

## Jeodezik Ağlarda Orijinal Ölçüler İçin Klasik Uyuşumsuz Ölçü Yöntemlerinin Güvenilirliğinin Araştırılması

(Investigation on The Reliability for the Tests for Outliers for Original Observations in Geodetic Networks)

Bahattin ERDOĞAN<sup>1</sup>, Şerif HEKİMOĞLU<sup>1</sup>, Utkan Mustafa DURDAĞ<sup>1</sup>, Taylan ÖCALAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa Kampüsü, Esenler, İstanbul  
berdogan@yildiz.edu.tr

### ÖZ

Jeodezik ağlarda ölçü kümesi içerisindeki kaba hatalar, kestirilen parametreler ve bunlara ait standart sapmalar açısından bozucu etkiye sahiptirler. Bu etkileri azaltmak ya da elimine etmek amacıyla genellikle Baarda ve Pope test yöntemleri (klasik uyuşumsuz ölçü yakalama yöntemleri) kullanılmaktadır. Jeodezik ağlarda ölçüler (uzunluk, doğrultu, yükseklik farkı vb.) genellikle tekrarlı olarak yapılır. Ağ dengelemesinde veya uyuşumsuz ölçü analizinde bu tekrarlı ölçülerin ortalama değeri kullanılır. Eğer, bu tekrarlı ölçülerden bir tanesi kaba hatalı ise analizlerde ortalama değer kullanıldığı için kaba hatalı ölçünün etkisi düşer. Bu durum ise uyuşumsuz ölçü yakalama yöntemlerinin güvenilirliğini azaltır. Ayrıca, tekrarlı ölçülerin ikişerli farkları alınarak tek değişkenli örneklem oluşturulabilir. Tek değişkenli modeller, çok değişkenli modellere göre daha basittir. Tekrarlı ölçüler tek değişkenli model içerisinde analiz edilebilirse, Baarda ve Pope test yöntemleri kullanılarak daha güvenilir sonuçlara ulaşılabilir. Bunun yanında bağımsız tekrarlı ölçüler dengeleme modelinde, ortalama değer kullanmak yerine doğrudan dikkate alınabilirler.

Bu çalışmada, Baarda ve Pope testleri için en güvenilir yöntemi belirlemek amacıyla tekrarlı jeodezik ölçülerde klasik yaklaşım, tek değişkenli yaklaşım ve orijinal yaklaşım yöntemleri dikkate alınmıştır. Tek değişkenli ve orijinal yaklaşım yöntemlerinin güvenilirlikleri ortalama başarı oranı kavramı ile belirlenmiş ve klasik yaklaşım yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Yükseklik ağı yapay olarak üretilmiş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre orijinal yaklaşım diğer yöntemlere göre daha güvenilir sonuçlar vermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Baarda ve Pope Testleri, Tek Değişkenli Model, Orijinal Ölçüler, Güvenilirlik

### ABSTRACT

The outliers in the observation have spoiling effect on the estimated parameters and standard deviation. To eliminate or reduce this bad effect, Baarda's and Pope's tests (Tests for Outliers) are used for outlier detection in geodetic networks. Generally, the quantities (distance, direction etc.) in geodetic networks are measured repetitively and the mean values are used for network adjustment or outlier detection. If one of the independent repetitive measurements has outlier, the effect of outlier decreases depending on the computing mean value. In this case, the reliability of the outlier detection method decreases. Also, a univariate sample

can be formed by taking differences two by two of these repetitive measurements. Thus, the univariate case is simpler than multivariate case. If the repetitive observations are analysed as univariate model, more efficient results can be obtained for Baarda's and Pope's tests. Moreover, independent repetitive observations can may be considered in the adjustment model instead of the estimating mean value of them.

In this study, to find the most reliable approach for Baarda's and Pope's tests, the classical approach, the univariate approach and original approach are proposed for repetitive geodetic observations. The reliabilities of the univariate and original approaches are measured based on the mean success rate and compared with classical method. The leveling network was simulated and analyses were performed. The results of the methods show that original approach are more reliable than the others.

**Keywords:** Tests for Outliers (Baarda's and Pope's Tests), Univariate Model, Original Observations, Reliability

### 1. GİRİŞ

Jeodezik ağlarda her bir büyüklük (uzunluk, doğrultu, yükseklik farkı vb.) genellikle tekrarlı olarak ölçülür. Bu ölçüler rasgele değişkenler olarak adlandırılır. Daha sonra bu ölçülerin ortalaması jeodezik ağlarda bilinmeyen parametrelerin En Küçük Kareler (EKK) kestiriminde kullanılır. EKK ölçülerdeki rasgele hatalar normal dağılımlı olduğunda ve ölçü kümesinde herhangi bir kaba hatalı ölçü bulunmadığında en optimal sonuçları veren kestiricidir (Koch, 1999; Teunissen, 2000). Baarda ve Pope test yöntemleri EKK kestirimini kullanmaktadır. EKK modelden sapmalara (kaba hatalı ölçüler) karşı çok duyarlıdır (Hampel vd., 1986). Sadece kaba hatalı ölçüye ait düzeltmeleri değil, diğer iyi ölçülere ait düzeltmeleri de bozar (Hekimoglu vd., 2011; Hekimoglu ve Erdogan, 2012).

Baarda ve Pope testleri veya Robust yöntemler genellikle tekrarlı ölçülerden elde edilen ortalama değerlere uygulanırlar (Baarda, 1968; Pope, 1976; Koch, 1999; Hekimoglu ve Koch, 1999; Hekimoglu, 2000; Gui vd., 2007; Xu, 2005; Basalga, 2007 ve 2011; Lehmann 2012, 2013a ve

2013b; Koch ve Kargoll 2013). Buna karşın, kaba hatalı ölçüler esas olarak orijinal ölçülerde bulunmaktadır. Tekrarlı ölçüler kaba hata içerdiğinde, ortalama değerleri de etkilenecektir. Örneğin, yükseklik farkı ölçümlerinde gidiş ölçüsü  $h_{gi}$  ve dönüş ölçüsü  $h_{di}$  birbirlerinden bağımsız ölçülerdir. Ölçümlerde sadece gidiş ölçüsü, sadece dönüş ölçüsü veya her iki ölçünün de kaba hata içermesi olası durumlardır. Eğer gidiş ölçüsü veya dönüş ölçüsü kirletilirse, analizlerde kullanılacak ölçüye sadece kaba hatanın ( $dh$ ) yarısı yansır ( $(h_{gi} + h_{di})/2 + dh/2$ ). Kaba hatanın büyüklüğü ( $dh$ ), ( $dh/2$ ) olarak değişerek küçüldüğü için uyumsuz ölçü analizi ile yakalanması zorlaşmaktadır. Hekimoğlu ve Koch (1999) ve Hekimoğlu vd. (2014) çalışmalarında elde edilen sonuçlara göre:

- Kaba hatanın büyüklüğü çok önemli bir faktördür. Büyük genlikli kaba hatalarda, kullanılan yöntemlerin güvenilirliği de yüksektir.

- Jeodezik ağı tasarımı (geometrisi) da uyumsuz ölçü analizinde önemli bir etkidir. Bu etki redundans matrisinde ortaya çıkar. Ağda serbestlik derecesi düştüğünde, uyumsuz ölçü yakalama yöntemlerinin etkinliği azalmaktadır.

- Jeodezik ağlarda her büyüklük en az iki kere ölçülür ve bu değerlerin ortalaması analizlerde kullanılır. Bu nedenle uyumsuz ölçü yakalama yöntemlerinin güvenilirliği azalır.

Uyumsuz ölçü yakalama yöntemleri bazı durumlarda yukarıda sıralanan nedenlerden dolayı başarısız sonuçlar verirler.

Yukarıda bahsedilen ikinci ve üçüncü problemi çözmek amacıyla Hekimoğlu vd. (2014) ağ tasarımı etkisini yok edecek şekilde tek değişkenli yaklaşımı önermiştir. Ayrıca, üçüncü problemin çözümü için Erdoğan (2014) orijinal ölçülerin analizlerde kullanılması gerektiğini ortaya koymuştur.

Bu çalışmada, jeodezik ağlarda Baarda ve Pope testleri için klasik yaklaşım, tek değişkenli yaklaşım ve orijinal yaklaşım modellerinin hangisinin daha güvenilir olduğu sorusu cevaplanmaya çalışılmıştır. Gidiş ve dönüş ölçülerini içeren bir yükseklik ağı yapay olarak oluşturulmuştur. Farklı genliklerde kaba hatalar üretilmiş ve iyi ölçülere eklenmiştir. Üç farklı yaklaşım bu kirletilmiş ölçülere uygulanmıştır. Yöntemlerin etkinliğini ölçmek için ortalama başarı oranı (OBO) kavramı kullanılmıştır (Hekimoğlu ve Koch, 1999; 2000). OBO Monte-Carlo simülasyon yönteminde başarılı örneklem sayılarının tüm

örneklem sayısına bölünmesi şeklinde hesaplanmaktadır.

## 2. JEODEZİK AĞLARDA DOĞRUSAL MODEL

Gauss-Markoff doğrusal modeli içerisinde, jeodezik ağlarda bilinmeyenlerin kestirilen değerleri ve sonsal varyans değeri aşağıdaki gibi verilir:

$$l + v = A\hat{x}, C_{ll} = \sigma^2 P^{-1} \quad (1)$$

$$\hat{x} = (A^T P A)^+ A^T P l \quad (2)$$

$$Q_{xx} = (A^T P A)^+ \quad (3)$$

$$Q_{vv} = P^{-1} - A Q_{xx} A^T \quad (4)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{v^T P v}{f} \quad (5)$$

Burada  $l$  ölçü vektörünü ( $n \times 1$  boyutunda),  $\hat{x}$  bilinmeyen parametreler vektörünü ( $u \times 1$  boyutunda),  $A$  katsayılar matrisini ( $n \times u$  boyutunda),  $v$  düzeltmeler vektörünü,  $P$  köşegen olarak ağırlık matrisini ( $n \times n$  boyutunda),  $\sigma^2$  birim ağırlıklı önsel varyans değerini,  $\hat{\sigma}^2$  birim ağırlıklı sonsal varyans değerini,  $C_{ll}$  ölçülerin kovaryans matrisini,  $Q_{xx}$  bilinmeyen parametrelerin kofaktör matrisini,  $Q_{vv}$  düzeltmelerin kofaktör matrisini,  $n$  ölçü sayısını,  $u$  bilinmeyen parametrelerin sayısını ve  $f$  serbestlik derecesini ifade etmektedir.

## 3. TEK DEĞİŞKENLİ DURUMLAR İÇİN DOĞRUSAL MODEL

Tek değişkenli durumlar için Gauss-Markoff doğrusal modelinin formülleri aşağıdaki şekilde verilmektedir ( $P=E$ ):

$$l + v = A\hat{x} \quad (6)$$

$$\hat{x} = (A^T A)^{-1} A^T l \quad (7)$$

$$Q_{xx} = (A^T A)^{-1} \quad (8)$$

$$Q_{vv} = E - A Q_{xx} A^T \quad (9)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{v^T v}{f} \quad (10)$$

Burada,  $A$  katsayılar matrisini ( $A = [1 \ 1 \ 1 \dots \ 1 \ 1 \ 1]^T$ ),  $E$  köşegen birim matrisi,  $\hat{x}$   $1 \times 1$  boyutundaki bilinmeyen parametreyi ifade etmektedir. Önsel birim ağırlıklı varyans  $2\sigma^2$  dir.

#### 4. BAARDA ve POPE TESTLERİ

Jeodezide kullanılan uyuşumsuz ölçü yakalama yöntemleri içerisinde Baarda (1968) ve Pope (1976)'nin önemli bir yeri vardır.

Uyuşumsuz ölçü kaba ölçü olarak adlandırılır ve beklenen değeri  $3\sigma'$  dan büyüktür. Eğer  $l_i$  ölçüsü kaba hatalı ölçü ise,  $H_0$  hipotezi ve alternatif hipotez

$$H_0: \delta l_i = 0 \quad (H_1: \delta l_i \neq 0) \quad (11)$$

şeklinde oluşturulur. Birim ağırlıklı önsel varyans biliniyorsa, bu durumda test büyüklüğü;

$$w_i = \frac{|v_i|}{\sigma \sqrt{q_{vvi}}} = \frac{|v_i|}{\sigma_{vi}} \quad (12)$$

olarak hesaplanır. Burada,  $q_{vvi}$   $\mathbf{Q}_{vv}$  matrisinin  $i$ . köşegen elemanını,  $\sigma_{vi}$   $i$ . ölçünün standart sapmasını ifade etmektedir.  $w_i > z_{1-\alpha/2}$  olması durumunda  $i$ . ölçü uyuşumsuz ölçü olarak kabul edilir. Baarda testi için  $\alpha$  değeri 0.001 seçilir (Baarda 1968).

Birim ağırlıklı önsel varyansın bilinmediği durumlarda, test büyüklüğü için birim ağırlıklı sonsal varyans kullanılır ve Pope testi adını alır (Pope 1976). Test büyüklüğü

$$\tau_i = \frac{|v_i|}{\hat{\sigma}_o \sqrt{q_{vvi}}} = \frac{|v_i|}{\hat{\sigma}_{vi}} \quad (13)$$

şeklinde.  $\alpha$  anlamlılık düzeyi tüm ölçüleri içerir. Her bir ölçü için anlamlılık düzeyi  $\alpha/n$  olarak hesaplanır. Pope testinde  $\alpha$  genellikle 0.05 seçilir (Koch 1999). Baarda ve Pope testleri iteratif yöntemlerdir. Her bir iterasyonda en büyük test büyüklüğüne sahip yalnızca bir ölçü test edilir. İlgili ölçünün test büyüklüğü sınır değeri geçerse, ölçü kümesinden çıkarılır ve dengeleme tekrarlanır. Bu işlem adımları ölçüler arasında kaba hatalı ölçü kalmayana kadar tekrarlanır (Schwarz ve Kok 1993).

#### 5. SİMÜLASYON

Jeodezik ağlar kurulduktan sonra uzunluk, doğrultu ya da yükseklik farkı vb. büyüklükler en az iki defa tekrarlı olarak ölçülür. Yükseklik ağlarında yükseklik farkları gidiş  $h_{gi}$  ve dönüş  $h_{di}$  olmak üzere iki defa ölçülür. Analizler sırasında bu ölçülerin ortalaması kullanılır. Bu nedenle gidiş ya da dönüş ölçüsündeki kaba hatanın etkisi azalır veya bazı durumlarda gizlenir. Ayrıca, EKK kestirimi bir ölçüdeki kaba hatanın etkisini tüm

ölçülere yayar. Eğer bu yayma etkisi elemine edilebilirse daha güvenilir sonuçlar elde edilebilir. Bu iyileştirme, analizlerde ölçülerin ortalamalarını kullanmak yerine orijinal değerlerini kullanarak sağlanabilir.

Eğer Baarda ve Pope testleri için tekrarlı ölçülerin ortalamaları kullanılırsa bu yöntem klasik yaklaşım olarak adlandırılacaktır. Bunun yanında tekrarlı ölçülerin farkları alınarak analiz gerçekleştirilirse bu yaklaşım tek değişkenli yaklaşım olarak ifade edilecektir. Eğer tüm ölçüler dengeleme modelinde yer alırsa bu yaklaşım orijinal ölçüler yaklaşımı olarak adlandırılacaktır.

Tek değişkenli yaklaşım jeodezik ağlardaki geometri etkisini de elemine eder. Bu yaklaşımda kullanılacak ölçüleri elde etmek için tekrarlı ölçülerin farkları alınır (Hekimoglu vd. 2014):

$$d_i = h_{gi} - h_{di} \quad , i=1, 2, \dots, n \quad (14)$$

Burada elde edilen fark değerlerinin  $N(\mu, 2\sigma^2)$  olduğu kabul edilir.

Üç yaklaşımı uygulamak için Şekil 1'de verilen yükseklik ağı yapay olarak oluşturulmuştur. Yükseklik ağı altı noktadan oluşmaktadır. Kesin yükseklikleri sırasıyla  $H_1=100.000$  m,  $H_2=103.688$  m,  $H_3=102.976$  m,  $H_4=101.646$  m,  $H_5=103.445$  m ve  $H_6=103.084$  m olarak verilmektedir. Ölçüler oluşturulurken hassasiyeti  $S$  km türünden nivelman yol uzunluğu olmak üzere,  $\sigma_h = \sigma_0 \sqrt{S}$  ( $\sigma_0 = 1 \text{ mm}/\sqrt{1 \text{ km}}$ ) olarak belirlenmiştir. Şekil 1'deki ağda nivelman yol uzunlukları 1 km ile 1.4 km arasında değişmektedir. Rasgele hata içermeyen hatasız yükseklik farkları ( $h_{doi}$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ ) kesin nokta yüksekliklerinden hesaplanmıştır. Hatasız yükseklik farklarından gidiş ve dönüş ölçülerini elde etmek için normal dağılımlı rasgele hatalar ( $e_{gi}$  ve  $e_{di}$ ) üretilmiştir. Şekil 1'deki ağa ilişkin ölçüler aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur:

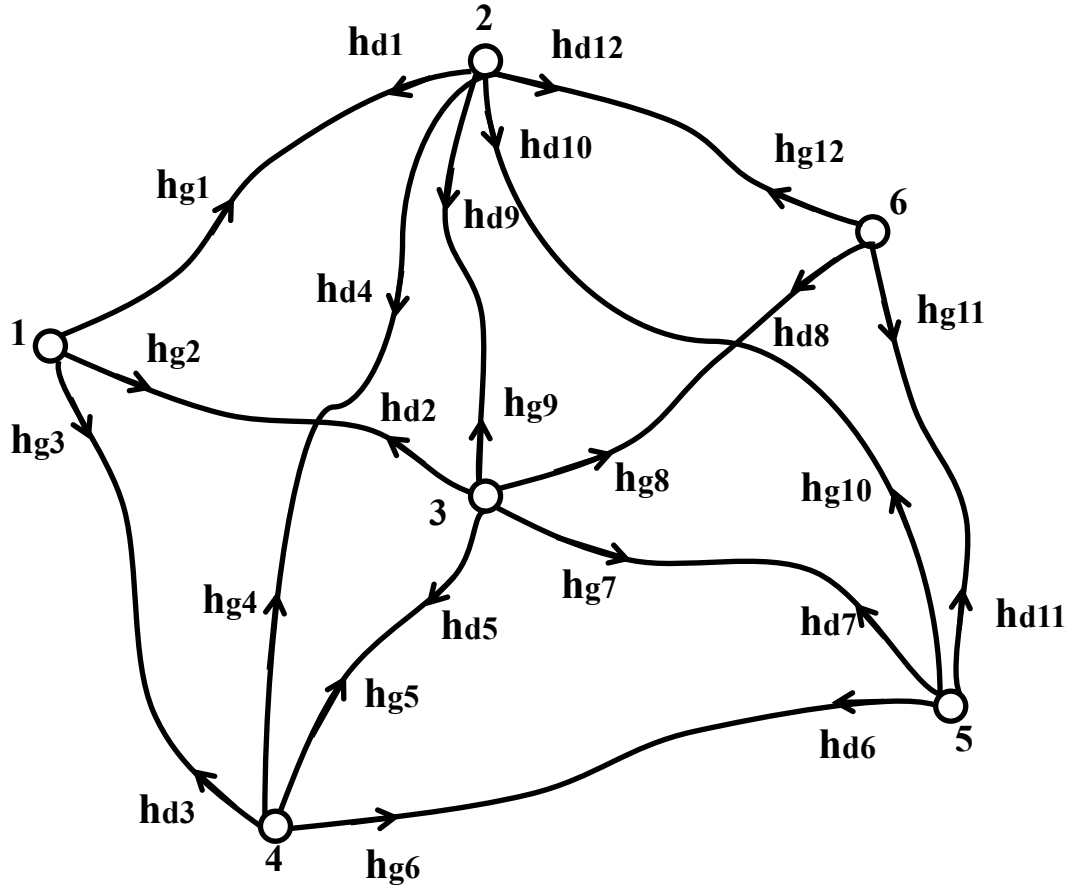
$$h_{gi} = h_{doi} + e_{gi}, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (15a)$$

$$h_{di} = h_{doi} + e_{di}, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (15b)$$

$$h_i = (h_{gi} + h_{di})/2 \quad (15c)$$

Kaba hata içeren yükseklik farkını  $\bar{h}_i$  elde etmek için rasgele hata  $e_{gi}$  veya  $e_{di}$ , kaba hata  $dh_i$  ile yer değiştirmiştir:

$$\bar{h}_i = h_{doi} + dh_i, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (16)$$



Şekil 1. Simüle edilen yükseklik ağı

Baarda ve Pope testlerinin başarıları rasgele hatanın değişimine göre örnek kümeler arasında farklılık gösterirler (Hekimoğlu ve Koch, 1999 ve 2000). Bu nedenle yöntemlerin başarısını ortaya koymak gerektiğinde tek bir örnek küme yeterli olmamaktadır. Ayrıca, kaba hatanın hangi ölçüde olduğu, kaba hatanın genliği ve işareti de yöntemlerin sonuçlarına etki etmektedir.

#### a. Baarda ve Pope Testleri için Klasik Yaklaşımın Uygulanması

Gidiş ve dönüş yükseklik farkları için Şekil 1' deki yükseklik ağı yukarıda açıklandığı şekilde oluşturulmuştur. Kaba hata sadece ya gidiş ölçüsüne ya da dönüş ölçüsüne eklenmiştir. 100 farklı rasgele hata vektörü oluşturulmuş, böylelikle 100 adet iyi yani kaba hata içermeyen ölçü kümesi elde edilmiştir. Daha sonra, her bir iyi ölçü kümesi için 100 farklı kirletilmiş ölçü üretilmiş ve bu şekilde 10000 farklı kirletilmiş örneklem yapay olarak oluşturulmuştur.

Baarda ve Pope test yöntemleri gidiş ve dönüş ölçülerinden elde edilen ortalama yükseklik farklarına uygulanmıştır. Yöntemlerin etkinliğini ölçmek amacıyla OBO kavramı kullanılmıştır.

Baarda ve Pope testleri için  $\alpha$  değeri sırasıyla 0.001 ve 0.05 olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 1 ve 2' de gösterilmektedir. Kaba hatalı ölçünün genliği düşük olduğunda yöntemlerin OBO değerleri düşmektedir. Bazı durumlarda "ağda kaba hatalı ölçü yoktur" şeklinde oluşturulan  $H_0$  hipotezi doğru olduğu halde reddedilmektedir. Tablolardaki ikinci satırdaki değerler  $H_0$  hipotezi doğru olduğunda yöntemin başarılı olduğu durumları ifade etmektedir. Tablo 1 incelendiğinde bu değer %100'dür. Bu durum I. tür hatanın %0 olduğu anlamına gelmektedir. Tablo 2'de bu değer %2'dir. Bu değer ölçü kümesinde kaba hatalı ölçü bulunmadığı durumda, yöntemin %2 oranında iyi ölçüyü kaba hatalı olarak belirlediği anlamına gelmektedir.

Tablo 1.  $3\sigma - 6\sigma$  ve  $6\sigma - 10\sigma$  Genlikli Kaba Hatalar için Baarda Test Yönteminin OBO Değerleri ve Standart Sapmaları

Kaba Hatalı Ölçü Sayısı	$3\sigma - 6\sigma$	$6\sigma - 10\sigma$
	OBO (%)	OBO (%)
0	100	
1	$1.2 \pm 2.4$	$39.4 \pm 9.8$
2	0	$8.1 \pm 4.7$

Tablo 2.  $3\sigma - 6\sigma$  ve  $6\sigma - 10\sigma$  Genlikli Kaba Hatalar için Pope Test Yönteminin OBO Değerleri ve Standart Sapmaları

Kaba Hatalı Ölçü Sayısı	$3\sigma - 6\sigma$	$6\sigma - 10\sigma$
	OBO (%)	OBO (%)
0	98	
1	$12.9 \pm 19.6$	$49.0 \pm 31.8$
2	$0.2 \pm 0.7$	$0.9 \pm 1.8$

Bazı durumlarda aynı yükseklik farkının hem gidiş ölçüsü hem de dönüş ölçüsü ters işaretli kaba hata içerebilir. Bu durum klasik yaklaşım için en kötü durumdur.

#### b. Baarda ve Pope Testleri için Tek Değişkenli Yaklaşımın Uygulanması

Bu yaklaşımda gidiş ve dönüş ölçülerinin farkları alınarak beklenen değeri "0" olan bağımsız ölçüler elde edilmiştir. (14) numaralı denklem ile elde edilen bu fark değerleri dengeleme modelinde ölçü olarak kullanılmıştır. Bu şekilde oluşturulan modelde ağıdaki tasarım etkisi giderilmektedir. Analizlerde bölüm 5.a'daki aynı ölçüler kullanılmıştır.

Baarda ve Pope test yöntemleri için OBO ve standart sapmaları Tablo 3 ve 4' de verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde tek değişkenli yaklaşımın klasik yaklaşımdan daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Baarda ve Pope test yöntemleri küçük genlikli tek kaba hatada yakın sonuçlara sahip olmalarına karşın; kaba hatalı ölçü sayısı arttıkça Pope test yönteminin başarısı düşmektedir. Baselga (2007) çalışmasında Pope test yönteminin sadece bir kaba hatalı ölçüyü güvenilir olarak ortaya çıkarabileceğini ispatlamıştır. Eğer aynı yükseklik farkına ait gidiş ve dönüş ölçüsü aynı işaretli kaba hatalı ölçülere sahiplerse, bu durum tek değişkenli durum için en kötü durumdur.

Tablo 3.  $3\sigma - 6\sigma$  ve  $6\sigma - 10\sigma$  Genlikli Kaba Hatalar için Baarda Yönteminin Tek Değişkenli Yaklaşımında OBO Değerleri ve Standart Sapmaları

Kaba Hatalı Ölçü Sayısı	$3\sigma - 6\sigma$	$6\sigma - 10\sigma$
	OBO (%)	OBO (%)
0	100	
1	$18.4 \pm 7.8$	$95.2 \pm 4.2$
2	$2.9 \pm 2.7$	$89.6 \pm 7.9$

Tablo 4.  $3\sigma - 6\sigma$  ve  $6\sigma - 10\sigma$  Genlikli Kaba Hatalar için Pope Yönteminin Tek Değişkenli Yaklaşımında OBO Değerleri ve Standart Sapmaları

Kaba Hatalı Ölçü Sayısı	$3\sigma - 6\sigma$	$6\sigma - 10\sigma$
	OBO (%)	OBO (%)
0	96	
1	$21.6 \pm 23.4$	$84.7 \pm 17.5$
2	$0.2 \pm 0.8$	$0.3 \pm 0.8$

#### c. Baarda ve Pope Testleri için Orijinal Yaklaşımın Uygulanması

Yükseklik farklarına ilişkin gidiş ve dönüş ölçüleri bağımsız ölçülerdir. Her iki ölçü de dengeleme modelinde dikkate alınabilir. Tüm bağımsız ölçüler dengeleme modeli içerisinde dikkate alındığında ortalama işleminin yayma etkisi giderilmiş olur. Analizlerde kullanılan tüm ölçü değerleri önceki yaklaşımlarla aynıdır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5 ve 6' da verilmektedir.

Orijinal yaklaşımdan elde edilen sonuçlar diğer iki yaklaşıma göre daha güvenilirdir. Sonuçlarda orijinal ölçüler dikkate alındığında modelde serbestlik derecesi artmakta ve ölçülerin denetlenebilirliği yükselmektedir. Bu durum uyumsuz ölçü yakalama yöntemleri açısından çok önemlidir.

Tablo 5.  $3\sigma - 6\sigma$  ve  $6\sigma - 10\sigma$  Genlikli Kaba Hatalar için Baarda Yönteminin Orijinal Yaklaşımında OBO Değerleri ve Standart Sapmaları

Kaba Hatalı Ölçü Sayısı	$3\sigma - 6\sigma$	$6\sigma - 10\sigma$
	OBO (%)	OBO (%)
0	98	
1	$79.9 \pm 13.6$	$97.7 \pm 13.9$
2	$63.0 \pm 13.5$	$97.7 \pm 13.3$



Tablo 6.  $3\sigma - 6\sigma$  ve  $6\sigma - 10\sigma$  Genlikli Kaba Hatalar için Pope Yönteminin Orijinal Yaklaşımında OBO Değerleri ve Standart Sapmaları

Kaba Hatalı Ölçü Sayısı	$3\sigma - 6\sigma$	$6\sigma - 10\sigma$
	OBO (%)	OBO (%)
0	97	
1	68.4 ± 22.6	95.4 ± 18.7
2	27.9 ± 23.1	85.2 ± 16.3

## 6. SONUÇLAR

Jeodezik ağlarda büyüklükler birden çok kez tekrarlı olarak ölçülür ve analizlerde bu ölçülerin ortalama değerleri kullanılır. Tekrarlı ölçülerden en az bir tanesi kaba hata içerdiğinde ortalama işlemi bu kaba hatayı yayar ve etkisini azaltır. Bu nedenle, uyuşumsuz ölçü analizi yöntemleri ortalama değerlere değil, orijinal ölçülere dayandırılmalıdır.

Bu çalışmadaki ana düşünce, orijinal yaklaşım, tek değişkenli yaklaşım ve klasik yaklaşım modellerinin Baarda ve Pope testi için güvenilirliklerini ortaya koymaktır. Tek değişkenli yaklaşım ve orijinal yaklaşım ortalama işlemini kullanmadan ölçülerin ilk halini kullanırlar. Tablolardaki sonuçlar incelendiğinde orijinal yaklaşımın diğer iki yaklaşıma göre daha güvenilir sonuçlar verdiği görülmektedir. Baarda ve Pope test yöntemleri için orijinal yaklaşım tercih edilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Baarda W., (1968), **A testing procedure for use in geodetic Networks**, Netherlands Geodetic Com., Publications on Geodesy, 2/5, Delft, Netherlands.
- Baselga S., (2007), **Critical limitation in use of  $T$  test for gross error detection**, Journal of Surveying Engineering, 133 (2), 52–55.
- Baselga S., (2011), **Non Existence of Rigorous Tests for Multiple Outlier Detection in Least Squares Adjustment**, Journal of Surveying Engineering, 137 (3), 109-112.
- Erdogan B, (2014), **An Outlier Detection Method in Geodetic Networks Based on the Original Observations**, Boletim de Ciencias Geodesicas, 20 (3), 578-589.

Gui Q., Gong Y., Li G., Li B., (2007), **A Bayesian approach to the detection of gross errors based on posterior probability**, Journal of Geodesy 81, 651-659.

Hampel F., Ronchetti E., Rousseeuw P., Stahel W., (1986), **Robust statistics: the approach based on influence functions**, Wiley, New York.

Hekimoglu S., Koch K. R., (1999), **How can reliability of the robust methods be measured?**, Third Turkish-German Joint Geodetic Days, Vol. 1, M. O. Altan and L. Gründige, eds., Istanbul Technical Univ., Istanbul, Turkey, 179–196.

Hekimoglu S., Koch K. R., (2000), **How can reliability of the test for outliers be measured?**, Allg. Vermes. Nachr., 107 (7), 247-254.

Hekimoglu S., Erdogan B., Erenoglu R. C., Hosbas R. G., (2011), **Increasing the Efficacy of the Tests for Outliers for Geodetic Networks**, Acta.Geod. Geophys. Hung., 46 (3), 291-308.

Hekimoglu S., Erdogan B., (2012), **New Median Approach to Define Configuration Weakness of Deformation Networks**, Journal of Surveying Engineering, 138 (3), 101-108.

Hekimoglu S., Erdogan B., Soyacan M., Durdag U. M., (2014), **A Univariate Approach for Detecting Outlier in Geodetic Networks**, Journal of Surveying Engineering, 140 (2), 04014006-1-8.

Koch K. R., (1999), **Parameter estimation and hypothesis testing in linear models**, 2nd Ed. Springer-Verlag, Berlin.

Koch K. R., Kargoll B., (2013), **Expectation maximization algorithm for the variance-inflation model by applying the t-distribution**, Journal of Applied Geodesy, 7 (3), 217-225.

Lehmann R., (2012), **Improved critical values for extreme normalized and studentized residuals in Gauss–Markov models**, Journal of Geodesy, 86 (12), 1137-1146.

Lehmann R., (2013a), **On the formulation of the alternative hypothesis for geodetic outlier detection**, Journal of Geodesy, 87 (4), 373-386.

- Lehmann R., (2013b), **3s-Rule for Outlier Detection from the Viewpoint of Geodetic Adjustment**, Journal of Surveying Engineering, 139 (4), 157-165.
- Pope A. J., (1976), **The statistics of residuals and the outlier detection of outliers**, NOAA Technical Report, NOS 65, NGS 1, Rockville, MD.
- Teunissen P. J. G., (2000), **Adjustment theory; an introduction, Series on Mathematical Geodesy and Positioning**, Delft, The Netherlands: Delft University Press.
- Schwarz C. R., Kok J. J., (1993), **Blunder detection and data snooping in LS and robust adjustment**, Journal of Surveying Engineering, 119 (4), 128-136.
- Xu P. L., (2005), **Sign-constrained robust least squares, subjective breakdown point and the effect of weights of observations on robustness**, Journal of Geodesy, 79, 146–159.