

SIKLAŞTIRMA AĞLARININ YER KABUĞU HAREKETLERİNE KARŞI DUYARLIKLARI VE OLASI ALGILAYABİLİRLİK DÜZEYLERİ

Pakize Küreç, Haluk Konak

Kocaeli Üniversitesi, Harita Müh. Bölümü, Kocaeli, pakize.kurec@kocaeli.edu.tr, hkonak@kocaeli.edu.tr

ÖZET

TUTGA ağı'nın sıklaştırılması çalışmalarında oluşturulan C1 ve C2 dereceden AGA ve SGA sıklaştırma ağlarının topluca değerlendirilmesi aşamasında, yer kabuğu hareketlerinin de izlenebilirlik olanaklarının araştırılması bu çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Jeodezik ağların değerlendirilmesi ve kalite sorgulaması işlemlerinde, duyarlılık ve güven ölçütlerinin yanı sıra bu ölçütlerden türetilen ve ağı'nın datumundan bağımsız olan yeni ölçütler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma içerisinde bu ölçütlerden bir ağı'nın 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 assessment 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.

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

1. GİRİŞ

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 güvenilirliği başka bir deyişle algılayabilirlik düzeyi (Sensitivity) olarak adlandırılmaktadır (Konak, 2008). Günümüzde farklı amaçlarla karşılaştırılan jeodezik ağlarda ağı'nın iç duyarlılığı ve güvenirliliğinin yanı sıra algılama gücü ya da algılayabilirlik düzeylerinin araştırılması işlemleri giderek daha çok önemsenmektedir (Hsu ve Hsiao 2002, Küreç 2010).

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 ağı'nın 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 ($T = \frac{d^T Q_{dd}^+ d}{s_0^2 h}$) ve test büyüklüğünün sınır değeri ($F_{h, f, 1-\alpha}$) hesaplanır. Ön görülen sınır değerin 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 (δl) bir fonksiyonu olarak

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

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

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

olarak elde edilir. Yer değiştirme vektörü (d), ortalaması (\bar{d}), varyansı (Σ_d) ve serbestlik derecesi (u) olan

$\xi_0^2 = \bar{d}^T \Sigma_{dd}^{-1} \bar{d}$ parametresine sahip Chi-Kare dağılımına uymalıdır. Chi-Kare Dağılımı,

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

σ_0^2 = Birim ölçünün ortalama hatasının öncül varyansı olmak üzere, sıfır hipotezinin geçerli olduğu durumlarda Dış Merkezlik Parametresi,

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

eşitliğini sağlar. Bu eşitlikte d vektörü, deformasyon belirleme sürecinde istatistiksel anlamda bilgi içermeyen aykırı (marjinal) bir hata vektörüdür. Bu eşitliğin çözümlenmesi sonucunda belirlenebilir en küçük yer değiştirme miktarı, algılayabilirlik düzeyi de elde edilir. (7) eşitliğinde ki karesel büyüklük $d^T P_{dd} d = d^T S \Lambda S^T d$ özdeğerler ayırımı ile açık olarak yazılır ve ortogonalite özelliğine göre katkısı olmayan çarpanlardan arındırılırsa

$$d^T P_{dd} d = \|d\|^2 \sum_{i=1}^u \lambda_i \quad (8)$$

biçiminde yeniden düzenlenebilir. Deformasyon modelinin dış merkezlik parametresinden σ_0^2 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 (λ_{\max}) için yazılırsa, ağın 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 (λ_{\min}) için yazılırsa, ağın en kötü duyarsızlık derecesi anlamına gelen ağın yetersizlik düzeyi;

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

olarak hesaplanabilir. $\|d\|_{\min}$ ve $\|d\|_{\max}$ değerleri ağın genel ayırma gücü (global sensitivity) hakkında bilgi verirler. Uygulamalarda noktalara göre tanımlanan duyarlık ölçütleri oldukça kullanışlıdır. Lokal duyarlıklarından basit bir aritmetik ortalama hesaplanması durumunda ağın global duyarlıkları 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;

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

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

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

olmak üzere herhangi bir durak noktasındaki GPS ölçülerinin ters ağırlıkları

$$Q_{d_i d_i} = \ddot{N}_i A^T P Q_{II} P A \ddot{N}_i \quad (15)$$

ya da ağırlıkları kısaca

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

olarak hesaplanır.

Her bir 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 algılayabilme düzeyleri kestirilebilmektedir (Küreç, 2010).

2. SIKLAŞTIRMA AMAÇLI JEODEZİK AĞLARDA ALGILAYABİLİRLİK

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

a) Her bir 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) Her bir durak noktasındaki ağırlık matrisi N_{ii} özdeğerlerine ve özvektörlerine ayrılır.

c) Özvektörler matrisinden her bir koordinat bilinmeyeni için doğrultu kosinüsleri hesaplanır. Bu değerler azimut ve başucu yönünde bilgiler taşırlar.

d) Her bir durak noktası için elde edilen doğrultu kosinüsleri enlem ve boylam değerleri yardımıyla yerel 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 λ_{\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

f)

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

ve başucu açısı

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

yerel koordinatlar türünden ayrı ayrı hesaplanır.

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

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

hesaplanır.

h) $\|d\|$ 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).

i) Ağ noktaları için elde edilen algılayabilirlik ve yetersizlik düzeyleri ayrı ayrı sergilenir.

j) Sayısal ve çizgisel sonuçlar yorumlanır (Küreç, 2010).

3. İZDOGAP KOCAELİ GPS SIKLAŞTIRMA AĞINDA ALGILAYABİLİRLİK DEĞERLERİ

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 Ağında 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 (Blok B) olarak ele alınmıştır.

- Ağımız, 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;

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

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 ağır 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 parametrelilik Helmert dönüşümü sonucunda dönüşüm parametreleri elde edilir (Papo 1999, Even-Tzur 2006).

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

$$H_{u,12}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & z_i & -y_i & x_i & 0 & 0 & 0 & z_i & y_i \\ 0 & 1 & 0 & -z_i & 0 & x_i & 0 & y_i & 0 & z_i & 0 & x_i \\ 0 & 0 & 1 & y_i & -x_i & 0 & 0 & 0 & z_i & y_i & x_i & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 1 & y_u & -x_u & 0 & 0 & 0 & z_u & y_u & x_u & 0 \end{bmatrix} \quad (28)$$

yardımları ile hareketli blok koşulu altında bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi

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

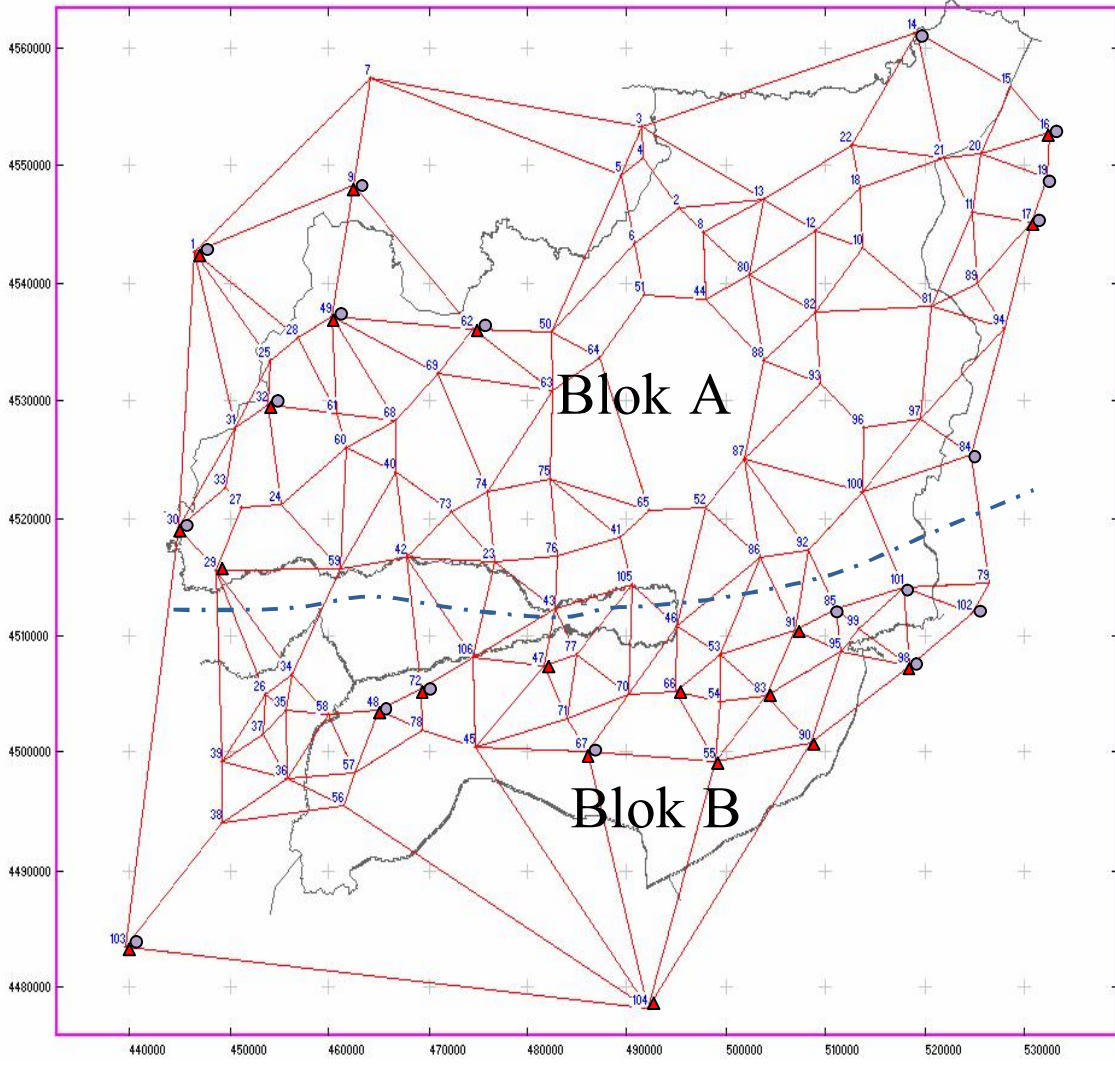
elde edilir (Papo 1999, Even-Tzur 2006, Küreç 2010).

- 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 yardımcı ile doğrultu kosinüslerine ilişkin azimut ve zenit açıları elde edilir.
- e) Zenit ve azimut değerlerinden yola çıkarak ağır ortaya çıkarılabileceği en küçük ve en büyük yer değiştirme büyüklükleri (algılayabilirlik ve yetersizlik düzeyleri) elde edilir (Tablo 1).
- f)

Bu işlemler

1. Bloklar için hiçbir ek koşulun öngörülmediği tümiz minimum
2. Hareketli bloklar için Genişletilmiş Helmert Dönüşümünün uygulandığı tüm iz ve kısmi iz minimum

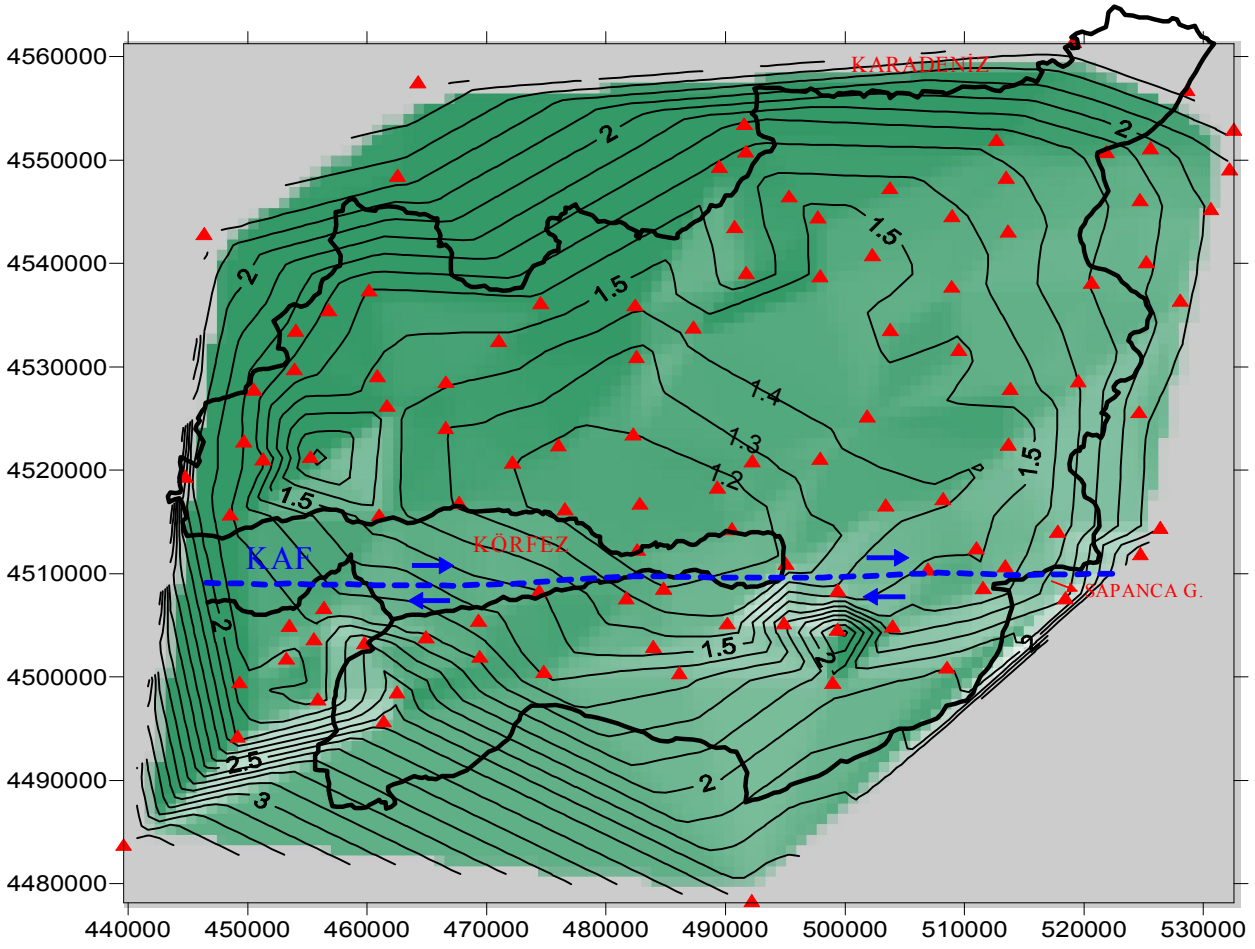
çözümleri için gerçekleştirilmiş ve sonuçlar bir tablo halinde özetlenmiştir (Tablo 1, Şekil 2-3)



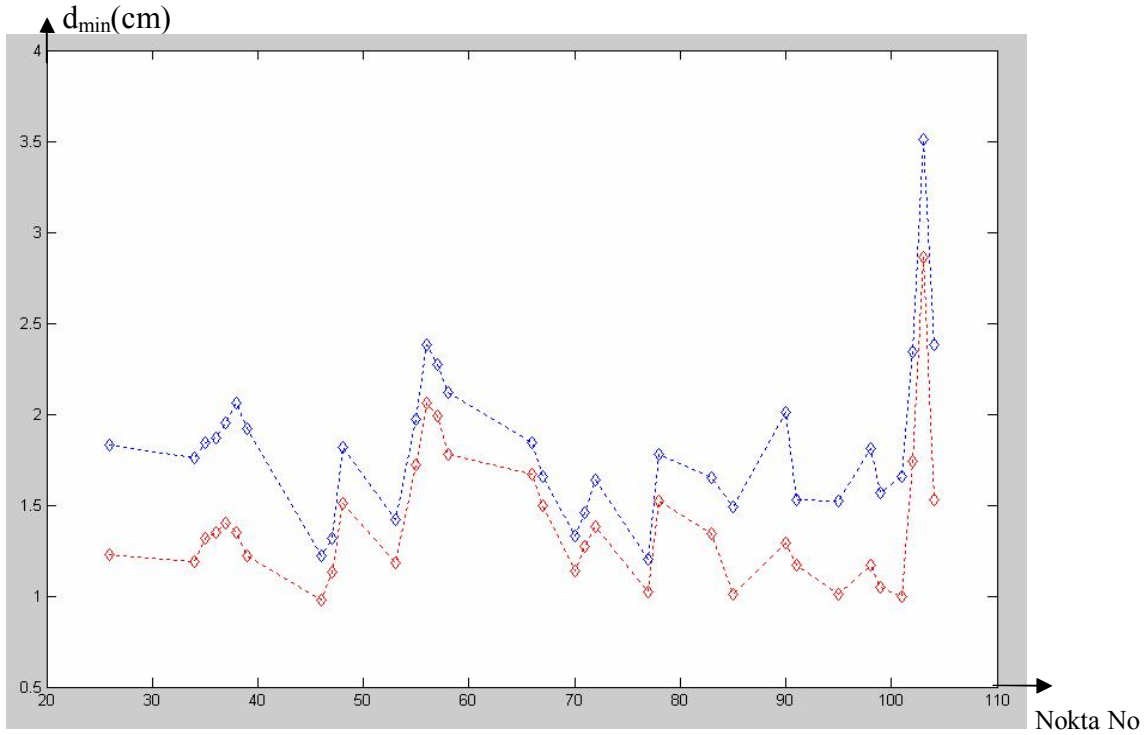
Şekil 1: Eş Değerlik Testleri ve Uyuşumsuz Noktaların Dağılımı (○ 3B Helmert Dönüşümü ($m_0=2.20$ cm), ▲ Genişletilmiş Helmert Dönüşümü ($m_0=2.54$ cm))

Tablo 1: Belirlenen Olası Hata Miktarlarının ve Yönlerinin Karşılaştırılması

N.N.	I.Durum				II. Durum							
	Tüm iz min.				Tüm iz min.				Kısmi iz min.			
	d _{min}	d _{max}	azimut	zenit	d _{min}	d _{max}	azimut	zenit	d _{min}	d _{max}	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
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
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
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
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
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
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
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
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: KOCAELİ İZDOĞAP GPS Ağı Algılayabilirlik Haritası



Şekil 3: Algılayabilirlik Analizleri ◆ İkinci durumda belirlenen algılayabilirlik (sensitivity), ◆ Birinci durumda belirlenen algılayabilirlik (sensitivity)

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.
- İkinci durumda ise; olası en küçük yer değiştirme büyüklükleri belli bir oranda küçülmüştür (Şekil 2-3,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.
- Ağ noktalarında elde edilen ortalama algılayabilirlik düzeyi (Sensitivity) 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., 2006. *Datum Definition and its Influence on the Sensitivity of Geodetic Monitoring Networks*, 12th FIG Symposium, 4-9.
- Eshagh, M., 2009. *Scalar Risk Functions as Criteria for Datum Definition in Geodetic Networks*, Islamic Azad University, 3-7, İran.
- Hsu, R., Hsiao, K., 2002. *Pre-Computing The Sensitivity of a GPS Station for Crustal Deformation Monitoring*, Journal of the Chinese Institute of Engineers, 12-15.
- İZDOGAP, 2009a: 2009. *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.
- Konak, H., 2008. *Mühendislikte Genel Amaçlı Optimizasyon Stratejileri*, Yüksek Lisans Ders Notları, KOÜ Mühendislik Fakültesi, 6-12, Kocaeli.
- Küreç, P., 2010. *Yüzey Ağlarının Değerlendirilmesi*, KOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Papo, H. B., 1999. *Datum Accuracy and its Dependence on Network Geometry*, International Scientific And Technical Conference, 4-9.