

Yaşamsal Altyapı Sistemlerinin Sıklaştırma Gps Ağlarıyla İzlenmesi Ve Deformasyon Sonuçlarının Yorumlanması: Kocaeli İzdogap Gps Ağı Uygulaması

Haluk KONAK^{1*}, Pakize KÜREÇ NEHBİT¹, Cankut İNCE¹

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin
(hkona/pakize.kurec/cankutin@kocaeli.edu.tr)

Öz

Yerkabuğu hareketleri doğal gaz, ulaşım, iletişim enerji vb yaşamsal alt yapı sistemlerini olumsuz yönde etkilerler. Bu nedenle ekonomik değeri yüksek olan, kamu hizmetleri kapsamındaki yaşamsal altyapı sistemleri jeodezik kontrol noktaları/ağları yardımıyla düzenli aralıklarla izlenmeleri gerekli ve zorunludur.

Bu çalışmada, bilimsel amaçlı bir araştırma projesi kapsamında izlenmekte olan Kocaeli İZDOĞAP Sıklaştırma GPS Ağı, gerçek bir yaşamsal altyapı izleme sistemi olarak seçilmiştir. Belli aralıklarla izlenmekte olan İZDOĞAP GPS Ağı'ndan elde edilen konum ve hız bilgileri kullanılarak; bölgede olası yıllık yer kabuğu hareketlerini algılayabilme düzeyi ve bu ağı temsil eden bölgesel gerinim parametreleri irdelenmektedir. Elde edilen deneysel bulgular matematik/istatistik modellerle yorumlanmakta, sonuçlar karşılaştırmalı olarak sergilenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Algılayabilirlik, Hız Alanı, Gerinim, Jeodezik Ağlar.

Monitoring of Lifeline Systems with Densification GPS Networks and Interpretation of deformations: Application of Kocaeli IZDOĞAP GPS Network

Abstract

Earth crustal movements affect negatively Lifeline systems such as natural gas, electrical power, communication and transportation facilities. Therefore Lifeline systems with high economic value must be monitored temporal with geodetic networks.

In this study, the Kocaeli İZDOĞAP Densification GPS Network monitored within the scope of a scientific research project is selected as a real lifeline monitoring system. The sensitivity level of possible annual crustal movements in the region and regional strain parameters of the network are analysed by using position and velocity values of IZDOĞAP GPS Network. The experimental findings obtained are interpreted with mathematical / statistical models and the results are presented comparatively.

Keywords: Detectability, Speed Field, Strain, Geodetic Networks.

* Sorumlu Yazar

1. GİRİŞ

Kamu hizmetleri kapsamındaki temel sağlık, enerji, ulaştırma ve iletişim ağları yaşamsal sistemler olarak adlandırılmaktadır (KONAK ve EKİNCİ, 2005). Bu sistemler, olası doğal afetlerden ve zemine bağlı yerel etkilerden etkilenebilmektedir. Zamanla yıkıcı sonuçlar doğurabilecek bu etkilerin sonuçları hemen farkedilemeyebilir. Bu nedenle bu sistemlerin jeodezik kontrol noktaları/ağları yardımıyla düzenli aralıklarla izlenmeleri gerekli ve zorunludur.

Yaşamsal altyapı sistemleri için tesis edilen gerek ülke temel ağları, gerekse GPS sıklaştırma ağlarından, ölçme anında kendilerinden beklenen duyarlık ve güvenilirlik isteklerini karşılamaları, bunun yanı sıra ağ noktalarından beklenen yıllık yer kabuğu hareketlerini de yeterince algılayabilmeleri beklenmektedir. Bu biçimiyle ülke ağlarının da birer deformasyon ağı gibi izlenmesi gerekli ve zorunlu duruma gelmektedir. Deformasyon ağlarının yeterliliği için datumdan bağımsız birer kalite ölçütleri olan Algılayabilirlik ve Sağlamlık Ölçütleri giderek önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, bilimsel amaçlı bir araştırma projesi kapsamında izlenmekte olan Kocaeli İZDOGAP GPS Ağı, gerçek bir yaşamsal alt yapı izleme sistemi olarak seçilmiştir. 106 Jeodezik kontrol noktasından oluşan İZDOGAP GPS Ağı, Kocaeli yerleşim alanında tesis edilen Doğal Gaz Alt Yapı tesislerinin izlenmesi amacıyla tesis edilmesine karşın, aynı zamanda da KAF kuşağının İzmit-Sapanca bölümünü de kapsamaktadır. Bu biçimiyle İZDOGAP GPS Ağı, TUTGA hız alanını yer kabuğu hareketlerine bağlı olarak bölgesel anlamda güncelleyebilecek bir işlev kazanmaktadır.

Bu çalışma iki ana bölümde ele alınmaktadır. Birinci bölümde, belli aralıklarla izlenmekte olan İZDOGAP GPS Ağı'ndan elde edilen hız ve konum bilgileri kullanılarak; bölgedeki olası yıllık yer kabuğu hareketleri ile bu hareketleri algılayabilme düzeyleri

belirlenmektedir. İkinci bölümde ise yer kabuğu hareketleri iki boyutlu bir gerinim modeli ile değerlendirilmekte ve elde edilen deneysel bulgular doğrusal hipotez testleri ile sınanmakta, ulaşılan sonuçlar karşılaştırmalı olarak sergilenmektedir.

Araştırmanın Amacı;İkinci düzey başlıklar numaralandırma yapmadan sola dayalı, 11 punto, ilk harfleri büyük, kalın ve italik olarak yazılmalıdır. Kendinden önceki paragraftan bir satır boşluk ile ayrılmalıdır. Biçimlendirmeyi bozmadan bu kısmı silip makale metnini yazabilirsiniz.

2. JEODEZİK AĞLARDA ALGILAYABİLİRLİK

Jeodezik Ağlarda, her bir epok (ölçme anı) için gerçekleştirilen gözlemler Gauss-Markoff modelinde, En Küçük Kareler İlkesine göre Dolaylı Ölçüler olarak değerlendirilir ve bilinmeyenlerin en uygun değerleri;

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

olarak elde edilir. t_1 ve t_2 epoklarında değerlendirilen bir jeodezik ağın dengeli koordinatları arasında;

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

biçiminde bir yer değiştirme vektörü oluşturulur. Ters ağırlıkların yayılması ilkesine göre Deformasyon modelinin ters ağırlıklar matrisi;

$$Q_{dd} = Q_{x_1, x_1} + Q_{x_2, x_2} \quad (3)$$

elde edilir. İki ölçme anı arasındaki hız vektörü

$$\dot{x} = \frac{\hat{x}_2 - \hat{x}_1}{\Delta t} \quad (4)$$

olarak yazılırsa, hız vektörünün ters ağırlık matrisi de

$$Q_{\dot{x}\dot{x}} = \frac{Q_{x_1, x_1} + Q_{x_2, x_2}}{\Delta t^2} \quad (5)$$

eşitliği ile elde edilebilir. Univaryat düzenli jeodezik ağlarda gözlemlerin ağırlıkları, ağın ölçme planı, noktaların dağılımları aynı

olduğundan, her iki epoktaki ters ağırlıkları da değişmez kalır. Bu durumda hız vektörünün ters ağırlık matrisi de

$$Q_{\dot{x}} = \frac{2Q}{\Delta t^2} \quad (6)$$

şeklini alır.

Deformasyon modelini temsil eden yer değiştirme vektörü ve onun ters ağırlıkları yardımıyla; deformasyon modeline ilişkin test

$$\text{büyüklüğü} \quad (T = \frac{d^T Q_{dd}^+ d}{s_0^2 h}) \quad \text{ve} \quad \text{test}$$

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 zaman aralığında (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, yaklaşık koordinatlarının ve deneysel varyansın öncül değerinin değişmemesi önerilmektedir (AKSOY ve diğ., 1995). Ağ noktaları arasında herhangi bir yer değiştirme yoksa ölçüler vektörünün rasgele dağılımlı ölçülerden oluştuğu varsayılır.

Bu durumda deformasyon modeli, rasgele dağılımlı diferansiyel ölçülerin (d) bir fonksiyonu olarak;

$$d = N^+ A^T P \delta l \quad (7)$$

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

$$Q_{dd} = N^+ \quad (8)$$

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

$$\xi^2 = \bar{d}^T \Sigma_{dd}^+ \bar{d} = \frac{d^T P_{dd} d}{\sigma^2} \approx \chi_{u, \xi_0^2}^2 \quad (9)$$

σ^2 , birim ölçünün ortalama hatasının öncül varyansı olmak üzere, sıfır hipotezine uyar. Hipotezin geçerli olduğu durumlarda Dış Merkezlik Parametresi,

$$\frac{d^T P_{dd} d}{\sigma^2} \leq \delta_0^2 \quad (10)$$

eşitliğini sağlar. (HSU ve HSIAO, 2002). Bu eşitliğin çözümlenmesi sonucunda belirlenebilir en küçük yer değiştirme miktarı elde edilir. (2) eşitliğindeki karesel büyüklük $d^T P_{dd} d = d^T S A S^T d$, özdeğerler ayırımı ile açık olarak yazılır ve ortogonalite özelliğine göre katkısı olmayan çarpanlardan arındırılırsa,

$$d^T P_{dd} d = \|d\|^2 \sum_{i=1}^u \lambda_i \quad (11)$$

biçiminde yeniden düzenlenebilir. Deformasyon modelinin dış merkezlik parametresinden (ξ^2) yararlanarak aykırı rasgele hatalar vektörünün büyüklüğü;

$$\|d\|^2 = \frac{\delta_0^2 \sigma^2}{\sum_{i=1}^u \lambda_i} \quad (12)$$

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;

$$\|d\|_{\min} = \frac{\delta_0 \sigma}{\sqrt{\lambda_{\max}}} \quad (13)$$

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

$$\|d\|_{\max} = \frac{\delta_0 \sigma}{\sqrt{\lambda_{\min}}} \quad (14)$$

olarak hesaplanabilir. $\|d\|_{\min}$ ve $\|d\|_{\max}$ değerleri ağın genel ayırma gücü (global sensitivity) hakkında bilgi verirler. Uygulamalarda ise noktalara göre tanımlanan

duyarlık ölçütleri oldukça kullanışlıdır. (HSU ve HSIAO, 2002).

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

$$\begin{bmatrix} d_{x_1} \\ d_{x_2} \\ \cdot \\ d_{x_u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{11} & N_{12} & \cdot & N_{1u} \\ N_{21} & N_{22} & \cdot & N_{2u} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ N_{u1} & N_{u2} & \cdot & N_{uu} \end{bmatrix}^+ \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \cdot \\ n_u \end{bmatrix} \quad (15)$$

biçiminde düzenlenirse, tek bir durak noktası için;

$$d_i = [N_{11} \quad N_{12} \quad \dots \quad N_{1u}]^+ \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \cdot \\ n_u \end{bmatrix} \quad (16)$$

olarak elde edilir. Ters ağırlıkların yayılması ilkesine göre

$$d_i = \begin{bmatrix} \delta x_i \\ \delta y_i \\ \delta z_i \end{bmatrix} = \ddot{N}_i A^T P \delta dl \quad (17)$$

olmak üzere herhangi bir durak noktasındaki yer değiştirme vektörünün ağırlığı,

$$Q_{d_i, d_i} = \ddot{N}_i A^T P Q_{ll} P A \ddot{N}_i^T \quad (18a)$$

$$Q_{d_i, d_i} = \ddot{N}_i N \ddot{N}_i^T \quad (18b)$$

olarak hesaplanır.

Her bir ağ noktası için elde edilen ağırlık matrisinin özdeğerleri irdelenerek algılayabilirlik düzeyleri ayrı ayrı elde edilebilir (KÜREÇ, 2010; KÜREÇ ve KONAK 2014).

Ülke Temel GPS Ağları ya da Sıklaştırma GPS Ağlarındaki bazı noktaların zamanla kaybolması ya da tahrip olması beklenen bir durumdur. Bu tür ağların belirli aralıklarla izlenmesi durumunda, Multivaryat düzenli ağlar olarak ele alınmaları gerekmektedir. Multivaryat düzenli ağlar için (4) eşitliğindeki

hız vektörü ilk ölçülerin bir fonksiyonu yeniden düzenlenir

$$\dot{x} = \frac{1}{\Delta t} (\ddot{N}_2 A_2^T P_2 l_2 - \ddot{N}_1 A_1^T P_1 l_1) \quad (19)$$

ve hata yayılma kuralına göre hız vektörünün ters ağırlık matrisi

$$Q_{\dot{x}\dot{x}} = \frac{1}{\Delta t^2} (\ddot{N}_2 A_2^T P_2 Q_{l_2 l_2} P_2 A_2 \ddot{N}_2^T + \ddot{N}_1 A_1^T P_1 Q_{l_1 l_1} P_1 A_1 \ddot{N}_1^T) \quad (20)$$

$$Q_{\dot{x}\dot{x}} = \frac{\ddot{N}_2 N_2 \ddot{N}_2^T + \ddot{N}_1 N_1 \ddot{N}_1^T}{\Delta t^2} \quad (21)$$

olarak elde edilir.

Tüm epoklarda üst dereceden ağ noktalarının belirlediği datumda ve kısmi iz minimum koşulu altında serbest ağ çözümleri gerçekleştirilirse, bilinmeyenlere ait ters ağırlık matrisleri de her bir epok için ayrı ayrı

$$Q_i = (N + BB^T)^{-1} - G(G^T BB^T G)^{-1} G^T \quad (22)$$

olarak elde edilir.

Bu durumda i. durak noktasındaki yer değiştirme vektörüne ilişkin ters ağırlık matrisi, multivaryat düzenli ağlar için

$$Q_{d_i, d_i} = \frac{(\ddot{N}_i N_1 \ddot{N}_i^T)_1 + (\ddot{N}_i N_2 \ddot{N}_i^T)_2}{\Delta t^2} \quad (23)$$

biçiminde düzenlenir ve ağırlık matrisi de

$$N_{ii} = \left\{ \frac{(\ddot{N}_i N_1 \ddot{N}_i^T)_1 + (\ddot{N}_i N_2 \ddot{N}_i^T)_2}{\Delta t^2} \right\}^{-1} \quad (24)$$

olarak elde edilir.

3. GERİNİM ANALİZİ

Bir ağın güvenilirlik düzeyi iç güven ve dış güven ölçütleriyle denetlenmektedir. Uyuşumsuz ölçülerle belirlenemeyen olası hataların küçük olduğu durumlarda sağlam bir ağdan söz edilmektedir. Yalın bir anlatımla; sağlamlık analizleri güvenilirlik ölçütlerinin gerinim (strain) teknikleriyle güçlendirilmesi işlemlerinden oluşmaktadır (BERBER, 2006).

Sağlamlık analizi gerinim ve güvenilirliğin doğal bir bileşimidir ve iç güvenilirlik

analiziyle ortaya çıkarılamayan en küçük düzeltmenin neden olduğu deformasyon direncinin belirlenmesi olarak tanımlanabilmektedir. Geometrik gerinim analizleri ağın potansiyel deformasyonunu daha ayrıntılı olarak algılayabilmek için, ağın datumundan bağımsız olarak gerçekleştirilebilmektedir (VANICEK ve diğ., 2001).

Gerinim kavramı yer değiştirme kavramı ile yakından ilgilidir ve eksenler yönündeki koordinat değişimlerinin ilk koordinatlara oramı şeklinde açıklanmaktadır. Aynı yapıda ve çok küçük gerilmelerin varsayıldığı bir gerinim analizi ile afin dönüşümü birbirine benzetilmektedir (Acar ve diğ., 2008). Gerinim analizi ardışık iki ölçü periyodu arasında nokta hareketlerinin deformasyon modeli ile birlikte değerlendirilmesidir.

Herhangi bir noktada ortaya çıkan yer değiştirme;

$$\Delta x_i = E_i x_i + c_0 \quad (25)$$

olarak yazılabilir. Gerinim (deformasyon) matrisi (E_i) ya da tensor gradiyenti (eğimi);

$$E_i = grad(\Delta x_i) = \begin{bmatrix} \frac{\partial v_{xi}}{\partial x} & \frac{\partial v_{xi}}{\partial y} \\ \frac{\partial v_{yi}}{\partial x} & \frac{\partial v_{yi}}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{xx} & e_{xy} \\ e_{yx} & e_{yy} \end{bmatrix} \quad (26)$$

olarak düzenlenir. Genel anlamda gerinim matrisi (E)

$$E = S + A \quad (27)$$

olmak üzere simetrik ve antisimetrik olarak iki bölüme ayrılır (VANICEK ve diğ., 2001; KONAK ve KÜREÇ, 2014).

- **Simetrik bölüm:**

$$S = \begin{bmatrix} \frac{\partial v_{xi}}{\partial x} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{xi}}{\partial y} + \frac{\partial v_{yi}}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{xi}}{\partial y} + \frac{\partial v_{yi}}{\partial x} \right) & \frac{\partial v_{yi}}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{yy} \end{bmatrix} \quad (28)$$

- **Antisimetrik bölüm:**

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{xi}}{\partial y} - \frac{\partial v_{yi}}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{yi}}{\partial y} - \frac{\partial v_{xi}}{\partial x} \right) & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -w \\ w & 0 \end{bmatrix} \quad (29)$$

Hızların yerel bir koordinat sistemine dönüştürüldüğü durumlarda; gerinim elemanları, iki boyutlu genişletilmiş Helmert dönüşümü modelinin kullanılarak da hesaplanabilmektedir.

Bir jeodezik kontrol noktası için, farklı iki ölçü anında (epokta) elde edilen üç boyutlu konum farkları ya da hızları yardımıyla

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} \quad (30a)$$

$$v_k = R v_x \quad (30b)$$

iki boyutlu bir yer değiştirme vektörü elde edilir (KÜREÇ, 2010). Epok sayısı (k) olmak üzere her bir ağ noktası için, (28) ve (29) eşitlikleri kullanılırsa;

$$v_{x_{k+1}} = x_{k+1} - x_k = t_x + \varepsilon_{xx} x_k + \varepsilon_{xy} y_k - w y_k \quad (31a)$$

$$v_{y_{k+1}} = y_{k+1} - y_k = t_y + \varepsilon_{yx} x_k + \varepsilon_{yy} y_k + w x_k \quad (31b)$$

eşitliği ile iki boyutlu genişletilmiş Helmert modeli kurulur.

$$\dot{v}_i = H_i g \quad (32)$$

$$H_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_k & y_k & 0 & -y_k \\ 0 & 1 & 0 & x_k & y_k & x_k \end{bmatrix}_i \quad (33)$$

$$d_i^T = [v_{x_{k+1}} \quad v_{y_{k+1}}]_i \quad (34)$$

Gerinim parametreleri;

$$g^T = [t_x \quad t_y \quad \varepsilon_{xx} \quad \varepsilon_{xy} \quad \varepsilon_{yy} \quad w] \quad (35)$$

için oluşturulan bu eşitlik, eşlenik noktalar için düzenlenerek dengelemeli bir dönüşüm işlemi gerçekleştirilir ve gerinim elemanları

$$g = (H^T H)^{-1} H^T d \quad (36)$$

elde edilir. Bunun yanı sıra aynı işlem adımları Afin Dönüşümüne göre oluşturulan

$$H_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_i & y_i & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & x_i & y_i \end{bmatrix} \quad (37)$$

dönüşüm matrisi kullanılarak da yapılabilmektedir. Bu durumda elde edilen gerinim elemanları

$$g^T = [t_x \quad t_y \quad e_{xx} \quad e_{yx} \quad e_{xy} \quad e_{yy}] \quad (38)$$

şeklinde ve 2 boyutlu simetrik özellikli rasgele gerinim elemanları (tensörleri), (27) eşitliğinden yararlanılarak elde edilebilmektedir.

4. DEFORMASYON SONUÇLARININ YORUMLANMASI

Jeodezik ağların herhangi bir bölgesindeki deformasyon sonuçları, gerinim elemanlarından yararlanılarak grafik ve istatistik yöntemlerle yorumlanabilmektedir. (URL, 2012) Bu amaçla gerinim elemanların doğrusal bir fonksiyonundan elde edilen belli başlı parametreler kullanılmaktadır.

Gerinim parametreleri birimsiz oldukları ve bir oranı temsil ettikleri için “normal birim deformasyon” olarak adlandırılmaktadır (ACAR ve diğ., 2008). Gerinim elipslerinin elemanları da: Gerinim elipsinin büyük yarı eksenini,

$$e_1 = \frac{1}{2}(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + e) \quad (39)$$

gerinim elipsinin küçük yarı eksenini,

$$e_2 = \frac{1}{2}(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} - e) \quad (40)$$

ve en büyük gerinim oranının yönü,

$$\tan 2\theta = \frac{2\varepsilon_{xy}}{\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy}}; \theta \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right] \quad (41)$$

$$e = \sqrt{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + 4\varepsilon_{xy}^2} \quad (42)$$

formülleri ile hesaplanır (Cai ve Grafarend 2007, Acar ve diğ. 2008). Hesaplanan e_1 ve e_2 yarı eksenleri λ_1 ve λ_2 özdeğerlerine karşılık gelmektedir (CAI ve GRAFAREND, 2007).

λ_1 ve λ_2 özdeğerlerinin işaretlerine göre λ_1 ve λ_2 yönündeki gerinimin daralma ya da genişleme şeklinde olduğuna karar verilmektedir (Cai ve Grafarend, 2007). Yer kabuğu hareketlerinin yorumlanması için, özdeğerlerin birer fonksiyonu olarak hesaplanabilen:

• 45° doğrultudaki en büyük kesme gerilmesi

$$\gamma_{\max} = 2\sqrt{\frac{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2}{2} + \varepsilon_{xy}^2} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{2\sqrt{\lambda_1\lambda_2}} \quad (43)$$

• Alansal Gerinim

$$\gamma_{IZ} = iz(E_i) = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (44)$$

• İkinci ve üçüncü değişmezler

$$\gamma_{DET} = \det(E_i) = \lambda_1\lambda_2 \quad (45)$$

temel parametreler olarak kullanılmaktadır.

4.1. Gerinim Elemanları için Hipotez Testleri

Ağ noktalarındaki yer değiştirmelerin/ hızların doğrusal bir fonksiyonu olarak elde edilebilen gerinim elemanlarının güvenilirliği ve anlamlılığı, ardışık iki ölçme anından elde edilen duyarlık bilgilerinden yararlanarak, doğrusal hipotez testleri ile irdelenir. Bu irdeleme işlemleri gerinim alanının yapısı ve anlamlılığı olarak ayrı ayrı gerçekleştirilir. Bu amaçla gerçekleştirilen test işlemleri de ağı

- Anlamlı bir yer değiştirme kuşkusuna bulunan noktaların dağılımına bakılarak Nokta Grupları biçiminde alansal,
- Ağın ölçme planına bağlı kalınarak; üçgen ya da çokgenler biçimine alansal
- Ağın ölçme planına ve ağ noktalarının konumlarına bağlı kalınarak noktasal olmak üzere irdelenebilir.

4.1.1. Duyarlık hesapları

Jeodezik ağın yapısına göre (5) ya da (21) bağıntılarına göre; iki ölçme anı arasındaki hız vektörünün ters ağırlık matrisi ($Q_{\dot{v}_i}$) elemanlarından yararlanarak Varyans Kovaryans Matrisi:

$$K_{\dot{x}\dot{x}} = s_0^2 (Q_{\dot{x}\dot{x}}) \quad (46)$$

oluşturulur. Yerel bir koordinat sistemi kullanılması durumunda; (46) eşitliğinden

$$Q_{yerel} = R(Q_{\dot{x}\dot{x}})R^T \quad (47a)$$

olmak üzere, hızların ağırlıkları

$$P = (Q_{yerel})^{-1} \quad (47b)$$

olarak elde edilir.

Hız alanının öncül ortalama hatası (s_0) iki farklı ölçme anında değerlendirilen

$s_{0i}^2 = \left(\frac{v^T P v}{f} \right)_i$ deneysel varyans bilgilerinden yararlanarak;

$$s_0 = \pm \sqrt{\frac{f_1 s_{01}^2 + f_2 s_{02}^2}{f_1 + f_2}} \quad (48)$$

bağıntısından hesaplanır.

Ağ noktalarının hızları, duyarlıkları ve korelasyonları farklı dolaylı ölçüler olarak ele alınırsa; gerinim elemanlarının kesin değerleri ve duyarlık bilgileri (36) eşitliği yerine

$$g = (H^T P H)^{-1} H^T P d \quad (49)$$

biçiminde kurulan iki boyutlu genişletilmiş dengelemeli benzerlik dönüşümü modeli yardımıyla hesaplanır. Gerinim bilinmeyenlerinin duyarlık bilgileri

$$K_{gg} = s_0^2 (H^T P H)^{-1} \quad (50)$$

biçiminde kurulan Varyans-Kovaryans Matrisi ile elde edilir.

4.1.2. Global Uyum Testleri

Farklı iki ölçme anında değerlendirilen jeodezik ağdan elde edilen deneysel varyanslar, hız ya da gerinim alanının hakkında öncül bilgileri barındırır. Her iki ölçme anında beklenen olası bir yer değiştirmenin anlamlı olup olmadığı ve gerinim alanının yapısı hakkında bir karara varabilmek için deformasyon analizinde olduğu gibi global bir uyum testi gerçekleştirilir. Bu amaçla yer değiştirme vektörü (d) için Sıfır Hipotezi ve Çift Yönlü Seçenek Hipotezi

$$H_0 : E\{d\} = 0 \quad (51)$$

$$H_{s_2} : E\{d\} \neq 0$$

ayrı ayrı kurulur. Test Büyüklüğü

$$T = \frac{d^T Q_{dd}^+ d}{m_0^2 h} \quad (52)$$

hesaplanır ve Sıfır hipotezi, yanılma olasılığı 0.05 seçilerek 0.95'lik bir istatistik güvenle sınanır.

Global uyum testleri ağın tamamı yerine yer değiştirme kuşkusunu bulunan herhangi bir bölgesi için eşlenik noktalar kümesinde gerçekleştirilebilir. Herhangi bir nokta grubu/alan için hesaplanan deformasyon modelinin hesaplanan Test büyüklüğü

$$T = \frac{d^T Q_{dd}^{-1} d}{m_0^2 h} \quad (53)$$

Fisher dağılımına uyar. Test büyüklüğünün deneysel değeri, Fisher dağılımının sınır değeri ($q = F_{h,2p-4,1-\alpha/2}$) ile karşılaştırılır. Bu test işlemi sonucunda $T > q$ koşulu gerçekleşirse, ele alınan alanda 0.95 istatistik güvenle anlamlı bir yer değiştirme olabileceğine karar verilir.

Başlangıçta deformasyon ağı olarak tasarlanmayan özel amaçlı sıklaştırma ağları ya da yüzey ağlarında (53) eşitliği ile kurulan test modeli yerine, kuramsal olarak aynı sonuçları veren ve dengelemeli benzerlik dönüşümleri sonuçlarına uygulanan doğrusal hipotez testleri kullanılır.

Global uyum testleri; datum koşulunun genişletilmiş helmert modeli üzerinden belirlenmesi durumunda, ele alınan alanda farklı bir ağırlık merkezine bağlı bir hareket modelinin varlığı da test edilmiş olur (EVEN-TZUR, 2006).

4.1.3. Gerinim Elemanları için Doğrusal Hipotez Testleri

Herhangi bir nokta grubunda/alanda olası bir yer değiştirmeden kaynaklanan anlamlı bir gerinim birikiminin olup olmadığını irdelemek için, (49) eşitliğindeki modelden

elde edilen gerinim modelinin ters ağırlıklar matrisi:

$$Q_{gg} = (H^T PH)^{-1} \quad (54)$$

biçiminde oluşturulur. Bu durumda gerinim modelinin hesaplanan deneysel test değeri:

$$T = \frac{g^T Q_{gg}^{-1} g}{m_0^2 h} \quad (55)$$

Fisher dağılımının sınır değeri ($q = F_{h,2p-4,1-\alpha/2}$) ile karşılaştırılır. Seçenek hipotezinin geçersiz çıkması durumunda sözü edilen alanda, 0.95 istatistik güvenle anlamlı bir gerinim birikiminden söz edilebilir.

Global anlamda herhangi bir gerinimin anlamlı olup olmaması, gerinimin yapısı hakkında kesin bir bilgi vermez. Gerinimin yapısını irdeleyebilmek için gerinim parametreleri ya da birer fonksiyonları için uygun doğrusal hipotezler kurulur ve bu testlerin geçerliliği ayrı ayrı sınanır.

Nokta grupları/alansal olarak hesaplanan gerinim elemanları için Sıfır Hipotezi ve Çift Yönlü Seçenek Hipotezi:

$$H_0 : E\{g_i\} = 0 \quad (56)$$

$$H_{s2} : E\{g_i\} \neq 0$$

biçiminde ayrı ayrı doğrusal hipotezler kurulur. Her bir gerinim parametresine ilişkin test büyüklüğü:

$$T_{ij} = \frac{|g_i|}{\sqrt{(K_{gg})_{ii}}} \quad (57)$$

hesaplanır. Sıfır hipotezi, yanılma olasılığı 0.05 seçilerek 0.95'lik bir istatistik güvenle sınanır.

(57) eşitliğindeki test büyüklüğü t-Student dağılımına uyar. Test büyüklüğünün deneysel değeri, t-Student dağılımının sınır değeri ($q = t_{2p-4,1-\alpha/2}$) ile karşılaştırılır. Bu test işlemi sonucunda $T > q$ koşulu gerçekleşirse, ele alınan gerinim parametresinin 0.95 istatistik güvenle anlamlı olduğuna karar

verilir. Bu işlemler diğer gerinim parametreleri için ayrı ayrı test edilir. Elde edilen sonuçlara göre gerinim alanların homojen ya da homojen olmayan özellikleri belirlenir.

Burada gerinim parametreleri tek başlarına anlamlı olsun ya da olmasın, bu parametrelerin doğrusal bir fonksiyonundan elde edilen genişleme ya da daralma gibi parametreleri için de aynı irdelemelerin yapılması gerekir.

Bu amaçla gerinim parametrelerin doğrusal kombinasyonları ve hata yayılma ilkesine göre elde edilen ortalama hatalarından yararlanarak, her bir parametre için gerekli olan doğrusal hipotezler, (56) ve (57) eşitliklerine benzer biçimde ayrı ayrı kurulmalı ve sınanmalıdır (İNCE ve diğ., 2007; UZUN ve diğ., 2005).

Sözgelimi, daralma ya da genişleme yönündeki gerinimin anlamlılığı için aşağıdaki işlemleri gerçekleştirilir. λ_1 özdeğeri:

$$\lambda_1 = \frac{1}{2}(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + e) \quad (58)$$

$$\partial\lambda_1 = \frac{\partial\lambda_1}{\partial\varepsilon_{xx}} d\varepsilon_{xx} + \frac{\partial\lambda_1}{\partial\varepsilon_{yy}} \varepsilon_{yy} + \frac{\partial\lambda_1}{\partial\varepsilon_{xy}} \varepsilon_{xy} \quad (59a)$$

$$\partial\lambda_1 = a_i d\varepsilon_{xx} + b_i \varepsilon_{yy} + c_i \varepsilon_{xy} \quad (59b)$$

biçiminde gerinim parametrelerinin bir fonksiyonu olarak doğrusallaştırılır ve hataların yayılma ilkesine uygulanarak,

$$m_{\lambda_1}^2 = [a_i \quad b_i \quad c_i] K_{gg} \begin{bmatrix} a_i \\ b_i \\ c_i \end{bmatrix} \quad (60)$$

bağıntısı ile λ_1 özdeğerinin ortalama hatası ve

$$T_{i\lambda} = \frac{|\lambda_i|}{m_{\lambda_1}} \quad (61)$$

λ_1 özdeğerinin deneysel test değeri elde edilir.

Sonuç olarak herhangi bir alanda anlamlı bir deformasyon olmasına karşın; afinliğe işaret eden gerinim parametreleri anlamlı

çıkıyorsa, burada homojen bir yer değiştirmeden söz edilebilir. Buna karşın sözü edilen parametreler anlamlı çıkarsa, yer değiştirme sonucunda anlamlı bir şekil bozukluğunun izlenmekte olduğu kanısına varılır. Bu şekil bozukluğunun aynı zamanda anlamlı bir daralma ya da genişlemeye neden olup olmadığı da test sonuçlarına bakılarak karar verilir.

5. KOCAELİ İZDOGAP GPS AĞI İÇİN ALGILAYABİLİRLİK DEĞERLERİ

Bu çalışma için, bilimsel ve mühendislik amaçlı bir üniversite araştırma projesi kapsamında izlenmekte olan Kocaeli İZDOGAP GPS Ağı sayısal uygulama modeli olarak seçilmiştir (Şekil 1). İZDOGAP GPS Ağı, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun batı bölümünü oluşturan İzmit-Sapanca Fayı çevresinde yer almaktadır. Bilindiği üzere Arabistan plakası tarafından sıkıştırılmakta olan Anadolu Plakası, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fayları boyunca batıya doğru kaçmaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak Kuzey Anadolu Fay Kuşağının Doğu Marmara Bölgesini kateden kısmında, yıllık ortalama yer kabuğu hareket hızı 1-2 cm düzeyinde beklenmektedir (İNCE vd., 1991). Bu nedenle bu bölgede tesis edilen doğal gaz iletim hatlarının çevrelerinde oluşan yer değiştirmeleri izlemek amacıyla bir GPS Sıklaştırma ağı tesis edilmiştir. 106 noktadan oluşan Kocaeli İZDOGAP GPS Ağı için, tasarım aşamasında EKK yöntemine dayanan bir ağırlık optimizasyonu işlemi gerçekleştirilerek toplam 271 GPS bazından oluşan uygun bir ölçme planı elde edilmiştir (İZDOGAP 2011).

Kocaeli İZDOGAP GPS Ağının 1. Epok gözlemleri 2009 yılında, 2. Epok gözlemleri ise 2010 yılında gerçekleştirilmiştir. 2. Epok gözlemleri 106 noktada 266 GPS baz ölçüsünden oluşmaktadır.

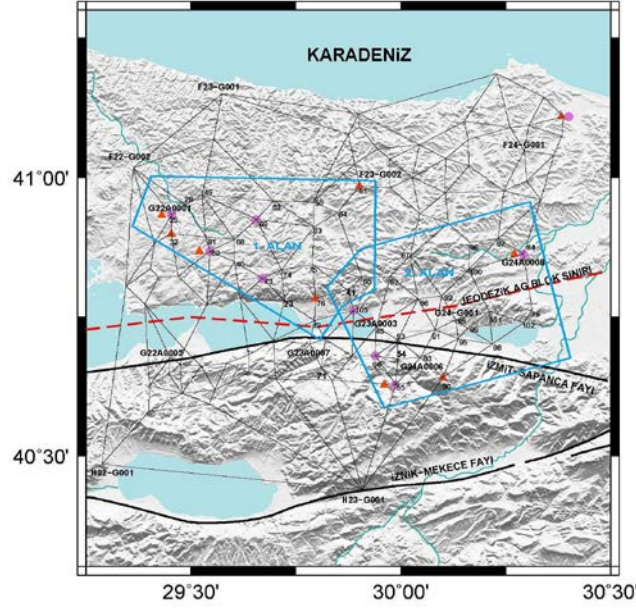
2009 yılında ölçülen 4 nokta, 2010 yılında tahrip edilmiş olarak bulunmuştur. Ağın geometrik şeklinde istenmeyen zayıflıkların oluşmaması için bu noktaların yakınlarında yeni noktalar tesis edilmiş ve eksik kalan

ölçme işlemleri bu noktalara göre tamamlanmıştır.

Bu nedenlerle Kocaeli İZDOGAP GPS ağı Multivaryat Düzenli GPS Ağı yapısında ele alınarak, deneysel algılayabilirlik analizleri bu koşullar altında elde edilmiştir (Tablo 1). Tablo 1, sayısal uygulamanın gerinim analizi bölümü için belirlenen noktalar kümesinden oluşmaktadır. Bu ağda ulaşılan algılayabilirlik değerleri arasında tutarlı bir karşılaştırma yapabilmek amacıyla; 8 Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) ve 6 Ana GPS Ağı (AGA) noktası kullanılarak datum birliği sağlanmıştır.

KOCAELİ kenti için hizmet veren Doğal Gaz Yaşamsal Alt Yapı sistemini kontrol eden İZDPGAP GPS Sıklaştırma Ağı'ndan elde edilen sonuçlara göre; yer kabuğu hareketlerini algılayabilirlik düzeyleri;

- $\Delta t = \sqrt{2} = 1.41$ yıllık zaman aralığı için; 2009 epogundaki öncül kestirime göre, (dmin=0.33, dortanca=0.49, dmax=0.94; dort=0.50) cm
2010 epogundaki öncül kestirime göre, (dmin=0.54, dortanca=0.66, dmax=1.17; dort=0.67) cm, olarak elde edilmiştir (Şekil 2).
- Her iki epok arasında geçen $\Delta t = 1.13$ yıllık gerçek zaman aralığına göre ulaşılan deneysel algılayabilirlik değerleri de (dmin=0.57, dortanca=0.72, dmax=1.36; dort=0.75)cm olarak hesaplanmıştır (Şekil 3).



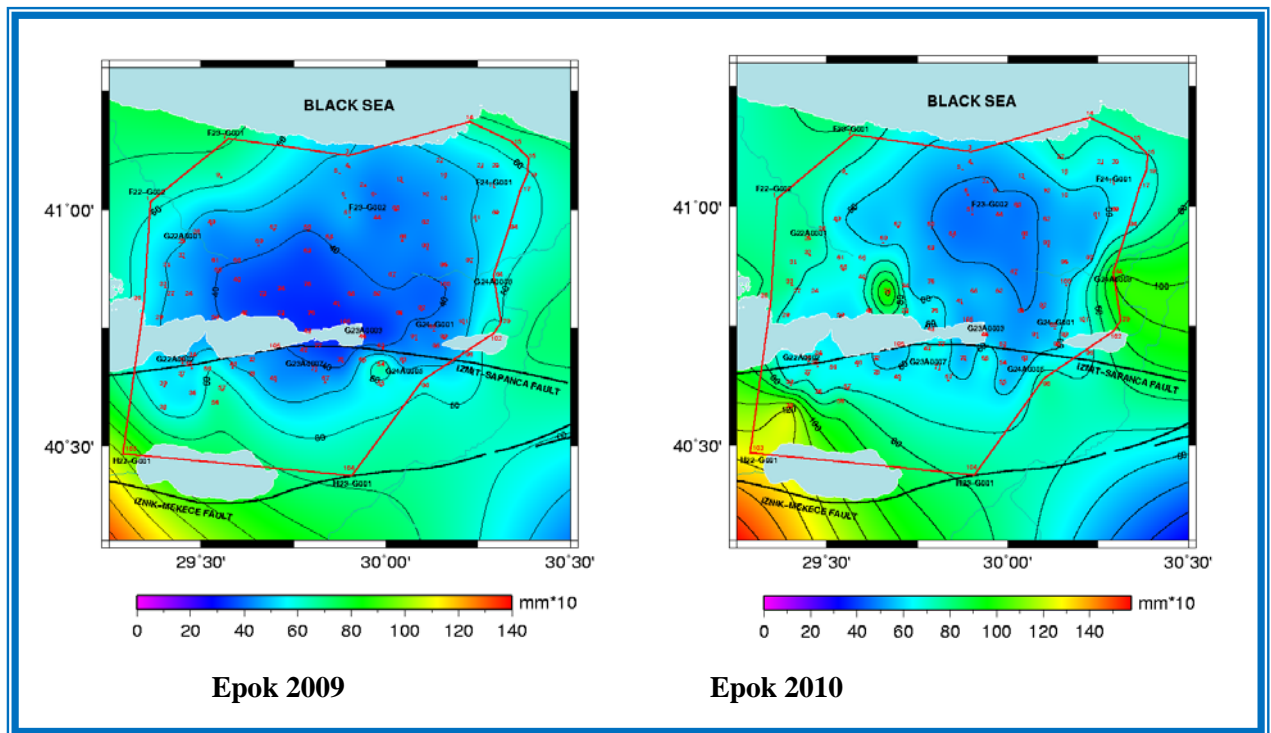
Şekil 1: Kocaeli İZDOGAP GPS Ağı (●) 3 Boyutlu Helmert Dönüşümü Sonucu Uyuşumsuz Bulunan noktalar (▲) 3 Boyutlu Genişletilmiş Helmert Dönüşümü Sonucu Uyuşumsuz Bulunan noktalar)

Tablo 1: Kocaeli İZDOGAP GPS Ağı için Algılayabilirlik Değerleri

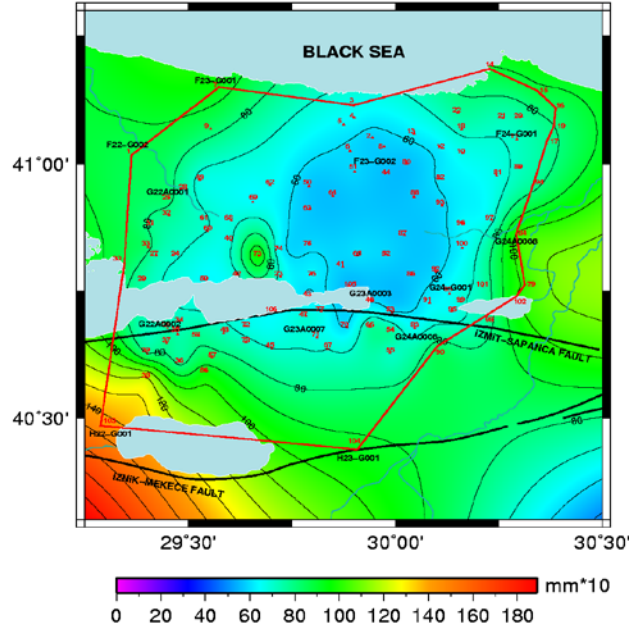
Nokta No	2009.370 d_{min} (cm)	2010.496 d_{min} (cm)	Deneysel d_{min} (cm)
86	0.39	0.50	0.57
43	0.32	0.58	0.59
83	0.47	0.56	0.65
92	0.39	0.52	0.59
52	0.39	0.54	0.59
65	0.37	0.56	0.60
96	0.44	0.57	0.64
*84	0.56	0.97	1.00
75	0.34	0.56	0.59
76	0.32	0.64	0.63
79	0.60	0.93	1.01
105	0.32	0.52	0.55
101	0.47	0.66	0.74
85	0.42	0.57	0.65
95	0.43	0.59	0.65
98	0.51	0.66	0.75
73	0.34	1.01	0.96
74	0.34	0.64	0.65
*60	0.40	0.67	0.70
40	0.37	0.68	0.69
68	0.40	0.65	0.68
69	0.42	0.58	0.64
63	0.36	0.53	0.57
*25	0.50	0.78	0.82

32	0.47	0.73	0.77
28	0.47	0.71	0.75
49	0.45	0.62	0.68
91	0.43	0.55	0.63
87	0.41	0.48	0.57
61	0.42	0.68	0.71
102	0.66	0.87	1.00
*16	0.63	0.70	0.84
62	0.44	0.59	0.65
50	0.40	0.50	0.57
64	0.41	0.47	0.56
66	0.52	0.66	0.76

*: Her iki modelde de uyuşumsuz olan nokta çifti.



Şekil 2: Kocaeli İZDOGAP GPS Ağı için Algılayabilirlik Haritaları
(Eş yükseklik eğrilerinin birimi mm*10'dur.)



Şekil 3: Kocaeli İZDOĞAP GPS Ağı için Deneysel Algılayabilirlik Haritası
(Eş yükseklik eğrilerinin birimi mm*10'dur.)

6. KOCAELI İZDOĞAP GPS AĞI İÇİN GERİNİM İRDELEMELERİ

İZDOĞAP GPS ağının 2009 ve 2010 yıllarına ait gözlemleri, TUTGA ve AGA noktalarından seçilen eşlenik nokta kümesinde, kısmi iz minimum koşulu altında, serbest ağ yöntemine göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Her iki epoktaki dengeleme sonuçları arasında, 3 Boyutlu Helmert ve 3 Boyutlu Genişletilmiş Helmert dönüşümleri kullanılarak eşdeğerlik testleri yapılmıştır.

Anlamli bulunan yer değiştirme büyüklükleri;

- 3 Boyutlu Helmert Dönüşümünde; **84, 25, 16, 55, 60, 66, 69, 105** ve **73** numaralı ağ noktaları
- 3 Boyutlu Genişletilmiş Helmert Dönüşümünde ise; **84, 25, 90, 16, 32, 51, 55, 60, 76** numaralı ağ noktaları uyuşumsuz eşlenik noktalar kümesi olarak belirlenmiştir.

Bu sonuçlara göre;

- **84, 25, 16** ve **60** numaralı noktalar her iki modelde de uyuşumsuz nokta çifti olarak yorumlanmaktadır. Diğer noktalar test

sınır değerlerine oldukça yakın, $\alpha=0,05$ yanlışma olasılığı altında eşdeğer olarak kabul edilebilecek noktalardır.

- Genişletilmiş helmert modelinde yanlışma olasılığının biraz daha küçültülmesi durumunda, uyuşumsuz bulunan **90, 32, 51, 55** ve **76** numaralı noktalarda zamanla anlamlı bir gerinim birikiminin oluşabileceğini göstermektedir.
- Öte yandan Helmert modelinde uyuşumsuz görünmesine karşın, genişletilmiş modelde uyuşumlu bulunan **66, 69, 105** ve **73** numaralı noktalardaki değişimler, henüz homojen bir gerinim alanı için normal dağılımlı rasgele hatalar barındırmaktadırlar.

Her iki modelde de yer değiştirme kuşkusunu bulunan noktalar kümesindeki dağılımları dikkate alınarak, gerinim elemanlarının davranışlarının irdelenebileceği iki ayrı nokta grubu belirlenmiştir. Bu gruplar sırasıyla **20** ve **24** eşlenik ağ noktasından oluşmaktadır. (Şekil 1).

- 2009 ve 2010 epoklarından elde edilen dengeli koordinatlar kullanılarak her alan için, Afin Dönüşüm matrisinden

yararlanılarak gerinim parametreleri elde edilmiştir. Gerinim parametreleri için kurulan doğrusal hipotez testleri sonucunda, nokta gruplarına afinlik özellikleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. (Tablo 2,Tablo 3).

- Nokta grupları için elde edilen gerinim elipslerinin elemanlarına göre birinci grupta anlamlı bir genişleme/daralma birikimi belirlenmiştir. Her iki gruptaki 45° doğrultusundaki kesme gerinimleri ile alansal gerinimler anlamlıdır. (Tablo 4, Tablo 5).

Tablo 2: Gerinim Parametreleri

Alan No	İstasyon Noktaları	Gerinim Parametreleri					
		t_x (cm)	t_y (cm)	e_{xx}	e_{yx}	e_{xy}	e_{yy}
1	25,32,28,49,61, 60,68,40,73,74, 69,62,50,63,64, 75,76,43,65,51	-0.2899	0.3070	6.68484E-07	1.17112E-06	-4.91570E-07	1.39499E-06
2	65,105,16,66,55, 53,52,87,86,91, 83,90,92,100,96, 97,84,79,101,102, 85,99,95,98	0.0843	-1.1557	-6.43318E-08	8.78721E-07	-7.25480E-07	1.21926E-06

Tablo 3: Deneysel m0 ile Gerinim Parametreleri için istatistiksel testler

Parametreler	Alan 1 m0=2.33 cm			Alan 2 m0=2.43 cm		
	Test Değeri	Sınır Değer	Yorum	Test Değeri	Sınır Değer	Yorum
t_x	2.22	2.03	Anlamlı	0.82	2.02	Anlamsız
t_y	2.61	2.03	Anlamlı	12.32	2.02	Anlamlı
e_{xx}	5.99	2.03	Anlamlı	0.55	2.02	Anlamlı
e_{yx}	6.37	2.03	Anlamlı	6.19	2.02	Anlamlı
e_{xy}	4.97	2.03	Anlamlı	6.76	2.02	Anlamlı
e_{yy}	8.21	2.03	Anlamlı	9.48	2.02	Anlamlı

Tablo 4: Gerinim Elipslerinin Elemanları

Alan No	λ_1	λ_2	θ	γ_{max}	γ_{IZ}	γ_{DET}
1	1.16020E-06	9.03269E-07	46°.91246	1.231828E-06	2.06347E-06	1.04797E-12
2	1.21467E-06	-5.97417E-08	83°.19197	1.821724E-06	1.15492E-06	-7.25662E-14

Tablo 5: Deneysel m0 ile Gerinim Elipslerinin Elemanları için istatistiksel testler

Parametreler	Alan 1 m0=2.33 cm			Alan 2 m0=2.43 cm		
	Test Değeri	Sınır Değer	Yorum	Test Değeri	Sınır Değer	Yorum
λ_1	2.15	2.03	Anlamlı	7.25	2.02	Anlamlı
λ_2	1.46	2.03	Anlamsız	0.33	2.02	Anlamsız

γ_{max}	3.28	2.03	Anlamlı	5.24	2.02	Anlamlı
γ_{IZ}	2.51	2.03	Anlamlı	4.65	2.02	Anlamlı
γ_{DET}	1.21	2.03	Anlamsız	0.32	2.02	Anlamsız

7. SONUÇ

- Yaşamsal bir alt yapı olan KOCAELİ ili Doğal Gaz Alt Yapı Sistemi için tasarlanan Kocaeli İZDOGAP GPS sıklaştırma ağı Multivaryat düzenli bir yapıya sahiptir. Bu ağda ulaşılan algılayabilirlik değerleri arasında tutarlı bir karşılaştırma yapabilmek amacıyla, 8 TUTGA ve 6 AGA noktası kullanılarak datum birliği sağlanmıştır.
- Her iki epok arasında geçen $\Delta t = 1.13$ yıllık gerçek zaman aralığına göre ulaşılan deneysel algılayabilirlik değerleri ($d_{min}=0.57$, $d_{ortanca}=0.72$, $d_{max}=1.36$; $d_{ort}=0.75$)cm olarak hesaplanmıştır. Bu değerler 2009 ve 2010 yıllarında $\Delta t = \sqrt{2} = 1.41$ öncül olarak kestirilen değerlerle uyumludur.
- Ulaşılan öncül ve deneysel algılayabilirlik değerleri, Kocaeli İZDOGAP GPS Ağı noktalarının, bölgede beklenen yer kabuğu hareketlerini yeterince algılayabilecek düzeyde olduğunu göstermektedir.
- İki epok için gerçekleştirilen eşdeğerlik testleri ile yer değiştirme kuşkusu bulunan noktalarda afinlik yönünde anlamlı gerinim birikimleri gözlenmiştir.
- Kuşku nokta kümesinin iki ayrı gruba ayrılması durumunda; kesme gerinimleri ile alansal gerinimler anlamlı olarak belirlenmiştir. Birinci nokta grubunda anlamlı bir genişleme/daralma birikiminden söz edilebilir.

KAYNAKÇA

Aksoy, A., Ayan, T., Deniz, R., Yalın, D., Karasu, H., Seeger, H., Franke, P., Altiner, Y., Hirsch, O., Bausch, P., (1995), *Türkiye'de Yer Kabuğu Hareketlerinin Yersel Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi Çalışmaları*, Türk Haritacılığının 100. Yılı TUJJB ve

TUFUAB Kongreleri Bildiriler Kitabı Cilt 2, pp. 358-369, Ankara, Türkiye.

Even-Tzur G., (2006): *Datum Definition and its Influence on the Sensitivity of Geodetic Monitoring Networks*, 12th FIG Symposium, 4-9.

Hsu, R. ve Hsiao, K., (2002), *Pre-Computing The Sensitivity of a GPS Station for Crustal Deformation Monitoring*, Journal of the Chinese Institute of Engineers, 12-15.

İnce, C. D., Konak, H. ve Arslan, O., (2007), *Deprem Hasarlarının İzlenmesi Amacıyla Uydu Görüntülerinden Elde Edilen Konumsal Veri Yiğnalarının İyileştirilmesi*, International Earthquake Symposium Kocaeli.

İnce, C. D., Baykal, O., Çakmak, R., Dikbaş, A., Erden, T., Ergintav, S., İpbüker, C., Özşamlı, C., Şahin, M., Tari, E., Tari, U. and Tüysüz, O. (2001), *GPS Measurements along the North Anatolian Fault Zone on the Mid-Anatolian Segment, Proceedings of International Symposium and Exhibition, Geodetic Photogrammetric and Satellite Technologies-Development and Integrated Application*, 351-359, Sofia.

İZDOGAP (2011), *Monitoring of IZGAZ-Natural Gas Infrastructure using National Geodetic Networks and Land Information Systems (IZDOGAP)*, Technical Reports (Turkish), Ed. Haluk Konak, A Project of Scientific Research, Kocaeli University.

Konak, H. ve Ekinci, Ö., (2005), *Yaşamsal Altyapı Sistemlerinin İzlenmesi*, Mimarizm Dergisi, Özel Sayı, Nisan, 118-121.

Küreç, P., (2010), *Yüzey ağlarının değerlendirilmesi*, KOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Küreç, P. ve Konak, H., (2011), *Sıklaştırma GPS Ağlarının yer kabuğu hareketlerine karşı duyarlılıkları ve olası algılayabilirlik düzeyleri*, hkm Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, Özel Sayı, sayfa: 84-90.

-
- Küreç, P. ve Konak, H., (2014), *A priori sensitivity analysis for densification GPS networks and their capacities of crustal deformation monitoring: a real GPS network application*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 14, 1299-1308.
- Uzun, S., Konak, H. ve Dilaver, A., (2005), *Sayıllaştırma Modelleri ve Sayıllaştırılmış Harita Konum Bilgilerinin Güvenirliği*, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28 Mart- 1 Nisan, Ankara.
- URL 1., (2012), *Algorithm for computing infinitesimal strain rate between three non-colinear GPS satations, given their N-S and E-W velocities, with a worked example*, Version of September 8, 2012, [Vince Cronin@baylor.edu.](mailto:Vince_Cronin@baylor.edu), presor@wesleyan.edu