

**GPS DEFORMASYON AĞLARINDA GÖZLEM SÜRESİ İLE AĞ DUYARLILIĞI
ARASINDAKİ İLİŞKİ**
(RELATION BETWEEN SESSION-DURATION AND SENSITIVITY OF GPS
MONITORING NETWORKS)

Cüneyt AYDIN, Uğur DOĞAN, Hüseyin DEMİREL
Yıldız Teknik Üniversitesi,
Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, İstanbul
email:caydin@yildiz.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, konum değişimlerini test etmek için oluşturulan hipotezlere ilişkin dağılımların dışmerkezlik parametresi ile ölçülen duyarlılığın, GPS gözlem süresi ile olan ilişkisi incelenmektedir. Bu amaçla, 3 IGS noktasından oluşan bir GPS ağındaki farklı gözlem sürelerine ($t=4, 6, 8, 12, 24$ saat) ilişkin veri grupları kullanılmıştır. Gruplar için konum değişim modelleriyle hesaplanan dışmerkezlik parametrelerinin karşılaştırılması sonucunda, gözlem süresi (t) ile dışmerkezlik parametresi ($\lambda(t)$) arasında doğrusal bir ilişki olduğu; t_i ve t_j gözlem süreleri için bu ilişkinin $\lambda(t_i)/\lambda(t_j) = t_i/t_j$ fonksiyonu ile tanımlanabileceği istatistiksel olarak gösterilmiştir.

ABSTRACT

In this study, the relation between the duration of the GPS observing session (t) and the sensitivity measured with the non-centrality parameter of the statistical hypotheses is investigated. For this aim, different displacement models and the data sets arranged for the some selected values of t (4, 6, 8, 12 and 24 hours) in a GPS network being composed of 3 IGS stations are used. Comparing the non-centrality parameters of each data set for a displacement model, a linear relationship between the session-duration time and the non-centrality parameter ($\lambda(t)$) is observed. For the t_i and t_j sessions, it is showed statistically that the relation may be represented by a linear function $\lambda(t_i)/\lambda(t_j) = t_i/t_j$.

1. GİRİŞ

Bir dinamik yapının hareketlerini izlemek amacıyla tasarlanan deformasyon ağı ile hangi büyüklükteki hareketlerin istatistiksel testlerle deformasyon olarak kanıtlanabileceği ya da beklenen hareketlerin deformasyon olarak kanıtlanıp kanıtlanamayacağı jeodezik ağın duyarlılığı (sensitivity) ile tanımlanır /2,5,19,21/. Duyarlılık, oluşturulan hipoteze ilişkin dağılımın dışmerkezlik parametresi kestirilerek ölçülür. Bu parametre, modele ve ağın tasarım parametrelerine bağlı bir fonksiyon olduğu için deformasyon ağının duyarlılık bakımından optimizasyonu probleminde temel ölçüt olarak kullanılmaktadır /7,11,12,16,19,22,23/. Matematiksel olarak amaç, kestirilen dışmerkezlik parametresinin, belli olasılık değerleri için hesaplanan Baarda dışmerkezlik parametresi alt sınır (BaarDAS) değerinden büyük olmasını sağlamaktır /2,4/.

Dışmerkezlik parametresi ayrıca, modellenemeyen etmenlerin, örneğin kaba hataların deformasyon analizi sonuçlarına etkilerinin incelenmesi /3/ ve IGS noktalarının hem kaba

hatalar hem de olası nokta hareketleri bakımından kontrol edilebilirliklerinin irdelenmesi /13,17/ amacıyla da kullanılmaktadır.

Duyarlılık, ölçülerin stokastik modeli, dolayısıyla ölçme doğruluğu ile doğrudan ilişkilidir; ölçme doğruluğu ne kadar yüksekse, duyarlılığın bir ölçütü olan dışmerkezlik parametresi de o denli büyüktür. GPS ağlarında baz bileşenlerinin doğruluğu, çevresel ve aletsel hata bileşenlerinin en uygun şekilde modellendiği varsayımıyla bazın uzunluğuna ve ölçme zamanına, başka bir deyişle bazı sınırlandıran noktalardaki eş zamanlı gözlem süresine bağlıdır /10/. Bölgesel ve yerel yer kabuğu hareketlerinin veya büyük mühendislik yapılarındaki deformasyonların izlenmesi amacıyla oluşturulan ve belli periyotlarla ölçülen bir GPS ağında gözlem süresi, genellikle 4-12 saat arasında seçilir. Gözlem süresi için böylesi bir aralık seçiminin başlıca nedenleri; (1) statik konum belirlemede 4 saat ve daha fazla sürede toplanan veri kümesiyle tam sayı belirsizliklerinin çözümünde %100 başarı oranına daha kolay ulaşılabilmesi, (2) ölçü sayısı artırılarak daha yüksek doğruluk elde edebilme olasılığı, (3) 12 saatten daha fazla gözlem süresinin, kampanya türündeki ölçmelerin gerçekleştirilmesine uygun olmamasıdır. Ancak, gözlem süresi için bu sınır değerler arasında yapılan bir seçim, deformasyon ağının duyarlılığı açısından oldukça sezgisel bir yaklaşımdır; zaman-maliyet ilişkisinin amaca uygunluğu da göz önüne alınmamaktadır. Bu bakımdan optimizasyon problemi açısından önemli bir soruyla karşılaşılır: Bir dinamik yapının izlenmesi için kurulan bir GPS ağının duyarlılığı ile gözlem süresi arasındaki ilişki nedir? Bu çalışmada, bu soruya, IGS noktalarından oluşan bir GPS ağında, seçilen farklı gözlem sürelerine (4, 6, 8, 12 ve 24 saat) ilişkin stokastik modeller kullanılarak, öngörülen konum değişimleri için elde edilen duyarlılık ölçütleriyle yanıt aranmaktadır.

2. GPS DEFORMASYON AĞLARINDA DUYARLILIK

İki periyot ölçülen bir GPS ağının aynı datumda serbest dengelenmesi sonucunda elde edilen koordinat bilinmeyenleri vektörleri $\mathbf{x}_I, \mathbf{x}_{II}$ ve bunların ağırlık katsayıları matrisleri $\mathbf{Q}_{x_I}, \mathbf{Q}_{x_{II}}$ ile fark vektörü,

$$\mathbf{d} = \mathbf{x}_{II} - \mathbf{x}_I \quad (1)$$

ve bunun ağırlık katsayıları matrisi (periyotlar arasında korelasyon olmadığı varsayılıyor),

$$\mathbf{Q}_d = \mathbf{Q}_{x_I} + \mathbf{Q}_{x_{II}} \quad (2)$$

olur. İki periyot arasında geçen süre içerisinde anlamlı konum değişimi olup olmadığını test etmek için sıfır hipotezi (H_0) ve karşıt hipotez (H_K),

$$H_0 : E\{\mathbf{d}\} = \mathbf{0} \quad , \quad H_K : E\{\mathbf{d}\} = \Delta \neq \mathbf{0} \quad (3)$$

biçiminde oluşturulur. Burada, $E\{\}$, beklenen değer; Δ , $u \times 1$ boyutlu beklenen değişim vektörüdür. Sıfır hipotezinin geçerli olması durumunda test büyüklüğü,

$$T = \frac{R}{h s_0^2} = \frac{\mathbf{d}^T \mathbf{Q}_d^{-1} \mathbf{d}}{h s_0^2} \sim F(h, f) \quad (4)$$

merkezsiz F -dağılımlıdır /8,15,19,21/. Burada, $()^+$, pseudo ters; h , R karesel biçiminin serbestlik derecesi veya \mathbf{Q}_d ağırlık katsayıları matrisinin rangı; f , periyotlara ilişkin serbestlik derecelerinin toplamı; s_0^2 , sonsal (aposteriori) varyans ya da σ_0^2 önsel (apriori) varyansının kestirim değeridir.

(3)'de verilen karşıt hipotezin geçerli olması durumunda (4) test büyüklüğü,

$$\lambda = \frac{\Delta^T \mathbf{Q}_d^+ \Delta}{\sigma_0^2} \quad (5)$$

dışmerkezlik parametresine sahip merkezsiz olmayan F -dağılımlıdır;

$$T \sim F(h, f, \lambda) \quad (6)$$

/8,12,15,16,19/. T test büyüklüğü, s_0^2 yerine σ_0^2 önsel varyansı ile oluşturulursa $f=\infty$ olacağı için (6) dağılımı, merkezsiz olmayan χ^2 -dağılımına dönüşür /1/. Böylesi bir dağılıma sahip bir test büyüklüğü için doğru olan bir karşıt hipotezin kabul edilme olasılığı, başka bir deyişle test gücü,

$$\gamma = 1 - F(\chi'^2; h, \lambda) \quad , \quad \chi'^2 = \chi_{h, 1-\alpha}^2 \quad (7)$$

fonksiyonu ile tanımlanır /4/. Burada, $F(\chi'^2; h, \lambda)$, merkezsiz olmayan χ^2 -dağılımının birikimli dağılım fonksiyonu; $\chi_{h, 1-\alpha}^2$, χ^2 -dağılımının h serbestlik derecesi ve $(1-\alpha)$ güven düzeyine karşılık güven sınırır.

$F(\chi'^2; h, \lambda)$ fonksiyonu, serbestlik derecesi ve güven düzeyinin sabit değerleri için, λ dışmerkezlik parametresi büyüdükçe sürekli olarak küçülür ve dolayısıyla test gücü artar /4/. Duyarlılık analizinde bu özellikten yararlanılır ve (5) ile kestirilen dışmerkezlik parametresi, belli bir test gücüne karşılık gelen ve Baarda dışmerkezlik parametresinin alt sınır değeri $\lambda_{0,h}$ (BaarDAS) ile karşılaştırılır. Eğer,

$$\lambda > \lambda_{0,h} \quad (8)$$

eşitsizliği sağlanıyorsa beklenen değişim vektörünün öngörülen test gücünden daha yüksek bir olasılıkla anlamlı olarak kanıtlanabileceği, başka bir deyişle GPS deformasyon ağının bir dinamik yapının Δ vektörüyle tanımlanan değişimlerini ortaya çıkarabilecek özellikte olduğu sonucuna varılır.

3. GÖZLEM SÜRESİ İLE AĞ DUYARLILIĞI ARASINDAKİ İLİŞKİ

Önceki bölümde açıklandığı gibi, bir deformasyon ağının duyarlılığı için temel ölçüt olan dışmerkezlik parametresi, değişim vektörünün, bu vektörün ağırlık katsayıları matrisinin ve önsel varyansın bir fonksiyonudur. Değişik gözlem süreleri için karşılaştırılan periyotlara

ilişkin ağırlık katsayıları matrisleri farklı olacağından, gözlem süresinin duyarlılık ölçütü üzerindeki etkisi, değişim vektörünün ağırlık katsayıları matrisinde ortaya çıkar. Bir t gözlem süresi için koordinat bilinmeyenlerinin ağırlık katsayıları matrisleri, birinci ve ikinci periyot için $\mathbf{Q}_{x_1}(t)$ ve $\mathbf{Q}_{x_{ii}}(t)$ olsun. Buna göre değişim vektörü,

$$\Delta = [\Delta x_1 \Delta y_1 \Delta z_1 \dots \Delta x_p \Delta y_p \Delta z_p]^T, \quad (p; \text{ nokta sayısı})$$

ve bunun ağırlık katsayıları matrisi için dış merkezlik parametresi (2) eşitliğine göre gözlem süresinin bir fonksiyonu olacaktır,

$$\mathbf{Q}_d(t) = \mathbf{Q}_{x_1}(t) + \mathbf{Q}_{x_{ii}}(t), \quad \lambda(t) = (\Delta^T \mathbf{Q}_d^+(t) \Delta) / \sigma_0^2 \quad (9)$$

Gözlem süresi ile duyarlılık ölçütü arasındaki ilişkiyi belirlemek için, Uluslararası Jeodinamik GPS Servisi (International GPS Service for Geodynamics–IGS) noktası olarak BUCU, ISTA ve TUBI noktaları seçilmiştir (Tablo 1). IGS noktalarındaki GPS ölçüleri Scripps Yörünge ve Sabit Ağ Merkezi (Scripps Orbit And Permanent Array Center – SOPAC) tarafından oluşturulan arşivden temin edilmiştir. Değerlendirmede kullanılan IGS noktalarına ait bilgi formları IGS Merkez Büro’da (IGSCB) oluşturulan anonim ftp adresinden alınmıştır. Belirtilen noktalarda 2000 yılının 154 ve 157. GPS günlerindeki ölçüler kullanılmıştır.

Tablo-1: Kullanılan IGS noktaları ve ölçüler.

İstasyon	Enlem ($^{\circ}$)	Boylam ($^{\circ}$)	Yükseklik (m)	2000 Yılı-GPS Günü	
				154	157
BUCU	44.46394394	26.12573825	143.1882	+	+
ISTA	41.10444685	29.01933778	147.2180	+	+
TUBI	40.78672420	29.45068135	220.3399	+	+

Her bir GPS günü için 4, 6, 8, 12 ve 24 saatlik veri grupları oluşturulmuş, her bir veri grubu Bern Üniversitesi (İsviçre) tarafından geliştirilen Bernese 4.2 GPS yazılımı ile değerlendirilmiştir /14/. Uluslararası GPS Servisi duyarlı GPS yörüngeleri ve yer dönme parametreleri IGS’in veri merkezinden elde edilmiştir. İyonosfer-serbest frekansı (L3) ile tek nokta konumlaması yapılarak her epokta alıcı saat hataları ve yeni noktalar için yaklaşık koordinatlar belirlenmiştir. Ölçülerdeki faz kesikliği (cycle slip), kaba hatalar ve uyumsuz ölçüler üçlü farklar oluşturularak kontrol edilmiş; bu işlem sonucunda kaba hatalı ölçüler atılmış, tamir edilebilen faz kesiklikleri düzeltilmiş ve düzeltilemeyen kesikliklere faz başlangıç belirsizliği (ambiguity) parametresi eklenmiştir. Bu aşamadan sonra iyonosfer serbest frekansı ile bilinen noktaya dayalı (zorlamasız) bir çözüm yapılarak elde edilen koordinatlar faz başlangıç belirsizliği parametrelerinin çözümünde kullanılmıştır. Faz başlangıç belirsizliği parametrelerinin çözümü için toplanan verilerin büyüklüğüne ve noktalar arasındaki baz uzunluğuna bağlı olarak QIF (Quasi Ionosphere Free) stratejisi uygulanmıştır /14/. Her noktada troposferik gecikme Saastamoinen modeli ile belirli zaman

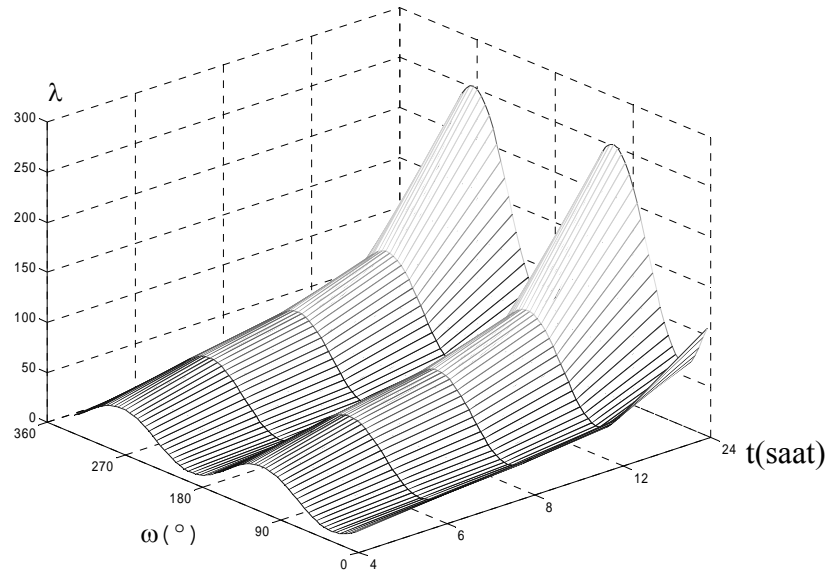
aralıklarında hesaplanan zenit gecikme parametresi belirlenerek yok edilmiştir /20/. SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) tarafından hesaplanan IGS noktalarından ISTA noktasının ITRF1997.0 epokundaki ITRF 2000 koordinatları üzerine sıkı koşul konarak (datum tanımı) ve önsel varyans $\sigma_0^2=1 \text{ mm}^2$ alınarak ağırlık katsayıları matrisi elde edilmiştir. Zorlamasız klasik dengeleme sonucunda elde edilen her bir veri grubuna ilişkin ağırlık katsayıları matrisleri ($\mathbf{Q}_{x,z}(t)$) S-dönüşümü yardımıyla,

$$\mathbf{Q}_x(t) = \mathbf{S} \mathbf{Q}_{x,z}(t) \mathbf{S}^T, \quad (t = 4, 6, 8, 12, 24 \text{ saat})$$

biçiminde tüm iz minimum yöntemine göre serbest dengeleme sonuçlarına dönüştürülmüştür /9/.

154 ve 157. günler için 5 farklı gözlem süresine göre belirlenen ağırlık katsayıları matrisleri kullanılarak, aşağıda açıklanan 7 farklı durum için dışmerkezlilik parametrelerinde oluşan değişimler incelenmiştir.

a. Bir t gözlem süresi için karşılaştırılan her iki periyodun ağırlık katsayıları matrislerinin 154. güne ilişkin ağırlık katsayıları matrisine ($\mathbf{Q}_{x,154}(t)$) eşit olduğu varsayılarak değişim vektörünün ağırlık katsayıları matrisi; $\mathbf{Q}_d(t) = 2\mathbf{Q}_{x,154}(t)$ belirlenmiştir. Yalnız ISTA noktasının x ve y bileşenleri için değişim öngörülerek beklenen değişim vektörü; $\Delta = [\Delta x \ \Delta y \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ biçiminde oluşturulmuştur. Δx ve Δy elemanları, $\Delta = 2 \text{ mm}$ kabul edilerek $\Delta x = \Delta \cos \omega$ ve $\Delta y = \Delta \sin \omega$ şeklinde hesaplanmıştır. Buradaki ω açısal dönme açısı için alınan $0, 1, 2, \dots, 360^\circ$ değerleriyle her bir gözlem süresine karşılık dışmerkezlilik parametreleri hesaplanmış ve Şekil-1'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, ISTA noktasına ilişkin her bir örnek için dışmerkezlilik parametresinin gözlem süresine bağlı olarak düzenli bir biçimde arttığı görülmektedir.



Şekil-1: a' ncı durum için gözlem sürelerine ($t = 4, 6, 8, 12, 24$ saat) bağlı dışmerkezlilik parametreleri (λ).

b. Her iki periyot için 157. güne ilişkin ağırlık katsayıları matrisiyle ($Q_{x_1}(t) = Q_{x_{II}}(t) = Q_{x,157}(t)$) birinci durum için yukarıda açıklanan işlemler gerçekleştirilmiş ve yalnızca ortalama %5 oranında farklı sonuçlar elde edilmiştir.

c. Birinci periyot için 154. güne, ikinci periyot için ise 157. güne ilişkin ağırlık katsayıları matrisleri kullanılmıştır ($Q_{x_1}(t) = Q_{x,154}(t)$, $Q_{x_{II}}(t) = Q_{x,157}(t)$). a. durumu için öngörülen değişim vektörüne göre hesaplanan dışmerkezlilik parametrelerinin ortalama %2 oranında değiştiği görülmüştür.

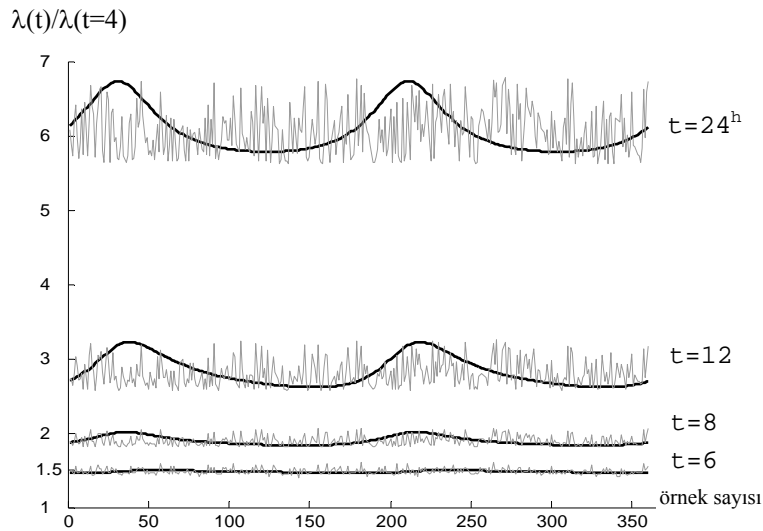
ç. $Q_{x_1}(t) = Q_{x_{II}}(t) = Q_{x,154}(t)$ olmak üzere ISTA noktası için aynı Δx ve Δy 'ler ile birlikte $\Delta z = 1$ mm değeri kullanılmıştır.

d. $Q_{x_1}(t) = Q_{x,154}(t)$, $Q_{x_{II}}(t) = Q_{x,157}(t)$ olmak üzere ISTA noktası için $\Delta = 10$ mm, TUBI noktası için $\Delta = 5$ mm öngörülmüş, her bir nokta için açıl dönme açısı $0-360^\circ$ aralığında rasgele seçilerek konum değişimleri belirlenmiştir.

e. $Q_{x_1}(t) = Q_{x,154}(t)$, $Q_{x_{II}}(t) = Q_{x,157}(t)$ olmak üzere ISTA ve TUBI noktaları için, ω 'lar $0-360^\circ$ ve Δ 'lar $1-50$ mm aralığında rasgele seçilerek değişim vektörleri oluşturulmuştur.

f. Bir önceki durumda ISTA ve TUBI noktaları için Δz bileşenleri eklenmiş; Δz 'ler, her iki nokta için $1-20$ mm aralığında rasgele seçilmiştir.

Yukarıda açıklanan durumlar için öngörülen konum değişim modelleri farklı olmasına karşın, a durumunda olduğu gibi, gözlem süresi arttıkça dışmerkezlilik parametrelerinde de oldukça düzenli bir artış gözlenmektedir. Her bir gözlem süresi için elde edilen dışmerkezlilik parametrelerinin karşılıklı oranları, ilgili gözlem sürelerinin oranlarına yakınsamaktadır. a ve d' inci durumlara ilişkin $t=6, 8, 12$ ve 24 saatlik gözlem süreleri için elde edilen dışmerkezlilik parametrelerinin ($\lambda(6), \lambda(8), \lambda(12)$ ve $\lambda(24)$), 4 saatlik gözlem süresine karşılık dışmerkezlilik parametrelerine oranları ($\lambda(t)/\lambda(4)$) Şekil-2'de gösterilmiştir.



Şekil-2: a ve d durumlarına ilişkin $t=6, 8, 12$ ve 24 saat gözlem süreleri için ($\lambda(t)/\lambda(4)$) oranları (Siyah eğriler a ve gri düzensiz eğriler d durumunu gösterir.)

Öteki her bir durum için elde edilen dışmerkezlik parametreleri de, kendi içinde, Şekil 2’de gösterilen özelliktedir. Başka bir deyişle, öngörülen bir konum değişim modeline karşılık dışmerkezlik parametresi gözlem süresiyle doğru orantılı olarak değişmektedir. Her bir durumda elde edilen $(\lambda(t)/\lambda(4))$ oranlarının ortalama değerleri Tablo-2’de verilmiştir. Belirlenen ortalama değerlerin standart sapmalarının en büyüğü 0.04, en küçüğü ise 0.002’dir. Ortalama oranların, ilgili gözlem sürelerinin oranlarına ($t/4$) bağlı doğrusal bir model ile tanımlanabileceği açıkça görülmektedir:

$$\lambda(t)/\lambda(4) = a(t/4) \quad , \quad (t=6, 8, 12 \text{ ve } 24) \quad (10a)$$

Tablo-2: 7 farklı duruma ilişkin $t=6, 8, 12$ ve 24 saat gözlem süreleri için $(\lambda(t)/\lambda(4))$ oranlarının ortalama değerleri (Parantez içindeki değerler; $t/4$).

t (saat)	a	b	c	ç	d	e	f
6	1.48 (1.5)	1.48	1.48	1.48	1.49	1.49	1.48
8	1.89 (2)	1.89	1.89	1.90	1.90	1.90	1.91
12	2.70 (3)	2.97	2.83	2.71	2.81	2.81	2.82
24	5.85 (6)	6.34	6.08	5.89	6.06	6.03	6.09

(10a) modeli, Tablo-2’de verilen oranlar ve bunların standart sapmaları göz önüne alınarak yapılan kestirim sonunda, $\hat{a}=0.9866$ ve standart sapması $s_a = 0.01$ bulunmuştur. “1” değerine çok yakın olan bu parametrenin, “1” kabul edilip edilemeyeceği, $H_0 : E\{\hat{a}\} = 1$, $H_K : E\{\hat{a}\} \neq 1$ hipotezlerine göre test edilmiş; sıfır hipotezinin geçerli olduğu ve \hat{a} kestirim değerinin “1” kabul edilebileceği görülmüştür. Buna göre (10a) doğrusal modeli,

$$\lambda(t)/\lambda(4) = t/4 \quad (10b)$$

biçimine dönüşmektedir.

4. SONUÇLAR

Duyarlılık (precision), konum değişimlerinin test edilmesi için kurulan hipotezlere ilişkin dağılımların dışmerkezlik parametreleriyle ölçülür. Dışmerkezlik parametresi, deformasyon ağının deterministik ve stokastik yapısı ile birlikte beklenen deformasyonlara bağlı bir fonksiyon olduğundan; (a) deformasyonların istatistiksel testlerle kanıtlanabilirliği bakımından ağ optimizasyonunu, (b) kanıtlanabilen en küçük deformasyon sınır değerlerinin tanımlanmasını ve (c) deterministik ve stokastik yapının konum değişimlerine etkilerinin incelenmesini olanaklı kılar.

Gözlem süresiyle duyarlılık arasındaki ilişki, üç noktalı bir IGS ağında, 2000 yılının iki farklı gününe ilişkin $t=4, 6, 8, 12$ ve 24 saatlik GPS veri grupları ve çeşitli konum değişim modelleriyle araştırılmıştır. Veri grupları ve değişim modelleri için elde edilen sonuçlara göre, gözlem süresi arttıkça dışmerkezlik parametresinin de düzenli olarak arttığı ve gözlem süreleriyle dışmerkezlik parametreleri arasında oransal bir ilişki bulunduğu saptanmıştır. 4

saatlik gözlem süresi baz alındığında bu oranların $\lambda(t)/\lambda(4) = t/4$ ve genel olarak t_i ve t_j gözlem süreleri için $\lambda(t_i)/\lambda(t_j) = t_i/t_j$ olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sonuç olarak gözlem süresi, beklenen deformasyonlar için kanıtlanabilirlik ölçütü olan dışmerkezlik parametresiyle ilişkisi nedeniyle deformasyon ağı tasarımında göz önüne alınması gereken bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- /1/ Abramowitz M. ve I.A. : Handbook of Mathematical Functions, Dover, New York, 1968.
- /2/ Aydın C., N. Arslan, H. Demirel : Deformasyon Analizinde Duyarlılık, HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 90, ss.12-18, 2004a.
- /3/ Aydın C., N. Arslan, H. Demirel : Kanıtlanamayan Kaba Hataların Deformasyon Analizine Etkisi, Mühendislik Ölçmelerinde Jeodezik Ağlar, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK) 2004 Yılı Bilimsel Toplantısı, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi-Zonguldak, 14-16 Ekim., 2004b.
- /4/ Aydın C. ve H. Demirel : Computation of Baarda's Lower Bound of the Non-Centrality Parameter, Journal of Geodesy, 78 (7-8), 437-441, 2005.
- /5/ Aydın C., U. Doğan, H. Demirel, C. Gerstenecker, S. Ergintav : Gravite Ağlarında Kanıtlanabilen En Küçük Gravite Değişimi, Jeoid ve Düşey Datum, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK) 2005 Yılı Bilimsel Toplantısı, KTÜ-Trabzon, 22-24 Eylül, 2005.
- /6/ Baarda W. : A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks, Netherlands Geodetic Commission, Publications on Geodesy, 2/5, Delft, 1968.
- /7/ Chen Y.Q. ve A. Chrzanowski : An Approach to Separability of Deformation Models, ZfV 2:96-103, 1994.
- /8/ Cooper M.A.R. : Control Surveys in Civil Engineering, Collins, London, 1987.
- /9/ Demirel H. : Dengeleme Hesabı, 2. Baskı, YTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Lisans Ders Notları, İstanbul, 2005

- /10/ Eckl M.C., R. A. Snay, T. Soler, M.W. Cline, G. L. Mader : Accuracy of GPS-derived Relative Positions as a Function of Intersection Distance and Observing Session-Duration, *Journal of Geodesy*, 75, ss. 633-640, 2001.
- /11/ Even-Tzur G. : Sensitivity Design for Monitoring Deformation Networks, *Bolletino di Geodesia a Science Affini*, ANNO LVII, 4, ss. 314-324, 1999.
- /12/ Even-Tzur G. : GPS Vector Configuration Design For Monitoring deformation networks, *Journal of Geodesy*, 76, ss. 455-461, 2002.
- /13/ Heck B., H. Kutterer, K. Lindner, M. Mayer : Application of Spectral and Sensitivity analysis Including Systematic Effects for the Design and Analysis of GPS networks, *The Geodetic Antarctic Project GAP95 German Contributions to the SCAR 95 Epoch Campaign*, Compiled and Edited by Dietrich R, München, ss. 53-71, 1996.
- /14/ Hugentobler U., S. Schaer, P. Fridez : Initial Phase Ambiguities and Ambiguity Resolution, Chapter 15 of the *Bernese GPS Software Version 4.2*, Astronomical Institute, University of Berne, 2001.
- /15/ Koch K.R. : Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models, Springer-Verlag, Berlin, 1999.
- /16/ Kuang S. : Optimization and design of deformation monitoring schemes, Ph.D. dissertation, Department of Surveying Engineering Technical Report No. 157, University of New Brunswick, Canada, 1991.
- /17/ Kutterer H. : Quality Aspects of a GPS Reference Network in Antarctica a Simulation Study, *Journal of Geodesy*, 72, ss. 51-63, 1998.
- /18/ Niemeier W. : Principal component analysis and geodetic networks-some basic considerations. *FIG Proceedings, Survey Control Networks*, Meeting of Study Group 5B, München, 7-9 July, ss. 275-291, 1982.
- /19/ Niemeier W. : Anlage von Überwachungsnetzen, *Geodaetische Netze in Landes-und Ingenieurvermessung II*, H. Pelzer (Hrsg.), Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart, ss. 527-558, 1985.

- /20/ Saastamoinen J. : Contributions to the Theory of Atmospheric refraction/Introduction to Practical Computation of Astronomical Refraction, Bulletin Geodesique, 47 (2), ss. 105-107, 1973.
- /21/ Welsch W., O. Heunecke, H. Kuhlmann : Auswertung tischer Überwachungs-messungen, Handbuch Ingenieurgeodäsie, M Möser, G Müller, H Schlemmer, H Werner (Hrsg.), Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 2000.
- /22/ Wu J.C. ve Y. Q. Chen : Improvement of the Separability of Survey Scheme for Monitoring Crustal Deformations in the area of an active fault, Journal of Geodesy, 76, ss. 77-81, 2002.
- /23/ Wu J. , C. Tang, Y. Q. Chen : First Order Optimization for GPS Crustal Deformation Monitoring Networks, Proceedings of the 7th South East Asian Surveying Congress, Hong Kong, China, 3-7 November, 2003.