eşitliğindeki karesel büyüklük  $d^T P_{dd} d = d^T S \Lambda S^T d$ , özdeğerler ayrımı ile açık olarak yazılır ve ortogonalite özelliğine göre katkısı olmayan çarpanlardan arındırılırsa,

$$d^T P_{dd} d = \|d\| \sum_{i=1}^u \lambda_i \quad (8)$$

biçiminde yeniden düzenlenebilir. Deformasyon modelinin dış merkezlik parametresinden ( $\xi^2$ ) yararlanarak aykırı rasgele hatalar vektörünün büyüklüğü,

$$\|d\|^2 = \frac{\delta_0^2 \sigma^2}{\sum_{i=1}^u \lambda_i} \quad (9)$$

elde edilir. Bu büyüklük, en büyük özdeğer ( $\lambda_{\max}$ ) için yazılırsa, ağırlık en iyi duyarlık derecesi olarak, belirlenebilir en küçük yer değiştirme değeri yani algılayabilirlik düzeyi;

$$\|d\|_{\min} = \frac{\delta_0 \sigma}{\sqrt{\lambda_{\max}}} \quad (10)$$

elde edilir. Buna karşın, bu eşitlik en küçük özdeğer ( $\lambda_{\min}$ ) için yazılırsa, ağırlık en kötü duyarlılık derecesi anlamına gelen ağırlık yetersizlik düzeyi;

$$\|d\|_{\max} = \frac{\delta_0 \sigma}{\sqrt{\lambda_{\min}}} \quad (11)$$

olarak hesaplanabilir.  $\|d\|_{\min}$  ve  $\|d\|_{\max}$  değerleri ağırlık genel ayırma gücü (global sensitivity) hakkında bilgi verirler. Uygulamalarda noktalara göre tanımlanan duyarlık ölçütleri oldukça kullanışlıdır. Lokal duyarlılıklarından basit bir aritmetik ortalama hesaplanması durumunda ağırlık global duyarlılıkları için dolaylı da olsa global bir değer kestirilebilmektedir (HSU ve HSIAO, 2002).

(4) numaralı eşitlikte verilmekte olan yer değiştirme vektörü ( $d$ ), üç boyutlu GPS ağları için;

$$\begin{bmatrix} d_{x_1} \\ d_{x_2} \\ \cdot \\ d_{x_u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{11} & N_{12} & \cdot & N_{1u} \\ N_{21} & N_{22} & \cdot & N_{2u} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ N_{u1} & N_{u2} & \cdot & N_{uu} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \cdot \\ n_u \end{bmatrix} \quad (12)$$

biçiminde düzenlenirse, tek bir durak noktası için;

$$d_i = [N_{11} \quad N_{12} \quad \dots \quad N_{1u}]^{-1} \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_u \end{bmatrix} \quad (13)$$

olarak elde edilir. Ters ağırlıkların yayılması ilkesine göre

$$d_i = \begin{bmatrix} \delta x_i \\ \delta y_i \\ \delta z_i \end{bmatrix} = \ddot{N}_i A^T P \delta dl \quad (14)$$

olmak üzere herhangi bir durak noktasındaki GPS ölçülerinin ters ağırlıkları,

$$Q_{d_i, d_i} = \ddot{N}_i A^T P Q_{ll} P A \ddot{N}_i \quad (15-a)$$

$$Q_{d_i, d_i} = \ddot{N}_i N \ddot{N}_i \quad (15-b)$$

olarak, ya da ağırlıkları kısaca

$$P_{d_i} = Q_{d_i, d_i}^{-1} \quad (16)$$

olarak hesaplanır.

Herbir nokta için elde edilen ağırlık matrisinin özdeğerleri irdelenerek, jeodezik ağ noktalarında, belirlenebilir en küçük yer değiştirme büyüklükleri, başka bir deyişle, yer kabuğu hareketlerine karşı duyarlık dereceleri ve algılayabilirlik düzeyleri kestirilebilmektedir (KÜREÇ, 2010).

## 2.1. Sıklaştırma Amaçlı Jeodezik Ağlarda Algılayabilirlik

Jeodezik ağ noktaları için Algılayabilirlik değeri olarak, en küçük yer değiştirme büyüklükleri ayrı ayrı hesaplanır. Bu amaçla;

- a) Herbir durak noktasındaki  $N_{ii}$  ağırlık matrisi hesaplanır.

$$N_{ii} = (\ddot{N}_i N \ddot{N}_i^T)^{-1} \quad (17)$$

$$N_{ii} = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} \end{bmatrix}_i \quad (18)$$

$$N_{ii} = P_{d_i}^{-1} \quad (19)$$

- b) Herbir durak noktasındaki ağırlık matrisi  $N_{ii}$  özdeğerlerine ve özvektörlerine ayrılır.
- c) Özvektörler matrisinden herbir koordinat bilinmeyen için doğrultu kosinüsleri hesaplanır. Bu değerler azimut ve başucu yönünde bilgiler taşırlar.
- d) Herbir durak noktası için elde edilen doğrultu kosinüsleri, enlem ve boylam değerleri yardımıyla yerel toposentrik bir koordinat sistemine dönüştürülür.

Bu amaçla;

$$\begin{bmatrix} n \\ e \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (20)$$

biçiminde yazılan dönüşüm bağıntısından  $[\Delta X \ \Delta Y \ \Delta Z]^T$  vektörü yerine  $N_{ii}^{-1}$  matrisinden  $\lambda_{\max}$  için asal gerilme doğrultusuna denk gelen özvektörlerden hesaplanan doğrultu kosinüsleri konulur.

$$\begin{bmatrix} n \\ e \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \alpha \\ \cos \beta \\ \cos \gamma \end{bmatrix} \quad (21)$$

- e) İki boyutlu izdüşüm doğrultularına denk gelen özvektörün azimutu,

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{e}{n} \quad (22)$$

ve başucu açısı,

$$\zeta = 90^\circ - \tan^{-1} \frac{w}{\sqrt{e^2 + n^2}} \quad (23)$$

yerel koordinatlar türünden ayrı ayrı hesaplanır.

- f) Azimut ve başucu açıları yardımıyla doğu-batı ve kuzey-güney yönündeki yer değiştirme elemanları

$$\tilde{e} = \|d\| \sin \zeta \sin \alpha ; \tilde{n} = \sin \zeta \cos \alpha \quad (24)$$

hesaplanır.

- g)  $\|d\|$  yerine  $\|d\|_{\min}$  ve  $\|d\|_{\max}$  değerleri yazılarak doğu-batı ve kuzey-güney yönündeki yer değiştirme vektörlerinin en küçük ve en büyük elemanları elde edilir (HSU ve HSIAO, 2002).
- h) Ağ noktaları için elde edilen algılayabilirlik ve yetersizlik düzeyleri ayrı ayrı sergilenir.
- i) Sayısal ve çizgisel sonuçlar yorumlanır (KÜREÇ, 2010).

### 3. İZDOGAP Kocaeli GPS Sıklaştırma Ağında Algılayabilirlik Değerleri

Bu çalışma için, bilimsel ve mühendislik amaçlı bir üniversite araştırma projesi kapsamında izlenmekte olan KOCAELİ İZDOGAP GPS Sıklaştırma Ağı (İZDOGAP GPS Ağı), sayısal uygulama modeli olarak seçilmiştir.

106 noktadan oluşan bu ağda, TUTGA ve AGA noktalarından oluşan 83 adet eşlenik nokta kullanılmış ve bu noktaların  $t_i$  epoğuna ötelenmiş değerleri ile serbest dengeleme sonuçları karşılaştırılmıştır (İZDOGAP, 2009a). Bu değerlendirme işlemlerinin yanı sıra İZDOGAP GPS Ağına gerçekleştirilen GPS ölçülerinin sağladığı olanaklar ölçüsünde, ağ noktalarında belirlenebilir en küçük yer değiştirme araştırması anlamına gelen algılayabilirlik irdelemeleri de yapılmıştır.

Bu amaçla; İZDOGAP GPS Ağı jeodinamik yapısı gereği iki ana blok şeklinde ele alınmıştır.

- Ağı ikiye bölen Kuzey Anadolu Fay (KAF) Kuşağının güney kısmı jeolojik ve jeodinamik yapısı gereği, farklı bir ağırlık merkezi etrafında ayrı bir dönüklüğe sahip olabileceği düşünülmüş ve bu nedenle ayrı bir blok (Hareketli Blok; Blok B) olarak ele alınmıştır.
- Bu ağ; KAF kuşağının kuzeyinde kalan eşlenik noktaların (Blok A) belirlediği datumda değerlendirilmiştir. Bu koşul altında değerlendirilen B bloğuna ilişkin eşlenik noktalar kümesi, 3B Genişletilmiş Helmert Dönüşüm Modeli kullanılarak dış merkezli bir ağırlık merkezinin belirlenmiş olduğu ayrı bir datuma dönüştürülmüştür (Şekil 1).

Değerlendirme işlemleri, adımlar halinde aşağıda sıralanmaktadır.

- a) Datum noktası olarak seçilen noktalar için, p ağdaki nokta sayısı olmak üzere, dönüşüm matrisi;

$$G_{3u} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \dots & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & \dots & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & \dots & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} \end{bmatrix} \quad (25)$$

oluşturulur. Tüm İz Minimum koşulu için oluşturulan G matrisi, datumu belirleyen noktalar için köşegen elemanları "1" diğer elemanları "0" olan  $E_i$  matrisi yardımıyla yeniden düzenlenir. Böylece uygun bir datum koşulu altında bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi elde edilir (ESHAGH, 2009).

$$B_i = E_i G \quad (26)$$

$$Q_{xx} = (A^T P A)^{-1} = (A^T P A + B_i B_i^T)^{-1} - G (G^T B_i B_i^T G)^{-1} G^T \quad (27)$$

- b) Eşdeğerlik testleri sonucunda hareket olduğu belirlenen noktaların dağılımına ve bölgenin tektonik yapısına göre ağın hareketli olan bloğu belirlenir. Hareketli Blok olarak düşünülen noktalar kümesi bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi içinden ayrı bir

alt matris olarak ele alınır ve  $Q_{xx} = Q_{x_2, x_2}$  şeklinde gösterilir. Bu nokta kümesine uygulanan 12 parametrelili Helmert dönüşümü sonucunda dönüşüm parametreleri elde edilir (PAPO, 1999; EVEN-TZUR, 2006).

On iki (12) parametrelili genişletilmiş Helmert dönüşüm matrisi (H)



$$H_{u,12}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & z_i'' & -y_i'' & x_i'' & 0 & 0 & 0 & z_i'' & y_i'' \\ 0 & 1 & 0 & -z_i'' & 0 & x_i'' & 0 & y_i'' & 0 & z_i'' & 0 & x_i'' \\ 0 & 0 & 1 & y_i'' & -x_i'' & 0 & 0 & 0 & z_i'' & y_i'' & x_i'' & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 1 & y_u'' & -x_u'' & 0 & 0 & 0 & z_u'' & y_u'' & x_u'' & 0 \end{bmatrix} \quad (28)$$

yardımları ile hareketli blok koşulu altında bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi

$$Q_{xx} = H^T (HQ_{xx}^{-1} H^T)^{-1} H \quad (29)$$

elde edilir (PAPO, 1999; EVEN-TZUR, 2006; KÜREÇ, 2010).

- c) Hareketli blok içinde yer alan her bir nokta için hesaplanan ağırlık matrisi özdeğer ve özvektörlerine ayrılır. En büyük özdeğere (asal gerilmelere) karşılık gelen öz vektörler (doğrultu kosinüsleri) belirlenir ve doğrultu kosinüslerinin yerel koordinatları hesaplanır.
- d) Elde edilen yerel koordinatlar yardımı ile doğrultu kosinüslerine ilişkin azimut ve zenit açıları elde edilir.

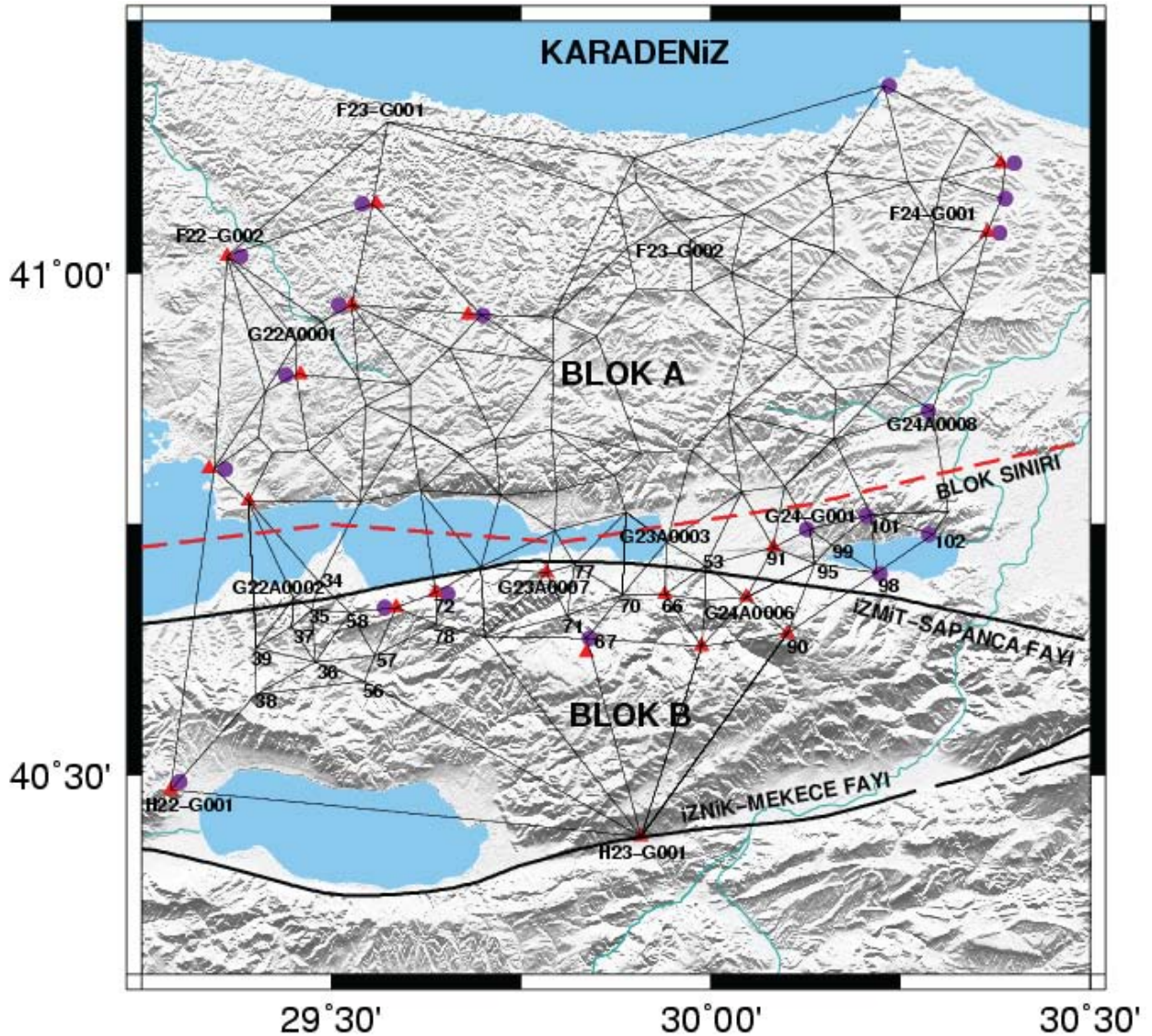
- e) Zenit ve azimut değerlerinden yola çıkarak ağın ortaya çıkarılabileceği en küçük ve en büyük yer değiştirme büyüklükleri (algılayabilirlik ve yetersizlik düzeyleri) elde edilir (Tablo 1).

Bu işlemler;

1. Bloklar için hiçbir ek koşulun öngörülmediği tüm iz minimum
2. Hareketli bloklar için Genişletilmiş Helmert Dönüşümünün uygulandığı tüm iz ve kısmi iz minimum çözümleri için gerçekleştirilmiş ve sonuçlar bir tablo halinde özetlenmiştir (Tablo 1, Şekil 2)

Sonuç olarak;

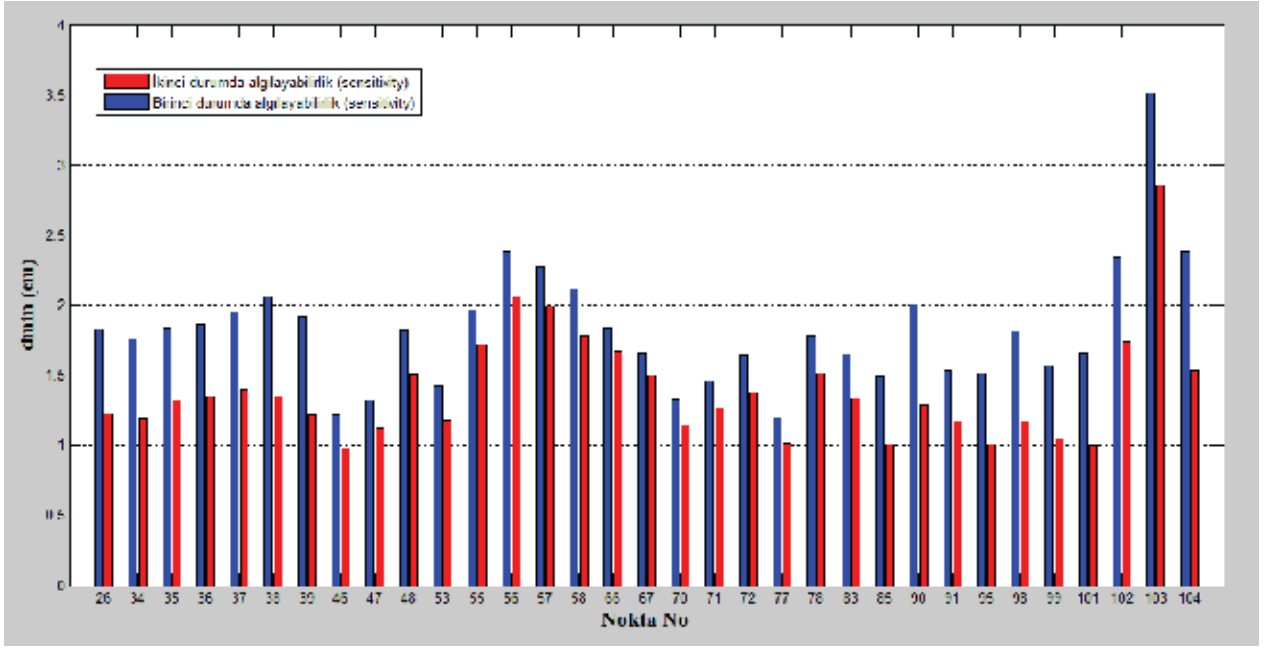
- Birinci durumda; test ağının gerek kısmi iz gerekse tüm iz (serbest ağ) yöntemiyle değerlendirilmesi sonuçlarına göre, ağda ortaya çıkartılabilecek olası en küçük yer değiştirme büyüklüğünün ( $d_{min}$ ) değişmediği görülmektedir. İZDOGAP GPS Ağının tamamından elde edilen algılayabilirlik değerleri 1.11cm ile 3.51cm arasında değişmektedir ve ortalama algılayabilirlik değeri 1.69 cm olarak elde edilmektedir (Şekil 3).



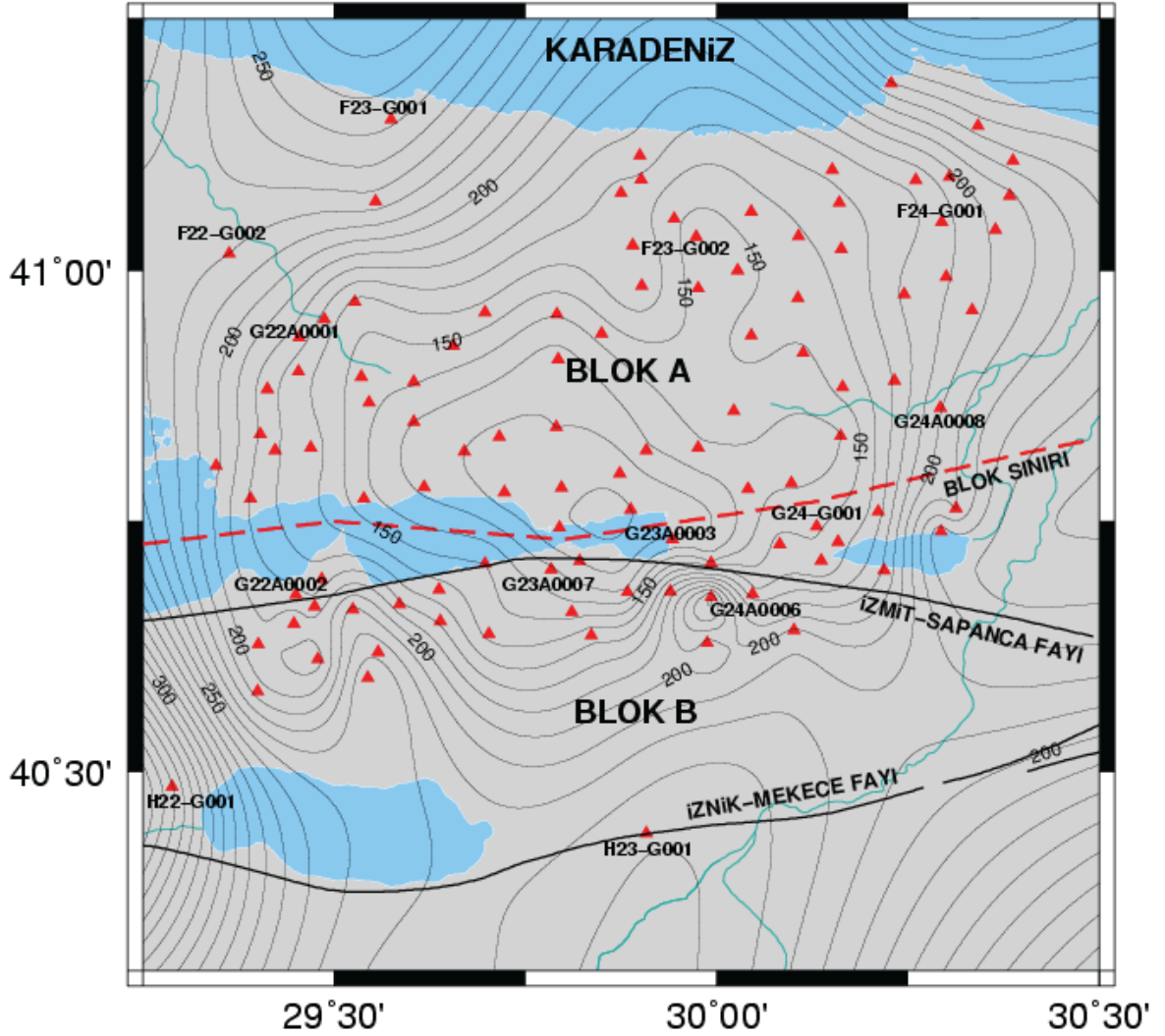
Şekil 1: Kocaeli İZDOGAP GPS Ağı ve Uyuşumsuz Noktaların Dağılımı (● 3B Helmert Dönüşümü ( $m_0=2.20$  cm), ▲ Genişletilmiş Helmert Dönüşümü ( $m_0=2.54$  cm))

Tablo 1: Belirlenen Olası Hata Miktarlarının ve Yönlerinin Karşılaştırılması

NN	I.Durum				II. Durum							
	Tüm iz min.				Tüm iz min.				Kısmi iz min.			
	d <sub>min</sub>	d <sub>max</sub>	azimut	zenit	d <sub>min</sub>	d <sub>max</sub>	azimut	zenit	d <sub>min</sub>	d <sub>max</sub>	azimut	zenit
101	1.66	4.69	89.890	74.894	1.00	3.02	89.849	75.816	0.99	2.94	89.839	76.745
102	2.34	6.57	89.932	83.857	1.74	5.07	89.958	270.243	1.75	5.08	89.958	270.906
H22-G001 (103)	3.51	9.71	89.983	86.822	2.86	8.09	89.978	270.243	2.87	8.11	89.974	270.527
H23-G001 (104)	2.38	6.61	89.915	64.827	1.53	4.54	89.903	55.334	1.51	4.53	89.904	55.099
G22A0002 (26)	1.83	5.02	89.980	81.299	1.23	3.38	89.988	84.770	1.26	3.46	89.997	85.836
34	1.76	5.01	89.998	83.746	1.19	3.57	90.034	89.732	1.19	3.64	90.048	272.114
35	1.84	5.07	89.984	82.548	1.32	3.66	89.992	85.274	1.35	3.74	89.998	86.048
36	1.87	5.12	89.974	83.544	1.35	3.73	89.972	85.578	1.38	3.80	89.977	85.572
37	1.95	5.27	89.947	75.038	1.40	3.77	89.918	73.178	1.43	3.84	89.922	73.195
38	2.06	5.41	89.961	81.545	1.35	3.41	89.943	85.026	1.37	3.43	89.948	86.238
39	1.92	5.11	89.965	79.596	1.22	3.14	89.952	80.133	1.24	3.18	89.960	81.614
G23A0003 (46)	1.22	3.85	89.990	71.073	0.98	3.27	90.001	70.240	0.96	3.27	89.997	68.550
G23A0007 (47)	1.32	3.89	89.937	70.963	1.13	3.42	89.925	69.714	1.12	3.43	89.923	68.983
G23-G001 (48)	1.82	5.08	89.940	74.267	1.51	4.27	89.918	73.302	1.54	4.37	89.915	73.396
53	1.42	4.07	89.977	77.553	1.18	3.43	89.992	80.716	1.18	3.39	89.988	80.585
55	1.97	5.26	89.937	74.801	1.72	4.52	89.932	75.421	1.74	4.58	89.933	75.954
56	2.38	6.23	89.922	82.980	2.06	5.37	89.900	85.060	2.10	5.48	89.904	85.495
57	2.27	5.88	89.948	78.032	1.99	5.07	89.941	77.322	2.04	5.20	89.943	77.543
58	2.12	6.09	89.983	84.356	1.78	5.21	89.992	85.864	1.82	5.32	89.995	86.230
66	1.84	5.12	90.037	85.400	1.67	4.69	90.061	86.346	1.67	4.69	90.062	85.774
67	1.66	4.48	89.938	73.179	1.50	4.01	89.941	72.643	1.50	4.03	89.943	72.577
70	1.33	3.99	90.016	75.296	1.14	3.53	90.039	75.001	1.12	3.53	90.042	73.722
71	1.46	4.04	89.952	73.721	1.27	3.53	89.957	72.782	1.26	3.53	89.959	72.450
72	1.64	4.71	89.933	76.428	1.38	4.03	89.921	75.673	1.41	4.12	89.918	75.644
77	1.20	3.65	89.972	69.785	1.02	3.19	89.975	67.912	1.00	3.19	89.976	66.371
78	1.78	5.06	89.959	72.823	1.52	4.40	89.951	71.530	1.54	4.50	89.948	71.803
G24A0006 (83)	1.65	4.35	89.952	82.296	1.34	4.47	89.961	273.331	1.34	3.44	89.951	276.898
G24-G001 (85)	1.49	4.26	89.931	73.051	1.01	3.01	89.938	70.851	1.00	2.95	89.937	73.380
90	2.01	5.65	89.927	73.926	1.29	3.80	89.932	74.927	1.30	3.86	89.937	76.906
91	1.53	4.08	89.927	75.308	1.17	3.04	89.932	78.154	1.15	2.95	89.923	84.073
95	1.52	4.14	89.933	76.857	1.01	2.74	89.943	82.972	1.00	2.69	89.938	87.978
98	1.81	4.98	89.901	78.245	1.17	3.28	89.970	81.241	1.17	3.26	89.965	82.613
99	1.57	4.43	89.916	75.087	1.05	3.04	89.903	76.061	1.05	3.00	89.896	77.934
	$\frac{\sum d_{\min}}{33} = 1.82 \text{ cm}$				$\frac{\sum d_{\min}}{33} = 1.40 \text{ cm}$				$\frac{\sum d_{\min}}{33} = 1.40 \text{ cm}$			



Şekil 2: Algılayabilirlik Analizleri



Şekil 3: KOCAELİ İZDOGAP GPS Ağı Algılayabilirlik Haritası (Eş yükseklik eğrileri milimetrenin ondalık kısmını göstermektedir.)

- İkinci durumda ise; olası en küçük yer değiştirme büyüklükleri belli bir oranda küçülmüştür (Şekil 3, Tablo 1). Bu durum aynı zamanda, anlamlı olmaları durumunda, ek koşulların her zaman ağın kalitesini iyileştirebileceğini göstermektedir.
  - İZDOGAP GPS Ağının deformasyonları ayırt edebilme gücü, Kuzey Anadolu Fay Kuşağı (KAF) boyunca en iyi değerlerine ulaşabilmektedir.
  - 1.2cm ile 1.8cm aralığında değişen bu değerlerin
    - » Ağın kendisinden beklenen yıllık hızları karşılayabilecek yeterlikte tasarlandığını,
    - » Ağda gerçekleştirilen GPS oturumlarından elde edilen gözlemler ile deneysel Varyans-Kovaryans bilgilerinin yeterli doğrulukta elde edildiklerini göstermektedir.
- 4. Sonuç**
- Ağın ayırma gücü ya da algılayabilirlik düzeyi anlamına gelen olası yer değiştirme miktarları, yaklaşık koordinatlar ve datum seçiminden bağımsız bir güvenilirlik ölçütüdür. Ancak genişletilmiş Helmert dönüşümü ile bu büyüklükler belli bir oranda küçülebilir.
  - Bu durumda, ağ noktalarımızdan elde edilen ortalama algılayabilirlik düzeyi 1.82 cm olarak belirlenmiştir.
  - Bu çalışmada bulunan kuramsal sınırlar ancak  $t = \sqrt{2} = 1.41$ ' lik bir yıla denk düşen bir kestirim değerini temsil edebilmektedir.
  - Kocaeli İZDOGAP GPS Ağının kuramsal algılayabilirlik düzeyi, olası deformasyonları ve beklenen yıllık hızları yeterince ayırt edebilecek durumdadır.
- Ağın ayırma gücünün deneysel olarak belirlenebilmesi, bu ağın en az iki periyotta ölçülerek karşılaştırılmasıyla olanaklıdır.

### Kaynaklar

- EVEN-TZUR G.: **Datum Definition and its Influence on the Sensitivity of Geodetic Monitoring Networks**, 12th FIG Symposium, (2006), 4-9.
- ESHAGH M.: **Scalar Risk Functions as Criteria for Datum Definition in Geodetic Networks**, Islamic Azad University, 3-7, İran, 2009.
- HSU R. ve HSHAO K.: **Pre-Computing The Sensitivity of a GPS Station for Crustal Deformation Monitoring**, Journal of the Chinese Institute of Engineers, 12-15, 2002.
- İZDOGAP 2009a: **İzgaz Doğal Gaz Alt Yapısının Ulusal Jeodezik Ağlar ve Arazi Bilgi Sistemi ile İzlenmesi Projesi (İZDOGAP)**, Teknik Rapor I, (Ed. Kurt, O., Konak, H.), 17-19, Kocaeli, 2009.
- KONAK H.: **Mühendislikte Genel Amaçlı Optimizasyon Stratejileri**, Yüksek Lisans Ders Notları, KOÜ Mühendislik Fakültesi, 6-12, Kocaeli, 2008.
- KÜREÇ P.: **Yüzey Ağlarının Değerlendirilmesi**, KOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010.
- PAPO H. B.: **Datum Accuracy and its Dependence on Network Geometry**, International Scientific And Technical Conference, 4-9, 1999.