

UYUŞUMSUZ ÖLÇÜLERİN BELİRLENMESİ SÜRECİNDE FUZZY LOGIC (BULANIK MANTIK) YAKLAŞIMI

*Haluk KONAK
Aslan DİLAVER
Orhan KURT*

ÖZET

Jeodezik ağlarda gerçekleştirilen ölçülerin topluca değerlendirilmesi aşamasında; herhangi bir ölçüdeki olası hatanın ortaya çıkarılabilme gücü ve bu hatanın koordinat bilinmeyenlerine etkisi, önemli güven ölçütlerindedir. Söz konusu güvenilirlik isteklerinin yeterince karşılandığı durumlarda, uyuşumsuz ölçülerin yerleri büyük bir olasılıkla tam olarak belirlenebilmektedir.

Bu bildiri de gerçek bir GPS ağı, sayısal uygulama modeli olarak seçilmiştir. Tasarım aşamasında duyarlık ve güvenilirlik yönünden en uygun duruma getirilen örnek GPS ağı, yapay olarak üretilmiş rasgele özellikli ölçülerle topluca değerlendirilmiştir. İkinci adımda olası uyuşumsuz ölçüler ve yerleri Fuzzy mantık yaklaşımı ile araştırılmakta; son adımda da ölçülerin ölçme planındaki yerleri ile duyarlıklarının ulaşılan sonuçlar üzerindeki etkileri, uyuşumsuz ölçüler testi ve robust kestirim yöntemleriyle birlikte, karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

1. GİRİŞ

Jeodezik ağları tanımlı kılan tüm geometrik ve fiziksel ölçüler, kaba ve sistematik hatalardan ayıklanmış olsalar bile, bazı rasgele özellikli ölçü hatalarının etkisiyle az da olsa aralarında bazı tutarsızlıklar gösterirler. Rasgele özellikli bu tutarsızlıklar, ölçülerin topluca değerlendirilmesi sürecinde de ortaya çıkarlar ve uyuşumlu olup olmadıklarına matematik-istatistik yasalara göre karar verilebilir. Öte yandan söz konusu uyuşumsuzluklar, ağa ilişkin ölçülerin dengeli değerleri ile bilinmeyenlerin kesin değerlerini de olumsuz yönde bozarlar. Jeodezik ağların kalitesini olumsuz yönde etkileyen bu tür ölçülerin, uyuşumlu ölçüler kümesi içerisinde belirlenip ayıklanması ya da yenilenerek ölçme planına dahil edilmesi gerekmektedir.

Ölçülerin dengeli değerleri, ya da ölçülere getirilecek düzeltmelerin büyüklükleri; yalnızca ölçüde ortaya çıkan olası hataya değil, aynı zamanda bu ölçünün diğer ölçülere göre ölçme planı içerisindeki yerine ve duyarlığına da bağlıdır. Başka bir

deyişle; ölçülerin denetlenebilirlik düzeyleri ve ölçü duyarlılıkları, jeodezik ağların kalitesinin önemli bir göstergesidir. Bu amaçla ele alınan ağ, tasarım aşamasında ölçme planı ve ölçü duyarlılıkları yönünden en uygun duruma getirilmeli ve planlanan gözlemler de beklenen duyarlık isteklerini karşılayacak biçimde ölçülmelidirler. Böylece ölçülerde ortaya çıkması beklenen olası uyuşumsuzlukların yerleri ve büyüklükleri, ölçülerin topluca değerlendirilmesi aşamasında güvenilir biçimde kestirilebilmektedir.

Bu bildiri de gerçek bir GPS ağı, ilk adımda; ölçme planı ve ölçü duyarlılıkları yönünden en uygun duruma getirilmekte ve üretilen rasgele özellikli yapay ölçülerle topluca değerlendirilmektedir. İkinci adımda ise, Fuzzy mantık (*Bulanık mantık*) yaklaşımıyla uyuşumsuz ölçülerin yerleri belirlenmektedir. Son adımda da ölçme planı ve ölçü duyarlılıklarının sonuçlar üzerindeki etkileri, *Uyuşumsuz ölçüler testi* ve *Robust kestirim* yöntemleriyle birlikte, karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

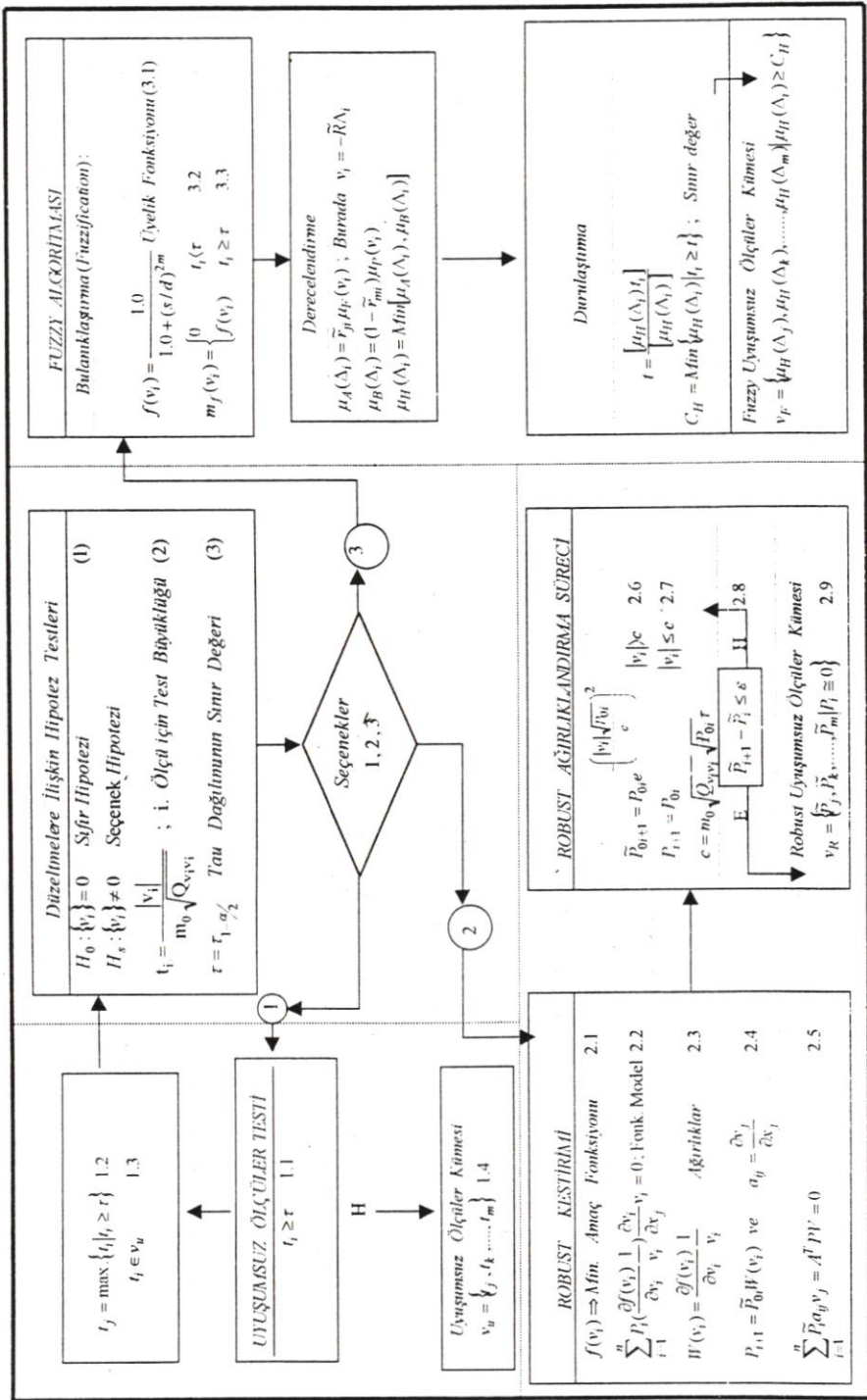
2. UYUŞUMSUZ ÖLÇÜ BELİRLEME SÜRECİ

Uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesi amacıyla; her bir ölçü düzeltmesi için, ümit değerinin sıfır olduğunu öngören sıfır hipotezi kurulur. Buna karşın, ele alınan ölçü düzeltmesine ilişkin ümit değerinin sıfırdan farklı olduğunu varsayan seçenek hipotezi ayrı ayrı kurularak test edilir (Çizelge 1). Gerçekleştirilen test işlemi sonucunda; her bir ölçü için dağılım değerini aşan test büyüklüklerinden en büyüğüne karşılık geleni, %95 'lik bir istatistik güvenle uyuşumsuz ölçü olarak kabul edilir. Bu durum ancak ölçüler kümesinde yalnızca bir ölçünün hatalı olduğu varsayımında geçerlidir. Böyle durumlarda uyuşumsuz ölçü, yeniden ölçülerek ölçme planına dahil edilir. Ya da ölçme planından çıkarılarak yukarıda özetlenen süreç yenilenir (Çizelge 1/1).

En küçük kareler kestirimi, yapısı gereği bir ölçüdeki hatanın etkisini diğer ölçülere yaymaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak; bir ölçünün uyuşumsuzluğu yalnızca kendi hatasından değil, bu ölçünün ölçme planındaki yeri ile özellikle komşu ölçülerin duyarlılıkları ve hatalarından da kaynaklanabilmektedir. Bu durumdan hareketle, söz konusu ölçü hatasının başka bir ölçüyü de uyuşumsuz gibi göstermeye neden olduğu kolayca anlaşılabilir.

Sonuç olarak, ölçüler kümesinde birden çok ölçünün gerçekte hatalı olması durumunda, uyuşumsuz ölçüler testi ile tam anlamıyla başarılı sonuçlara ulaşılamaz.

En küçük kareler kestiriminin kaba hatalı ölçülere karşı duyarlı olması, bu yöntemin en çok eleştirilebilir yanını oluşturmaktadır. Bu durumda, tüm ölçüler arasından ayıklanabilir uyuşumsuz ölçüleri daha etkin olarak belirleyebilen Robust (*sağlam*) kestirim yöntemleri, uyuşumsuz ölçü testleri yerine önerilmektedir.



Çizelge 1 : Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi

Kaba hatalı jeodezik gözlemlerin ayıklanmasında en uygun Robust kestirim yöntemi, en fazla olasılıklı M-Robust (*Maksimum Likelihood*) yöntemidir. Bu yöntemde gözlemlerin normal dağılımda olması gerekir. Jeodezik gözlemlerin de normal dağılımda olmaları, M-Robust kestiriminin matematik özelliklerine uygun düşmektedir /2/.

Robust kestiriminde temel amaç; veri kümesini oluşturan ölçülerden normal dağılıma uyanların belirlenmesi ve aynı zamanda uyuşumsuz olanlarının da diğer ölçüler üzerindeki olası etkilerinin dağılımdan sapma derecesi oranında azaltılması, hatta tamamen giderilmesidir (Çizelge 1/2).

Her yineleme adımında, \bar{P} ağırlık matrisi, düzeltmelerin büyüklüğüne bağlı olarak robust ağırlık fonksiyonu yardımıyla belirlenir. Bilinmeyenler (x) en küçük kareler yöntemiyle hesaplanır, yinelemeli bir çözüm süreci gerçekleştirilerek kesin robust ağırlıkları \bar{p}_i hesaplanır. Hesaplanan ağırlıklardan sıfır ya da sıfıra çok yakın değerlere karşılık gelen ölçüler uyuşumsuz ölçüler kümesini oluştururlar.

Gerek uyuşumsuz ölçüler testi gerekse robust kestirim yöntemleri, rasgele özellikli ölçü hatalarının gerçekleşme olasılıklarından hareketle, büyük bir olasılıkla normal dağılım kümesine uymayan ölçüleri belirlemeyi amaçlar. Jeodezik verilerin irdelenmesi probleminde ise bir ölçünün duyarlılığı ile ölçme planındaki yeri oldukça önemli bir kısıtlayıcıdır. Bu kısıtlayıcılar, ölçülerin topluca değerlendirilmesi aşamasında sonuçlar üzerinde doğrudan etkili olurlar.

Uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesi sürecinde; robust kestiricileri, uyuşumsuz görünen ölçülerin ağırlıklarını küçültürken, duyarlıklarını ve ölçme planındaki yerlerini olabildiğince dikkate alabilmektedir. Ancak ağırlıkları sıfır ya da sıfıra yakın oranda küçültülebilen ölçüler kümesi, jeodezik ağırlık yapısını olumsuz yönde zorlayabilmektedir. Bu olumsuz etki, robust iterasyon süreciyle ulaşılan sonuçları da kolayca yönlendirilebilmektedir.

Fuzzy mantığını ele alırsak: bu yaklaşım herhangi bir nedenle uyuşumsuz gibi görünen bir ölçünün uyuşumsuz olup olmadığına hemen karar vermez. İlk adımda; ölçülerdeki uyuşumsuzlukların bulanıklığı (ambiguity, belirsizlik), jeodezik verilerin yapısına uygun bir üyelik fonksiyonu yardımıyla derecelendirilir. İkinci adımda, ölçülerin ölçme planındaki denetlenebilirlik düzeylerine göre üyelik dereceleri arttırılır ya da azaltılır. Son adımda ise, üyelik derecelerinin büyüklüğünden hareketle, gerçekleştirilen bir durulama işlemiyle uyuşumsuz ölçüler kümesi oluşturulur(Çizelge 1/3). Bu yanıyla deterministik bir yaklaşım gösteren Fuzzy mantığı, jeodezik verilerin irdelenmesi sürecinde oldukça etkili bir yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır.

Jeodezik ağılarda gerçekleştirilen ölçülerin topluca değerlendirilmesi aşamasında; bir ölçüde beklenen olası kaba hata, yeterli güvenilirlikte ortaya çıkarılabilmelidir. Böylece olası kaba hatanın, ölçülerin dengeli değerleri ile koordinat bilinmeyenlerine olumsuz etki yapma olasılığı da denetlenebilmektedir.

Matematik modeller yardımıyla ölçülere ilişkin kestirilebilen düzeltmeler, yalnızca herhangi bir ölçünün kendisinde ortaya çıkan olası hataya değil aynı zamanda da bu ölçünün diğer ölçülere göre ölçme planındaki yerine ve ölçü duyarlığına da bağlıdır. Bu anlamda, uyuşumsuz ölçülerin büyük bir güvenle belirlenebilmesi için; jeodezik ağılar, kendilerinden beklenen işlevleri karşılayacak şekilde tasarım aşamasında ölçme planı ve ölçü duyarlıkları yönünden en uygun duruma getirilmelidir/7,8/. Duyarlık, güvenilirlik ve maliyet istekleri yönünden iyileştirilen böyle ağılarda, ölçülerin deneysel değerleri de ulaşılan ölçü duyarlıklarını sağlayacak biçimde elde edilmelidir.

3. FUZZY LOGIC (*BULANIK MANTIK*) YAKLAŞIMI İLE UYUŞUMSUZ ÖLÇÜLERİN BELİRLENMESİ

Gerek uyuşumsuz ölçü belirleme testleri gerekse robust kestirim yöntemleri, rasgele özellikli ölçü hatalarının gerçekleşme olasılıklarından hareketle, büyük bir olasılıkla normal dağılıma uymayan ölçüleri belirlemeye çalışmaktadır. Buna karşın fuzzy mantığı, herhangi bir nedenle uyuşumsuz gibi görünen bir ölçünün uyuşumsuzluk derecesini ortaya çıkarmaya yöneliktir. Buradan hareketle; fuzzy mantığı ilk adımda herhangi bir ölçüye kesin anlamda uyuşumlu ya da uyuşumsuz olarak karar vermez. Aksine, ilgili ölçü hatasının uyuşumlu ve uyuşumsuz ölçü kümesindeki üyelik derecelerini belirler ve bu derecelere göre karar verir.

Bir fuzzy algoritması temel olarak üç aşamadan oluşur.

***Bulanıklaştırma (*Fuzzification*):** Başlangıçta gerçekleştirilen bir uyuşumsuz ölçüler testi işlemi yardımıyla; ölçüler kaba hatalardan etkilenme ve etkilenmeme düzeylerine göre iki alt kümeye ayrılarak, bu kümelerdeki üyelik değerleri de üyelik fonksiyonları yardımıyla belirlenir.

Bir ölçüye ilişkin düzeltmenin üyelik değeri, jeodezik verilerin yapısına uygun korelasyon fonksiyonlarından kestirilir. Çizelge 1 'deki (3.1) üyelik fonksiyonunda;

t_i : düzeltmelere ilişkin test büyüklüğü

τ : tau dağılımına ilişkin test sınır değeri

d : test sınır değerinden anlamlı sapma büyüklüğü

olmak üzere;

$$\{m = -1 ; s = t_i - \tau \text{ ve } d = 0.1\} \quad (4)$$

olarak seçilirse, jeodezik verilerin yapısına oldukça uygun olan bir üyelik fonksiyonu $f(v_i)$ tanımlanır/2,9/.

İlk adımda: büyük bir olasılıkla kaba hatalardan etkilenmiş düzeltmelere ilişkin üyelik fonksiyonu $\mu_f(v_i)$,

$$\mu_f(v_i) = \begin{cases} 0 & ; t_i < \tau \\ f(v_i) & ; t_i \geq \tau \end{cases} \quad (5)$$

olarak belirlenir. Aynı şekilde büyük bir olasılıkla kaba hatalardan etkilenmeyen düzeltmelere ilişkin üyelik fonksiyonu da

$$\mu_p(v_i) = 1 - \mu_f(v_i) \quad (6)$$

ilişkisiyle kurulabilir.

Burada üyelik fonksiyonlarının aldığı değerler $[0, 1]$ kapalı aralığında değişmekte ve test sınır değerini, d anlamlı sapma düzeyinde geçen ölçüler için $\frac{1}{2}$ civarında kalmaktadır. Böylece test sınır değeri civarında gündeme gelen uyumsuzluk tanısının güvenilirliği ya da belirsizliği, anlamlılık düzeyi (d) ile sorgulanabilmektedir.

****Derecelendirme:** Jeodezik ağlarda gerçekleştirilen ölçüler,

$$v^T P v \Rightarrow \min \text{ Amaç fonksiyonu} \quad (7)$$

olmak üzere, en küçük kareler yöntemiyle Gauss-Markoff modelinde değerlendirilirler. Değerlendirme sonucunda ölçülerle düzeltmeler arasındaki ilişkiler

$$v = -(I - AQA^T P)^{-1} A^T P l \text{ Düzeltme vektörü} \quad (8)$$

biçiminde kurulabilmektedir. Küçültülmüş ölçüler vektörü (l), doğrusallaştırılmış fonksiyonel modellerde ölçü hataları (Δ_i) türünden,

$$l = L - f(x_0) = Ax + \Delta \quad (9)$$

düzenlenirse, düzeltmeler vektörü de

$$v = -(I - AQA^T P) \Delta \quad (10)$$

$$v = -Q_{vv} P \Delta \quad (11)$$

biçiminde hataların bir fonksiyonu olarak elde edilebilirler. Burada;

$$R = Q_{vv} P \quad \text{Redundanz matrisi} \quad (12)$$

olmak üzere,

$$v = -R \Delta \quad \text{Düzeltilmeler vektörü} \quad (13)$$

yeniden düzenlenirse; ölçülerde ortaya çıkması beklenen hataların düzeltmeler üzerindeki etkileri de Redundanz matrisi (R) üzerinden açıkça görülebilir.

Redundanz matrisinin rangı fazla ölçü sayısına eşittir ve dolayısıyla bu matris pozitif tanımlı değildir. Başka bir deyişle hatalar tek anlamlı olarak hesaplanamaz. Bu durumda istatistik karar sürecine dayanan gerek uyumsuz ölçü belirleme testleri gerekse robust kestiriminde, ölçü hataları (Δ_i) yerine düzeltmelerin (v_i) istatistik büyüklükleri ele alınır. Buna karşın fuzzy mantığında, redundanz matrisi elemanlarından yararlanılarak, hataların düzeltmeler üzerindeki etkilerini belirleyen üyelik ilişkileri kurulabilmektedir.

(13) eşitliği irdelendiğinde; redundanz matrisinin (R) satırları tüm ölçülerde ortaya çıkan olası ölçü hatalarının tek bir ölçü düzeltmesi üzerindeki toplam etkisini göstermektedir. Buna karşın sütun elemanları ise; her bir olası ölçü hatasının ayrı ayrı düzeltmeler üzerindeki katkısını ortaya koymaktadır. Özellikle ilgili sütun elemanları arasındaki ilişkiler, herhangi bir ölçünün uyumsuz olarak görünmesindeki olumsuz etkileri göstermektedir. Bu durum, en küçük kareler yönteminin hataları yayma ve aynı zamanda da gizleme özelliğinden kaynaklanan sorunları sorgulama olanağını sağlamaktadır.

Buradan hareketle, redundanz matrisi R, her bir satırdaki en büyük değerli elemanına göre;

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{|r_{ij}|}{\max_i(r_{ij})} ; \quad (j = 1,2,3,\dots,n) \quad (14)$$

satır satır normlandırılarak tüm elemanları $0 \leq \tilde{r}_{ij} \leq 1$ arasında değerler alabilen bağıl bir redundanz matrisi \tilde{R} biçimine dönüştürülür. Derecelendirme işleminde; i.

ölçü hatasının uyuşumsuz görünen ölçü düzeltmeleri üzerindeki en büyük bağıl etkisi; $\mu_f(v_i) \geq 0.5$ üyelik değeri için

$$\tilde{r}_{ji} = \text{Max}(\tilde{r}_{ki}) ; \quad k = u, v, \dots, w \quad (15)$$

olmak üzere bağıl redundanz matrisinin ilgili sütun elemanları üzerinden belirlenir. Öte yandan aynı ölçü hatasının uyuşumlu görünen ölçüler üzerindeki en küçük bağıl etkisi de $\mu_P(v_j) \geq 0.5$ üyelik değeri için

$$\tilde{r}_{mi} = \text{Max}(\tilde{r}_{ki}) ; \quad k = x, y, \dots, z \quad (16)$$

belirlenir. Böylece, “büyük bir olasılıkla kaba hatalardan etkilenmiş düzeltmeler üzerinde en büyük etkiye sahip ölçü hatası”,

$$\mu_A(\Delta_i) = \tilde{r}_{ji} \mu_F(v_j) \quad (17)$$

hesaplanır. Aynı şekilde “büyük bir olasılıkla kaba hatalardan etkilenmeyen (uyuşumlu) düzeltmeler üzerindeki en küçük etkiye sahip ölçü hatası” da

$$\mu_B(\Delta_i) = (1 - \tilde{r}_{mi}) \mu_P(v_j) \quad (18)$$

ilişkisiyle belirlenir.

Bu ölçütlerden en küçük değere sahip olanı, i . ölçü hatasının uyuşumsuzluk derecesini ortaya koymaktadır. Bu durum, fuzzy küme teorisinde en geniş fuzzy alt kümesini (*kesişim kümesini*) gösterir. Bu ilişki de

$$\mu_H(\Delta_i) = \text{Min}[\mu_A(\Delta_i), \mu_B(\Delta_i)] \quad (19)$$

olarak tanımlanır.

*****Durulaştırma** : Fuzzy kümesi elemanları $\mu_H(\Delta_i)$ irdelendiğinde, bu değerler ne kadar büyükse, buna karşılık gelen ölçü düzeltmesi de o kadar uyuşumsuzdur yargısına varılabilir. Kesin bir yargı için ölçü düzeltmelerinin dağılım değerleri (t_i) ve üyelik dereceleri ($\mu_H(\Delta_i)$) yardımıyla

$$t = \frac{[\mu_H(\Delta_i) t_i]}{[\mu_H(\Delta_i)]} ; \text{ Dağılım değerlerinin ağırlıklı ortalaması (Durulaştırıcı) } (20)$$

hesaplanır. t ortalama değerine eşit ve daha büyük t_i değerlerinden oluşan yeni kümenin en küçük elemanı,

$$C_H = \text{Min} \{ \mu_H(\Delta_i) \mid t_i \geq t \} \quad \text{Sınır değer} \quad (21)$$

olarak seçilir.

Sonuç olarak; C_H sınır değerini geçen üyelik derecelerine sahip ölçüler, kesin anlamda uyumsuz ölçüler olarak yorumlanırlar.

4. SAYISAL UYGULAMA

Yerel ağların ülke temel nirengi ağına bağlanabilmesi amacıyla, Trabzon'da kurulan bir GPS ağı, sayısal uygulama modeli olarak seçilmiştir. 26 noktadan oluşan bu ağda, statik konum belirleme amaçlı olası tüm gözlemlerden oluşan bir ölçme planı tasarlanmıştır.

İlk adımda; ağda bir duyarlık ve güvenilirlik optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak; homojen ve izotrop bir jeodezik ağı temsil eden, Taylor-Karman yapısında bir ölçüt matrisi seçilmiştir. Ölçüt matrisleriyle gerçekleştirilen ağırlık optimizasyonu işlemiyle, en küçük kareler yöntemi kullanılarak en uygun ağırlık dağılımı ve ölçme planı da aynı anda belirlenmiştir (Şekil 1).

Optimizasyon sonuçları irdelendiğinde; ölçü duyarlıklarının amaç fonksiyonunu sağlayacak şekilde dağılım gösterdikleri ve beklenen güvenilirlik isteklerini de yeterince karşıladıkları görülmektedir. Öte yandan amaç fonksiyonunun yapısı gereği, ağı dış kuşağında olmak üzere: çok uzun ve çok kısa kenarlı gözlemlerin ağırlıkları, genel ağırlık dağılımından önemli sapmalar göstermektedir. Buna karşın söz konusu ölçüler, iç ve dış güvenilirlikleri yönünden beklenen istekleri sınır değerler civarında karşılayabilmektedir.

Birim ölçünün varyansına ilişkin öncül değer $s_0^2 = 1 \text{ cm}^2$ olarak öngörüldüğü bu ağda, hata elipsoidleri noktaların yerlerine ve bağıl hata elipsoidleri de noktalar arasındaki uzunluğa bağlı olarak değişen büyüklükte küreler olarak elde edilmiştir. Elipsoidlerin en büyüğü ile en küçüğünün yarı eksen uzunlukları da birbirlerine oldukça yakındırlar (Şekil 1).

Ulaşılan ölçme planı ve ölçü duyarlıklarından yola çıkılarak; standart sapması yaklaşık $s_0 = \pm 3 \text{ mm}$ olan normal dağılımlı rasgele ölçüler türetilmiş, ağ bu

ölçülerle topluca değerlendirilmiş ve değerlendirme sonucunda model hipotezi de geçerli olarak elde edilmiştir.

Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi : Ele alınan test ağı;

* İç kuşağı boyunca, ağırlıkları yönünden uygun dağılmış yüksek denetlenebilir gözlemler kümesi; $I_1 = (3001-3007)_{\Delta x, \Delta y, \Delta z}$; $I_2 = (1003-1007)_{\Delta x, \Delta y, \Delta z}$; $I_3 = (3003-3008)_{\Delta x, \Delta y, \Delta z}$; $I_4 = (2011-5001)_{\Delta x, \Delta y, \Delta z}$; $I_5 = (4002-229)_{\Delta x, \Delta y, \Delta z}$

* Dış kuşağı üzerinde, güvenilirlikleri yeterli görülen gözlemler kümesi; $I_6 = (1001-1002)_{\Delta x, \Delta y, \Delta z}$, $I_7 = (1006-3002)_{\Delta x, \Delta y, \Delta z}$; $I_8 = (1004-3002)_{\Delta x, \Delta y, \Delta z}$

* Ağırlıkları çok yüksek, ancak denetlenebilirliği zayıf olan çok kısa bağlantılı gözlemler kümesi; $I_9 = (130-3010)_{\Delta x, \Delta y, \Delta z}$

olarak üç alt bölgeye ayrılmıştır. Her bir gözlem kümesine ilişkin ölçüler, $\left[2m_0 \leq \varepsilon_i \leq 4m_0\right]$ aralığında değişen hatalarla yüklenerek değişik kombinasyonlar halinde ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Son adımda; Uyuşumsuz Ölçüler Testi, Robust Kestirim Yöntemi ve Fuzzy Mantık yaklaşımı kullanılarak, uyuşumsuz ölçülerin yerleri karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

*Ağın iç kuşağı boyunca I_1 , I_2 , I_3 ve I_4 gözlemlerinden oluşan kombinasyonlarda Robust kestirimi ve Fuzzy yaklaşımının başarılı oldukları açıkça görülmektedir (Tablo 2).

Söz konusu gözlemler kombinasyonuna I_5 gözlemi de alındığında, diğer hatalı gözlemlerin etkisiyle, bu gözlemdeki yapay hata gizlenmiştir. Ancak burada Robust kestirimi, yüksek ağırlıklı $(5002-219)_{\Delta x, \Delta y, \Delta z}$ gözlem grubunu hatalı olarak yorumlamıştır.

Altıncı kombinasyonda I_4 gözlemi hatasız olarak değerlendirmeye alınmasına karşın, hem Robust kestirimi hem de Fuzzy yaklaşımı I_5 gözlemindeki hatayı tam anlamıyla yerelleştirememiştir.

I_4 ve I_5 gözlemlerindeki davranışların güvenilirliklerinin irdelenmesi amacıyla, söz konusu gözlemler arasında 4 ayrı kombinasyon denenmiş ve bu durumda da genelde Robust kestirimi başarılı olamamıştır.

* Burada Robust yönteminin davranışı üzerinde durmakta yarar vardır. Bilindiği üzere, Robust fonksiyonu amaç fonksiyonunun yapısı gereği, ele alınan ölçünün ağırlığını, düzeltmesine ilişkin deneysel dağılım değerinin büyüklüğüne bağlı olarak küçültmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak da ağırlığı diğer ölçülere göre yüksek olan ve uyuşumsuz görünen ölçü ağırlığını hızla sifıra gönderebilmektedir. Buna karşın, ağırlığı uygun dağılımda olan diğer uyuşumsuz ölçülerin ağırlıklarını da belli bir oranda küçültebilmektedir(Tablo 1).

* Ağın dış kuşağı üzerinde bulunan I_6 gözlemi $[2m_0 \leq |\varepsilon_i| \leq 4m_0]$ aralığında hatalarla yüklenmiş, ele alınan ölçünün uyuşumsuz olarak tanınması yönünde Robust kestirimi ile Fuzzy yaklaşımı başarılı olmuştur. Burada Robust kestiriminin başarılı olarak görünmesi, tam anlamıyla hatanın diğer komşu ölçülere göre yüksek ağırlıklı bir gözleme yüklenmesinden kaynaklanmaktadır.

Bu durum, çok kısa bağlantılı I_9 ölçüsünün kaba hatayla yüklendiği kombinasyonda da açıkça görülmektedir (Tablo 2).

Buna karşın Fuzzy yaklaşımı, diğer komşu ölçülere göre güvenilirlikleri daha zayıf olan ölçülerde ortaya çıkması beklenen olası hatanın, yalnızca kendisinden kaynaklanamayacağı gerçeğini özellikle vurgulamaktadır.

* Yüksek denetlenebilen düşük ağırlıklı I_7 ve I_8 kombinasyonlarında; Robust kestirimi ile yine amaç fonksiyonun özelliğinin bir sonucu olarak; düşük ağırlıklı hatalı ölçüler için her zaman kesin bir karar verilemeyeceği görülmektedir (Tablo 2).

* Özetlemek gerekirse; Robust kestirim yöntemi amaç fonksiyonu gereği, özellikle yüksek ağırlıklı ölçülerin deneysel dağılım değerlerini abartmaktadır. Olası kaba hatanın bu tür gözlemlerde ortaya çıkması durumunda doğru bir karara ulaşılabilmektedir. Buna karşın, olası kaba hatanın genel ağırlık dağılımına uygun olan gözlemlerde çıkması durumunda da belli bir orana kadar başarılı olabilmektedir.

Fuzzy yaklaşımı, olası kaba hatanın ancak ölçülerdeki denetlenebilirlikleri oranında tam olarak ortaya çıkarılabileceğini vurgulamaktadır. Özellikle çok yüksek ağırlıklı, ancak zayıf denetlenebilen bir ölçüde bir kaba hatanın varlığını ortaya koyarken bu hataya diğer komşu gözlemlerdeki olası hataların da neden olabileceğini söyleyebilmektedir.

Öte yandan, bu çalışmada; belirlenen herhangi bir uyuşumsuz ölçünün yenilenecek yerine konması koşuluyla, uyuşumsuz ölçüler testi yöntemiyle de başarılı bir süreç elde edilmiştir.

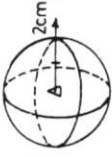
5. SONUÇ

Uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesi sürecinde; uyuşumsuzluk tanısı konulan bir ölçünün hatası, yalnızca kendisinde ortaya çıkan olası hatadan değil, aynı zamanda bu ölçünün diğer ölçülere göre ölçme planındaki yerinden ve duyarlılığından da etkilenmektedir. Bu durumda; bir yanıla her bir ölçünün duyarlılığı ile diğer ölçülere göre ölçme planındaki yerini süreç boyunca koruyan, diğer bir yanıla da ölçü hatalarının yayılma etkilerinin olabildiğince ortaya koyarak derecelendirebilen ve karar aşamasında dikkate alan Fuzzy mantığı, uyuşumsuz ölçülerin yerlerini başarıyla belirleyebilmektedir.

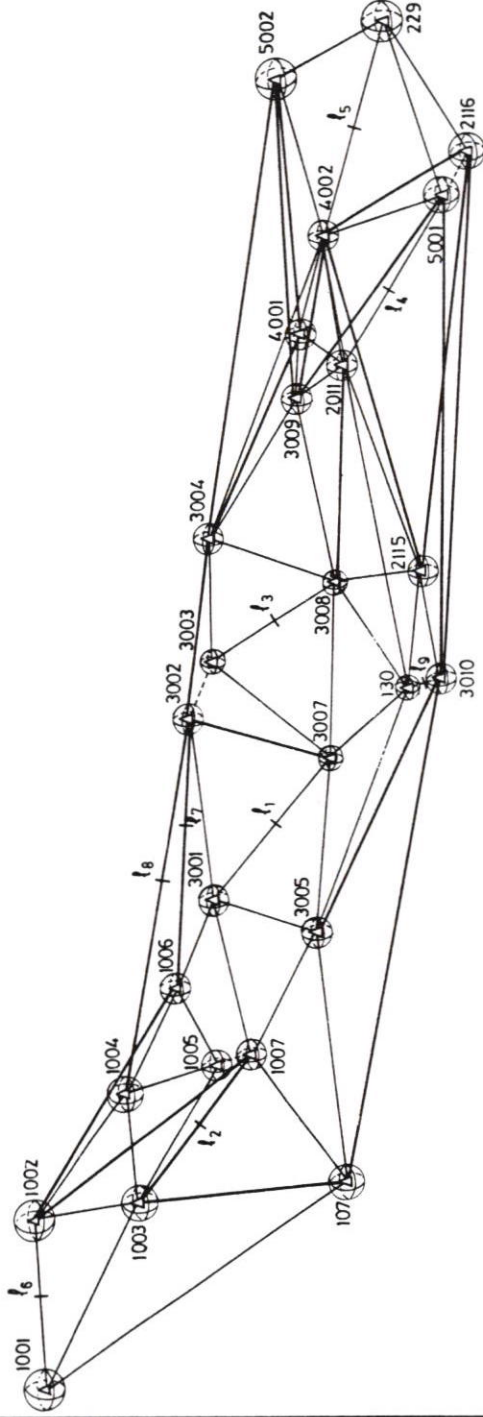
6. KAYNAKLAR

- /1/ DİLAVER, A. (1996) : Jeodezik Ağlarda Kaba Hatalı Ölçülerin Ayıklanması ve Güven Ölçütleri, KTÜ. Müh.-Mim. Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Araştırma Raporları, 1996/2, TRABZON.
- /2/ DİLAVER, A. – KONAK, H.- ÇEPNİ, M.S. (1998) : Jeodezik Ağlarda Uyuşumsuz Ölçülerin Yerelleştirilmesinde Kullanılan Yöntemlerin Davranışları, H.K.M. Dergisi; sayı: 84, s: 17-34, ANKARA.
- /3/ HEKİMOĞLU, Ş.-AYAN, T.- AKTAŞ, A. O. (1993) : Birden Fazla Uyuşumsuz Ölçünün Robust Kestirim Yöntemleriyle Tanısı ve Uyuşumsuz Ölçü Testleriyle Belirlenmesi, Prof. Dr. H. Wolf Jeodezi Sempozyumu, 3-5 Kasım, s: 171-202, İSTANBUL.
- /4/ HUBER, P. J. (1981) : Robust Statistics, John Wiley Sons, New York.
- /5/ KOCH, K. R. (1988) : Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models, Springer-Verlag, New York.
- /6/ KONAK, H. – DİLAVER, A. (1998) : Jeodezik Ağlarda Uyuşumsuz Ölçülerin Yerelleştirilmesinde Kullanılan Yöntemlerin Davranışları – II, *Fuzzy Logic (Bulanık Mantık) Yaklaşımı*, H.K.M.O. Dergisi; sayı: 85, s: 91-109, ANKARA.
- /7/ KONAK, H. (1994) : Yüzey Ağlarının Optimizasyonu, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, TRABZON.
- /8/ KURT, O. (1996) : GPS Ölçülerinin Değerlendirildiği Yermerkezli Üç Boyutlu Jeodezik Ağlarda Duyarlık ve Güven Optimizasyonu, Y. Lisans Tezi, KTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, TRABZON.
- /9/ SUN, W. (1994) : A New Method For Localisation of Gross Errors, Survey Review, 32, 252, s: 344-358.

- Δ - - - - Δ : Zayıf denetlenebilen yüksek ağırlıklı gözlemler
- Δ - - - Δ : Oldukça iyi denetlenebilen düşük ağırlıklı gözlemler
- Δ - l_i - Δ : Kaba hatalı gözlemler



Δ : Hata elipsoidlerinin şekli ve ölçeği



Şekil 1. Ağırlık Optimizasyonu ile İyileştirilmiş Trabzon GPS Test Ağı

Tablo 1: Uyuşumsuz Ölçütler ve Sonuçların Yorumlanması I

Ölçü Grubu	Tau testi $\tau=1.96$			Fuzzy Robust(R) $\mu_H(\Delta_i)$	Karar	Karar	Karar	Robust(R)	Fuzzy Robust(R) $\mu_H(\Delta_i)$	Robust(R)	Karar						
	ρ	r_i	v_i									t_i	ρ	r_i	v_i	t_i	
1. $I_1=(3001-3007)^{-e_1}$																	
3001-3005	1,24	0,54	-0,42	2,12	0,55	0,38..0,21	+	+	1003-1007	0,22	0,91	1,63	2,21	0,86	0,06..0,05	+	+
3001-3007	0,38	0,80	1,20	2,70	0,73	0,05..0,03	+	+	3001-3007	0,38	0,80	1,25	2,45	0,73	0,07..0,05	+	+
2. $I_2=(1003-1007)^{-e_1}$																	
1003-1007	0,22	0,91	1,62	2,48	0,86	0,04..0,03	+	+	3003-3008	0,67	0,70	-0,97	2,69	0,63	0,10..0,02	+	+
3001-3005	1,24	0,54	-0,43	2,06	0,00	0,41..0,30	+	+	4002-229	0,46	0,81	-0,95	2,03	0,00	0,16..0,11	-	+
3001-3007	0,38	0,80	1,20	2,62	0,73	0,06..0,44	+	+				$t=2,42$	$C_{H1}=0,63$				
3. $I_3=(3001-3007)^{-e_1}, I_2=(1003-1007)^{-e_1}, I_3=(3003-3008)^{+e_1}$																	
1003-1007	0,22	0,91	1,63	2,31	0,80	0,05..0,04	+	+	$I_3=(4002-229)^{-e_1}, I_4=(2011-5001)^{-e_1}$	0,81	0,65	0,89	3,06	0,69	0,07..0,05	+	+
3001-3007	0,38	0,80	1,25	2,55	0,73	0,07..0,04	+	+	4002-229	0,46	0,81	0,85	1,99	0,00	0,16..0,46	-	-
3003-3008	0,67	0,70	-0,96	2,80	0,63	0,09..0,02	+	+	5002-229	2,08	0,29	-0,30	2,53	0,28	0,39..0,00	+	-
4. $I_1=(3001-3007)^{-e_1}, I_2=(1003-1007)^{-e_1}, I_3=(3003-3008)^{+e_1}$																	
1003-1007	0,22	0,91	1,63	2,14	0,76	0,06..0,05	+	+				$t=2,91$	$C_{H1}=0,69$				
3001-3007	0,38	0,80	1,25	2,36	0,73	0,09..0,06	+	+	$I_4=(2011-5001)^{-e_1}, I_5=(4002-229)^{-e_2}$	0,81	0,65	0,87	2,93	0,68	0,09..0,01	+	+
3003-3008	0,67	0,70	-0,97	2,59	0,63	0,12..0,03	+	+	4002-229	0,46	0,81	1,09	2,49	0,75	0,09..0,07	+	+
2011-5001	0,81	0,65	0,94	2,87	0,69	0,09..0,01	+	+	5002-229	2,08	0,29	-0,33	2,69	0,28	0,32..0,01	+	-
5. $I_1=(3001-3007)^{-e_1}, I_2=(1003-1007)^{-e_1}, I_3=(3003-3008)^{+e_1}$																	
1003-1007	0,22	0,91	1,63	2,07	0,86	0,06..0,06	+	+				$t=2,71$	$C_{H1}=0,68$				
3001-3007	0,38	0,80	1,25	2,28	0,73	0,10..0,07	+	+	$I_5=(4002-229)^{-e_1}$	0,46	0,81	0,94	2,42	0,76	0,10..0,46	+	-
3003-3008	0,67	0,70	-0,97	2,52	0,63	0,13..0,03	+	+	4002-229	0,46	0,81	0,94	2,42	0,76	0,10..0,46	+	-
2011-5001	0,81	0,65	-0,30	2,63	0,69	0,13..0,04	+	+	5002-229	2,08	0,29	-0,25	2,30	0,28	0,52..0,00	+	-
5002-229	2,08	0,29	0,19	2,17	0,28	0,02..0,00	+	-				$t=2,39$	$C_{H1}=0,76$				
6. $I_1=(3001-3007)^{-e_1}, I_2=(1003-1007)^{-e_1}, I_3=(3003-3008)^{+e_1}$																	
1003-1007	0,22	0,91	1,63	2,21	0,86	0,06..0,05	+	+				$t=2,81$	$C_{H1}=0,75$				
3001-3007	0,38	0,80	1,25	2,45	0,73	0,07..0,05	+	+	$I_5=(4002-229)^{-e_2}$	0,81	0,65	0,87	2,93	0,68	0,09..0,01	+	+
3003-3008	0,67	0,70	-0,97	2,69	0,63	0,10..0,02	+	+	2011-5001	0,81	0,65	0,87	2,93	0,68	0,09..0,01	+	+
4002-229	0,46	0,81	-0,95	2,03	0,00	0,16..0,11	-	+	4002-229	0,46	0,81	1,09	2,49	0,75	0,09..0,07	+	+
7. $I_3=(3003-3008)^{+e_1}, I_4=(2011-5001)^{-e_1}$																	
2011-5001	0,81	0,65	0,94	2,87	0,69	0,09..0,01	+	+	5002-229	2,08	0,29	-0,30	2,53	0,28	0,39..0,00	+	-
8. $I_4=(2011-5001)^{-e_1}, I_5=(4002-229)^{-e_2}$																	
1003-1007	0,22	0,91	1,63	2,31	0,80	0,05..0,04	+	+				$t=2,91$	$C_{H1}=0,69$				
3001-3007	0,38	0,80	1,25	2,55	0,73	0,07..0,04	+	+	$I_4=(2011-5001)^{-e_1}, I_5=(4002-229)^{-e_2}$	0,81	0,65	0,87	2,93	0,68	0,09..0,01	+	+
3003-3008	0,67	0,70	-0,96	2,80	0,63	0,09..0,02	+	+	4002-229	0,46	0,81	1,09	2,49	0,75	0,09..0,07	+	+
9. $I_5=(4002-229)^{-e_1}$																	
1003-1007	0,22	0,91	1,63	2,14	0,76	0,06..0,05	+	+	5002-229	2,08	0,29	-0,33	2,69	0,28	0,32..0,01	+	-
3001-3007	0,38	0,80	1,25	2,36	0,73	0,09..0,06	+	+				$t=2,71$	$C_{H1}=0,68$				
3003-3008	0,67	0,70	-0,97	2,59	0,63	0,12..0,03	+	+	$I_5=(4002-229)^{-e_1}$	0,46	0,81	0,94	2,42	0,76	0,10..0,46	+	-
2011-5001	0,81	0,65	0,94	2,87	0,69	0,09..0,01	+	+	4002-229	0,46	0,81	0,94	2,42	0,76	0,10..0,46	+	-
5002-229	2,08	0,29	0,19	2,17	0,28	0,02..0,00	+	-	5002-229	2,08	0,29	-0,25	2,30	0,28	0,52..0,00	+	-
10. $I_5=(4002-229)^{-e_2}$																	
1003-1007	0,22	0,91	1,63	2,07	0,86	0,06..0,06	+	+				$t=2,39$	$C_{H1}=0,76$				
3001-3007	0,38	0,80	1,25	2,28	0,73	0,10..0,07	+	+	4002-229	0,46	0,81	1,19	2,81	0,75	0,05..0,07	+	+
3003-3008	0,67	0,70	-0,97	2,52	0,63	0,13..0,03	+	+	5002-229	2,08	0,29	-0,28	2,47	0,28	0,49..0,00	+	-
2011-5001	0,81	0,65	-0,30	2,63	0,69	0,13..0,04	+	+				$t=2,81$	$C_{H1}=0,75$				
5002-229	2,08	0,29	0,19	2,17	0,28	0,02..0,00	+	-				$t=2,81$	$C_{H1}=0,75$				
11. $I_1=(3001-3007)^{-e_1}, I_2=(1003-1007)^{-e_1}, I_3=(3003-3008)^{+e_1}$																	
1003-1007	0,22	0,91	1,63	2,48	0,86	0,04..0,03	+	+				$t=2,81$	$C_{H1}=0,75$				
3001-3007	0,38	0,80	1,25	2,70	0,73	0,05..0,03	+	+				$t=2,81$	$C_{H1}=0,75$				
3003-3008	0,67	0,70	-0,97	2,69	0,63	0,10..0,02	+	+				$t=2,81$	$C_{H1}=0,75$				
4002-229	0,46	0,81	-0,95	2,03	0,00	0,16..0,11	-	+				$t=2,81$	$C_{H1}=0,75$				

+ : Başarılı
- : Başarısız
ε₁=3m₀
ε₂=4m₀
ε₃=2m₀

: Bellisiz
: İrdeleme

Tablo 2 : Uyuşumsuz Ölçüler ve Sonuçların Yorumlanması II

Ölçü Grubu	Tau testi t=1.96			Fuzzy/Robust(R)			Karar		
	ρ_i	r_i	v_i	t_i	$\mu_H(\Delta_i)$	$\rho_i \dots \rho_i$	F	R	Karar
11.									
$I_6=(1001-1002)+\varepsilon_1$									
1001-1003	1,02	0,54	-0,66	2,83	0,53	0,13..1,02	*	+	
1001-1002	1,74	0,32	-0,50	3,70	0,47	0,05..0,00	+	+	
1002-1003	0,80	0,70	-0,68	2,31	0,58	0,20..0,80	*	+	
$I_6=(1001-1002)+\varepsilon_2$									
1001-1003	1,02	0,54	0,78	3,17	0,53	0,07..1,02	*	+	
1001-1002	1,74	0,32	-0,60	4,18	0,47	0,02..0,00	+	+	
1002-1003	0,80	0,70	-0,77	2,45	0,58	0,17..0,80	*	+	
$I_6=(1001-1002)+\varepsilon_3$									
1001-1003	1,02	0,54	0,53	2,44	0,53	0,21..1,02	*	+	
1001-1002	1,74	0,32	-0,40	3,14	0,47	0,13...0,00	+	+	
1002-1003	0,80	0,70	-0,60	2,13	0,58	0,24..0,80	*	+	
12.									
$I_6=(1006-3002)+\varepsilon_1$									
1006-3002	0,15	0,91	-1,74	2,38	0,86	0,03...0,03			
13.									
$I_6=(130-3010)+\varepsilon_1$									
3007-130	2,02	0,33	0,31	2,30	0,44	0,54..2,02	*	+	
3008-130	0,80	0,71	0,63	2,00	0,00	0,28..0,80	+	+	
3008-2115	1,87	0,44	-0,37	2,33	0,49	0,45..1,87	*	+	
130-3010	7,00	0,13	0,19	4,15	0,32	0,08..0,00	+	+	
3010-2115	1,95	0,42	0,53	3,39	0,43	0,09..1,95	*	+	
14.									
$I_7=(1006-3002)+\varepsilon_1$									
1006-3002	0,15	0,91	-1,74	2,38	0,86	0,03...0,03			
15.									
$I_6=(1004-3002)+\varepsilon_1$									
1004-1006	2,44	0,37	-0,23	2,05	0,00	0,82..0,00	+	-	
1004-3002	0,17	0,87	1,36	2,07	0,58	0,06..0,17	+	*	
16.									
$I_7=(1006-3062)+\varepsilon_1 \dots I_6=(1004-3002)+\varepsilon_1$									
1004-1006	2,44	0,37	-0,24	2,03	0,00	0,83..0,00	+	-	
1004-3002	0,17	0,87	1,43	2,09	0,65	0,05..0,17	*	*	
1006-3002	0,15	0,91	-1,82	2,41	0,86	0,03...0,03	+	+	
17.									
$I_6=(130-3010)+\varepsilon_1$									
3007-130	2,02	0,33	0,31	2,30	0,44	0,54..2,02	*	+	
3008-130	0,80	0,71	0,63	2,00	0,00	0,28..0,80	+	+	
3008-2115	1,87	0,44	-0,37	2,33	0,49	0,45..1,87	*	+	
130-3010	7,00	0,13	0,19	4,15	0,32	0,08..0,00	+	+	
3010-2115	1,95	0,42	0,53	3,39	0,43	0,09..1,95	*	+	
18.									
$\varepsilon_1=3m_0$ $\varepsilon_2=4m_0$ $\varepsilon_3=2m_0$									
+ : Başarılı - : Başarısız . : Belirsiz * : İrdeleme									