

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEODEZİ VE JEODİFORMASYON MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

**GPS/GNSS AĞLARI İÇİN SÜREKLİ BİR GERİNİM İZLEME**  
**VE KALİTE DEĞERLENDİRME STRATEJİSİ**

**PAKİZE KÜREÇ NEHBİT**

**KOCAELİ 2018**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

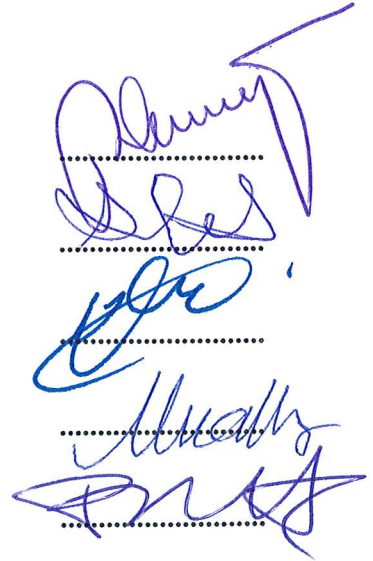
**JEODEZİ VE JEODİFORMASYON MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

**GPS/GNSS AĞLARI İÇİN SÜREKLİ BİR GERİNİM İZLEME**  
**VE KALİTE DEĞERLENDİRME STRATEJİSİ**

**PAKİZE KÜREÇ NEHBİT**

**Prof. Dr. Haluk KONAK**  
Danışman, Kocaeli Üniversitesi  
**Prof. Dr. Şerif BARIŞ**  
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi  
**Dr. Öğr. Üyesi Cankut Dağdal İNCE**  
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi  
**Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA**  
Jüri Üyesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi  
**Prof. Dr. Sebahattin BEKTAŞ**  
Jüri Üyesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 13.07.2018

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada İZGAZ Doğal Gaz alt yapısının jeodezik ağlarla izlenmesi projesi kapsamında kurulan ve epok oturumlu olarak 2009 ve 2010 yıllarında ölçülüp değerlendirilen İZDOGAP GPS Ağı için bir gerinim izleme ve kalite sorgulama stratejisi geliştirilmiştir.

“GPS/GNSS Ağları için Sürekli bir Gerinim İzleme ve Kalite Değerlendirme Stratejisi” konulu doktora tezimin yürütücülüğünü üstlenen, tez çalışmam boyunca değerli yardımları ile beni yönlendiren ve destekleyen Sayın Prof. Dr. Haluk KONAK’a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca yapıcı yorumlarını esirgemeyen tez izleme jürisi üyeleri Sayın Prof. Dr. Şerif BARIŞ’a ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Cankut D. İNCE’ye desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmamda kullandığım veriler için İZDOGAP Proje Ekibi özverili çalışanlarına teşekkür ederim. GAMIT/GLOBK yazılımını öğrenme sürecimde, destek ve önerilerini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Aydın ÜSTÜN’e ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Sefa YALVAÇ’a teşekkürü borç bilirim. Bununla birlikte tez çalışmam boyunca her anlamda desteğini esirgemeyen çalışma arkadaşım Arş. Gör. Sevda OLGUN’a çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu süreçte desteklerini esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Arş. Gör. Özer AKYÜREK’e ve Arş. Gör. Burcu ASLAN’a teşekkür ederim.

Hayatın her halini birlikte yaşadığım ve her zaman yanımda olan babam Mehmet Tahir KÜREÇ’e, annem Bağdat KÜREÇ’e, ağabeyim Tolga KÜREÇ’e sonsuz teşekkürler. Bu süreçte huzur kaynağım olan ve desteğini esirgemeyen eşim Tolga NEHBİT’e sonsuz teşekkürler. Ailemizin en küçük üyesi sevgili yeğenim Yağmur Selin KÜREÇ’e bu tezi ithaf ediyorum.

Haziran – 2018

Pakize KÜREÇ NEHBİT

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLOLAR DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT .....	x
GİRİŞ .....	1
1. JEODEZİK AĞLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	5
1.1. Sabit GNSS Ağları .....	5
1.1.1. Konum ve hız bilgilerinin üretilmesi .....	9
1.1.2. Referans sistemleri arasındaki dönüşümler.....	12
1.1.3. Bölgesel hız alanlarının güncellenmesi.....	14
1.2. Sıklaştırma GNSS Ağları .....	17
1.2.1. Sıklaştırma ağlarının değerlendirilmesi .....	20
1.3. Duyarlık ve Güven Ölçütleri .....	27
2. JEODEZİK AĞLARDA ALGILAYABİLİRLİK.....	38
2.1. Öncül Algılayabilirlik.....	39
2.2. Soncul Algılayabilirlik .....	43
2.3. Dış Güvenirlik ve Algılayabilirlik Gereksinimleri için Bir Sorgulama Algoritması .....	46
3. JEODEZİK AĞLARDA GEOMETRİK GERİNİM.....	53
3.1. Gerinim Kavramı.....	53
3.2. Gerinim Modelleri.....	59
3.2.1. Deformasyon modeli yaklaşımı .....	59
3.2.2. Yüzeysel model yaklaşımı.....	60
4. JEODEZİK AĞLARDA SAĞLAMLIK .....	65
4.1. Uyuşumsuz Ölçülerin Yerleştirilmesi .....	66
4.1.1. En küçük kareler kestirimi ile uyuşumsuz ölçülerin yerleştirilmesi .....	67
4.1.2. Sağlam (Robust) kestirim yöntemleri ile uyuşumsuz ölçülerin yerleştirilmesi .....	70
4.2. Jeodezik Ağlar için Sağlamlık İrdemeleri .....	72
4.2.1. Deformasyon vektörlerinin belirlenmesi.....	74
4.3. Algılayabilirlik ve Sağlamlık Sentezleri .....	80
5. HIZ ALANLARI İÇİN TUTARLILIK TESTLERİ .....	83
5.1. Simetrik Özellikli Rasgele Tensörler için Tutarlılık Testleri.....	83
5.1.1. Model hipotez testi .....	88
5.1.2. Özdeğerler için anlamlılık testleri .....	89
5.1.3. Benzerlik testleri .....	92
5.2. Bölgesel/Yerel Gerinim Testleri .....	93

6. SAYISAL UYGULAMA.....	96
6.1. Jeodezik Ağlar için Gerinim ve Algılayabilirlik İzleme Stratejisi .....	101
6.1.1. Referans sistemleri arasındaki tutarlılık testleri .....	102
6.1.1.1. Global tutarlılık testleri .....	104
6.1.1.2. Lokal tutarlılık testleri .....	110
6.2. İZDOGAP GPS Ağı için Düzgün Hız Alanı Belirleme .....	118
6.3. Yerel Gerinim Özelliklerinin Sorgulanması.....	123
6.4. İZDOGAP GPS Ağı için Dış Güvenirlik ve Algılayabilirlik Gereksinimlerinin Sorgulanması.....	125
6.4.1. Geometrik şekil ve öncül algılayabilirlik analizleri .....	125
6.4.2. Dış güven gereksinimlerinin denetlenmesi .....	130
6.4.3. Algılayabilirlik gereksinimlerinin denetlenmesi .....	130
6.4.4. Soncul algılayabilirlik irdelemeleri .....	135
6.5. Diğer Ağlar için Dış Güvenirlik ve Algılayabilirlik İrdemeleri.....	139
6.5.1. Genişletilmiş İZDOGAP ağı .....	139
6.5.1.1. Dış güvenirlik irdelemeleri: G-İZDOGAP .....	139
6.5.1.2. Algılayabilirlik analizleri: G-İZDOGAP .....	146
6.5.2. KOUSAGA sabit GPS ağı.....	148
6.5.2.1. Dış güvenirlik irdelemeleri: KOUSAGA .....	149
6.5.2.2. Algılayabilirlik analizleri: KOUSAGA .....	151
6.6. Algılayabilirlik ve Sağlamlık Sentezi.....	153
6.6.1. Algılayabilirlik ve sağlamlık sentezi için alternatif uygulamalar .....	156
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	158
KAYNAKLAR .....	163
EKLER .....	169
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER .....	194
ÖZGEÇMİŞ .....	196

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Global IGS istasyonları.....	17
Şekil 1.2. TUTGA Ağı.....	18
Şekil 1.3. TUSAGA-Aktif istasyonları.....	19
Şekil 2.1. Dış güvenilirlik ve algılayabilirlik gereksinimleri için bir sorgulama algoritması.....	52
Şekil 3.1. Homojen ve heterojen deformasyonlar.....	54
Şekil 3.2. Kesme gerinimleri.....	57
Şekil 3.3. Deformasyon modelleri.....	59
Şekil 3.4. Gerinim elipsi elemanlarının çizimi.....	64
Şekil 4.1. Algılayabilirlik ve sağlamlık sentezi için akış diyagramı.....	82
Şekil 6.1. Kocaeli İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağı.....	97
Şekil 6.2. Türkiye tektonik haritası.....	98
Şekil 6.3. TUSAGA-Aktif istasyonlarının ITRF sisteminde hız alanları.....	99
Şekil 6.4. IGS-TUSAGA kontrol ağı.....	100
Şekil 6.5. Bir gerinim izleme ve kalite sorgulama stratejisi.....	103
Şekil 6.6. IGS-TUSAGA kontrol ağında global tutarlılık testleri için kullanılan Simeis-Matera-Ankara üçgensel alanı.....	105
Şekil 6.7. GAMIT/GLOBK günlük çözümler için komut satırları.....	111
Şekil 6.8. GAMIT/GLOBK dizin çizelgesi.....	112
Şekil 6.9. GAMIT/GLOBK 3 yıllık çözümler için komut dosyaları.....	113
Şekil 6.10. KOUSAGA GPS ağı.....	117
Şekil 6.11. Genişletilmiş İZDOGAP Ağı.....	119
Şekil 6.12. $\alpha=0.025$ yanılma olasılığına göre eşdeğerlik test sonuçları.....	120
Şekil 6.13. İZDOGAP GPS ağı blokları.....	121
Şekil 6.14. İZDOGAP sıklaştırma GPS ağı ve seçilen test bölgesi.....	127
Şekil 6.15. 2009 epoklu ölçüler için algılayabilirlik haritası.....	128
Şekil 6.16. 2010 epoklu ölçüler için algılayabilirlik haritası.....	128
Şekil 6.17. Öncül dış güvenilirlik fark haritaları.....	129
Şekil 6.18. Öncül algılayabilirlik fark haritaları.....	129
Şekil 6.19. I. Tip robust ağırlıklandırılmalı dış güvenilirlik fark haritası.....	132
Şekil 6.20. I. Tip robust ağırlıklandırmanın algılayabilirlik farklarına etkisi.....	132
Şekil 6.21. II. Tip robust ağırlıklandırılmalı dış güvenilirlik fark haritası.....	133
Şekil 6.22. II. Tip robust ağırlıklandırmanın algılayabilirlik farklarına etkisi.....	133
Şekil 6.23. Özgün deneysel sonuçlar için soncul algılayabilirlik haritası.....	138
Şekil 6.24. Algoritma sonucu ulaşılabilir soncul algılayabilirlik haritası.....	138
Şekil 6.25. 2009 epoklu İZDOGAP ağı deneysel dış güvenilirlik haritası.....	141
Şekil 6.26. 2009 epoklu genişletilmiş İZDOGAP ağı deneysel dış güvenilirlik haritası.....	141
Şekil 6.27. 2010 epoklu İZDOGAP ağı deneysel dış güvenilirlik haritası.....	142
Şekil 6.28. 2010 epoklu genişletilmiş İZDOGAP ağı deneysel dış güvenilirlik haritası.....	142

Şekil 6.29. Genişletilmiş İZDOGAP ağı epok 2009 algılayabilirlik haritası.....	146
Şekil 6.30. Genişletilmiş İZDOGAP ağı epok 2010 algılayabilirlik haritası.....	147
Şekil 6.31. Genişletilmiş İZDOGAP ağı için algılayabilirlik fark haritası .....	147
Şekil 6.32. KOUSAGA ağı gözlem planı .....	149
Şekil 6.33. KOUSAGA ağı epok 2009 dış güven haritası .....	150
Şekil 6.34. KOUSAGA ağı epok 2010 dış güven haritası .....	150
Şekil 6.35. KOUSAGA ağı dış güvenirlilik fark haritası.....	150
Şekil 6.36. KOUSAGA ağı epok 2009 algılayabilirlik haritası.....	152
Şekil 6.37. KOUSAGA ağı epok 2010 algılayabilirlik haritası.....	152
Şekil 6.38. KOUSAGA ağı algılayabilirlik fark haritası .....	152
Şekil A.1. Düzgün hız alanı belirleme işlemleri .....	170



## TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Güvenirlik ölçütlerinin sınır değerleri .....	37
Tablo 6.1. IGS istasyonları için kullanılan çözüm teknikleri.....	105
Tablo 6.2. Farklı ITRF sistemleri için elde edilen gerinim tensör ve özalan bileşenleri.....	106
Tablo 6.3. Global hız alanı model hipotez testi .....	107
Tablo 6.4. Global hız alanı parametre anlamlılık testleri.....	108
Tablo 6.5. Global hız alanı benzerlik oran testleri .....	109
Tablo 6.6. Global hız alanı tutarlılık testleri özet tablosu .....	109
Tablo 6.7. ITRF2008'den önceki sistemlere dönüşüm elemanları .....	114
Tablo 6.8. ITRF sistemlerinden ETRS sistemlerine dönüşüm parametreleri.....	114
Tablo 6.9. KOUSAGA GPS ağı lokal hız tutarlılık testleri: TEKR-ISTN-ISTA üçgeni örneği .....	116
Tablo 6.10. KOUSAGA GPS ağı lokal tutarlılık testleri özet tablosu.....	117
Tablo 6.11. Bloklarda düzgün hız alanı için özel afinlik testleri .....	122
Tablo 6.12. Bloklarda yer değiştirme vektörü için özel afinlik testleri .....	124
Tablo 6.13. Geometrik şekil analizi ve öncül algılayabilirlik değerleri.....	127
Tablo 6.14. Dış güven gereksinimleri için kestirilen değerler ve algılayabilirlik dağılımına etkileri.....	131
Tablo 6.15. En uygun algılayabilirlik değerinin kestiriminde sınır değer araştırması .....	136
Tablo 6.16. İZDOGAP GPS ağı için ulaşılabilir algılayabilirlik dağılımı.....	137
Tablo 6.17. Genişletilmiş İZDOGAP ağı için algılayabilirlik ve dış güvenirlik değerleri .....	140
Tablo 6.18. Genişletilmiş İZDOGAP ağının dış güvenirlik ve algılayabilirlik değerlerine katkısı.....	143
Tablo 6.19. KOUSAGA GPS ağının dış güvenirlik ve algılayabilirlik dağılımına katkısı .....	144
Tablo 6.20. Genişletilmiş İZDOGAP Ağı için ulaşılabilir dış güvenirlik dağılımı .....	145
Tablo 6.21. Genişletilmiş İZDOGAP Ağı için ulaşılabilir algılayabilirlik dağılımı .....	148
Tablo 6.22. KOUSAGA ağı dış güvenirlik ve algılayabilirlik değerleri.....	149
Tablo 6.23. Öncül algılayabilirlik ve sağlamlık sentezi.....	155
Tablo 6.24. Alternatif algılayabilirlik ve sağlamlık sentezi.....	157
Tablo B.1. KOUSAGA GPS ağı; lokal hız alanı tutarlılık testleri .....	175
Tablo C.1. Algılayabilirlik ve sağlamlık sentezi işlemleri.....	184



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Katsayılar matrisi
d	: Yer değiştirme vektörü (m)
F	: Fisher dağılımı
F	: Serbestlik derecesi
G	: Dönüşüm matrisi
v	: Düzeltmeler vektörü (m)
t	: Student dağılımı
T	: Test değeri
W	: Robust ağırlık matrisi
X	: Bilinmeyenler vektörü (m)
E(.)	: Herhangi bir ölçünün umut değeri
E <sub>i</sub>	: Herhangi bir ağ noktasına ilişkin gerinim tensörü ( $\mu\text{m}$ )
K <sub>II</sub>	: Ölçülerin varyans-kovaryans matrisi
s <sub>0</sub> <sup>2</sup>	: Kuramsal varyans (cm <sup>2</sup> )
$\delta_0$	: Dış merkezlik parametresinin sınır değeri
m <sub>0</sub> <sup>2</sup>	: Deneysel varyans (cm <sup>2</sup> )
H <sub>0</sub>	: Sıfır hipotezi
H <sub>S</sub>	: Seçenek hipotezi
r <sub>i</sub>	: i ölçüsü için redundans değeri
Q <sub>xx</sub>	: Bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi
Q <sub>II</sub>	: Ölçülerin ters ağırlık matrisi
Q <sub>vv</sub>	: Düzeltmelerin ters ağırlık matrisi
e <sub>i</sub>	: i. ölçü için birim vektör
$\epsilon$	: Gerçek hata değeri (m)
$\tau$	: Tau dağılımı
$\chi$	: Chi-Kare dağılımı
$\alpha$	: Yanılma olasılığı (%)
$\Delta_i$	: i. ölçüdeki kaba hata değeri (m)
$\Delta X$	: x yönündeki baz ölçüsü (m)
$\Delta Y$	: y yönündeki baz ölçüsü (m)
$\Delta Z$	: z yönündeki baz ölçüsü (m)

### Kısaltmalar

AGA	: Ana GPS Ağı
ASN	: Alım için Sıklaştırma GPS Ağı
BLUUE	: Best Linear Uniformly Unbiased Estimation (En Yansız Eş Biçimli Doğrusal Kestirim)
BIQUUE	: Best Invariant Quadratic Uniformly Unbiased Estimation (En Yansız Eş Biçimli Karesel Kestirim)

DORIS	: Doppler Orbitography by Radiopositioning Integrated on Satallite (Uydu ile Entegre Edilen Doppler Orbitografi ve Radyopozisyon)
EPN	: EUREF Permanent Network (EUREF Sabit Ağı)
ETRS	: European Terrestrial Reference System (Avrupa Yersel Referans Sistemi)
GNSS	: Global Navigation Satellite System (Uydularla Konum Belirleme Sistemi)
GPS	: Global Positioning System (Global Konum Belirleme Sistemi)
GRS80	: Geodetic Reference System (Jeodezik Referans Sistemi)
IERS	: The International Earth Rotation and Reference System Service (Uluslararası Yer Dönme ve Referans Sistemleri Servisi)
ICRS	: The International Celestial Reference System (Uluslararası Gök Referans Sistemi)
ITRF	: The International Terrestrial Reference Frame (Uluslararası Yersel Referans Çerçevesi)
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
LLR	: Lunar Laser Ranging (Ay Lazer Mesafe Ölçümü)
SGA	: Sıklaştırma GPS Ağı
SLR	: Satellite Laser Ranging (Uydu Lazer Mesafe Ölçümü)
SND	: Sıfır-Net-Dönüklük
TUTGA	: Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
TUSAGA	: Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı
VLBI	: Very Long Baseline Interferometry (Çok Uzun Baz Interferometrisi)

## GPS/GNSS AĞLARI İÇİN SÜREKLİ BİR GERİNİM İZLEME VE KALİTE DEĞERLENDİRME STRATEJİSİ

### ÖZET

Sabit ya da temel sıklaştırma GPS/GNSS ağları, kendilerinden beklenen duyarlık ve güvenilirlik isteklerinin yanı sıra, olası yer kabuğu hareketlerini de yeterli doğrulukta karşılamalıdır. Ülkemizin aktif tektonik hareketliliğe sahip olması nedeniyle, kuruluş amaçlarına yönelik olarak tasarlanan jeodezik ağların kalite sorgulama işlemleri oldukça önemlidir. Bu çalışmada ülke temel ağlarına dayalı olarak sıklaştırılan, epok oturumlu olarak ölçülen bir sıklaştırma GPS ağı için kalite sorgulama işlemleri yapılmaktadır. Bu amaçla; üst dereceden ağ noktaları kullanılarak düzgün bir hız alanı belirlenmektedir. Çalışma alanını temsil eden hız alanı bilgileri ile lokal ve global tutarlılık testleri yapılmaktadır. Bununla birlikte, üst dereceden ağ noktaları kullanılarak elde edilen düzgün hız alanı bilgileri ile bölgesel hız alanı güncellemesi yapılarak, özel gerinim testleri ile bölgesel hız alanının karakteri belirlenmektedir. Epok oturumlu olarak ölçülen sıklaştırma GPS ağı dış güvenilirlik ve algılayabilirlik dağılımları irdelenmekte ve üst dereceden ağ noktaları ile genişletilen sıklaştırma GPS ağlarındaki dış güvenilirlik ve algılayabilirlik dağılımlarındaki değişimler araştırılmaktadır. Aynı zamanda, jeodezik ağların geometrik yapısından kaynaklanan gerinimleri sağlamlık ölçütleri ile sorgulanmaktadır. Son adımda ağda ulaşılabilen algılayabilirlik ve sağlamlık dağılımları yorumlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Algılayabilirlik, Gerinim, Güvenirlik, Hız Alanları, Sağlamlık.

## **A CONTINUOUS STRAIN MONITORING AND QUALITY ASSESSMENT STRATEGY FOR GPS/GNSS NETWORKS**

### **ABSTRACT**

The Permanent or the Fundamental Densification Global Positioning System / Global Navigation Satellite Systems (GPS/GNSS) Networks must provide the precision and reliability requirements. These networks should also be able to detect the possible earth crust movements. The quality assessment process of geodetic networks designed according to their purposes of establishing is very important for our country owing to active tectonic movements. In this study, the quality of a fundamental densification GPS network, which is measured as epochs, densified based on the fundamental country networks is queried. For this purpose, a regular velocity field is determined by using the high order common stations. Local and global consistency tests are performed with the velocity field information representing the study area. On the other hand, the character of the regional velocity field is determined by special strain tests with the regional velocities updated by using the high order common stations. The external reliability and sensitivity distributions of the densification GPS network, which measured as epochs, are investigated and the changes in the external reliability and sensitivity distributions of the GPS networks expanded by the high order common stations are analyzed. At the same time, the strains due to the geometric structure of the network are examined by using robustness criteria. In the final step, the sensitivity and robustness distributions that can be reached in the network are interpreted.

**Keywords:** Sensitivity, Strain, Reliability, Velocity Fields, Robustness.

## GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte anlık olarak çok miktarda veriye ulaşmak mümkündür. Farklı zamanlarda elde edilen tüm verilerin ortak bir datumda değerlendirilmesi ile yüksek doğrulukta konum ve hız bilgilerinin elde edilmesi sağlanmaktadır. Bu nedenle epok oturumlu gözlemlerle elde edilmiş olan GPS gözlemleri ile sürekli gözlem yapan istasyonlardan elde edilmiş olan verilerin birleştirilmesi temel bir jeodezik problem olarak gündeme gelmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak eski (klasik) gözlemler ve sürekli gözlemlerin elverdiğince ek gözlem planları ile birleştirilmesi çalışma bölgesindeki tektonik hareketliliğin ya da yerel deformasyonların modellenmesi açısından oldukça önemlidir.

Türkiye Afrika, Avrasya ve Arap levhaları arasında sıkışmış olan Anadolu levhası üzerinde yer almaktadır. Aktif bir fay kuşağı üzerinde yer alan deneysel çalışma alanımızın bulunduğu Kocaeli ili ise 1. derecede deprem riskine sahiptir.

Bu nedenle ülkemizde kurulan jeodezik amaçlı ağların bu hareketliliği algılayacak yüksek kalitede olması gerekli ve zorunludur. Jeodezik ağların kalite sorgulamaları için günümüze kadar duyarlık ve güven ölçütleri yeterli olurken, günümüzde ise algılayabilirlik ve sağlamlık düzeylerinin de sorgulanması giderek önem kazanmaktadır.

Bilimsel ya da mühendislik amaçlı bir jeodezik kontrol ağında, güvenilirlik ölçütleri öngörülen sınır değerleri yeterince karşılayabilir. Fakat, herhangi bir ölçüdeki kaba hata ağdaki tüm noktaların koordinat bilinmeyenlerini ayrı ayrı etkiler ve hepsinde farklı oranda deformasyona yol açarlar. Bununla birlikte herhangi bir ölçüdeki kaba hatanın etkisi ile her nokta farklı yönde ve oranda gerinir. Dolayısı ile jeodezik ağlar için güvenilirlik irdeleme işlemleri de gerinimlerin yarattığı en büyük etkiyi araştırma problemine dönüştürülebilir (Vanicek ve diğ., 1990; Berber, 2006; Konak, 2018).

Günümüzde, jeodezik ağlar farklı epoklarda ve farklı oturumlarda deformasyon ağları ya da sürekli ağlar olarak izlenmektedir. Zaman içerisinde ölçülerdeki kaba hatalar, koordinat bilinmeyenleri üzerinde olumsuz birikimlere ve gerinimlere yol açarlar. Sözü edilen bu birikimlerin olabildiğince algılanması ve bu anlamda jeodezik ağların algılayabilirlik düzeylerinin de sorgulanması gerekir (Hsu ve Hsiao, 2002; Küreç ve Konak, 2014).

Gerek ülke gerekse sıklaştırma temel/sabit kontrol ağları, deformasyon izleme ağları ya da özel amaçlı yerel izleme ağlarının algılayabilirlik ve sağlamlık yönünden sorgulanması ve düzenli aralıklarla izlenmesi doktora çalışmasının temelini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, bu tez çalışması sonucunda jeodezik kontrol ağları için uygulanabilir ve kullanılabilir bir kalite sorgulama stratejisi önerilmektedir.

Özel amaçlı gerçek bir sıklaştırma ağı ve bu ağı kapsayan bölgesel bir sabit GNSS Ağı üzerinde test edilen bu stratejinin adımları, kuramsal temelleri ile birlikte ayrıntılı olarak sunulmaktadır.

Sürekli bir izleme ve kalite sorgulaması olarak adlandırılan bu strateji:

1. Ağın geometrik yapısının veya bölgesel/yerel yer kabuğu hareketlerinden ortaya çıkan olası gerinimlerin düzgün bir hız alanı altında belirlenmesi ve yorumlanması
2. Jeodezik ağların dış güvenilirlik ve algılayabilirlik gereksinimlerinin sorgulanması
3. Jeodezik ağların sağlamlık yönünden gözden geçirilmesi ve algılayabilirlik düzeyleri ile ilişkilendirilmesi
4. Üç ayrı yönden ele alınan yukarıdaki kalite ölçütlerinin bölgesel sabit bir GNSS ağına ve yerel bir GPS izleme ağına uygulanması

aşamalarından oluşmaktadır.

Tez çalışmasının ilk bölümünde, sabit GNSS ağlarının değerlendirilme işlemleri ile belirli bir referans sisteminde tanımlı konum ve hız bilgilerinin farklı referans sistemlerine dönüştürme ilkeleri anlatılmaktadır. Burada sabit GNSS istasyonlarından elde edilen düzgün hız alanı bilgileri kullanılarak bölgesel hız alanlarının güncellenmesi işlemleri açıklanmaktadır.

İkinci bölümde, jeodezik ağların kalite ölçütlerinden algılayabilirlik ve güvenilirlik kavramları üzerinde durulmaktadır. Bu kapsamda, epok oturumlu olarak ölçülüp değerlendirilen jeodezik ağlarda öncül algılayabilirlik ve soncul algılayabilirlik değerlerinin hesaplanma ilkelerine yer verilmektedir. Jeodezik ağlarda, dış güvenilirlik ve algılayabilirlik dağılımının sorgulanması ve ağın gereksinimlerini karşılayabilecek dış güvenilirlik ve algılayabilirlik değerlerinin kestirilmesine yönelik olarak geliştirilen bir değerlendirme algoritması aşamaları ile birlikte açıklanmaktadır.

Üçüncü bölümde, jeodezik ağlarda ölçme planından, ölçü ağırlıklarından ve herhangi bir ölçüdeki ortaya çıkarılmayan kaba hatalardan diğer bir ifade ile ağın iç yapısından kaynaklanan ya da tektonik hareketler gibi ağın dış yapısından kaynaklanan gerinimlerin hesaplanmasında kullanılan yöntemler ile bu gerinimlerin geometrik yorumları ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

Dördüncü bölüm, herhangi bir ölçüdeki ortaya çıkarılmayan en küçük hatanın koordinat bilinmeyenleri üzerindeki etkisinden kaynaklanan deformasyon direncinin hesaplanması işlemlerini içermektedir. Diğer bir ifade ile epok oturumlu olarak ölçülüp değerlendirilen jeodezik ağların her epokta gözlem planına ve ölçü ağırlıklarına göre değişen sağlamlık değerlerine ilişkin sorgulama işlemlerinin kuramsal alt yapısı tanıtılmaktadır. Bununla birlikte jeodezik ağlarda, algılayabilirlik ve sağlamlık ölçütlerinin birlikte yorumlanabilmesini amaçlayan bir sentez işlemi önerilmektedir.

Beşinci bölümde, belirli bir referans sisteminde tanımlı konum ve hız alanı bilgileri kullanılarak hesaplanan simetrik özellikli gerinim tensör bileşenleri için tutarlılık testlerinin matematiksel temelleri anlatılmaktadır. Bununla birlikte, bölgesel hız alanı bilgilerinin karakteristik yapısının afinlik testleri ile analizi için bir değerlendirme işlemine yer verilmektedir.

Sayısal uygulama bölümünde, sıklaştırma GPS ağı olarak kurulan ve epok oturumlu olarak ölçülen gerçek bir jeodezik ağ (KOCAELİ İZDOGAP GPS AĞI) için bir gerinim izleme ve kalite sorgulama işlemleri yapılmaktadır. Bu amaçla;

- Öncelikli olarak bölgesel bir alanı temsil eden sıklaştırma GPS ağının (KOUSAGA), üst dereceden ağ noktalarından yararlanılarak bölgesel hız alanı

bilgileri güncellendi. Sıklaştırma GPS ağının kapsadığı bölge ve çevresinde bulunan üst dereceden ağ noktalarının konum ve hız bilgileri kullanılarak global ve lokal ölçekte hız alanları için tutarlılık testleri uygulandı. Bu analizler için, üst dereceden ağ noktalarından oluşan yüzeyler için hesaplanan gerinim tensör bileşenleri kullanıldı. Üst dereceden ağ noktalarına dayalı olarak güncellenen bölgesel hız alanı bilgileri özel afinlik testleri ile analiz edilerek hız bilgilerinin karakteri araştırıldı.

- Epok oturumlu olarak ölçülüp değerlendirilen İZDOGAP sıklaştırma GPS ağı, dış güvenirlik ve algılayabilirlik yönünden incelendi. Bu ağda, dış güvenirlik dağılımını bozan gözlemlerin ve algılayabilirlik dağılımını bozan istasyon noktalarının yerleri geliştirilen bir algoritma ile belirlenerek, ağın gereksinimlerini karşılayacak dış güvenirlik ve algılayabilirlik değerleri kestirildi.
- Optimizasyon işlemleri ile oturum planları ve gözlem süreleri belirlenmiş ve epok oturumlu olarak ölçülmüş bu sıklaştırma GPS test ağı, sürekli gözlem yapılan istasyonlarla birlikte bütünleştirilerek algılayabilirlik ve sağamlık dağılımları yeniden gözden geçirildi.
- Sözü edilen test ağları için sağamlık düzeyleri hesaplandı. Ayrıca; sağamlık bilgileri, algılayabilirlik değerleri ile birlikte sorgulandı.

Tezin son bölümünde, sayısal uygulamalardan elde edilen sonuçlar sergilenmekte ve karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.



## 1. JEODEZİK AĞLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Günümüzde jeodezik ağlar, yüksek doğruluklu ölçme teknikleri ile sürekli olarak gözlenebilmekte ve belirli bir hız alanı içerisinde tanımlanabilmektedir. Çoklu oturumlarda ve farklı epoklarda elde edilen verilerin belirli bir referans sisteminde ve zaman serileri ile birlikte değerlendirilmesi veri kaybının önlenmesi açısından önemli hale gelmektedir. Bu nedenle jeodezik Referans Sistemleri ve Referans Koordinat Sistemleri yer kabuğu hareketlerine karşı duyarlı olmalıdır. Bu amaçla seçilen referans sistemlerinin yer kabuğu hareketlerine karşı duyarlılıkları, bölgeyi yeterince temsil eden hız alanlarının belirlenmesi ile mümkün olmaktadır. Diğer bir anlatımla; jeodezik ağların değerlendirilmesi aşamasında kalite sorgulamalarının gerçekçi sonuçlar verebilmesi yönünden düzgün hız alanlarının güvenilir bir şekilde belirlenmesi temel bir jeodezik ödevdir.

### 1.1. Sabit GNSS Ağları

Klasik jeodezik ağlarda, ağ noktalarının litosfere yapışık bir koordinat sistemine dayalı olarak üretilmesi sonucu ağın yöneltme parametreleri ve datum noktalarının koordinatları zaman içerisinde oluşan yer kabuğu hareketlerine karşı duyarlı değildir. Bu nedenle yer kabuğu hareketlerine karşı duyarlı referans koordinat sistemlerinin oluşturulması gerekli ve zorunlu bir duruma gelmiş ve Modern Referans Koordinat Sistemleri oluşturulmuştur. Günümüzde kullanılan en yaygın referans sistemleri:

- Uluslararası Yer Dönme ve Referans Sistemleri Servisi (The International Earth Rotation and Reference Systems Service, IERS) 1987 yılında Uluslararası Astronomi Birliği tarafından The International Earth Rotation Service (Uluslararası Yer Dönme Servisi) adı ile kurulmuş ve 2003 yılında adı “International Earth Rotation and Reference Systems Service” olarak değiştirilmiştir.
- Uluslararası Gök Referans Sistemi (The International Celestial Reference Frame, ICRS)

- Uluslararası Yersel Referans Sistemi (The International Terrestrial Reference System, ITRS)

olarak tanımlanmaktadır (URL-2, 2017). Modern Referans Koordinat Sistemlerine dayalı olarak; yatay ve düşey kontrol ağları birlikte değerlendirilebilmekte ve ağ yöneltme parametrelerinin zamana bağlı değişimleri de belirlenebilmektedir (Aktuğ, 2003 ve 2005).

Öte yandan referans sistemlerinin yardımıyla plaka hareketlerinden kaynaklanan bölgesel değişimler minimize edilmektedir. Referans sistemlerinin tektonik hareketlere karşı duyarlı olabilmeleri için Sıfır-Net-Dönüklük (SND) ilkesine dayalı olan Kinematik Referans Sistemleri tanımlanmaktadır. SND ilkesi ile toplam (net) enerji ve yer merkezli bir sistemde toplam (net) dönüklük sıfır olarak kabul edilmektedir. Bu sayede nokta hızlarına bağlı olarak oluşacak net açısal moment sıfır olarak tanımlanmış olur. Yersel bir referans sisteminde SND koşulunun uygulanması, referans sisteminin dönüklük hızı nedeniyle oluşacak toplam (net) açısal momentin sıfır olması anlamına gelir. Kısaca; referans sistemlerinin yer merkezli sistemler olarak tanımlanabilmesi de, yerin ağırlık merkezindeki ve dönüşündeki düzensizliklere karşı duyarlı ölçü sistemlerinin geliştirilmesine dayanmaktadır (Aktuğ, 2003 ve 2005).

Farklı Uluslararası Yersel Referans Sistemleri (The International Terrestrial Reference Frame, ITRS) arasındaki yöneltme parametrelerinin zamana bağlı değişimleri nedeniyle farklı ITRS çözümlerinden elde edilen koordinat ve hızlarda farklılıklar meydana gelmektedir. ITRS' in zamana bağlı değişimini minimize etmek için Avrupa Yersel Referans Sistemi (European Terrestrial Reference Frame, ETRS) geliştirilmiştir ve bu sisteme dayalı olarak elde edilen Avrupa Yersel Referans Koordinat Sistemleri (EUREF) tanımlanmıştır. ETRS SND koşulu taşımayan bölgesel bir referans sistemidir (Aktuğ, 2003). ETRS ile ITRS arasındaki ilişkinin korunabilmesi için Avrasya'nın stabil bölümleri kullanılarak referans sistemlerinin zamana bağlı değişimleri tanımlanmaktadır. Avrasya'nın stabil bölümlerinin tarif edilmesi ise SND ilkesi ile sağlanmaktadır (Aktuğ, 2005).

Herhangi bir jeodezik çalışmada, Uluslararası Yersel Referans Çerçevesi' ne (The International Terrestrial Reference Frame, ITRF) dayalı olarak koordinat üretmek için hassas (yüksek duyarlıklı) bir veri kümesine ihtiyaç duyulmaktadır. Sıklaştırma niteliği taşıyan jeodezik çalışmalar için bu veri kümesi; International GPS Service (IGS) ürünleri olan yörünge ve yer dönme parametreleri ile ITRF çözümlerinden elde edilen hassas nokta koordinatlarından oluşmaktadır. Uzun süreli çalışmalar ile katı blok dönmeleri, plaka içi ve plakalar arası diferansiyel hareketleri inceleyen çalışmalar için, bu hassas veri kümesine ek olarak koordinat sistemlerindeki genel kinematığı temsil eden Euler Parametrelerine de ihtiyaç duyulmaktadır (Aktuğ, 2003).

Plaka ve katı blok dönmelerinin belirlenebilmesi için ayrıca, nokta koordinatlarının belirli bir görelî hız referans sisteminde tanımlanması gerekmektedir. Plaka veya blok sınırları ile ayrılmış belirli bir bölgedeki noktaların hızları komşu bloğa veya plakaya göre belirlenmektedir. Bu sistem Görelî Hız Referans Sistemleri olarak adlandırılmaktadır ve oluşturulan tüm hız referans sistemleri görelîdir. Görelî Hız Referans Sistemlerinde, plaka ve bloğu çevreleyen fay sınırlarının gösterilmesi oldukça önemlidir (Aktuğ, 2003).

Kıtasal hareketlerin izlenmesinin yanı sıra GPS yörüngelerinin, saat hataları düzeltmelerinin, yer dönme parametrelerinin ve global datumun tanımlanması için IGS ağı kurulmuştur. IGS gibi bilimsel amaçla üretilen Avrupa ağı olarak bilinen EPN (EUREF Permanent Network) ağlarının başlıca görevleri arasında Avrupa Yersel Referans Sistemlerinin (European Terrestrial Reference System-ETRS) tanımlanması, Avrupa plakası üzerindeki lokal deformasyonların izlenmesi, efemeris ve saat düzeltmelerinin doğruluğunun belirlenmesi işlemleri yer almaktadır (Massimi ve Stasevicius, 2012).

Aynı şekilde; bölgesel plaka hareketleri, yerel deformasyonlar, temel mühendislik hizmetlerinin vb. izlenmesi amacıyla ülkeler, özel ya da kamu kurumları yerel sabit GNSS ağları kurmakta ve işletmektedir.

Sözgelimi TUSAGA-Aktif (CORS-TR) sistemi bu amaçla kurulmuş bir ağıdır. Bu ağın bünyesinde ülkemizde ve KKTC'de toplam 146 adet GNSS istasyonu bulunmaktadır. TUSAGA-Aktif sistemi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Tapu Kadastro Genel

Müdürlüğü ve Harita Genel Komutanlığı'nın ortak çalışması ile kurulmuştur (Yıldırım ve diğ., 2011).

Yerbilimlerinin temel konusu, yeryüzü şeklinin zaman bağlı değişiminin jeodezik ve jeofizik amaçlı ağların ölçülmesi ve değerlendirilmesi işlemleriyle belirlenmesidir. Kullanılan çeşitli teknikler ile bu ağlardaki noktaların üç boyutlu konum ve hızları mm düzeyinde yüksek doğrulukla belirlenebilmektedir. Bu veriler;

- 1) Yerkabuğu hareketlerine ilişkin bölgesel deformasyon ve gerinim birikimlerini,
- 2) Kuzey Amerika, Pasifik, Güney Amerika, Avrasya, Avustralya, Nazca ve Karayipler gibi belli başlı levhaların tektonik hareketlerini,
- 3) Taşküre (Litosfer) tabakasının iç deformasyonunu,
- 4) Yüksek deprem aktivitesine sahip bölgelerde oluşan deformasyonları ve kabuk değişimini,

daha iyi anlamamıza yardımcı olacaktır (Cai, 2004).

Bu amaçla kullanılan uzay tabanlı jeodezik ölçme teknikleri; Uydu Lazer Mesafe Ölçümü (Satellite Laser Ranging, SLR) , Ay Lazer Mesafe Ölçümü (Lunar Laser Ranging, LLR), Çok Uzun Baz Interferometrisi (Very Long Baseline Interferometry, VLBI), Global Konumlama Sistemi (Global Positioning System, GPS), Uydu ile Entegre Edilen Doppler Orbitografi ve Radyopozisyon (Dopler Orbitography by Radiopositioning Integrated on Satellite, DORIS) ve Global Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System, GNSS) olarak tanımlanmaktadır. ITRF sistemlerinin temel fikri uzay tabanlı jeodezi tekniklerinden elde edilen istasyon koordinatlarının ve hızlarının birleştirilmesidir (Altamimi ve diğ., 2007).

Lazer mesafe ölçerler ile, yeryüzündeki istasyonlardan özel retroreflektörlerle donatılmış yörünge üzerindeki hedeflere ultra kısa lazer atışları yollanarak anlık gidiş-dönüş süresi ölçülmektedir. Lazer mesafe ölçümü; bu hedefler dünyanın yörüngesinde bulunuyorsa SLR, ay yörüngesinde bulunuyorsa LLR olarak ikiye ayrılmaktadır. SLR mm hassasiyetinde kesin mesafe ölçümü yaparak, yüksek doğrulukla uydu yörüngelerini ve istasyon konumları ile hareketlerinin zaman içerisindeki davranışlarını belirlemektedir. SLR; Dünya'nın uzun dalga boyu gravite alanındaki zamansal değişimleri ölçebilmekte, mutlak bir sistemdeki yükseklik değişimlerini,

uzun vadede iklim değişikliklerini ve bir coğrafi bölgeye göre ağ hareketlerini izleyebilmektedir. Bununla birlikte SLR, ITRF sistemlerinin belirlenmesine de önemli katkılar sağlamaktadır. SLR bir Uluslararası Jeodezi Birliği (International Association of Geodesy, IAG) servisidir ve sahip olduğu istasyonların tümü GNSS, VLBI ve DORIS ile ortaklaşa konumlandırılmıştır (URL-1, 2017).

VLBI, bir eylemsizlik (inersiyal) referans çerçevesi tanımlamakta ve bu referans çerçevesinde yer dönmesini doğrudan ölçmektedir. Bu ölçümler ile atmosferik açısal momentum, okyanus gel-gitleri ve akımları ile katı yerkürenin elastik tepkisi incelenebilmektedir (URL-1, 2017).

GNSS alıcıları GNSS uydularından gelen sinyalleri algılar, çözer ve işler. GNSS uyduları; GPS, GLONASS, Galileo (Avrupa), Beidou/Compass (Çin) ve QZSS (Japonya) olarak tanımlanmıştır.

DORIS; istasyon konumlarını belirlemek için hassas yörünge belirleme ve yer işaretçilerinin yüksek doğrulukla konumlarını belirleyebilmek için geliştirilmiştir. DORIS kullanılarak, yer işaretçilerinden yayılan ve uzay aracı tarafından alınan radyo frekansı üzerindeki Doppler kayması doğru bir şekilde ölçülmektedir. (URL-1, 2017).

### **1.1.1. Konum ve hız bilgilerinin üretilmesi**

Uydu teknolojisinin gelişmesi ile birlikte anlık olarak çoklu ortamlardan ve farklı epoklardan elde edilen çok sayıdaki verilerin bozucu etkilerden arındırılması ve toplu olarak değerlendirilmesi için çeşitli yazılımlar geliştirilmiştir. Bu yazılımlar sözgelimi Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından geliştirilen GAMIT/GLOBK, Bern Üniversitesi Astronomi Enstitüsü tarafından geliştirilen BERNESE ve NASA tarafından geliştirilen GIPSY yazılımlarıdır. Güncel ve güvenilir bir veri alt yapısı oluşturan GAMIT/GLOBK yazılımı kullanımı rahat, doğru ve duyarlı konum ve hız bilgileri üreten, Linux işletim sistemine bağlı olarak çalışan bir yazılım programıdır (Poyraz, 2009).

GAMIT modülü, tam sayı belirsizliğini gidermek için kod ölçülerini ve hassas konum belirleme işlemleri için faz ölçülerini kullanır. Yüksek doğruluklu bağlı konumlama için gözlemler, her epokta tekrarlı olarak birçok istasyondan L1 (1575.42 MHz) ve L2 (1227.6 MHz) GPS frekanslarından türetilir (Herring ve diğ., 2015). GAMİT, faz

ölçülerinden yararlanarak istasyon noktalarının 3 boyutlu konumlarının, hızlarının, uydü yörüngelerinin, atmosferik zenit gecikmelerinin ve yer dönme parametrelerinin kestirimini sağlayan bir programdır (URL-3, 2016). Kod ölçüleri, 300 metre dalga boylu CA (Coarse Acquisition) kod ve 30 metre dalga boylu P (Protected) kod şeklindedir. Kod ölçüleri jeodezik ölçümlerde kullanılmak için yeterli bir duyarlığa sahip değildir. Alıcı saat düzeltmelerinin kestirilmesinde, tam sayı belirsizliğinin çözülmesinde ve faz gözlemlerindeki kesikliklerin onarılmasında kod ölçüleri kullanılmaktadır (Herring ve diğ., 2015).

Veri alt yapısı: rinex formatında depolanan verilerin değerlendirilmesi aşamasında, GAMIT modülü tarafından otomatik olarak, rinex, igs, gfiles, brdc ve tables alt dizinleri oluşturulmaktadır. “rinex” dizini içerisinde çalışmada kullanılan istasyon noktalarına ait rinex verileri, “igs” dizini içerisinde kullanılması planlanan IGS istasyonlarının verileri, “gfiles” dizini içerisinde sonuç dosyaları, “brdc” dizini içerisinde navigasyon aktarma dosyaları ve “tables” dizini içerisinde ise altı önemli kontrol dosyası bulunmaktadır. Bu kontrol dosyaları GAMIT kurulumu aşamasında oluşturulan “gg/tables” dizininden kopyalanmaktadır.

Kontrol dosyaları: “autcln”, “process.defaults”, “sestbl”, “sittbl”, “sites.defaults” ve “station.info” şeklindedir. “autcln” komut dosyalarını, “process.defaults” GAMIT komut dosyalarını ve dizin yapılarını içermektedir.

“sestbl”, analiz tiplerinin belirlenmesi, öncül uydü hataları ve uydü kısıtları için giriş kontrol dosyalarıdır.

“sittbl”, öncül koordinat kısıtları, atmosferik modeller ve isteğe bağı saat modellerinin her istasyon için belirlenmesini sağlayan giriş kontrol dosyasıdır.

“sites.defaults”, değerlendirmede kullanılan yaklaşık istasyon listelerini içermektedir.

“station.info”, istasyonlar hakkında bilgiler içermektedir ve bu bilgiler GAMIT tarafından otomatik olarak güncellenmektedir.

Bunlara ek olarak “tables” dizini altında genel dosyalar da bulunmaktadır. “tables” dizini içerisinde yer alan genel dosyalar: “ftp\_info”, “rcvant.dat”, “guess\_rcvant.dat”, “antmod.dat”, “svnav.dat”, “svs\_exclude.dat”, “gdetic.dat”, “utl”, “pole”, “leap.sec”,

“nutabl”, “luntab”, “soltab”, “otl.grid” ile “otl.list”, “atl.grid” ile “atl.list”, “atml.grid” ile “atml.list” ve “map.grid” ile “map.list” olarak isimlendirilmektedir. Genel dosyaların görevleri ise aşağıda ki gibi sıralanmıştır.

- ftp\_info : Dış arşivlerden dosya indirmek için kullanılan protokoldür.
- rcvant.dat: Gamit’in 6 karakterli kodu ile Sinex ve Rinex dosyaları içinde bulunan 20 karakterli alıcı ve anten isimlerinin iletişimini sağlar.
- guess\_rcvant.dat: Rinex başlığı içindeki 20 karakterli alıcı ve anten isimlerinden Gamit kodları elde etmek için sh\_gamit tarafından kullanılır.
- antmod.dat: Anten faz merkezi kayıklıklarını içeren tablodur.
- svnav.dat: Navstar sayılarını ve blok numaralarını içerir.
- svsexclude.dat: Değerlendirme işlemi dışında tutulacak uyduların tarihlerini içeren tabloları içerir.
- gdetic.dat: Jeodezik datum tablolarını içerir.
- utl.: TAI-UT1 değerlerini içeren tablodur.
- pole: Kutupsal hareket değerlerini içeren tablodur.
- leap.sec: TAI-UTC içindeki 1 Ocak 1982’den beri olan sıçramaların tablosudur.
- nutabl: Eylemsiz (inertial) ve Yer-Sabit Sistem arasındaki dönüşüm için periyodik değişim parametrelerini içerir.
- luntab: Ay efemeris tablosudur.
- soltab: Güneş efemeris tablosudur.
- otl.grid ve otl.list: Okyanus gel-git bileşenlerini içermektedir.
- atl.grid ve atl.list: Atmosferik gel-git bileşenlerini içermektedir.
- atml.grid ve atml.list: Gel-git dışı atmosferik yüklem bileşenlerini içermektedir.
- map.grid ve map.list: Sayısal hava modeli temelinde hidrostatik zenit gecikmesi ve atmosferik fonksiyon katsayıları haritalamasını içermektedir.

Gamit’in tüm modülleri otomatik “bash” değerlendirme komutu ile çalışmaktadır. “bash” çözümleri günlük olarak klasörlerde depolanır (Herring ve diğ., 2015; Massimi ve Stasevicius, 2012).

Değerlendirme ilkeleri: Yersel ya da uzaysal tekniklerle elde edilen veriler GAMİT modülü kullanılarak değerlendirilir ve günlük çözümler elde edilir. GLOBK modülü bir kalman filtreleme olarak çalışır ve günlük olarak elde edilen çözümleri haftalık,

aylık ya da yıllık olarak birleştirir. GLOBK, GNSS tekniği ile üretilen veriler için kullanılmasının yanı sıra yersel ve SLR tekniği ile üretilen veriler için de kullanılmaktadır (Herring ve diğ., 2015).

GLOBK yaygın olarak üç durum için kullanılır. Bunlar;

- Günlük çözümlerin birleştirilmesi ile ortalama koordinat değerlerinin elde edilmesi,
  - Birkaç yıllık gözlemler kullanılarak istasyonların hız bilgisinin kestirilmesi,
  - Günlük çözümler kullanılarak istasyonların zaman serilerinin oluşturulması,
- şeklindedir (Herring ve diğ., 2015).

GLOBK modülü özel bir dosya yapısına gerek duymaz, günlük dosyalar ile aynı dizinde açılan “globk” dizininde çalışır. “globk” dizini içerisinde üç tane alt dizin oluşmaktadır. Bu dizinlerin görevleri ise aşağıdaki gibidir.

- glbf: ikilik sistemdeki h-dosyalarını içermektedir.
- gsoln: Komut satırını içermektedir ve komut dosyaları ile çözüm tipleri kontrol edilir, parametreler kestirilir, kısıtlar uygulanır ve uygun şekilde düzenlenir.
- tables: Bu dizin içerisinde istasyon koordinatlarının öncül bilgileri, uydunun başlangıç durumu, parametreler ve yöneltme değerleri bulunur (Herring ve diğ., 2015; Massimi ve Stasevicius, 2012).

Yukarıda kullanma ve değerlendirme protokolü özetlenmekte olan GAMIT/GLOBK yazılımı ile sürekli gözlem verileri kullanılarak bir bölge için belirli bir referans sistemine dayalı olarak koordinat ve hız bilgileri üretilmektedir.

### **1.1.2. Referans sistemleri arasındaki dönüşümler**

Geliştirilen her referans sistemi için farklı SND kısıtları tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle SND; seçilen noktalara, plaka sınırlarına ve plaka kütlelerine oldukça duyarlıdır. Bu nedenle farklı referans sistemleri için uygulanan SND uygulamaları farklı sonuçlar vermektedir. Farklı kaynaklardan üretilen plaka hızlarının aynı referans sisteminde tanımlanmasıyla hızların teorik olarak aynı olması sağlanmaktadır (Aktuğ, 2003).



Farklı ITRF sistemlerden elde edilen konum ve hız bilgilerinin karşılaştırılabilmesi için ortak bir sistemde ifade edilmesi gerekmektedir. ETRS 1989.0 epogunda tanımlanmış olup ITRF89 ile çakışık olduğu kabul edilmiştir (Boucher ve Altamimi, 2008; Aktuğ, 2005). Bu nedenle farklı sistemlerde elde edilen konum ve hız bilgileri ETRS sistemine dönüştürülmektedir. Tüm ETRS sistemleri, ETRS89 referans sisteminde tanımlandığı için farklı sistemlerde üretilen konum ve hız bilgileri ortak bir sistemde değerlendirilebilmektedir.

Bu amaçla; ITRF sistemleri arasında modellenen koordinat dönüşüm parametreleri (P) {öteleme [Tx, Ty, Tz], ölçek [D] ve dönüklük [Rx, Ry, Rz]} ve hız dönüşüm parametreleri (Ṗ) {öteleme [Ṫx, Ṫy, Ṫz] ölçek [Ḋ] ve dönüklük [Ṙx, Ṙy, Ṙz]} kullanılarak aşağıdaki işlemler gerçekleştirilir.

- Dönüşüm parametreleri (P) ölçü epoguna (t) kaydırılır,

$$P(t) = P(t_0) + \dot{P} \cdot (t - t_0) \quad (1.1)$$

- A sisteminden B sistemine dönüşüm parametreleri kullanılarak ITRF<sub>A</sub> sisteminde tanımlı koordinatlar ve hızlar farklı bir ITRF<sub>B</sub> sistemine dönüştürülür;

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF_B} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF_A} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}_{A,B} + \begin{bmatrix} D & -R_z & R_y \\ R_z & D & -R_x \\ -R_y & R_x & D \end{bmatrix}_{A,B} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF_A} \quad (1.2)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{bmatrix}_{ITRF_B} = \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{bmatrix}_{ITRF_A} + \begin{bmatrix} \dot{T}_x \\ \dot{T}_y \\ \dot{T}_z \end{bmatrix}_{A,B} + \begin{bmatrix} \dot{D} & -\dot{R}_z & \dot{R}_y \\ \dot{R}_z & \dot{D} & -\dot{R}_x \\ -\dot{R}_y & \dot{R}_x & \dot{D} \end{bmatrix}_{A,B} \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{bmatrix}_{ITRF_A} \quad (1.3)$$

Aynı şekilde Eşitlik (1.1), (1.2) ve (1.3) yardımıyla ITRF sistemlerinden ETRS sistemlerine dönüşüm parametreleri kullanılarak ETRS sistemlerine dönüşüm sağlanır (Boucher ve Altamimi, 2008).

### 1.1.3. Bölgesel hız alanlarının güncellenmesi

Üst dereceden ağ noktaları için elde edilen düzgün hız alanı bilgilerinin sıklaştırma ağ noktalarına taşınması işlemleri ağırlıklı ortalama, doğrusal enterpolasyon, polinomsal yaklaşım yöntemleri ya da doğrusal dönüşüm işlemleri kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Bu işlemler için üst dereceli eşlenik noktaların ölçme epoğuna ötelenmiş ve ağ dengelemesi yöntemiyle belirlenmiş koordinatları ve hız bilgileri kullanılır. Özellikle eşlenik noktaların koordinatları, eşdeğerlik testleriyle bir kez daha denetlenmeli ve uygun olanlar kullanılmalıdır.

a. Lineer enterpolasyon: Hızları bilinen ve eşdeğer bulunan üst dereceden ağ noktaları için, oluşturulan düzgün üçgenler yardımıyla sıklaştırma alanında bulunan istasyon noktalarının hızları güncellenir. Buna göre üst dereceden ağ noktalarının oluşturduğu üçgensel alan içerisine düşen sıklaştırma istasyon noktasının hızı;

$$\begin{aligned} V_{P_{x,y,z}} = & \frac{(X_2 - X_P)(Y_3 - Y_2)(Y_2 - Y_P)(X_3 - X_2)}{(X_2 - X_1)(Y_3 - Y_2)(Y_2 - Y_1)(X_3 - X_2)} V_{1_{x,y,z}} \\ & + \frac{(X_3 - X_P)(Y_1 - Y_3)(Y_3 - Y_P)(X_1 - X_3)}{(X_3 - X_2)(Y_1 - Y_3)(Y_3 - Y_2)(X_1 - X_3)} V_{2_{x,y,z}} \\ & + \frac{(X_1 - X_P)(Y_2 - Y_1)(Y_1 - Y_P)(X_2 - X_1)}{(X_1 - X_3)(Y_2 - Y_1)(Y_1 - Y_3)(X_2 - X_1)} V_{3_{x,y,z}} \end{aligned} \quad (1.4)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada P hız bilgisi hesaplanacak sıklaştırma istasyon noktasını,  $(X, Y)_{1,2,3}$  üst dereceden ağ noktalarının koordinat bilgisini ve  $(V_x, V_y, V_z)_{1,2,3}$  ise üst dereceden ağ noktalarının hız bilgilerini temsil etmektedir (BÖHNBÜY, 2008).

b. Polinomsal yaklaşım; Yer merkezli koordinatlar ya da projeksiyon koordinat bilgileri ile hız alanı bilgileri kullanılarak bölgesel hız alanının fonksiyonel modeli;

$$\dot{X} = a_0 + a_1 Y_i + a_2 X_i \quad (1.5a)$$

$$\dot{Y} = b_0 + b_1 Y_i + b_2 X_i \quad (1.5b)$$

$$\dot{Z} = c_0 + c_1 Y_i + c_2 X_i \quad (1.5c)$$

biçiminde kurulabilir. Katsayılar matrisi her bir hız bileşeni için;

$$A_{x,y,z} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta Y_1 & \Delta X_1 \\ 1 & \Delta Y_2 & \Delta X_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \Delta Y_n & \Delta X_n \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

Ağırlık merkezine ötelenmiş koordinatlar;

$$Y_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i ; X_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1.7)$$

$$\Delta Y_i = Y_i - Y_0 ; \Delta X_i = X_i - X_0 \quad (1.8)$$

X, Y, Z yönündeki hız bilgileri;

$$(I^T)_x = [\dot{X}_1 \quad \dot{X}_2 \quad \dot{X}_3 \quad \dots \quad \dot{X}_n] \quad (1.9a)$$

$$(I^T)_y = [\dot{Y}_1 \quad \dot{Y}_2 \quad \dot{Y}_3 \quad \dots \quad \dot{Y}_n] \quad (1.9b)$$

$$(I^T)_z = [\dot{Z}_1 \quad \dot{Z}_2 \quad \dot{Z}_3 \quad \dots \quad \dot{Z}_n] \quad (1.9c)$$

ve polinom katsayıları;

$$(b^T)_x = [a_0 \quad a_1 \quad a_2] \quad (1.10a)$$

$$(b^T)_y = [b_0 \quad b_1 \quad b_2] \quad (1.10b)$$

$$(b^T)_z = [c_0 \quad c_1 \quad c_2] \quad (1.10c)$$

olmak üzere duyarlılıkları eşit hız bilgileri için düzeltme denklemleri;

$$v = Ab - l \quad (1.11)$$

kurulur. En Küçük Kareler Kestirimi amaç fonksiyonunu sağlayan göre polinom katsayıları;

$$b_{x,y,z} = (A^T A)^{-1} A^T l_{x,y,z} \quad (1.12)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Polinom katsayıları yardımı ile hız bilgisi bilinmeyen sıklıştırma noktalarının hızları elde edilir (BÖHHBÜY, 2008; Konak ve diğ., 2011);

$$\dot{X}_{\text{yeni}} = a_0 + a_1 Y_{\text{yeni}} + a_2 X_{\text{yeni}} \quad (1.13a)$$

$$\dot{Y}_{\text{yeni}} = b_0 + b_1 Y_{\text{yeni}} + b_2 X_{\text{yeni}} \quad (1.13b)$$

$$\dot{Z}_{\text{yeni}} = c_0 + c_1 Y_{\text{yeni}} + c_2 X_{\text{yeni}} \quad (1.13c)$$

c. Doğrusal dönüşüm yaklaşımı: Bölgesel hız alanı hız alanının yapısına uygun biçimde, bir benzerlik ya da afin dönüşüm yaklaşımı ile güncellenebilir.

Sözgelimi problem bir afin dönüşüm olarak ele alınabilir. Bu durumda Eşitlik (1.5);

$$\dot{X} = a_0 + a_1 Y_i + a_2 X_i + a_3 Z_i \quad (1.14a)$$

$$\dot{Y} = b_0 + b_1 Y_i + b_2 X_i + b_3 Z_i \quad (1.14b)$$

$$\dot{Z} = c_0 + c_1 Y_i + c_2 X_i + c_3 Z_i \quad (1.14c)$$

olmak üzere lokal ya da yer merkezli koordinatlar türünden yeniden düzenlenir. A katsayılar matrisi ve düzeltme denklemleri Eşitlik (1.6) ve (1.11)'e benzer biçimde afin dönüşüm problemi için uyarlanır ve E.K.K. ilkesine göre afin dönüşüm katsayıları elde edilir;

$$b_{\text{Afin}} = \{(A^T A)^{-1} A^T 1\}_{\text{Afin}} \quad (1.15)$$

Afin dönüşüm işlemleri izdüşüm konumları ve 2B uzaya dönüştürülmüş hızlar kullanılarak da gerçekleştirilebilir. Ancak her iki durumda da parametreler için özel afinlik testleri ve anlamlılık testleri uygulanarak dönüşümlerin gerçek yapısı sorgulanmalıdır (Konak, 2018). Bu konu (5.2) bölümünde ayrıntılarıyla anlatılmaktadır.

## 1.2. Sıklaştırma GNSS Ağları

Ülkemizde bilimsel araştırmalar ile savunma ve mühendislik amaçlı hizmetlere temel altlık oluşturan jeodezik kontrol ağları, Türkiye Ulusal Temel Sabit GPS Ağı (TUTGA), Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı (TUSAGA), Türkiye Ulusal Düşey Kontrol (Nivalman) Ağı (TUDKA), Türkiye Temel Gravite Ağı (TTGA), Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES), Manyetik Ağ ve Yatay Kontrol (Nirengi) Ağı (Türkiye Ulusal Datumu-1954, TUD-54) Ülke Temel Ağları olarak adlandırılmaktadır. Ülke Temel Ağları global dayanak noktalarından sıklaştırılmış ve ülke yüzeyinin tamamını kapsayacak şekilde tesis edilmiştir.



Şekil 1.1. Global IGS istasyonları (URL-4, 2018)

Türkiye Ulusal Temel Sabit GPS Ağı; Avrupa ve Asya'da düzgün olarak dağılmış, ülkemize yakın olan IGS istasyonlarına dayalı olarak sıklaştırılmıştır (Şekil 1.1). TUTGA istasyonları arasındaki mesafe genel olarak 20-50 km arasındadır, fakat jeoidin hızlı değiştiği bölgelerde bu mesafe 15 km'ye düşmektedir. Ülkemizde olabildiğince homojen dağımlımlı 694 TUTGA istasyon noktası bulunmaktadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. TUTGA Ağı (URL-5, 2018)

TUTGA Ağı'nın genel özellikleri aşağıdaki gibi özetlenmiştir. Buna göre;

- TUTGA, üç boyutlu yer merkezli (jeosentrik) koordinat sisteminde (ITRF 1996) ve belirli bir epokta (1998.0) tanımlanmaktadır.
- Her istasyon noktasında koordinat bilgileri (X, Y, Z) ve hız ( $V_x, V_y, V_z$ ) bilgileri, ortometrik yükseklikleri (H) ve jeoit yükseklikleri (N) bilinmektedir.
- Ülke yüzeyine olabildiğince homojen olarak dağılmıştır.
- Jeodezik amaçlı konum belirleme, navigasyon ve jeodinamik amaçlarla kullanılabilir.
- Ulusal bir datumda tanımlanmış Yatay Kontrol Ağları ile dönüşüm olanağı sağlamaktadır.

TUTGA; yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi, bölgesel hızların kestirilmesi ve jeoidin iyileştirilmesi amaçları ile sıklaştırılmıştır. Sıklaştırma işlemleri C1, C2, C3 ve C4 derece ağ yapısında gerçekleştirilmiştir. C1 Derece Ağlar, Ana GPS Ağı (AGA) olarak isimlendirilmiş olup, 15-20 km baz uzunluğuna sahip istasyon noktalarından oluşmuştur. C2 Derece Ağlar, Sıklaştırma GPS Ağı (SGA) olarak isimlendirilmiştir ve istasyon noktaları arasındaki ortalama mesafe 5 km'dir. C3 Derece Ağlar, Alım için Sıklaştırma Ağı (ASN) olarak tanımlanır ve istasyon noktaları arasındaki mesafe en fazla 3 km'dir. C4 Derece Ağlar ise poligon ağı noktaları ve poligon bağlanabilen fotogrametrik noktalardan oluşmaktadır (BÖHHBÜY, 2008).

TUTGA, epok oturumlu ölçümlere olanak sağlayan jeodezik GPS ağı olması nedeniyle günümüzün taleplerini karşılayamamaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile jeodezik ağlardan, sürekli ve gerçek zamanlı olarak gözlem yapabilmesi, konum düzeltmelerini anlık olarak alıcılara iletebilmesi ve uluslararası standartlarla uyumlu olması beklenmektedir. Bu gereksinimleri karşılayabilecek nitelikte CORS (Sürekli Gözlem Referans İstasyonu) ağları tasarlanmıştır. CORS ağları, yüksek doğruluklu, çok amaçlı, gerçek zamanlı ve ITRF ile uyumludur (Kahveci, 2009). CORS, ülkemizdeki özel adı ile TUSAGA-Aktif kesintisiz olarak bilgi toplayan sabit GPS istasyonlarından oluşmuştur (Şekil 1.3).

TUSAGA ağının amaçları genel olarak iki ana başlık altında toparlanabilir. Bunlar;

- Gerçek zamanlı konum bilgilerinin üretilmesi ile, tektonik hareketlerin sürekli olarak izlenmesine ve troposfer ile iyonosferde meydana gelen değişimlerin modellenmesine olanak sağlamaktadır.
- Kamu kurumları ile özel kuruluşların jeodezik verilere hızlı ve ekonomik bir şekilde ulaşması sağlanmıştır (Yıldırım ve diğ., 2007).



Şekil 1.3. TUSAGA-Aktif istasyonları (URL-5, 2018)

### 1.2.1. Sıklaştırma ağlarının değerlendirilmesi

Ülke Temel Ağları'nın yüzey ağı yapısında sıklaştırılmasıyla oluşturulan 3. Derece yersel ağlar ile Ana GPS Ağları, yüzey ağları olarak tanımlanmaktadır. Yüzey ağları genel olarak; Dinamik, Yarı Dinamik ya da Hiyerarşik Ağ standartlarında değerlendirilmektedir.

a) Ağ Modelleri:

Dinamik ağ modelinde dengeleme işlemi iki durum için uygulanmaktadır. İlkinde dayanak noktalarının koordinatları korelasyonlu gözlemler olarak ele alınır. Eski ve yeni gözlemler birlikte değerlendirilir. İkincisinde ise ilk olarak yeni gözlemler serbest ağ yöntemiyle dengelenir, sonrasında eski ve yeni dengeleme sonuçları "Bilinmeyenli Koşullu Ölçüler Yöntemi" ile birleştirilerek dengeleme işlemi tamamlanır (Öztürk ve Şerbetçi, 1992). Dinamik ağ modelinde yeni noktaların koordinatları hesaplanırken eski noktaların koordinatlarına da düzeltmeler getirilerek bu noktaların iyileştirilmesi sağlanabildiği için yüzey ağlarının dengelenmesinde en uygun yöntem olarak düşünülmektedir (Konak, 1995).

Dinamik Ağ Modeli 1:

$X_E$  : Ülke Temel Ağ Noktalarından Oluşan Dayanak Noktaları

$x_1$  : Yeni Noktalarla Gözlem Bağlantısı Bulunmayan Ülke Temel Ağına Ait Eski Noktalar

$x_2$  : Yeni Noktalarla Gözlem Bağlantısı Bulunan Ortak Noktalar

$A_{22}$  : Dayanak Noktalarına Ait Katsayılar Matrisi

$x_3$  : Yeni Noktalar

$A_{23}$  : Yeni Gözlemlere Ait Katsayılar Matrisi

Fonksiyonel model;

$$l + v = 0x_1 + A_{22}x_2 + A_{23}x_3 \quad (1.16a)$$



$$I_{XE} + v_{XE} = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} \quad (1.16b)$$

Stokastik Model;

$$P_{II} \quad (1.17a)$$

$$P_{XE} = Q_{XE}^{-1} \quad (1.17b)$$

Dinamik Ağ Modeli 2:

$$I + v = \begin{bmatrix} X_E \\ X_{10} \\ X_{20} \\ X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{X_E} \\ V_{X_{10}} \\ V_{X_{20}} \\ V_{X_2} \end{bmatrix} \quad (1.18)$$

$$B_2 V_2 + G_2 b + W_2 = 0 \quad (1.19)$$

$$Q_{22} = \begin{bmatrix} Q_{10,10} & \emptyset \\ \emptyset & Q_{20,20} \end{bmatrix} \quad (1.20)$$

$G_2$  : Ötelenmiş ve normlandırılmış ortak noktalardan oluşan dönüşüm matrisi

$X_{10}, X_{20}$  : Her iki sistemde ortak olan noktalar,

$$B_2 = [I_{10} \quad -I_{20}] ; \quad V_2^T = [V_{10}^T \quad V_{20}^T] ; \quad W_2 = [X_{10} \quad -X_{20}] \quad (1.21)$$

Yarı dinamik ağ modelinde, yüzey ağlarının sıklaştırılması amacına yönelik olarak elde edilen verilerin tümü hata yayılma kuramı ilkelerine uygun olarak değerlendirilip yeni noktaların koordinatları elde edilirken eski noktaların koordinatlarına getirilmesi gereken düzeltme değerleri göz ardı edilir. Yarı dinamik ağ modeli için oluşturulan fonksiyonel model ve stokastik model dinamik ağlar için kurulan modellerin yapısına benzer (Konak, 1990, Öztürk ve Şerbetçi, 1992, Konak, 1995).

Fonksiyonel model;

$$l + v = 0x_1 + A_{22}x_2 + A_{23}x_3 \quad (1.22)$$

$$0 = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad (1.23)$$

Hiyerarşik (aşama sıralı) ağ modelinde, eski noktaların konumlarının değişmez olarak kabul edilip edilmeyeceği, yeni noktaların gözlem duyarlıklarından yararlanılarak istatistiksel yöntemlerle test edilir. Test sonuçlarına göre konumları değişmez olarak kabul edilen noktalar sabit alınarak dengeleme yapılır ve yeni noktaların koordinatları belirlenir.

$X_g$  : Sabit olarak alınan üst dereceden ağların geçerli koordinatları

$X_y$  : Yeni koordinatlar

$L_e, L_y$  : Eşlenik ve yeni noktaların ülke datumuna dönüştürülmüş koordinatları

$L_g$  : Ülke ağında eşlenik noktalara karşılık gelen geçerli eski koordinatlar

Fonksiyonel model;

$$\begin{bmatrix} L_e \\ L_y \\ L_g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_e \\ V_y \\ V_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & I \\ I & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_g \\ X_y \end{bmatrix} \quad (1.24)$$

Stokastik model;

$$K_{LL} = \begin{bmatrix} \sigma_0^2 \begin{bmatrix} Q_{ee} & Q_{ey} \\ Q_{ye} & Q_{yy} \end{bmatrix} & 0 \\ 0 & \sigma_g^2 I \end{bmatrix} \quad (1.25)$$

Sözü edilen üç model, eski ya da yeni olsun, hem yersel ve uydu bazlı gözlemlerin hem de farklı doğruluklu jeodezik gözlemlerin ağ düzeninde birleştirilmesi ve değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Bu ağ modelleri, sürekli GNSS gözlemleri

için de kullanışlıdır. Bu durumda sözü edilen modeller Kalman filtreleme modelleri ile desteklenebilir ya da genişletebilirler.

Sürekli GNSS verilerinin üretilmesi ve değerlendirilmesi, kuramsal olarak bu modeller ile gerçekleştirilmektedir. Sözgelimi bağıl GNSS konum bilgilerinin ağ düzeninde topluca değerlendirilebilir.

Çoklu oturumlar halinde birleştirilen konum bilgileri epok epok ortak bir referans sisteminde değerlendirilebilir. Bu durumda datum koşulu dinamik, yarı dinamik ya da hiyerarşik dengeleme modeline ek bilinmeyen olarak eklenir. Öte yandan aylık, dönemlik ya da yıllık olarak birleştirilen konum bilgileri, zaman serisi modelleri ile birlikte ve ortak bir referans sisteminde dinamik ya da yarı dinamik bir dengeleme modelinde değerlendirilebilir. Bu değerlendirme işlemi sonucunda bölgesel anlamda etkili olan sistematik hatalar, lokal yer hareketlerinin etkileri süzgeçlenir, düzgün hız alanları kinematik yaklaşımlarla desteklenerek modellenebilir (Kovac ve Hefty, 2007; Konak, 2018).

Doktora çalışmasının konusu olamamakla birlikte, bu amaçla literatürde önerilmekte olan bazı değerlendirme modelleri aşağıda kısaca özetlenmektedir.

b) Çok oturumlu ağlar için matematik model:

Uydu ölçmelerinin gelişmesi ile hiçbir bilgiyi kaybetmeden 3 boyuttaki gözlemlerin yersel gözlemler ile birlikte değerlendirilmesinin gerekliliği ortaya çıkmıştır. Tüm gözlemlerin ortak bir matematik modelde değerlendirilmesi “4 Boyutlu Jeodezi-Bütünleşik Jeodezi” olarak tanımlanmaktadır. Sürekli GPS gözlemlerinin ve yersel gözlemlerin ortak bir matematik model içerisinde, gözlemlerin stokastik özelliklerinin doğru bir şekilde yansıtacak şekilde tanımlanması gerekmektedir (Kovac ve Hefty, 2007). Genel matematik model aşamalı (hiyerarşik) jeodezik ağ düşüncesi temelinde tanımlanmaktadır.

$x^i$  : i. oturumun ölçü (gerçekleşme) vektörü

$A_i$  : i. oturumun katsayılar matrisi

$C_{i,j}$  : i. ve j. oturumlardaki parametreler arasındaki bağımlılığı tanımlayan özel durum matrisi (incident matrix)

$y^i$  : i. oturumdaki yeni noktaları içeren bilinmeyen (parametre) vektörü  
 $0$  : Sıfır matrisi  
 $\varepsilon^i$  : i. oturumdaki gözlemlerin rasgele hataları olarak tanımlanmak üzere aşamalı jeodezik ağların genel matematik modeli;

$$\begin{bmatrix} x^1 \\ x^2 \\ x^3 \\ \vdots \\ x^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ C_{2,1} & A_2 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ C_{3,1} & C_{3,2} & A_3 & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ C_{m,1} & C_{m,2} & C_{m,3} & \dots & \dots & A_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y^1 \\ y^2 \\ y^3 \\ \vdots \\ y^m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon^1 \\ \varepsilon^2 \\ \varepsilon^3 \\ \vdots \\ \varepsilon^m \end{bmatrix} \quad (1.26)$$

ve varyans-kovaryans matrisi;

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \Sigma^{(1)} & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \Sigma^{(2)} & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \Sigma^{(3)} & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \Sigma^{(m)} \end{bmatrix} \quad (1.27)$$

şeklindedir.

### c) Ağ Sonuçlarının Birleştirilmesi:

Uydu sistemleri ile farklı zamanlarda (epoklarda) elde edilen verilerin farklı sonuçlar vermesinden dolayı, elde edilen bu veriler zamandan bağımsız olarak değerlendirilir. Uydu sistemleri ile elde edilen gözlemler ve koordinat değerleri belirli bir referans sisteminde tanımlanmaktadır. Bu nedenle elde edilen koordinatların birleşik, homojen ve kararlı yer merkezli referans çerçevesine dönüştürülmesi gerekmektedir (Hefty ve Gerhatova, 2011).

Bu nedenle farklı epoklardaki radyokonumlamaya tabanlı (GNSS) ağ çözümlerinin belirli bir referans bölgeye göre birleştirilmesi gerekmektedir. Kestirim parametreleri,

$y$  : Bölge koordinatları

$v_y$  : Bölge hızları

$s$  : Peryodik mevsimsel değişimlerin genlikleri

$\Theta$  : Birleştirilmiş referans çerçevesi için dönüşüm parametrelerinin epok gözlemleri ile ilişkisi

$u$  : Alıcı-anten yer değiştirmesi

olmak üzere GNSS tabanlı ağ çözümlerinin birleştirilmesi;

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{v}_{\text{ref}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{t1} \\ x_{t2} \\ \vdots \\ x_{tm} \\ x_{\text{ref}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{D}_1 & 0 & \dots & \dots & 0 & \mathbf{S}_1 & \mathbf{U}_1 \\ \mathbf{I} & \mathbf{D}_2 & \mathbf{T}_2 & \dots & \dots & 0 & \mathbf{S}_2 & \mathbf{U}_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{I} & \mathbf{D}_m & 0 & \dots & \dots & \mathbf{T}_m & \mathbf{S}_m & \mathbf{U}_m \\ 0 & \mathbf{E} & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{y} \\ \mathbf{v}_y \\ \Theta_2 \\ \vdots \\ \Theta_m \\ \mathbf{s} \\ \mathbf{u} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{x1} \\ \varepsilon_{x2} \\ \vdots \\ \varepsilon_{xm} \\ \varepsilon_v \end{bmatrix} \quad (1.28)$$

$$\Sigma = \text{var} \begin{pmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{v}_{\text{ref}} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{t_1} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \sum_{t_2} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \sum_{t_m} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \sum_{\mathbf{v}_{\text{ref}}} \end{bmatrix} \quad (1.29)$$

eşitlikleri ile gerçekteştirilmektedir.

$x_{t_i}$  :  $t_i$  epogundaki koordinat gözlemlerini,

$\mathbf{v}_{\text{ref}}$  : referans hızlarını,

$\mathbf{I}, \mathbf{D}, \mathbf{T}, \mathbf{E}, \mathbf{S}, \mathbf{U}$  : gözlemlere ait katsayılar matrisinin alt matrislerini,

$\varepsilon_{x_i}, \varepsilon_v$  : koordinat gözlemlerinin ve referans hızlarının rasgele hatalarını ifade etmektedir.

d) Tanımlı bir referans sisteminde zaman serisi analizi:

Sürekli gözlemler sonucunda elde edilen farklı epoklardaki gözlemler, konum değişiklikleri ile ilgili oldukça fazla bilgiler taşımaktadırlar. Sürekli GPS gözlemleri, ortalama konum ve hız değişimlerinin kestirilebildiği gibi zaman fonksiyonlarının elemanları olan mevsimsel periyodik değişimler ve süreksizlik büyüklüklerinin

belirlenmelerine de olanak sağlar. Bu nedenle farklı epoklardan elde edilen verilerin zaman serileri ile ortak bir matematik modelde değerlendirmelerinin önemi giderek artmaktadır (Kovac ve Hefty, 2007).

$I^{t_i}$  :  $t_0$  ve  $t_i$  epoklarına ait koordinatlar arasındaki ilişki matrisi,

$D^{t_i}$  :  $t_i$  epoğundaki gözlemler ve hızlar arasındaki ilişkiyi tanımlayan diagonal bir matris,

$H^{t_i}$  : mevsimsel dönemlere ve  $\alpha$  genliğinde yapılan gözlemlerle ilişkili süreksizliğe ait bilgiler taşıyan matris,

$x_0$  : istasyon koordinatları,

$v_x$  : dengeli hızlar,

$\alpha$  : mevsimsel değişimlerin genliği ve

$\varepsilon^{t_i}$  : Hızların rasgele hataları olmak üzere sürekli GPS ağlarının zaman serileri ile birlikte değerlendirilmesini sağlayan matematik model;

$$\begin{bmatrix} x^{t_1} \\ x^{t_2} \\ \vdots \\ \vdots \\ x^{t_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I^{t_1} & D^{t_1} & H^{t_1} \\ I^{t_2} & D^{t_2} & H^{t_2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ I^{t_n} & D^{t_n} & H^{t_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ v_x \\ \alpha \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon^{t_1} \\ \varepsilon^{t_2} \\ \vdots \\ \vdots \\ \varepsilon^{t_n} \end{bmatrix} \quad (1.30)$$

ve sürekli gözlemlerin tüm periyotlarını kapsayan varyans-kovaryans matrisi ise;

$$\Sigma_x = \begin{bmatrix} \Sigma_x^{t_1} & 0 & 0 \\ 0 & \Sigma_x^{t_2} & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \Sigma_x^{t_n} \end{bmatrix} \quad (1.31)$$

şeklindedir (Kovac ve Hefty, 2007).

### 1.3. Duyarlık ve Güven Ölçütleri

Günümüzde tesis edilen gerek ülke temel ağları gerekse sıklaştırma GNSS/GPS ağlarından, ölçme epoğunda kendilerinden istenen duyarlık ve güvenilirlik isteklerini karşılamaları, bunun yanı sıra ağ noktalarında öngörülen yıllık yer kabuğu hareketlerini de yeterince algılayabilmeleri beklenmektedir.

Jeodezik ağların kalitesi; duyarlık ve güvenilirlik ölçütleri ile denetlenmektedir. Duyarlık ölçütleri, istatistiksel bir büyüklük olan ortalama hata kavramı ile tanımlanmaktadır. Ortalama hata, kaba ve sistematik hatalardan arındırılmış ölçülerin dengelenmesi ile rasgele ölçü hataları ve ağın geometrik şeklinin etkisi sonucunda oluşmaktadır. Duyarlık ölçütleri geçerli bir dengeleme modelinden hesaplandığında gerçekçi sonuçlar verebilmektedir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Konak, 1995).

Dengeleme modelinin geçerliliği ise güvenilirlik ölçütleri ile denetlenmektedir. Model hataları, matematik modeli oluşturan, stokastik modelin ya da fonksiyonel modelin geçersiz olduğu durumlarda meydana gelmektedir. Fonksiyonel model hataları; ölçüler ile bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişki fonksiyonel modelde doğru ve eksiksiz bir biçimde belirlenemediğinde oluşmaktadır. Stokastik model hataları ise; gözlemlerin duyarlılıkları ve aralarındaki korelasyonlar stokastik modelde yeterli bir düzeyde yansıtılmadığında söz konusu olur (Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Konak, 1995).

Varyans-kovaryans matrisinin tümünden ya da bir bölümünden yararlanılarak, koordinat bilinmeyenlerinin gerçek değerlerinin hangi sınırlar arasında kalacağı duyarlık ölçütleri ile belirlenmektedir. Duyarlık ölçütleri, kuramsal duyarlık ölçütleri ve deneysel duyarlık ölçütleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bir ağda ulaşılabilecek duyarlıklar ağın geometrik şekli ve kuramsal varyansları kullanılarak kestirilmektedir. Deneysel duyarlık ölçütleri ise dengeleme sonucunda elde edilen deneysel varyanslar kullanılarak belirlenmektedir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Konak, 1995).

Jeodezik ağlarda gerçekleştirilen gözlemler, fonksiyonel model;

$$v = Ax - l \quad (1.32)$$

ve stokastik model;

$$P = Q_{II}^{-1} \quad ; \quad K_{II} = s_0^2 Q_{II} \quad (1.33)$$

olmak üzere en küçük kareler ilkesine göre Gauss-Markoff modelinde dolaylı ölçüler olarak değerlendirilir. Koordinat bilinmeyenleri;

$$x = (A^T P A)^{-1} A^T P l \quad (1.34)$$

ve koordinat bilinmeyenlerine ilişkin ters ağırlık matrisi ters ağırlıkların yayılma ilkesine göre;

$$Q_{xx} = (A^T P A)^{-1} \quad (1.35)$$

eşitliği ile elde edilir. Duyarlık irdelemeleri için kuramsal varyans ( $\sigma_0^2$ ) kullanılarak;

$$\Sigma_{xx} = \sigma_0^2 Q_{xx} \quad (1.36)$$

kuramsal varyans-kovaryans matrisi oluşturulur. Deneysel duyarlık irdelemeleri için dengeleme işlemi sonucunda elde edilen deneysel varyans ( $m_0^2$ ) kullanılarak;

$$K_{xx} = m_0^2 Q_{xx} \quad (1.37)$$

deneysel varyans-kovaryans matrisi bilgilerine ulaşılır.

Duyarlık ölçütleri noktalara göre tanımlanan Lokal Duyarlık ölçütleri ve ağıın tamamını temsil eden Global Duyarlık ölçütleri olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır (Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Konak, 1995).

a) Lokal duyarlık ölçütleri: Duyarlık ölçütlerinin kuramsal ya da deneysel varyans-kovaryans matrisi kullanılarak noktalara göre hesaplanması durumunda lokal duyarlık ölçütlerinden söz edilir. Lokal duyarlık ölçütleri ise, koordinat bilinmeyenlerinin ortalama hataları, nokta konum hatası, Helmert ortalama hata ve güven elipsoidleri ile bağıl hata ya da güven elipsoidleri olarak dört bölüme ayrılabilir.

- Koordinat Bilinmeyenlerinin Ortalama Hataları:



Kuramsal varyans ( $\sigma_0^2$ ) bilindiği durumlarda, koordinat bilinmeyenlerinin ortalama hata vektörü;

$$\underline{\sigma}_{xi} = \sigma_0 \sqrt{\underline{q}_{xixi}} \quad (1.38)$$

olarak kestirilir. Standartlaştırılmış normal dağılımın rastgele değişkeni  $(Z_{1-\alpha/2})_j$  kuramsal güven aralığının alt sınırı;

$$a_i = |\bar{X}_i| - Z_{1-\alpha/2} \sigma_{xi} \quad (1.39)$$

ve kuramsal güven aralığının üst sınırı;

$$b_i = |\bar{X}_i| + Z_{1-\alpha/2} \sigma_{xi} \quad (1.40)$$

olmak üzere, güven aralığı vektörü;

$$\underline{P}(a_i < |\bar{X}_i| < b_i) = 1 - \alpha = \underline{S} \quad (1.41)$$

eşitlikleri ile elde edilir.

Dengeleme sonucunda elde edilen deneysel varyans ( $m_0^2$ ) kullanılarak koordinat bilinmeyenlerinin deneysel ortalama hatası;

$$\underline{m}_{xi} = m_0 \sqrt{\underline{q}_{xixi}} \quad (1.42)$$

olarak elde edilir. f dengelemenin serbestlik derecesi olmak üzere, deneysel güven aralığının alt sınırı;

$$a_i = \bar{X}_i - t_{f,1-\alpha/2} m_{xi} \quad (1.43)$$

ve deneysel güven aralığının üst sınırı;

$$b_i = \bar{X}_i + t_{f,1-\alpha/2} m_{xi} \quad (1.44)$$

eşitlikleri ile hesaplanır (Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Konak, 1995).

- Nokta Konum Hatası: Helmert nokta konum hatası;

$$m_H = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2} = m_0 \sqrt{\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C} \quad (1.45)$$

ve Werkmeister nokta konum hatası;

$$m_W = m_0^3 \sqrt{\lambda_A \lambda_B \lambda_C} = m_x m_y m_z \quad (1.46)$$

eşitlikleri ile elde edilir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Konak, 1995).

- Helmert Ortalama Hata ve Güven Elipsoidleri; Herhangi bir nokta için Helmert elipsoidleri, nokta konum hatalarına göre daha çok bilgi taşırlar. Deneysel hata elipsoidinin X, Y ve Z yönlerindeki yarı eksenleri sırası ile;

$$A_H = m_0 \sqrt{\lambda_1} \quad (1.47a)$$

$$B_H = m_0 \sqrt{\lambda_2} \quad (1.47b)$$

$$C_H = m_0 \sqrt{\lambda_3} \quad (1.47c)$$

ve deneysel güven elipsoidinin X, Y ve Z yönlerindeki yarı eksenleri sırası ile;

$$A_G = m_0 \sqrt{\lambda_1 3F_{3,f,1-\alpha}} \quad (1.48a)$$

$$B_G = m_0 \sqrt{\lambda_2 3F_{3,f,1-\alpha}} \quad (1.48b)$$

$$C_G = m_0 \sqrt{\lambda_3 3F_{3,f,1-\alpha}} \quad (1.48c)$$

eşitlikleri ile ayrı ayrı elde edilir (Konak, 1995).

- Bağlı Hata ya da Güven Elipsoidleri; herhangi iki komşu noktanın koordinat farkları,

$$F = [-I \quad : \quad I] \quad (1.49)$$

$$X^T = [X_i \quad Y_i \quad Z_i \quad X_k \quad Y_k \quad Z_k] \quad (1.50)$$

$$d = Fx \quad (1.51)$$

olarak düzenlenir ve ters ağırlıkların yayılma ilkesine göre, koordinat farklarının ters ağırlık matrisi;

$$Q_{dd} = FQ_{xx}F^T \quad (1.52)$$

hesaplanır. Koordinat farklarının ters ağırlık matrisi kullanılarak, bağıl hata elipsoidleri;

$$A_{BH} = m_0 \sqrt{\lambda_1} \quad (1.53a)$$

$$B_{BH} = m_0 \sqrt{\lambda_2} \quad (1.53b)$$

$$C_{BH} = m_0 \sqrt{\lambda_3} \quad (1.53c)$$

ve bağıl güven elipsoidleri;

$$A_{BG} = m_0 \sqrt{\lambda_1 3F_{3,f,1-\alpha}}$$

(1.54a)

$$B_{BG} = m_0 \sqrt{\lambda_2 3F_{3,f,1-\alpha}}$$

(1.54b)

$$C_{BG} = m_0 \sqrt{\lambda_3 3F_{3,f,1-\alpha}}$$

(1.54c)

eşitlikleri ile elde edilir (Öztürk, 1982; Konak 1995).

b) Global duyarlık ölçütleri: Ağın tamamını temsil eden, kuramsal veya deneysel varyans-kovaryans matrisinin kullanıldığı durumlarda global duyarlık ölçütlerinden söz edilir. Global duyarlık ölçütleri; güven hiperelipsoidleri, hacim ölçütü, varyans ölçütü, ortalama koordinat duyarlığı, özdeğerler ölçütü, ana varyans bileşenleri olarak sıralanmaktadır. Özdeğerlerden türetilen duyarlık ölçütleri ağın tamamını temsil ederler.

- Güven Hiperelipsoidi; Güven hiperelipsoidleri nokta duyarlıkları hakkında lokal duyarlık ölçütlerine göre daha fazla bilgi taşırlar ve serbest dengelenmiş ağlarda datumdan bağımsızdırlar. Kuramsal güven hiperelipsoidinin yarı eksenleri;

$$A_{KHi} = \sigma_0 \sqrt{\lambda_i \chi_{3p,1-\alpha}^2} \quad (1.55)$$

ve deneysel güven hiperelipsoidinin yarı eksenleri;

$$A_{DHi} = m_0 \sqrt{3\lambda_i F_{3p,f,1-\alpha}^2} \quad (1.56)$$

eşitlikleri ile elde edilir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Konak, 1995).

- Hacim Ölçütü; Kuramsal varyans-kovaryans matrisinin hacmi,

$$\det(\Sigma_{xx}) = \sigma_0^2 \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{3p} = \sigma_0^2 \prod_{i=1}^{3p} \lambda_i \quad (1.57)$$

ve deneysel varyans-kovaryans matrisinin hacmi;

$$\det(K_{xx}) = m_0^2 \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{3p} = m_0^2 \prod_{i=1}^{3p} \lambda_i \quad (1.58)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Hacim ölçütünün minimum olmasını amaç fonksiyonu olarak belirleyen fonksiyona D-Optimum adı verilmektedir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Konak, 1995).

- Varyans Ölçütü; Kuramsal varyans-kovaryans matrisinin izi,

$$\text{iz}(\Sigma_{xx}) = \sigma_0^2 \text{iz}(Q_{xx}) = \sigma_0^2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_{3p}) = \sigma_0^2 \sum_{i=1}^{3p} \lambda_i \quad (1.59)$$

ve deneysel varyans-kovaryans matrisinin izi,

$$\text{iz}(K_{xx}) = m_0^2 \text{iz}(Q_{xx}) = m_0^2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_{3p}) = m_0^2 \sum_{i=1}^{3p} \lambda_i \quad (1.60)$$

varyans ölçütü olarak tanımlanmaktadır. Varyans ölçütünün minimum olmasını amaç fonksiyonu olarak belirleyen fonksiyona A-Optimum adı verilmektedir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Konak, 1995).

- Ortalama koordinat duyarlılığı; Ortalama koordinat duyarlılığının kuramsal değeri,

$$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z = \sqrt{\frac{\text{iz}(\Sigma_{xx})}{3p}} = \sigma_0 \sqrt{\frac{\text{iz}(Q_{xx})}{3p}} \quad (1.61)$$

ve ortalama koordinat duyarlılığının gerçekleştirilen değeri,

$$m_x, m_y, m_z = \sqrt{\frac{\text{iz}(K_{xx})}{3p}} = m_0 \sqrt{\frac{\text{iz}(Q_{xx})}{3p}} \quad (1.62)$$

eşitlikleri ile elde edilir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Konak, 1995).

- Özdeğerler Ölçütü; Bilinmeyenlerin herhangi bir forksiyonunun ortalama hatası,  
$$m_f^2 = a^T \Sigma_{xx} a = m_0^2 a^T Q_{xx} a \quad (1.63)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Ortalama hatanın minimum olması amaç fonksiyonu olarak belirlenebilmektedir. Kuramsal varyans-kovaryans matrisinin en büyük özdeğeri ve en küçük özdeğeri arasında;

$$\lambda_{\max} \cong \lambda_{\min} \quad (1.64)$$

koşulunun gerçekleşmesi durumunda jeodezik ağların homojen ve izotrop bir yapıda olduğu söylenebilir. Homojen ve izotrop bir ağda güven hiperelipsoitlerinin yarı eksenleri birbirine eşittir. Homojen ve izotrop bir ağın varyans-kovaryans matrisinin özdeğerleri arasında,

$$\lambda_1 \cong \lambda_2 \dots \dots \dots \cong \lambda_{3p} \quad (1.65)$$

$$\frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}} = 1 \quad (1.66)$$

$$\lambda_{\max} - \lambda_{\min} = \min \quad (1.67)$$

ilişkileri bulunmaktadır (Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Konak, 1995).

- Ana Varyans Bileşenleri; Jeodezik ağlarda duyarlık yönünden zayıf olan noktalar ve bu noktadaki zayıflığın doğrultusu ile büyüklüğü hakkındaki bilgiler ana bileşen vektörleri;

$$b_i = s_i \sqrt{\lambda_i} \quad (1.68)$$

ile elde edilmektedir. Ana bileşen vektörü, varyans-kovaryans matrisinden elde edilen özdeğerler ( $\lambda_i$ ) ve bu özdeğerlere ilişkin normlandırılmış özvektörlerden ( $s_i$ ) hesaplanmaktadır. En büyük özdeğere ( $\lambda_{\max}$ ) karşılık gelen ana bileşen vektörü ağdaki en zayıf noktayı ve bu noktadaki zayıflığın doğrultusunu göstermektedir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Konak, 1995).

Jeodezik ağların kalitesini gösteren duyarlık ölçütleri matematik modelin geçerli olduğu durumlarda gerçekçi bilgiler taşırlar. Bir ağ dengelemesi için kurulan, stokastik model ve fonksiyonel modelden oluşan matematik modelin geçerliliği güven ölçütleri ile denetlenmektedir. Güven ölçütleri, iç güven ölçütü ve dış güven ölçütü olmak üzere ikiye ayrılır.

İç güven ölçütü; herhangi bir ölçüde model hipotezi ile ortaya çıkarılamayan hatanın büyüklüğü olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle iç güven ölçü, bir ölçünün ağdaki diğer ölçüler yardımıyla denetlenebilmesini ifade etmektedir. Bir  $l_1$  ölçüsünde  $\Delta_j$  kadar kaba hatanın ortaya çıkma olasılığı hipotez testleri ile araştırılmaktadır. Sıfır hipotezi;

$$H_0 : E\{\Delta\} = 0 \quad (1.69)$$

ve seçenek hipotezi;

$$H_s : E\{\Delta\} = a.c \quad (1.70)$$

eşitlikleri ile oluşturulur. Seçenek hipotezinin geçerli çıkması durumunda, dış merkezlik parametresinin test büyüklüğü;

$$\delta = \frac{\Delta v^T P \Delta v}{\sigma_0^2} \quad (1.71)$$

dış merkezlik parametresinin sınır değeri;

$$\delta_0 = F(\alpha_0, \beta_0, n - u, \infty) \quad (1.72)$$

olmak üzere,  $\delta \leq \delta_0$  eşitsizliğini sağlar. Bu eşitsizlik yardımıyla iç güven ölçütünün sınır değeri  $\Delta_{0i}$  kestirilebilir.

a : Model hatası

$e_i^T = [0 \ 0 \ \dots \ 1 \ \dots \ 0]$  Model hatasının etki katsayısı

olmak üzere bir ölçüdeki kaba hatanın büyüklüğü,

$$\Delta_i = a \cdot e_i \quad (1.73)$$

olarak düzenlenir. Bu durumda bir ölçüdeki kaba hatanın düzeltilmesi üzerindeki payı,

$$\Delta v_i = -Q_{vv} P \Delta_i \quad (1.74)$$

ve karesel büyüklüğü de,

$$\Delta v_i^T P \Delta v_i = a^2 e_i^T P Q_{vv} P Q_{vv} P e_i \quad (1.75a)$$

$$\Delta v_i^T P \Delta v_i = a^2 e_i^T P Q_{vv} P e_i \quad (1.75b)$$

olmak üzere, (1.71) Eşitliğindeki yerine yazılırsa;

$$\frac{a^2 e_i^T P Q_{vv} P e_i}{\sigma_0^2} \leq \delta_0 \quad (1.76a)$$

$$a^2 = \sigma_0^2 \frac{\delta_0}{e_i^T P Q_{vv} P e_i} \quad (1.76b)$$

sınır değeri elde edilir. Datumdan bağımsız bu karesel büyüklüğün ( $a^2 = \Delta_{0i}^2$ ) deneysel değeri;

$$|\Delta_{0j}| = m_0 \sqrt{\frac{\delta_0}{e_j^T P R e_j}} \quad (1.77)$$

olarak kestirilir. İç güven ölçütünün sınır değeri korelasyonsuz gözlemler için;

$$r_j = (Q_{vv})_j P_j \quad (1.78)$$

olmak üzere;

$$|\Delta_{0j}| = m_0 \sqrt{\frac{\delta_0}{P_j r_j}} \quad (1.79)$$

elde edilir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Konak, 2018).

Dış güven ölçütü, iç güven ölçütünün bir fonksiyonu olarak koordinat bilinmeyi vektöründen;

$$\Delta x_i = QA^T P \Delta_{0i} \quad (1.80)$$

kestirilebilmektedir. Dış güven ölçütü vektörü ( $\Delta x_i$ ) jeodezik ağlarda datumun seçimine bağlı bir büyüklüktür. Dış güven ölçütü için datumdan bağımsız olarak, (1.80) Eşitliğinin ağırlıklı karesel normu önerilmektedir (Baarda, 1968).

$$\delta_{0i}^2 = \frac{1}{\sigma_0^2} \Delta x_i^T Q_{xx}^{-1} \Delta x_i \quad (1.81)$$

Bu son eşitlikte iç güven ölçütünün değeri yerine yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa dış güven ölçütü;

$$\delta_{0i}^2 = \frac{e_i^T P Q_{ii}^{-1} P e_i}{e_i^T P Q_{vv}^{-1} P e_i} \delta_0 \quad (1.82)$$

olmak üzere korelasyonlu gözlemler için;

$$\delta_{0i}^2 = \frac{e_i^T (E - PR) e_i}{e_i^T P R e_i} \delta_0 \quad (1.83)$$

ve korelasyonsuz gözlemler için;

$$\delta_{0i}^2 = \frac{1 - r_i}{r_i} \delta_0 \quad (1.84)$$

eşitlikleri ile hesaplanır.

İyi planlanmış ve ağ dengelemesi için kurulan matematik modelin geçerli olduğu bir ağda,

Gözlemlerin fazla ölçü sayısındaki payları :  $r_j > 0,3$  ya da  $r_j > 0,5$

Ölçüdeki ortaya çıkarılmayan hataların sınır değeri:  $\Delta_{0j} \cong (6 \text{ ya da } 8)m_i$

Hataların koordinatlara etkime katsayısı :  $\delta_{0j} \cong 6 \text{ ya da } 10$

sınırları arasında kalmadır (Tablo 1.1) (Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Konak, 1995).



Tablo 1.1. Güvenirlik ölçütlerinin sınır değerleri (Konak, 1995)

Redundanz payları $r_j = (Q_{vv})_j P_j$	İç güven ölçütü $k = \frac{\Delta_{0j}}{m_i}$	Dış güven ölçütü $\delta_{0j}$	Güvenirlik
$0 \leq r_j < 0,01$	$30 \leq k < \infty$	$25 \leq \delta_{0j} < \infty$	Denetlenemez
$0,01 \leq r_j < 0,10$	$10 \leq k < 30$	$15 \leq \delta_{0j} < 25$	Zayıf Denetlenebilir
$0,10 \leq r_j < 0,30$	$6 \leq k < 10$	$8 \leq \delta_{0j} < 15$	Yeterince Denetlenebilir
$0,30 \leq r_j < 1,00$	$0 \leq k < 6$	$0 \leq \delta_{0j} < 8$	Oldukça İyi Denetlenebilir

Güvenirlik ölçütleri, öngörülen sınır değerleri yeterince karşılayabilirler. Ancak herhangi bir ölçüdeki kaba hata ağıdaki tüm noktaların koordinat bilinmeyenlerini ayrı ayrı etkiler, hepsinde farklı oranlarda deformasyonlara yol açarlar ve bu noktalar farklı yönlerde ve oranlarda gerinirler. Bu durumda jeodezik ağlar için güvenirlik irdeleme işlemleri de gerinimlerin yarattığı en büyük etkiyi araştırma problemine dönüştürülebilir. Sözü edilen gerinimlerin olabildiğince küçük olması, jeodezik ağların bu türden bozulmalara duyarsız ya da sağlam olması beklenir (Vanicek ve diğ., 1990; Berber, 2006; Konak, 2018).

Öte yandan jeodezik ağlar, günümüzde farklı epoklarda ve farklı oturumlarda deformasyon ağları ya da sürekli ağlar olarak izlenmektedir. Başka bir deyişle; ölçülerdeki kaba hataların koordinat bilinmeyenleri üzerindeki etkileri, geçen zaman dilimi içerisinde, yer değiştirme vektörü üzerinde olumsuz birikimlere/gerinimlere yol açarlar. Sözü edilen bu birikimlerin de olabildiğince algılanması ve bu anlamda jeodezik ağların algılayabilirlik düzeylerinin yeterince sorgulanması gerekir (Hsu ve Hsiao, 2002; Küreç ve Konak, 2014).

## 2. JEODEZİK AĞLARDA ALGILAYABİLİRLİK

Yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi amacıyla tesis edilen deformasyon ağlarında; “belirlenebilir en küçük yer değiştirme düzeyi” olarak adlandırılan algılayabilirlik değerleri, yeterli bir doğrulukta ve güvenilirlikte kestirilmelidir. Farklı periyotlarda izlenen sabit ya da temel sıklaştırma ağlarında da aynı isteklerin sağlanması beklenir.

Jeodezik gözlemlerde, hipotez testleriyle belirlenemeyen kaba hataların, koordinat bilinmeyenlerine etkisi dış güvenilirlik olarak adlandırılır. Herhangi bir gözlemin ölçme planındaki yeri ve ağırlığı, bu ölçünün denetlenebilirliğini doğrudan etkiler. Bu nedenle bir gözlemin, komşu gözlemlerle birbirlerini eş düzeyde denetlemeleri gerekir. Özellikle sıklaştırma GPS/GNSS ağlarında, bir durak noktasındaki, gözlemlerin toplam ağırlıkları, her bir epokta her zaman eş düzeyde elde edilemez.

Bir ölçünün güvenirliliği ile bu ölçüdeki rastgele ölçü hatalarına çok yakın büyüklükteki kaba hatanın ayıklanabilirlik düzeyi arasındaki ilişkinin temelleri Baarda (1968) tarafından atılmıştır. Bu temel ilişki üzerindeki araştırmalar, günümüzde de önemini yitirmemiş, araştırmacılara yeni ve özgün alanlar açmıştır (Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

Bir ölçüdeki uyumsuzluk, yalnızca kendisinden değil, ağırlığı daha yüksek olan komşu gözlemlerden de kaynaklanabilir. Çalışmamızı yönlendiren bu bulgu, Konak vd. (2005)'in çalışmasında; veri ayıklama (data snooping), sağlam (robust) kestirim ve bulanık mantık (fuzzy logic) yaklaşımları ile test edilmekte ve deneysel sonuçlarla desteklenmektedir. Öte yandan, bir durak noktasındaki gözlemlerin toplam ağırlığı ne kadar yüksek olursa, bu noktanın algılayabilirlik düzeyi de o kadar iyi olur. Bu durumda sözü edilen gözlem grubunun, komşu gözlemler tarafından denetlenebilirlik ve dış güven değerleri de zayıflar. Başka bir deyişle, algılayabilirlik değerlerinin iyi olması, her zaman uygun bir güvenilirlik dağılımını garanti edemez (Hsu vd., 2008). Bir durak noktasındaki, toplam gözlem ağırlıklarının algılayabilirlik üzerindeki olumlu katkısı ve dış güvenirliliğe göre değişimi birçok araştırma makalesinin başlıca araştırma konusu olmuştur (Even-Tzur, 2006 ve 2010; Yetkin ve Berber, 2012).

Dış güvenilirlik ve algılayabilirlik ölçütleri, aslında birbirlerini tamamlayan iki temel ölçüttür. Ancak farklı ölçme epoklarında, farklı doğrulukta elde edilen GPS gözlemleri nedeniyle, bu ölçütler birbirlerini zıt yönde ve olumsuz bir oranda etkilerler. Bu çelişki, jeodezik ağlar için önemli bir tasarım sorunudur ve bu sorunun çözümü çalışmamızın ana fikrini oluşturmaktadır. Bu çalışmada sözü edilen temel tasarım sorununa çözüm getirebilecek ve GPS/GNSS ağları için kullanılabilir, ölçme kampanyaları tamamlanmadan kullanılabilir bir değerlendirme/sorgulama algoritması önerilmektedir. Önermekte olduğumuz algoritmanın dayandığı algılayabilirlik irdemeleri alanındaki ilk araştırmalara örnek olarak; Hsu ve Hsiau (2002) ile Küreç ve Konak (2014) makaleleri gösterilebilir. Bu alandaki benzer analizleri; Han vd. (2012) gerinim parametrelerine, Simkoei (2004) ise doğrudan redundanslara uyarlamıştır.

Güvenirlik, algılayabilirlik ve gerinim analizleri, jeodezi bilim alanında ilgi çekici araştırma konuları olma özelliğini sürdürmektedir. Bu araştırma konuları; Berber (2006), Berber vd. (2009) ile Yetkin ve Berber (2012)'de güvenilirlik ve gerinim irdemeleri, Even-Tzur (2006, 2010), Hsu vd. (2008) ile Han vd. (2012)'de algılayabilirlik ve gerinim irdemeleri, Bogusz vd. (2013), Laband (2014) ile Goudarzi vd (2015)'de ise gerinim kapasiteleri biçiminde örneklenebilir.

## 2.1. Öncül Algılayabilirlik

Belirli aralıklarla izlenen jeodezik ağların değerlendirilmesi sürecinde elde edilen dengeli koordinat farkları içerisinde belirlenemeyen kaba hatanın en küçük değeri, jeodezik ağlar için algılayabilirlik düzeyi olarak adlandırılmaktadır (Küreç ve Konak, 2014). Söz konusu algılayabilirlik düzeyleri, iki farklı epoktan kestirilen yer değiştirme vektörünün doğrusal bir fonksiyonundan elde edilen ters ağırlıklar matrisinin ( $Q_{dd}$ ) özdeğerleri kullanılarak hesaplanabilmektedir.

Algılayabilirlik değerleri, her bir epok için ayrı ayrı elde edilen ( $Q_{dd}$ )<sub>ti</sub> ters ağırlıklar matrislerinden hesaplanmak isteniyorsa; bu değer  $\Delta t = \sqrt{2}$  birim yılı temsil eden Öncül Algılayabilirlik Değerleri olarak yorumlanabilir. Öte yandan ters ağırlıklar matrisi, iki periyottan kestirilen yer değiştirme vektöründen elde edilirse, ulaşılan algılayabilirlik değerleri de Soncul Algılayabilirlik Değerleri olarak adlandırılır.

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;

$$\hat{x} = (A^T P A)^{-1} A^T P l \quad (2.1)$$

olarak elde edilir.  $t_0$  ve  $t_1$  epoklarında değerlendirilen bir jeodezik ağın dengeli koordinatları arasında;

$$d = \hat{x}^1 - \hat{x}^0 \quad (2.2)$$

biçiminde bir yer değiştirme vektörü oluşturulur ve ters ağırlıkların yayılma ilkesine göre ters ağırlık matrisi;

$$Q_{dd} = Q_{\hat{x}\hat{x}}^1 + Q_{\hat{x}\hat{x}}^0 \quad (2.3)$$

elde edilir. İki ölçme anı arasındaki hız vektörü;

$$\dot{x} = \frac{\hat{x}^1 - \hat{x}^0}{\Delta t} \quad (2.4)$$

olarak yazılırsa, hız vektörünün ters ağırlık matrisi;

$$Q_{\dot{x}\dot{x}} = \frac{Q_{\hat{x}\hat{x}}^1 + Q_{\hat{x}\hat{x}}^0}{\Delta t^2} \quad (2.5)$$

eşitliği ile elde edilebilir. Univaryat yapıda jeodezik ağlarda gözlemlerin ağırlıkları, ağın ölçme planı, noktaların dağılımları aynı olduğundan, her iki epoktaki ters ağırlıkları da değişmez kalır.

$$Q = Q_{\hat{x}\hat{x}}^1 = Q_{\hat{x}\hat{x}}^0 \quad (2.6)$$

Bu durumda Eşitlik (2.4)'de hız vektörünün ters ağırlık matrisi;

$$Q_{\dot{x}\dot{x}} = \frac{2Q}{\Delta t^2} \quad (2.7)$$

şeklini alır.

Bir jeodezik ağın, herhangi bir zaman aralığında değerlendirilmesi sonucunda elde edilen kesin değerlerin büyüklüğü  $(\hat{x}^1, \hat{x}^0)$ , ölçüler vektöründe  $(l^1, l^0)$  ortaya çıkan olası hatalara bağlıdır. Farklı epoklarda değerlendirilen bu ağlarda ağın datumunun, yaklaşık koordinatlarının ve deneysel varyansın öncül değerinin değişmemesi önerilmektedir (Aksoy vd., 1995). Ağ noktalarında herhangi bir yer değiştirme yoksa ölçüler vektörünün rasgele dağılımlı ölçülerden oluğu varsayılır.

Bu durumda (2.1) Eşitliği, rasgele dağılımlı diferansiyel ölçülerin  $(dl)$  bir fonksiyonu olarak;

$$d = N^+ A^T P dl \quad (2.8)$$

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

$$Q_{dd} = N^+ \quad (2.9)$$

olarak elde edilir. Eğer  $\Delta t = \sqrt{2}$  birim yıllık zaman için öncül bir algılayabilirlik analizi yapılmak istenirse son eşitlik  $(Q_{dd} = Q_{xx} = Q)$  olarak elde edilir.

Yer değiştirme vektörü  $(d)$ , ortalaması  $(\bar{d})$  ve varyansı  $(\Sigma_d)$  olan normal dağılıma uyar ve bu vektörün karesel büyüklüğü de serbestlik derecesi  $(u)$  olan, Chi-Kare  $(\xi_0^2 = \bar{d}^T \Sigma_{dd}^+ \bar{d})$  dağılımındadır. Chi-Kare Dağılımı;

$$\xi^2 = d^T \Sigma_{dd}^+ d = \frac{d^T P_{dd} d}{\sigma^2} \approx \chi_{u, \xi_0^2}^2 \quad (2.10)$$

$\sigma^2$ , birim ölçünün ortalama hatasının öncül varyansı olmak üzere, sıfır hipotezine uyar. Sıfır hipotezinin geçerli olduğu durumlarda Dış Merkezlik Parametresi,

$$\frac{d^T P_{dd} d}{\sigma^2} \leq \delta_0^2 \quad (2.11)$$

koşulunu sağlar. Bu durumda  $d$  vektörü, istatistiksel anlamda, anlamlı bir deformasyon bilgisi içermeyen, rasgele özellikli aykırı bir hata vektörü (marginal random error vector) olur. (Hsu ve Hsiao, 2002). Bu eşitliğinin çözümlenmesi sonucunda

belirlenebilir en küçük yer değiştirme miktarı elde edilir. Eşitlik (2.11)'de karesel büyüklük,  $d^T P_{dd} d = d^T S \Lambda S^T d$  biçiminde özdeğerlerine ayrılır ve ortogonallik özelliğine göre katkısı olmayan çarpanlardan arındırılır. (d) yer değiştirme vektörünün elemanları, en büyük özdeğer ( $\lambda_{\max}$ ) için yazılırsa, ağın en iyi duyarlık derecesi olarak, belirlenebilir en küçük yer değiştirme değeri diğer bir deyişle ağın algılayabilirlik düzeyi;

$$\|d\|_{\min} = \frac{\delta_0 \sigma}{\sqrt{\lambda_{\max}}} \quad (2.12)$$

elde edilir. Buna karşın, bu eşitlik en küçük özdeğer ( $\lambda_{\min}$ ) için yazılırsa, ağın en zayıf duyarlık derecesi yani ağın yetersizlik düzeyi;

$$\|d\|_{\max} = \frac{\delta_0 \sigma}{\sqrt{\lambda_{\min}}} \quad (2.13)$$

elde edilir.  $\|d\|_{\min}$  ve  $\|d\|_{\max}$  değerleri ağın genel ayırma gücü (global sensitivity) hakkında bilgi verirler (Hsu ve Hsiao, 2002; Küreç 2010; Küreç ve Konak, 2011 ve 2014).

Eşitlik (2.8)'de verilmekte olan yer değiştirme vektörü (d), üç boyutlu GPS ağları için;

$$\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \cdot \\ d_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{11} & N_{12} & \cdot & N_{1n} \\ N_{21} & N_{22} & \cdot & N_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ N_{n1} & N_{n2} & \cdot & N_{nn} \end{bmatrix}^+ \begin{bmatrix} (A^T P d)_1 \\ (A^T P d)_2 \\ \cdot \\ (A^T P d)_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \cdot & Q_{1n} \\ Q_{21} & Q_{22} & \cdot & Q_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Q_{n1} & Q_{n2} & \cdot & Q_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (A^T P d)_1 \\ (A^T P d)_2 \\ \cdot \\ (A^T P d)_n \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

biçiminde düzenlenirse, tek bir durak noktası için;

$$d_i = [Q_{i1} \quad Q_{i2} \quad \cdot \quad \cdot \quad Q_{in}] \begin{bmatrix} (A^T P d)_1 \\ (A^T P d)_2 \\ \cdot \\ (A^T P d)_n \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

olarak elde edilir. Ters ağırlıkların yayılması ilkesine göre;

$$d_i = \begin{bmatrix} dx_i \\ dy_i \\ dz_i \end{bmatrix} = \ddot{N}_i A^T P d l \quad (2.16)$$

olmak üzere herhangi bir durak noktasındaki yer değiştirme vektörünün ters ağırlığı;

$$Q_{d_i d_i} = \ddot{N}_i A^T P Q_{ll} P A \ddot{N}_i^T = \ddot{N}_i N \ddot{N}_i^T \quad (2.17)$$

ayrı ayrı hesaplanır. Her noktanın ağırlık matrisinin  $(Q_{d_i d_i}^{-1})$  özdeğerleri kullanılarak lokal algılayabilirlik düzeyleri ayrı ayrı elde edilebilir.

## 2.2. Soncul Algılayabilirlik

En az iki ölçme epoğunda değerlendirilen Ülke Temel GPS Ağları ya da GPS sıklaştırma ağlarında, bazı noktaların zamanla kaybolması ya da tahrip olması beklenen bir durumdur. Ayrıca her bir ölçme epoğunda, GNSS gözlemleri için aynı varyans-kovaryans bilgilerine ulaşmak da olanaksızdır. Bu tür ağların belirli aralıklarla izlenmesi durumunda, Multivaryat yapılı ağlar olarak ele alınmaları gerekmektedir.

Multivaryat yapılı ağlar ağlar için hız vektörü, Eşitlik (2.4) ve (2.16)'nın ilk ölçülerin bir fonksiyonu olarak yeniden düzenlenmesiyle elde edilir. Tek bir istasyon noktası (i) için hız vektörü;

$$\dot{x}_i = \frac{1}{\Delta t} \left[ \ddot{N}_i^1 (A^T P l)^1 - \ddot{N}_i^0 (A^T P l)^0 \right] \quad (2.18)$$

ve hız vektörünün ters ağırlık matrisi;

$$Q_{\dot{x}_i \dot{x}_i} = \frac{1}{\Delta t^2} \left[ \ddot{N}_i^1 (A^T P Q_{ll} P A)^1 (\ddot{N}_i^1)^T + \ddot{N}_i^0 (A^T P Q_{ll} P A)^0 (\ddot{N}_i^0)^T \right] \quad (2.19)$$

$$Q_{\dot{x}_i \dot{x}_i} = \frac{(\ddot{N}_i N \ddot{N}_i^T)^1 + (\ddot{N}_i N \ddot{N}_i^T)^0}{\Delta t^2} \quad (2.20)$$

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;

$$Q_{xx} = (N + BB^T)^{-1} - G(G^T BB^T G)^{-1} G^T \quad (2.21)$$

biçiminde her bir epok için ayrı ayrı elde edilir.

Bu durumda (i) numaralı durak noktasındaki yer değiştirme vektörüne ilişkin ters ağırlık matrisi de multivaryat düzenli ağlar için Eşitlik (2.20)'ye göre zamanın bir fonksiyonu olarak düzenlenir.

Jeodezik ağlar için  $\Delta t = \sqrt{2}$  birim yılı temsil eden öncül algılayabilirlik yaklaşımı kullanılarak; iki ayrı ölçme periyodunda ulaşılan algılayabilirlik değerlerinin, eş düzeyde gerçekleşebilme olanakları gözden geçirilebilir. Bu anlamda jeodezik ağlarda oluşabilen olası yetersizlikler irdelenebilir ve nedenleri sorgulanabilir. Soncul algılayabilirlik yaklaşımında ise;  $\Delta t = t_1 - t_0$  zaman aralığı için kesin algılayabilirlik sonuçları elde edilebilmektedir. Bu sonuçlar her bir ölçme epogunda ulaşılan öncül algılayabilirlik değerleri ile karşılaştırılarak ağın zayıf ve güçlü yönleri de güvenilir biçimde belirlenebilir.

Sonuç olarak öncül algılayabilirlik analizleri için Eşitlik (2.17) ve soncul algılayabilirlik analizleri için Eşitlik (2.20)'den elde edilen ters ağırlık matrisleri kullanılır (Hsu ve Hsiao, 2002; Küreç ve Konak, 2011 ve 2014).

Herhangi bir jeodezik ağda istasyon noktalarının algılayabilirlik değerlerinin elde edilebilmesi için;

a. Herhangi bir istasyon noktasındaki yer değiştirme vektörünün ağırlık matrisi  $N_{ii}$  hesaplanır.

$$N_{ii} = \left\{ \frac{(\ddot{N}_i N \ddot{N}_i^T)^1 + (\ddot{N}_i N \ddot{N}_i^T)^0}{\Delta t^2} \right\}^{-1} \quad (2.22)$$



$$N_{ii} = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} \end{bmatrix}_i \quad (2.23)$$

$$N_{ii} = Q_{didi}^{-1} \quad (2.24)$$

b. Her istasyon noktasındaki ağırlık  $N_{ii}$  matrisi özdeğerlerine ve özvektörlerine ayrılır.

c. Özvektörler matrisinden her koordinat bilinmeyeni için doğrultu kosinüsleri hesaplanır. Doğrultu kosinüsleri azimut ve başucu yönünde bilgi taşırlar.

d. Her durak noktası için elde edilen doğrultu kosinüsleri, enlem ve boylam değerleri kullanılarak yerel bir koordinat sistemine dönüştürülür.

Bu amaçla;

$$\begin{bmatrix} n \\ e \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

biçiminde yazılan dönüşüm bağıntısından  $[\Delta X \ \Delta Y \ \Delta Z]^T$  vektörü yerine  $N_{ii}$  matrisinden elde edilen  $\lambda_{\max}$  için asal gerilme doğrultusuna denk gelen özvektörlerden hesaplanan doğrultu kosinüsleri yazılır.

$$\begin{bmatrix} n \\ e \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \varphi \\ \cos \beta \\ \cos \gamma \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

e. İki boyutlu izdüşüm doğrultularına denk gelen özvektörün azimutu;

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{e}{n} \quad (2.27)$$

ve başucu açısı;

$$\zeta = 90^\circ - \tan^{-1} \frac{w}{\sqrt{e^2 + n^2}} \quad (2.28)$$

eşitlikleri kullanılarak yerel koordinatlar türünden ayrı ayrı hesaplanır.

f. Azimut ve başucu açıları kullanılarak doğu-batı ve kuzey-güney yönündeki yer değiştirme elemanları;

$$\tilde{e} = \|d\| \sin \zeta \sin \alpha \quad ; \quad \tilde{n} = \|d\| \sin \zeta \cos \alpha \quad (2.29)$$

formülleri ile elde edilir.

g. Eşitlik (2.29)'da  $\|d\|$  yerine  $\|d\|_{\min}$  ve  $\|d\|_{\max}$  değerleri yazılarak yer değiştirme elemanlarının en büyük ve en küçük değerleri elde edilir (Hsu ve Hsiao, 2002).

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

i. Sayısal ve çizgisel sonuçlar yorumlanır (Küreç, 2010; Küreç ve Konak, 2014).

### **2.3. Dış Güvenirlik ve Algılayabilirlik Gereksinimleri için Bir Sorgulama Algoritması**

Dış güven ölçütünün büyüklüğü özellikle ölçü ağırlığına bağlıdır. Herhangi bir gözlemin komşu gözlemlere göre ağırlığı arttıkça, dış güven değeri de büyür. Bu değer, yeterince denetlenebilir jeodezik ağlar için ön görülen dış güven sınır değerini ( $\delta_j > 15$ ) aşabilir (Ralf, 1984; Konak, 1995). Bu nedenle jeodezik ağlar tasarlanırken gerek ölçme planı gerekse ölçü ağırlıkları gözden geçirilerek dış güven sınırının aşılmasına özen gösterilir.

Buna karşın belirli aralıklarla izlenen jeodezik ağlar için elde edilen olası yer değiştirme büyüklüklerinin de yeterli doğrulukta kestirilmesi önemli bir güven ölçütüdür. Kestirilen bu değerlerin güvenirliliği, her bir ağ noktasının lokal yer değiştirme vektöründen elde edilen algılayabilirlik değerleri ile ölçülebilmektedir (Hsu ve Hsiao, 2002; Küreç ve Konak, 2014).

Bu nedenlerle algılayabilirlik analizi yapılan jeodezik ağlarda her bir epok için tasarlanan jeodezik gözlemlerin, dış güvenirlik yönünden eş düzeyde denetlenmesi, aynı zamanda her bir durak noktasındaki gözlemlerin toplam ağırlıkları olabildiğince yüksek ve birbirlerine yakın değerlerde elde edilmesi istenir. Bu ölçütleri deneysel olarak sağlamak oldukça zordur.

Bu çalışmada böyle bir soruna çözüm getirebilecek bir iyileştirme stratejisi geliştirilmiştir. Önerilen bu strateji aşağıdaki işlem adımlarından oluşmaktadır (Şekil 2.1).

1. Adım: Tasarım Matrisinin Oluşturulması: Uygun bir ölçme planı tasarlanır. Bu amaçla kararlı bir geometrik şekil ya da ölçme planı sağlayabilen delunay üçgenlemesi, uzman görüşü, benzetim yöntemleri ya da ikinci dereceden bir optimizasyon işleminden yararlanılabilir.

2. Adım: Geometrik Şeklin Analizi: Tasarlanan ölçme planına göre gözlemlerin ağırlıkları eşit ( $P=E$ ) alınarak dış güvenilirlik değerleri hesaplanır. Böylece ağırlık geometrik şekli, güçlü ve zayıf yönleriyle birlikte bir kez daha gözden geçirilmiş olur. Gerekli görülürse 1. Adıma geri dönülerek farklı ağ tasarımları ya da optimizasyon yöntemleri denir.

3. Adım: Öncül Algılayabilirlik Analizleri ve Gereksinimlerin Belirlenmesi: Jeodezik ağ, tasarlanan ölçme planına göre  $t_0$  ve  $t_1$  epoklarında ayrı ayrı ölçülür ve değerlendirilir. Bu değerlendirme işlemleri sonucunda, jeodezik ağın ilk iki epogu için,  $\Delta t = \sqrt{2}$  birim yılı temsil eden öncül algılayabilirlik değerleri elde edilir. Olabildiğince iyi ve homojen dağılımlı algılayabilirlik değerlerini sağlayan epok, ulaşılabilecek öncül gereksinimler olarak belirlenir.

4. Adım: Dış Güvenirlik Gereksinimlerinin Denetlenmesi: Her iki epok için elde edilen dış güvenilirlik dağılımları gözden geçirilir. Zayıf denetlenebilir gözlemlerin etkisini azaltmak için En Küçük Kareler kestirimine dayanan bir yinelemeli ağırlıklandırma (EKK-ITRW) tekniğinden yararlanılır. EKK Robust yöntemine benzeyen bu teknik uyumsuz ölçüleri ayıklamak için değil, aksine kötü koşullu gözlemlerin yerleri ve ulaşılması gereken güvenilirlik gereksinimlerinin aralıklarının belirlenmesi için önerilmektedir.

EKK\_ITRW yönteminde; yeterince denetlenebilir ağlar için öngörülen dış güven aralığının alt sınır değeri ( $c=8$ ), eşik değer olarak önerilebilir. Bu sınır değeri tasarlanan sıklaştırma ağın amacına bağlı olarak değiştirilebilir (Ralf, 1984; Konak, 1995).

Uygun bir ağırlıklandırma işlemi uygulanarak, dış güven eşik değerini aşan gözlemlerin ağırlıkları aşamalı olarak azaltılır ve böylece denetimli bir dış güvenilirlik dağılımı elde edilir.

EKK-ITRW işlemi iki farklı biçimde ele alınabilir:

- I. Tip Ağırlıklandırma Modeli ile, her bir GNSS/GPS bazında eşik değeri aşan dış güven değeri için ağırlık fonksiyonu;

$$w_j = e^{\frac{\delta_{jmax} - c}{0.5 \cdot c}} \quad (2.30)$$

olarak yazılır.

- II. Tip Ağırlıklandırma Modeli ile, dış güven değerlerini temsil eden deneysel varyans n baz sayısı olmak üzere,

$$\delta_{ort} = \frac{[\delta_{\Delta X} + \delta_{\Delta Y} + \delta_{\Delta Z}]}{3n}, \quad \sigma^2 = \frac{[\delta_j - \delta_{ort}]^2}{3n - 1} \quad (2.31)$$

eşitlikleri ile elde edilir. Eşik değeri aşan dış güvenilirlik ölçütlerine sahip her bir GNSS/GPS bazı için ağırlık fonksiyonu,

$$w_j = e^{\frac{\delta_{jmax} - \delta_{ort}}{1.96 \cdot \sigma^2}} \quad (2.32)$$

olarak yazılır.

Ağırlıklandırma modellerinden elde edilen ağırlık fonksiyonlarından biri kullanılarak gözlemlerin ters ağırlık matrisi,

$$\bar{Q}_{ll_j} = Q_{ll_j} w_j \quad (2.33)$$

biçiminde yeniden ölçeklendirilir. Eşik değer koşulunun sağlanması ya da ağırlık fonksiyonunun 1' e yakınsaması durumunda dış güvenilirlik analizleri sonlandırılır (Konak ve diğ., 2017b).

Her iki epoktan en iyi algılayabilirlik ağ seçeneğini sağlayan ölçme planı ve güvenilirlik dağılımı, bundan sonraki algılayabilirlik sorgulama işlemleri ve soncul algılayabilirlik irdelemeleri için kullanılır.

Dış güvenilirlik gereksinimlerinin denetlendiği bu aşamada, eşik değerini aşan ve güvenilirlik isteklerini sağlayamayan gözlemler ölçme kampanyası tamamlanmadan önce yinelenmeli ve olabildiğince eşik değere yakın deneysel sonuçlar elde edilmelidir.

5. Adım: Algılayabilirlik Gereksinimlerinin Denetlenmesi: Dış güvenilirlik dağılımı denetlenen epoklardan elde edilen algılayabilirlik dağılımları, amaç fonksiyonu olarak belirlenen öncül algılayabilirlik gereksinimlerine göre gözden geçirilir. Bu işlem için ikinci derece optimizasyon işlemlerine ilişkin global uyum ölçütünden ( $\Delta^T \Delta d \Rightarrow \min.$ ) yararlanmayı önermekteyiz. Bu ölçüt hakkında ayrıntılı bilgilere ulaşmak için Konak (1995) ve Schmitt (1985) kaynakları incelenebilir.

$$Q = \min \left\{ iz \left( Q_{xx}^0 \right) ; iz \left( Q_{xx}^1 \right) \right\} \quad (2.34)$$

$$\Delta d = \text{vektör} \left[ Q_{xx}^k - Q \right] \quad k = \{0 \vee 1\} \quad (2.35)$$

İkinci Derece Optimizasyona ilişkin Global uyum ölçütünü, karesel anlamda minimum ( $\Delta^T \Delta d \Rightarrow \min.$ ) yapan ölçeklendirme katsayısı ( $\Lambda_i$ ), her bir durak noktasındaki ters ağırlık matrisleri üzerinden hesaplanır.

$$\Lambda_i = \frac{iz \left[ Q_{xx}^k Q_{xx}^k \right]}{iz \left[ Q_{xx}^k Q \right]} \quad (2.36)$$

Burada, ölçek katsayısı belli bir sınır değeri aşıyorsa ( $\Lambda_i > \Lambda_s$ ), her bir durak noktasında ki GPS gözlemlerinin ters ağırlıkları,

$$\left( Q_{ll} \right)_i = \frac{\left( \bar{Q}_{ll} \right)_i}{\Lambda_i} \quad (2.37)$$

biçiminde yeniden ölçeklendirilir.

Böyle bir ölçeklendirme işlemi sonunda, her bir durak noktasındaki öncül algılayabilirlik değerleri iyileşirken, buna karşın bu durak noktasında gözlenen ölçülerin diğer gözlemler tarafından denetlenebilirlikleri azalacaktır. Bu noktadan hareketle GPS bazlarının denetlenebilirlik yönünden bir kez daha gözden geçirilmesi gereklidir.

Bilinmeyenlerin bir fonksiyonun ters ağırlığının ( $a^T Q_{xx} a$ ), Rayleigh ilişkisine göre;

$$\lambda_{\min} \leq m_0^2 \frac{a^T Q_{xx} a}{a^T a} \leq \lambda_{\max} \quad (2.38)$$

aralığında kalması istenir. Bu durumda, bilinmeyenlere ilişkin en büyük ve en küçük özdeğerler birbirine olabildiğince eşit ( $\lambda_{\min} \cong \lambda_{\max}$ ) olmalıdır (Öztürk ve Şerbetçi 1992).

İlk ölçüler ya da dengeli ölçüler, bilinmeyenlerin dolaylı birer fonksiyonlarıdır. Her bir GPS bazından elde edilen uzay uzunluk (D), ilk ölçüler ve dengeli ölçülerin bir fonksiyonu olarak ayrı ayrı doğrusallaştırılır.

$$a^T = \left[ 0 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \frac{\Delta X}{D} \quad \frac{\Delta Y}{D} \quad \frac{\Delta Z}{D} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0 \right] \quad (2.39)$$

olmak üzere, dengeli GPS bazının ters ağırlığı,

$$q_{\tilde{b}_j} = a_j^T Q_{\tilde{b}_j} a_j \quad (2.40)$$

GPS bazının ters ağırlığı,

$$q_{b_j} = a_j^T Q_{b_j} a_j \quad (2.41)$$

redundans değeri,

$$r_{b_j} = \frac{q_{b_j} - q_{\tilde{b}_j}}{q_{b_j}} \quad (2.42)$$

ve GPS baz ölçüsünün dış güven değeri,

$$\delta_{b_j} = \sqrt{\frac{1-r_{b_j}}{r_{b_j}}} \delta_0 \quad (2.43)$$

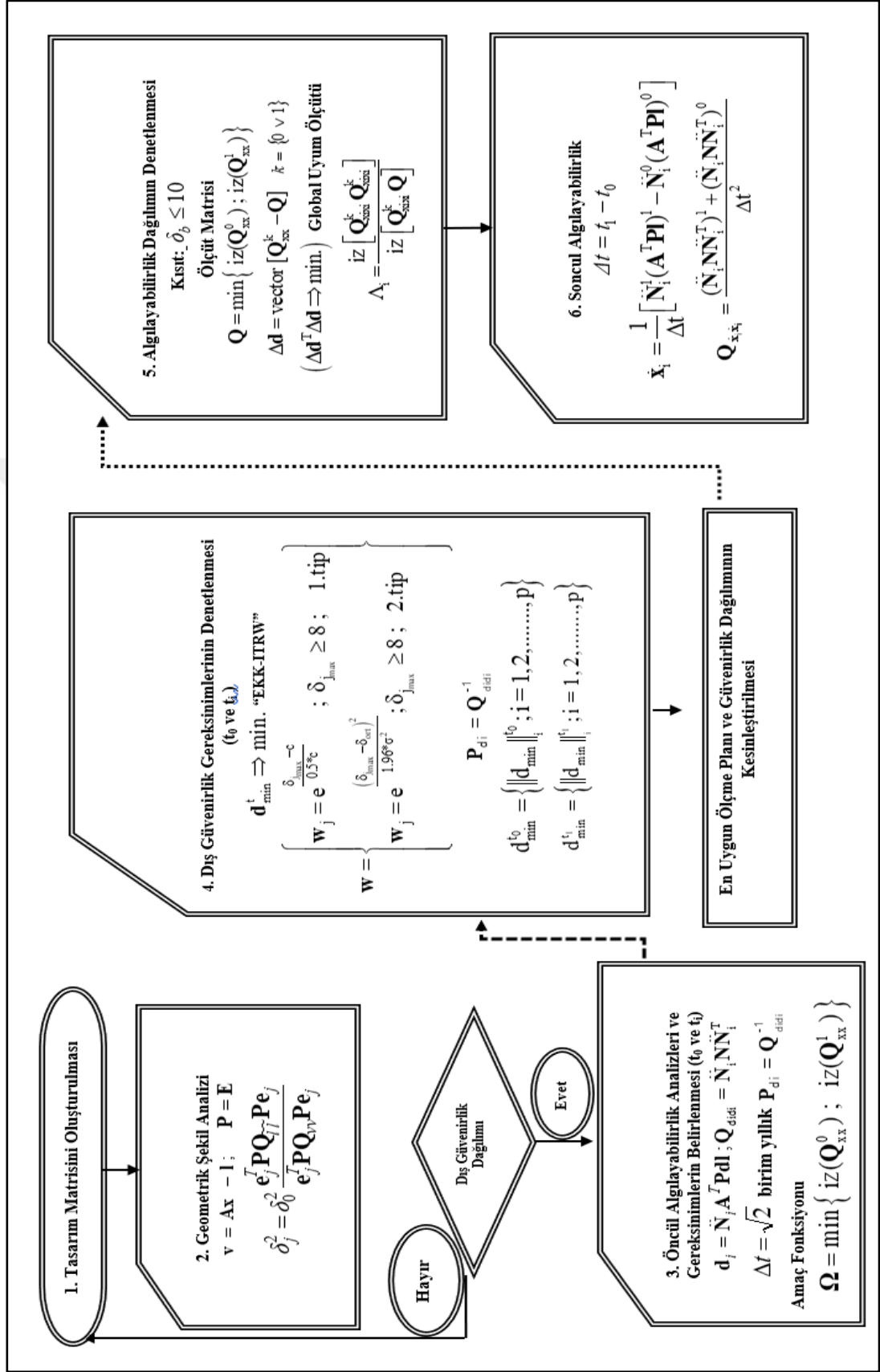
hesaplanır. GPS baz bileşenlerinin dış güvenilirliklerini  $\{\delta_{\Delta X}, \delta_{\Delta Y}, \delta_{\Delta Z}\}$  garanti altına alan iyi denetlenebilir ağlar için dış güvenilirlik eşik değerleri Baarda (1968) tarafından tanımlanmıştır. Öngörülen dış güven eşik değeri, GPS bazları için de geçerli olur. Eğer bir dengeli bazın dış güvenilirlik değeri ( $\delta_b \leq 8$  ya da 10) koşulunu sağlıyorsa, bu dengeli baza denk gelen GPS gözlemi de yeterince denetlenebilir düzeye ulaşır (Ralf, 1984; Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

Ölçeklendirme işlemleri sırasında; ölçek katsayıları için, ağı temsil eden bir sınır değer ( $\Lambda_s = 3, 5, 7, 10, \dots$ ) belirlenir. Bu sınır değer altında kalan gözlemlere herhangi bir ölçeklendirme işlemi uygulanmaz. Eşitlik (2.36) ve (2.37)'ye göre, sınır değeri aşan durak noktasındaki gözlemlerin ağırlıkları ölçeklendirilir. Ağ yeni gözlem ağırlıkları ile birlikte yeniden değerlendirilir. GPS gözlemlerinin dış güvenilirlik dağılımının en azından ( $8 \leq \delta_j \leq 15$ ) aralığında kalmasına ve dengeli bazlara ilişkin dış güvenilirlik değerlerinin ise ( $\delta_b \leq 8$  ya da 10) eşik değerini aşmamasına özen gösterilir. Böylece öncül algılayabilirlik değerleri de homojenleştirilmiş olur.

Bu adımda; belirlenen amaç fonksiyonunu sağlayan ağ seçeneği, homojen ve izotrop yapıdaki duyarlık isteklerini yerine getirmelidir. Böylece ilk iki epokta gerçekleştirilen değerlendirme işlemleri sonucunda bu istekler güvence altına alınmış olur.

6. Adım: Soncul Algılayabilirlik Analizi: İyileştirilen ilk iki periyot, multivaryat ağ yapısında birleştirilir ve soncul algılayabilirlik değerleri için uygun bir dağılıma ulaşılır. Ulaşılan sonuçların başarı oranı gözden geçirilir ve özgün deneysel ağ değerlendirme sonuçları karşılaştırılır.

Önermekte olduğumuz değerlendirme işlemleri sonucunda; amaç fonksiyonu olarak kesinleştirilen ağ seçeneğinin algılayabilirlik değerleri, izleyen epoklar için sağlanması gereken ölçüt değerler olarak kullanılır.



Şekil 2.1. Dış güvenirlik ve algılayabilirlik gereksinimleri için bir sorgulama algoritması



### 3. JEODEZİK AĞLARDA GEOMETRİK GERİNİM

Köprüler, barajlar veya tüneller gibi önemli mühendislik yapılarına etkiyen belirli bir kuvvet sonucu oluşan deformasyonlar ile tektonik hareketlerden kaynaklanan deformasyonların anlık olarak takip edilmesi yaşamsal açıdan oldukça önemlidir. Yeryüzü şeklinin, tektonik plakaların ya da önemli mühendislik yapılarının zamana bağlı değişiminin izlenmesi, jeodezik amaçlı olarak oluşturulan global, bölgesel ya da yerel ağların ölçülmesi ve değerlendirilmesi işlemleri ile gerçekleştirilmektedir.

Gerilim (stres, gerilme) birim alana etki eden kuvvet miktarı; gerinim (strain) belirli bir yük altında kalan herhangi bir malzemenin, yük uygulamadan önceki duruma göre nicel olarak ölçülebilen bağıl bir şekil değişim oranıdır. Yeryuvarını, herhangi bir tektonik plakayı ya da yüzey alanını bir tür malzeme, öte yandan doğal yapıların aksine homojen birer cisim olarak ele alabiliriz. Söz konusu yüzey üzerine bir miktar yük uygulandığında nasıl bir tepki verdiğini matematiksel olarak belirleyebilir ve ortaya çıkan geometrik değişimleri de bir koordinat sistemine göre tanımlayabiliriz (URL-8, 2018; Konak, 2018). Sonuç olarak; bir yüzeyde oluşan deformasyonların, bir koordinat sisteminde ve datumdan bağımsız bir şekilde nicel olarak belirlenmesi ve geometrik anlamda yorumlanması işlemleri kısaca gerinim analizleri olarak adlandırılır.

Herhangi bir jeodezik kontrol ağında gerinimler; ağın iç yapısından ya da dış etkenlerden kaynaklanabilir. Ağın iç yapısından kaynaklanan gerinimler, ölçü ağırlıklarından ve ölçme planından etkilenmektedir. Dış etkenlerden kaynaklanan gerinimler ise tektonik hareketler ya da yerel deformasyonlar sonucunda oluşurlar.

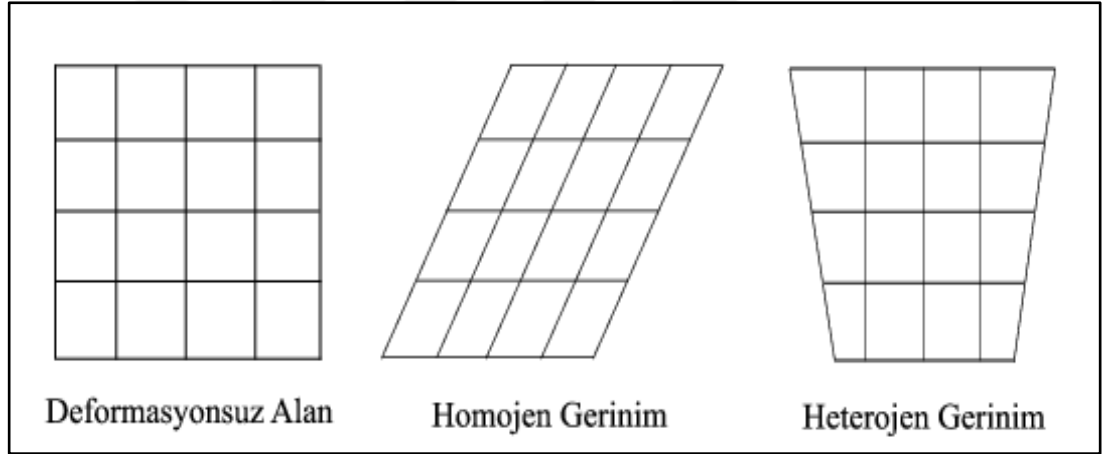
#### 3.1. Gerinim Kavramı

Gerinim, koordinat eksenlerindeki değişimlerin ilk koordinat değerlerine oranı olarak açıklanabildiği gibi iki nokta arasında gözlenen jeodezik ölçülerdeki değişimin ilk ölçüye oranı şeklinde de yorumlanabilir. Gerinim tensör elemanları araştırma konusuna uygun fonksiyonel modeller kullanılarak elde edilebilir. Bu yöntemler genel olarak:

- Sonsuz Küçükler Yöntemi
- Sonlu Elemanlar Yöntemi

biçiminde iki ana sınıfa ayrılabilirler. Elde edilen gerinimler matematik-istatistik yöntemlerle desteklenerek yorumlanabilirler.

Gerinim bir yüzey üzerinde oluşan deformasyonun jeodezik/geometrik yorumudur. Yüzey üzerinde tanımlanan deformasyonun homojen ya da heterojen yapıda olmasına bağlı olarak, gerinim elemanlarının hesaplanmasında farklı matematiksel yöntemler kullanılmaktadır. Homojen deformasyonlarda, bir yüzey üzerindeki deformasyon yüzeyin her bölgesinde eşittir. Heterojen deformasyonlarda ise yüzey üzerindeki deformasyonlar her bölgede farklı büyüklüktedir. Sözü edilen önermeler birer sıfır hipotezi olarak ele alınmalı ve geçerli olup olmadıkları matematik-istatistik yöntemlerle test edilmelidir.



Şekil 3.1. Homojen ve heterojen deformasyonlar (Vanicek ve diğ., 1990)

Yüzey üzerindeki deformasyon homojen yapıda ise homojen yapılu gerinimlerden, heterojen yapıda ise heterojen yapılu gerinimlerden söz edilir (Şekil 3.1) (Vanicek ve diğ., 1990; Poyraz, 2009).

Herhangi bir noktada ortaya çıkan yer değiştirme;

$$\Delta x_i = E_i x_i + c_0 \quad (3.1)$$

olarak yazılabilir. Yer değiştirme vektörünün boyutuna göre gerinim elemanları üç boyutlu, iki boyutlu ve tek boyutlu olarak hesaplanabilmektedir.

- Yer değiştirme vektörünün üç boyutlu olarak elde edilmesi durumunda, gerinim matrisi ( $E_i$ ) ya da tensor gradienti (eğimi);

$$E_i = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} & \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{\partial w}{\partial x} & \frac{\partial w}{\partial y} & \frac{\partial w}{\partial z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{xx} & e_{xy} & e_{xz} \\ e_{yx} & e_{yy} & e_{yz} \\ e_{zx} & e_{zy} & e_{zz} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

eşitliği ile ifade edilir. Genel anlamda gerinim matrisi (E),

$$E = S + A \quad (3.3)$$

olmak üzere simetrik ve anti-simetrik olarak iki bölüme ayrılır.

Gerinim oran tensörünü temsil eden simetrik bölüm;

$$S_i = \frac{(E_i + E_i^T)}{2} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \\ \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) & \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) & \frac{\partial w}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$= \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} & \epsilon_{zy} & \epsilon_{zz} \end{bmatrix}$$

Dönme oranını temsil eden anti- simetrik bölüm,

$$A_i = \frac{(E_i - E_i^T)}{2} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) & 0 & \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y} \right) \\ \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial z} \right) & \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) & 0 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & -w_z & -w_y \\ w_z & 0 & -w_x \\ w_y & w_x & 0 \end{bmatrix}$$

- Yer değiştirme vektörünün iki boyutlu olarak elde edilmesi durumunda, gerinim matrisi;

$$E_i = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{xx} & e_{xy} \\ e_{yx} & e_{yy} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Gerinim matrisinin simetrik bölümü;

$$S_i = \frac{(E_i + E_i^T)}{2} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) & \frac{\partial v}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

ve anti- simetrik bölümü;

$$A_i = \frac{(E_i - E_i^T)}{2} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -w_z \\ w_z & 0 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

biçiminde düzenlenir.

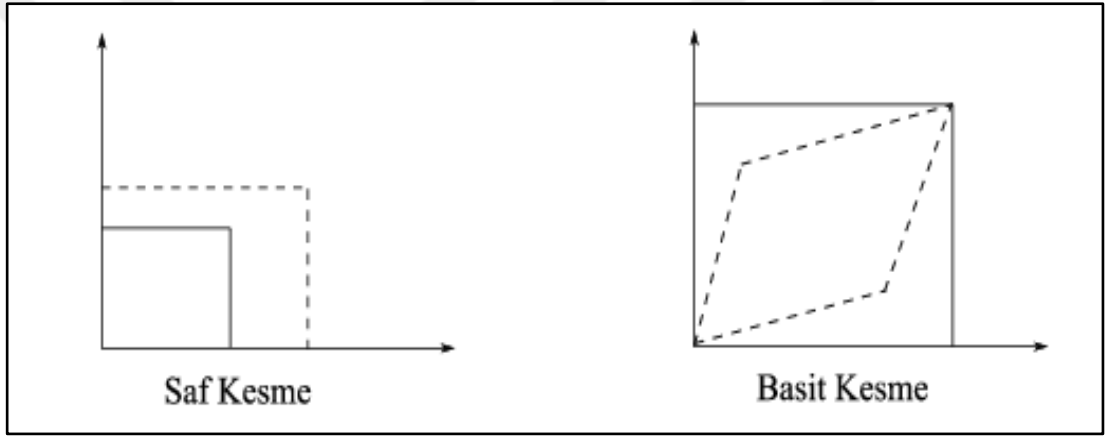
Tek boyutlu yer değiştirme vektörünün kullanılması durumunda, tek bir gerinim elemanı hesaplanır (Vanicek ve diğ., 1990; Vanicek ve diğ., 2001; Konak, 2010; Küreç 2010).

$$E_i = \begin{bmatrix} \frac{\partial w}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Gerinim tensör matrisinin ( $E_i$ ) köşegen elemanları koordinat eksenleri boyunca birim uzunlukta meydana gelen genişlemeyi ve köşegen elemanları dışında kalan elemanları ise, deformasyonlar sonucunda eksenler arasında oluşan küçük açısız bozulmaları temsil eder.

Simetrik gerinim tensör matrisi ( $S_i$ ) bir noktadaki kesme deformasyonlarının yanı sıra genişleme ve daralmayı da tanımlamaktadır. Bu durumda simetrik gerinim tensör

elemanları diğer bir deyişle deformasyon kökleri (deformation primitives); genişleme, saf kesme ve basit kesme ile ifade edilebilmektedir. Genişleme, bir noktadaki ortalama daralma ya da sıkışma olarak ifade edilmektedir. Geometrik olarak tanımlamak gerekirse yüzeye dik olarak etki eden gerinimlerdir. Kesme gerinimleri ise yüzeye paralel olarak etki eden gerinimlerdir. Kesme gerinimleri saf kesme ve basit kesme olarak ikiye ayrılmaktadır. Saf kesme yüzeydeki uzamayı diğer bir ifade ile kare şeklindeki bir yüzeyin dikdörtgen şekline dönüşmesini temsil etmektedir. Saf kesme ile kenarlar arasında açılarda değişim oluşmamaktadır. Basit kesme ile kare şeklindeki bir yüzey eşkenar dörtgen şekline dönüşür ve kenarlar arasında açılar değişmektedir (Şekil 3.2) (Vanicek ve diğ., 1990).



Şekil 3.2. Kesme gerinimleri (Vanicek ve diğ., 1990)

Üç boyutlu gerinim tensör matrisine ilişkin deformasyon kökleri;

Genişleme (dilation),

$$\sigma = \frac{e_{xx} + e_{yy} + e_{zz}}{3} = \frac{\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}}{3} \quad (3.10)$$

Saf kesme (pure shear),

$$\tau_{xy} = -\tau_{yx} = \frac{1}{2}(e_{xx} - e_{yy}) = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}\right) \quad (3.11a)$$

$$\tau_{xz} = -\tau_{zx} = \frac{1}{2}(e_{xx} - e_{zz}) = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial w}{\partial z}\right) \quad (3.11b)$$

$$\tau_{yz} = -\tau_{zy} = \frac{1}{2}(\mathbf{e}_{yy} - \mathbf{e}_{zz}) = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial w}{\partial z}\right) \quad (3.11c)$$

Basit kesme (simple shear),

$$v_{xy} = -v_{yx} = \frac{1}{2}(\mathbf{e}_{xy} + \mathbf{e}_{yx}) = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right) \quad (3.12a)$$

$$v_{xz} = -v_{zx} = \frac{1}{2}(\mathbf{e}_{xz} + \mathbf{e}_{zx}) = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}\right) \quad (3.12b)$$

$$v_{yz} = -v_{zy} = \frac{1}{2}(\mathbf{e}_{yz} + \mathbf{e}_{zy}) = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}\right) \quad (3.12c)$$

İki boyutlu gerinim tensör matrisine ilişkin deformasyon kökleri;

Genişleme,

$$\sigma = \frac{\mathbf{e}_{xx} + \mathbf{e}_{yy}}{2} = \frac{\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}}{2} \quad (3.13)$$

Saf kesme,

$$\tau_{xy} = -\tau_{yx} = \frac{1}{2}(\mathbf{e}_{xx} - \mathbf{e}_{yy}) = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}\right) \quad (3.14)$$

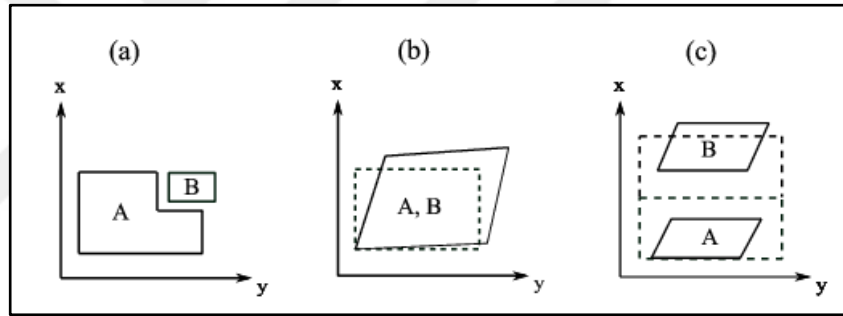
Basit kesme,

$$v_{xy} = -v_{yx} = \frac{1}{2}(\mathbf{e}_{xy} + \mathbf{e}_{yx}) = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right) \quad (3.15)$$

Anti-simetrik gerinim tensör matrisi ( $A_i$ ) bir noktadaki burulma deformasyonu olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda anti-simetrik tensör elemanları; düzlemlerin bir eksen etrafında dönmelerini temsil etmektedir. Başka bir ifade ile,  $w_z$ : xy düzleminin z eksenini etrafındaki dönüklüğünü,  $w_y$ : xz düzleminin y eksenini etrafındaki dönüklüğünü,  $w_x$ : yz düzleminin x eksenini etrafındaki dönüklüğünü temsil etmektedir (Vanicek ve diğ., 1990; Berber, 2006). Bir yüzeyi temsil eden gerinim elemanları yüzey üzerindeki tüm noktalarda birbirine eşittir.

### 3.2. Gerinim Modelleri

Bir cisme dışarıdan bir kuvvet uygulandığında, cismin boyutunda, şeklinde ve konumunda değişimler oluşmaktadır. Jeodezik açıdan ifade etmek gerekirse tektonik hareketler sonucunda yüzey üzerinde ya da önemli mühendislik yapılarında zaman içerisinde belirli bir kuvvetten kaynaklanan bir etki oluşmaktadır. Bu etkilerden kaynaklı olarak yüzeyler üzerinde çeşitli deformasyonlar oluşmaktadır. Temel deformasyon parametreleri, bağıl öteleme, bağıl dönüklük, gerinim tensörleri ve diferansiyel dönüklük parametreleri olarak tanımlanmaktadır. Farklı zamanlarda ölçülen jeodezik ağlarda deformasyon parametreleri, iki periyot arasındaki yer değiştirme vektöründen elde edilmektedir. Yer değiştirme vektörü seçilen deformasyon modeline göre elde edilmektedir. Deformasyon modelinin seçimi ise öncül bilgilere dayanmaktadır (Shan-long, 1991).



Şekil 3.3. Deformasyon modelleri (Shan-long, 1991)

#### 3.2.1. Deformasyon modeli yaklaşımı

Herhangi bir jeodezik ağın, hareketli bölge ve sabit/hareketsiz bölge olarak iki bölüme ayrıldığı durumlarda deformasyon modeli;

$$u_A = 0, v_A = 0; u_B = a_0, v_B = b_0 \quad (3.16)$$

olarak tanımlanır (Şekil 3.3-a). Jeodezik ağın tamamı için homojen bir deformasyon söz konusu ise bu durumda deformasyon modeli;

$$u = \varepsilon_{xx}x + \varepsilon_{xy}y - wy \quad (3.17a)$$

$$v = \varepsilon_{yx}x + \varepsilon_{yy}y + wx \quad (3.17b)$$

dönüştürülebilir (Şekil 3.3-b). Bununla birlikte jeodezik ağın temsil ettiği bölge farklı iki ağırlık merkezi etrafında hareket ediyor ise deformasyon modeli;

$$u_A = (\varepsilon_{xx})_A x + (\varepsilon_{xy})_A y - w_A y \quad (3.18a)$$

$$v_A = (\varepsilon_{yx})_A x + (\varepsilon_{yy})_A y + w_A x \quad (3.18b)$$

ve

$$u_B = a_0 + (\varepsilon_{xx})_B (x - x_0) + (\varepsilon_{xy})_B (y - y_0) - w_B (y - y_0) \quad (3.19a)$$

$$v_B = b_0 + (\varepsilon_{yx})_B (x - x_0) + (\varepsilon_{yy})_B (y - y_0) + w_B (x - x_0) \quad (3.19b)$$

olarak düzenlenir (Şekil 3.3-c). Burada deformasyon modeli, A referans bloğuna göre B bloğundaki herhangi bir istasyon noktası  $(x_0, y_0)$  için düzenlenmektedir. B bloğu içerisindeki herhangi bir istasyon noktası için toplam bağıl kayma bileşenleri;

$$\Delta u_i = u_B(x_i, y_i) - u_A(x_i, y_i) \quad (3.20a)$$

$$\Delta v_i = v_B(x_i, y_i) - v_A(x_i, y_i) \quad (3.20b)$$

eşitlikleri ile hesaplanır (Shan-long, 1991).

### 3.2.2. Yüzey modeli yaklaşımı

Gerinim elemanları koordinat farklarının bir fonksiyonundan ya da hız bilgilerinden elde edilebilmektedir. Üçgen ya da çokgen şeklindeki yüzeyleri temsil edecek şekilde kurulan matematik modeller, Afın ya da Genişletilmiş Helmert dönüşümü biçiminde ele alınabilir (Konak ve diğ., 2017a).

Sözgelimi, bir yüzey için gerinim elemanları iki boyutlu olarak hesaplanmak istenirse, önce iki farklı epoktan elde edilen üç boyutlu konum farkları ya da hız bilgileri kullanılarak;



$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

iki boyutlu bir yer değiştirme vektörü elde edilir (Acar ve diğ., 2008; Küreç ve Konak, 2014). Epok sayısı (k) olmak üzere gerinim elemanları hesaplanacak bir yüzeydeki her bir ağ noktası için;

$$v_{x_{k+1}} = x_{k+1} - x_k = t_x + \varepsilon_{xx} \Delta x_i + \varepsilon_{xy} \Delta y_i - w \Delta y_i \quad (3.22a)$$

$$v_{y_{k+1}} = y_{k+1} - y_k = t_y + \varepsilon_{yx} \Delta x_i + \varepsilon_{yy} \Delta y_i + w \Delta x_i \quad (3.22b)$$

$$d_i = H_i \cdot g \quad (3.23)$$

eşitlikleri kurulabilir. Simetrik ve anti-simetrik özellikli homojen gerinim özellikleri temsil eden Genişletilmiş Helmert dönüşüm matrisi;

$$H_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta x_i & \Delta y_i & 0 & -\Delta y_i \\ 0 & 1 & 0 & \Delta x_i & \Delta y_i & \Delta x_i \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

ve yer değiştirme vektörü;

$$d_i^T = \begin{bmatrix} v_x & v_y \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

olmak üzere iki boyutlu genişletilmiş Helmert modeli kurulur (Shan-long, 1991). Gerinim elemanları Helmert modeline göre;

$$g^T = \begin{bmatrix} t_x & t_y & \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{yy} & w \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

eşitliği ile ifade edilir.

Eğer istenirse; k epok sayısı olmak üzere gerinim elemanları hesaplanacak bir yüzeydeki her bir ağ noktası için Eşitlik (3.1)'e göre doğrudan Afin dönüşüm modeli kullanılır.

$$v_{x_{k+1}} = x_{k+1} - x_k = t_x + \frac{\partial u}{\partial x} \Delta x_i + \frac{\partial u}{\partial y} \Delta y_i \quad (3.27a)$$

$$v_{y_{k+1}} = y_{k+1} - y_k = t_y + \frac{\partial v}{\partial x} \Delta x_i + \frac{\partial v}{\partial y} \Delta y_i \quad (3.27b)$$

$$H_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta x_i & \Delta y_i & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta x_i & \Delta y_i \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

Bu durumda gerinim elemanları afin modeline göre;

$$g^T = [t_x \quad t_y \quad \varepsilon_{xx} \quad \varepsilon_{yx} \quad \varepsilon_{xy} \quad \varepsilon_{yy}] \quad (3.29)$$

olarak elde edilmektedir (Konak ve diğ., 2017a).

Bu işlemler üç boyutlu Afin dönüşümü modeli kullanılarak da gerçekleştirilebilir.

$$v_{x_{k+1}} = x_{k+1} - x_k = t_x + \frac{\partial u}{\partial x} \Delta x_i + \frac{\partial u}{\partial y} \Delta y_i + \frac{\partial u}{\partial z} \Delta z_i \quad (3.30a)$$

$$v_{y_{k+1}} = y_{k+1} - y_k = t_y + \frac{\partial v}{\partial x} \Delta x_i + \frac{\partial v}{\partial y} \Delta y_i + \frac{\partial v}{\partial z} \Delta z_i \quad (3.30b)$$

$$v_{z_{k+1}} = z_{k+1} - z_k = t_z + \frac{\partial w}{\partial x} \Delta x_i + \frac{\partial w}{\partial y} \Delta y_i + \frac{\partial w}{\partial z} \Delta z_i \quad (3.30c)$$

$$H_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \Delta x_i & \Delta y_i & \Delta z_i & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Delta x_i & \Delta y_i & \Delta z_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Delta x_i & \Delta y_i & \Delta z_i \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

$$d_i^T = [v_x \quad v_y \quad v_z] \quad (3.32)$$

$$g^T = [t_x \quad t_y \quad t_z \quad e_{xx} \quad e_{yx} \quad e_{zx} \quad e_{xy} \quad e_{yy} \quad e_{zy} \quad e_{xz} \quad e_{yz} \quad e_{zz}] \quad (3.33)$$

Afin ya da genişletilmiş Helmert modellerinden herhangi biri kullanılarak gerinim elemanları;

$$g = (H^T H)^{-1} H^T d \quad (3.34)$$

formülü ile üç boyutlu ya da iki boyutlu olarak hesaplanmaktadır. Kullanılan modele göre simetrik/simetrik olmayan gerinim elemanları elde edilir.

İki boyutlu olarak hesaplanan gerinim tensör matrisinin simetrik bölümü (S) kullanılarak, özdeğer ve özvektör ayırımı ile gerinim elipsinin yarı eksenleri elde edilir.

İki boyutlu simetrik tensör elemanları yardımıyla gerinim elipsinin büyük yarı eksen;

$$\lambda_1 = \frac{1}{2}(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + e) \quad (3.35)$$

gerinim elipsinin küçük yarı eksen;

$$\lambda_2 = \frac{1}{2}(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} - e) \quad (3.36)$$

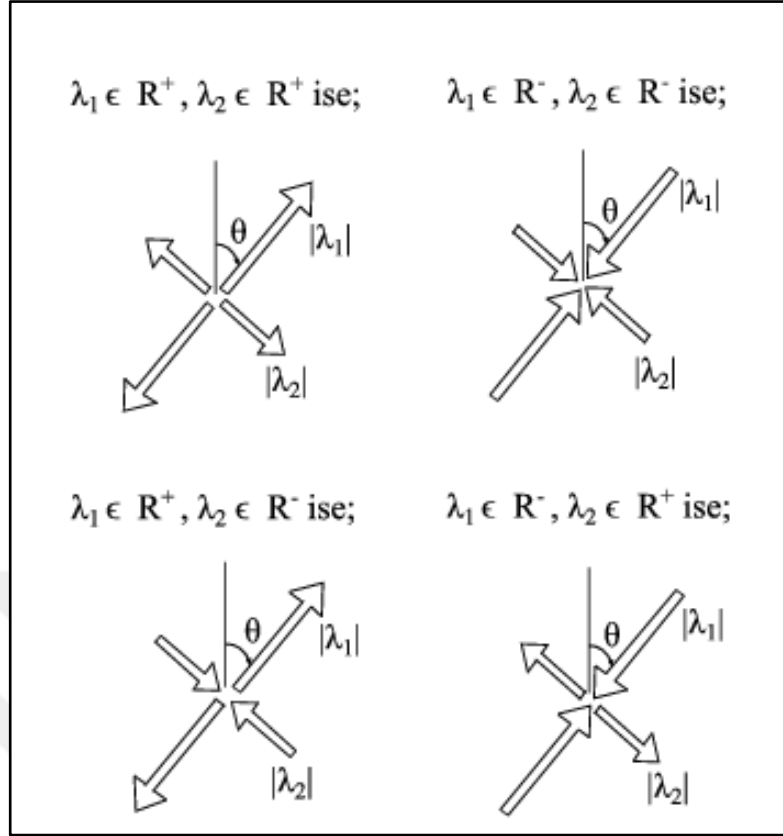
ve en büyük gerinim oranının doğrultusu (yönü);

$$\tan 2\theta = \frac{2\varepsilon_{xy}}{\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy}}; \theta \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right] \quad (3.37)$$

$$e = \sqrt{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + 4\varepsilon_{xy}^2} \quad (3.38)$$

bağıntılarıyla hesaplanır ve gerinim elipsi elemanlarının işaretlerine göre gerinim davranışları sergilenir (Şekil 3.4) (Cai ve Grafarend, 2006; Acar ve diğ. 2008; Küreç, 2010).

Gerinim elipsi eksenlerinin pozitif tanımlı değerleri uzama, negatif tanımlı değerleri ise daralma anlamı taşır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Gerinim elipsi elemanlarının çizimi (Cai ve Grafarend, 2006; Küreç, 2010).

#### 4. JEODEZİK AĞLARDA SAĞLAMLIK

Jeodezik ağlarda sağlamlık güvenilirlik ölçütlerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Bir jeodezik ağın sağlamlık düzeyinin güvenilir bir şekilde elde edilmesi geçerli bir matematik model ile sağlanmaktadır. Matematik modelin geçerliliği model hipotezi testleri ile sınırlanır. Bir model hipotezi testi ile fonksiyonel modelin geçerliliği; gözlemler ve bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkinin uygunluğu ve stokastik modelin geçerliliği; varyans-kovaryans matrisinin gözlemlerin duyarlıklarını ve aralarındaki korelasyonları yeterince yansıtmayı yansıtmadığı test edilmektedir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Konak, 1995). Model hipotezi, sıfır hipotezi;

$$H_0 : E\{s_0^2\} = E\{m_0^2\} = \sigma_0^2 \quad (4.1)$$

ve çift yönlü seçenek hipotezi;

$$H_{s2} : E\{s_0^2\} \neq E\{m_0^2\} \neq \sigma_0^2 \quad (4.2)$$

kurularak test edilir. Model hipotezi testi ile aynı zamanda öncül standart sapmanın ( $s_0$ ), kuramsal standart sapmanın ( $\sigma_0$ ) deneysel değerini ( $m_0$ ) temsil edip etmediği de sınırlanmaktadır. Chi-kare dağılımlı öncül ve soncul varyansların oranı, ( $s_0^2/m_0^2$ ) oranı;

$$\frac{s_0^2}{m_0^2} \leq F_{fs, fm, 1-\frac{\alpha}{2}} \quad (4.3)$$

olmak üzere Fisher dağılımına uyar. Model hipotezinin deneysel test değeri,

$$T = \frac{s_0^2}{m_0^2} \quad (4.4)$$

elde edilir.  $f_s$ , öncül serbestlik derecesi ve  $f_m$ , dengelemenin serbestlik derecesi olmak üzere  $T < F_{f_s, f_m, 1 - \frac{\alpha}{2}}$  olması durumunda dengeleme modeli  $\alpha$  yanılma olasılığına göre geçerlidir. Bu durumda gözlemler ve bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişki fonksiyonel modelde doğru bir şekilde kurulmuştur. Bununla birlikte, stokastik model gözlemlerin duyarlıklarını ve aralarındaki korelasyonları yeterince yansıtmaktadır.

$T > F_{f_s, f_m, 1 - \frac{\alpha}{2}}$  olması durumunda ise dengeleme modeli  $\alpha$  yanılma olasılığı ile geçersizdir. Fonksiyonel model hatalı ya da eksik (yetersiz) kurulmuş olabilir veya stokastik model gerçekçi değildir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992). Matematik modelin yeterli olması durumunda, ölçülerin birinde ya da birkaçında model hipotezi testi ile belirlenemeyen uyuşumsuzluklar (outliers) olduğu düşünülür.

#### 4.1. Uyuşumsuz Ölçülerin Yerelleştirilmesi

Jeodezik ağlarda çeşitli ölçü teknikleri ile elde edilen gözlemler kaba, sistematik ve rasgele ölçü hataları ile yüklüdür. Kaba ve sistematik hatalar ölçü tekrarı ya da hesaplama teknikleri ile gözlemlerden ayıklanır. Buna karşın rasgele hatalar gözlemlerden ayıklanamazlar. Rasgele hatalar bütün gözlemlerde bulunur ve istatistiksel anlamda normal dağılmış gözlemler olarak kabul edilirler. Bu nedenle kaba ve sistematik hatalardan arındırılmış gözlemlerde bulunan rasgele hatalar matematik-istatistik yöntemlerle irdelenmelidir. Herhangi bir ölçü tekniği ile elde edilmiş gözlemlerde bulunan rasgele hatalar aynı dağılıma sahiptir. Bununla birlikte bazı rasgele ölçü hataları bu dağılımı bozmakta ve farklı bir dış merkezli dağılıma uymaktadır. Farklı bir dış merkezli dağılıma uyan bu gözlemler uyuşumsuz ölçüler olarak adlandırılmaktadır (Konak ve Dilaver, 1998).

Model hipotezi testi geçersiz çıkan bir jeodezik ağda uyuşumsuz ölçülerin yerleri, En Küçük Kareler Kestirimi ya da Robust (Sağlam) Kestirim Yöntemleri ile belirlenebilmektedir. Rasgele ölçü hatalarına çok yakın büyüklükteki kaba hatalar, dengeleme işleminden sonra uyuşumsuz ölçüler testi ile belirlenir. Herhangi bir  $l_i$  ölçüsü,  $\Delta_i$  kadar bir hataya sahip olsun, bu durumda kaba hatalı gözlemler;

$$l_i' = l_i + \Delta_i \quad (4.5)$$

biçiminde ifade edilir. Buna göre herhangi bir  $l_i$  ölçüsünün sahip olduğu  $\Delta_i$  hatanın anlamlı olup olmadığı sıfır hipotezi;

$$H_0 : E\{\Delta_i\} = 0 \quad (4.6)$$

ve çift yönlü seçenek hipotezi;

$$H_{S2} : E\{\Delta_i\} \neq 0 \quad (4.7)$$

kurularak irdelenir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Konak, 1995).

#### 4.1.1. En küçük kareler kestirimi ile uyuşumsuz ölçülerin yerleştirilmesi

Uyuşumsuz ölçülerin yerleştirilmesi işlemleri, gözlemlerin yalnızca bir tanesinde uyuşumsuzluk bulunması durumunda Data-Snooping Yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Bir jeodezik ağda gözlemlerin birinde ya da birkaçında uyuşumsuzluk söz konusu olduğunda ise Data-Snooping yeterli olmamaktadır. EKK kestiriminde, istatistiksel anlamda en büyük düzeltme değerine sahip gözlem uyuşumsuz ölçü olarak değerlendirilerek ölçü kümesinin dışına alınır ve gözlemler arasında uyuşumsuz ölçü kalmayıncaya kadar bu işlemler tekrarlanır (Konak ve Dilaver, 1998). En Küçük Kareler Kestirimi'ne göre uyuşumsuz ölçülerin yerleştirilmesi işlemlerinde kullanılan yöntemler, Data Snooping (Baarda) Yöntemi, Poppe (Tau) Yöntemi ve t-Test Yöntemi olarak sıralanmaktadır. Kuramsal standart sapmanın ( $\sigma_0$ ) bilindiği durumlarda Baarda Yöntemi, deneysel standart sapmanın ( $m_0$ ) bilindiği durumda Poppe (Tau) Yöntemi ve kaba hata etkisi indirgenmiş standart sapma değerlerinin ( $m_{0i}$ ) kestirildiği durumlarda ise t-Test Yöntemi kullanılmaktadır (Konak, 1995).

Herhangi bir ölçünün kaba hatalardan arındırılmış hali,  $e_i$  i. elemanı 1 diğer elemanları 0 olan birim vektör olmak üzere;

$$e_i^T = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0] \quad (4.8)$$

$$l_i = l_i' - e_i \Delta_i \quad (4.9)$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. Bu durumda fonksiyonel model;

$$l + v = l' - e_i \Delta_i + v = Ax \quad (4.10a)$$

$$l + v = \begin{bmatrix} A & e_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \Delta_i \end{bmatrix} \quad (4.10b)$$

biçiminde genişletilir. Uyuşumsuz ölçü içeren  $v^T P v \Rightarrow \min$  EKK amaç fonksiyonunu sağlayan;

$$\begin{bmatrix} x \\ \Delta_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{xx} & Q_{x\Delta} \\ Q_{\Delta x} & Q_{\Delta\Delta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A^T P l \\ e_i^T P l \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

denklemleri elde edilir. Normal denklemler çözülürse; i. ölçüdeki kaba hatanın büyüklüğü;

$$\Delta_i = - \frac{e_i^T P v}{e_i^T P Q_{vv} P e_i} \quad (4.12)$$

ve kaba hatanın ters ağırlığı;

$$q_{\Delta\Delta} = \frac{1}{e_i^T P Q_{vv} P e_i} \quad (4.13)$$

eşitlikleri ile elde edilir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992). Kaba hatanın büyüklüğü ve bu büyüklüğün ters ağırlık matrisi kullanılarak hipotez testi için test büyüklüğü;

$$m_{0i} = \pm \sqrt{\frac{1}{f-1} \left( f m_0^2 - \frac{\Delta_i^2}{q_{\Delta i}} \right)} \quad (4.14)$$

olmak üzere,

$$T_i = \frac{|\Delta_i|}{m_{\Delta}} = \frac{|\Delta_i|}{m_{0i} \sqrt{q_{\Delta\Delta}}} = \frac{|e_i^T P v|}{m_{0i} \sqrt{e_i^T P Q_{vv} P e_i}} \quad (4.15)$$

hesaplanır.



Bu deneysel test değeri, Student dağılımına (t-dağılımı) uyar. Elde edilen test büyüklüğü, student dağılımının eşik değeri;

$$c = t_{f-1,1-\left(\frac{1}{\alpha}\right)^{1/n}} = t_{f-1,1-\alpha_0} \quad (4.16)$$

ile karşılaştırılır. Gözlem sayısının sınırlı/az olması durumunda (4.15) Eşitliğinden elde edilen test büyüklüğü, matematik modelin soncul varyansına ( $m_0^2$ ) göre;

$$T_i = \frac{|e_i^T P v|}{m_0 \sqrt{e_i^T P Q_{vv} P e_i}} \quad (4.17)$$

hesaplanır. Test büyüklüğü Tau dağılımının sınır değeri;

$$c = t_{f,1-\frac{\alpha}{2}} = \sqrt{\frac{f \cdot F_{1,f-1,1-\alpha_0}}{f-1 + F_{1,f-1,1-\alpha_0}}} \quad (4.18)$$

ile karşılaştırılır. Kuramsal varyansın ( $\sigma_0^2$ ) bilindiği ya da çok iyi kestirildiği durumlarda; deneysel test değeri öncül varyansa ( $s_0^2$ ) göre oluşturulur.

$$T_i = \frac{|e_i^T P v|}{s_0 \sqrt{e_i^T P Q_{vv} P e_i}} \quad (4.19)$$

Bu değer normal dağılıma uyar ve  $c = \sqrt{F_{1,\infty,1-\alpha_0}} \cong 3,29$  eşik değeri ile karşılaştırılır (Baarda, 1968).

Kuramsal varyansın yeterince kestirelemediği durumda, son iki test işlemi çok büyük ağlar için kullanışlı değildir. Student testi ise serbestlik derecesi ( $5 < f < 500$ ) koşulu altında güvenilir bir karşılaştırma ölçütü olarak önerilmektedir (Konak, 1995).

$T_i > c$  koşulunun geçerli olduğu her  $i$  ölçüsü uyuşumsuz ölçü kümesine dahil edilir. Bu küme içerisinde en büyük test değerine sahip gözlemin  $\alpha$  yanılma olasılığı ile uyuşumsuz olduğuna karar verilir. Ağın serbestlik ölçüsünün yeterli olduğu durumda uyuşumsuz ölçü gözlem kümesinden çıkarılır. Serbestlik ölçüsünün yeterli olmadığı

durumda ise uyuşumsuz ölçü yeniden ölçülür. Bu işlemler ağda uyuşumsuz ölçü kalmayıncaya kadar devam ettirilir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

#### **4.1.2. Sağlam (Robust) kestirim yöntemleri ile uyuşumsuz ölçülerin yerleştirilmesi**

En Küçük Kareler Kestiriminde (EKK Kestirimi) herhangi bir ölçüde meydana gelen bir hata bütün gözlemleri etkilemektedir. Bunun nedeni ise, EKK çözümü için oluşturulan matematik modelde kaba hatalı gözlemlerin hatasız gözlemleri ağırlığı oranında etkilemesidir. Diğer bir ifade ile EKK kestirimi kaba hatalara karşı oldukça duyarlıdır. Bu durum EKK kestiriminin yayma ilkesinden kaynaklanmaktadır ve I. tip ya da II. tip hatanın oluşmasına neden olmaktadır. EKK kestiriminin sözü edilen olumsuz yönlerinden dolayı uyuşumsuz ölçülerin ayıklanması işlemlerinde Sağlam (Robust) Kestirim Yöntemleri kullanılmaktadır (Dilaver ve diğ., 1998). Sağlam kestirim yöntemleri ise, kaba hatalardan EKK kestirimine göre daha az etkilenirler. Sağlam kestirimde, L-Robust, M-Robust, R-Robust ve P-Robust kestiricileri kullanılmaktadır. Fakat kaba hataların ayıklanmasında en uygun çözüm M-Robust kestiricisi olduğu için, en yaygın olarak M-Robust kestiricisi tercih edilmektedir (Dilaver ve diğ., 1998; İnal ve Yetkin, 2006).

M-Robust, normal dağılımlı gözlemler için en büyük olasılık fonksiyonuna sahip kestirimdir (Maksimum Likelihood Kestirimi). M-Robust kestiriminin temel amacı, normal dağılım özelliğine uymayan gözlemlerin dağılım parametreleri üzerindeki etkisinin azaltılmasıdır. Normal dağılıma uymayan herhangi bir gözlemin etkisi, bu gözlemin normal dağılımdan sapma miktarına göre küçültülmektedir (Dilaver ve diğ., 1998).

Robust kestirim için düzenlenen ağırlık matrisi ( $\bar{P}$ ), düzeltmelerin fonksiyonu olarak belirlenen bir robust ağırlık fonksiyonu ( $W(v)$ ) kullanılarak;

$$\bar{P} = P.W(v) \quad (4.20)$$

eşitliği ile elde edilir. İlk iterasyon için  $W(v)=1$  olarak seçilir ve diğer adımlarda,  $k$  iterasyon sayısı olmak üzere;

$$\bar{P}_{k+1} = P \cdot \{W(v)\}_k \quad (4.21)$$

ağırlıkları değiştirilir. Bu işlemler k. iterasyon ile (k+1). iterasyon arasında elde edilen sonuçlar arasındaki fark anlamsız hale gelene kadar devam ettirilir (Dilaver ve diğ., 1998).

Bir sağlam kestirim işleminde, sözgelimi korelasyonlu gözlemler için düzeltmelere ilişkin test büyüklükleri;

$$T_i = \sqrt{\frac{v^T P e (e^T P Q_{vv} P e)^{-1} e^T P v}{h m_0^2}} \quad (4.22)$$

eşitliği ile, h: hipotezin serbestlik derecesi olmak üzere düzenlenir (Aksoy, 1987; Küreç, 2010).

Robust kestirim yöntemi kullanılarak, uyuşumsuz ölçülerin yerleştirilmesi işlemlerinde model hipotezini denetleyen bir sınır değer parametresinin seçilmesi ile uyuşumsuz ölçüler güvenilir bir şekilde belirlenebilmektedir. Bu amaçla Eşitlik (4.18)'de tau dağılımının sınır değeri, sınır değer parametresi (c);

$$c = \sqrt{\frac{f \cdot F_{h,f-3,1-\alpha_0}}{f - h + h \cdot F_{h,f-3,1-\alpha_0}}} \quad (4.23)$$

olarak kullanılır.  $T_i > c$  koşulunu sağlayan ölçülerin ağırlıkları robust ağırlıklandırma ile yeniden düzenlenir. Ağırlıklandırma işlemlerinde kullanılan robust ağırlık fonksiyonu ise;

$$\left. \begin{array}{l} W_i = 1 \Rightarrow T_i < c \\ W_i = e^{-\frac{T_i}{c}} \Rightarrow T_i > c \end{array} \right\} \quad (4.24)$$

eşitlikleri ile elde edilir (Küreç, 2010). Herhangi bir baz gözlemi için yeniden düzenlenmiş ters ağırlık matrisi;

$$\bar{Q}_{k+1} = \begin{bmatrix} \bar{q}_{11} & \bar{q}_{12} & \bar{q}_{13} \\ \bar{q}_{21} & \bar{q}_{22} & \bar{q}_{23} \\ \bar{q}_{31} & \bar{q}_{32} & \bar{q}_{33} \end{bmatrix}_{k+1} \quad (4.25)$$

eşitliği ile elde edilir. Bu düzenleme işlemi yardımıyla  $\bar{P}_{k+1} = (\bar{Q}_{k+1})^{-1}$  olmak üzere, uyuşumsuz gözlemlerin ters ağırlık matrisi robust ağırlıklandırma ile büyütülerek diğer bir ifade ile ağırlık matrisi sıfıra gönderilerek, bu gözlemlerin gözlem planındaki etkileri azaltılmaktadır (Wieser, 2002; Weinning, 2009; Küreç, 2010). Her iterasyon adımında, ağırlık matrisi için varyans ölçeklendirme elemanları;

$$c_{11} = \frac{1}{w_{11}} ; c_{22} = \frac{1}{w_{22}} ; c_{33} = \frac{1}{w_{33}} \quad (4.26)$$

hesaplanır. Yeni ters ağırlıklar, köşegen elemanları için;

$$\bar{q}_{11} = c_{11} \cdot q_{11} ; \bar{q}_{22} = c_{22} \cdot q_{22} ; \bar{q}_{33} = c_{33} \cdot q_{33} \quad (4.27)$$

ve köşegen dışındaki elemanları için;

$$\bar{q}_{12} = \frac{1}{\sqrt{w_{11}} \sqrt{w_{22}}} \cdot q_{12} ; \bar{q}_{13} = \frac{1}{\sqrt{w_{11}} \sqrt{w_{33}}} \cdot q_{13} ; \bar{q}_{23} = \frac{1}{\sqrt{w_{22}} \sqrt{w_{33}}} \cdot q_{23} \quad (4.28)$$

eşitlikleri ile normlandırılır (Wieser, 2002; Weining, 2009; Küreç, 2010).

#### 4.2. Jeodezik Ağlar için Sağlamlık İrdelemeleri

Jeodezik ağlarda sağlamlık, iç güvenilirlik analizleri ile ortaya çıkarılmayan en küçük hatanın neden olacağı deformasyon direnci olarak tanımlanmaktadır. Sağlamlık analizleri ise iç güvenilirlik analizlerinin gerinim teknikleri ile güçlendirilmesinden oluşmaktadır.

Herhangi bir gözlemde ortaya çıkarılmayan hatanın koordinat bilinmeyenlerine etkisi;

$$\Delta X = QA^T P \Delta_{0i} \quad (4.29)$$

$$\delta_{0i}^2 = \Delta X^T K_{xx}^{-1} \Delta X \quad (4.30)$$

olmak üzere deneysel gözlemler için;

$$\delta_{0i}^2 = m_0^2 \frac{\delta_0}{e_i^T P Q_{vv} P e_i} \quad (4.31)$$

olarak hesaplanmaktadır. Dış güvenilirlik olarak adlandırılan karesel büyüklük, serbest ağlarda datumdan bağımsız bir ölçüttür.

Öte yandan bir ölçüde belirlenemeyen kaba hatanın koordinat bilinmeyenleri üzerindeki etkisi;

$$\Delta X^T = [\Delta X_1; \Delta X_2; \dots \dots \dots; \Delta X_u] \quad (4.32a)$$

$$\Delta X_i = \begin{bmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \\ \Delta z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \end{bmatrix} \quad (4.32b)$$

olmak üzere yer değiştirme vektörü olarak yorumlanmaktadır. Herhangi bir koordinat bilinmeyeni için ölçü sayısı kadar elde edilebilen bu vektörel büyüklük, ölçü ağırlıklarına bağlı olarak farklı büyüklük ve doğrultuda gerinirler. Bu durumda en büyük gerinime neden olan gözlemin ve vektörel büyüklüğünün sorgulanması gerekir.

$$\Delta X_{0i} = \max \{|\Delta X_i|\} \quad (4.32c)$$

Sorgulanmakta olan vektörden elde edilen gerinimin de olabildiğince küçük olması ya da kabul edilebilir bir eşik değeri aşmaması istenir.

Bu durumda en büyük gerinime neden olan gözlemin vektör normu en büyük olan gözlem olduğu varsayılır. Vektör normları için,

Maksimum Norm;

$$\|\Delta x\|_I = \max \{|\Delta X_1|; |\Delta X_2|; \dots \dots \dots; |\Delta X_u|\} \quad (4.33)$$

L1 Norm;

$$\|\Delta x\|_{II} = |\Delta X_1| + |\Delta X_2| + \dots \dots \dots + |\Delta X_u| \quad (4.34)$$

Öklit Norm ya da L2 Norm;

$$\|\Delta x\|_{III} = \sqrt{(\Delta X_1)^2 + (\Delta X_2)^2 + \dots \dots \dots + (\Delta X_u)^2} \quad (4.35)$$

ve Ağırlıklı Öklit Norm ya da Ağırlıklı L2 Norm;

$$\delta_{0i}^2 = \|\Delta \mathbf{x}\|_{IV} = \Delta \mathbf{x}^T \mathbf{K}_{xx}^{-1} \Delta \mathbf{x} \quad (4.36)$$

Eşitlik (4.33), (4.34) ve (4.35)'den birisi seçilebilir. Dış güven ölçütü ile karşılaştırılabilir en uygun ölçüt Eşitlik (4.35) ile verilen öklit normdur. Vektör normları belirlenirken; ölçülere ilişkin öklit normları arasında herhangi bir eşitlik söz konusu ise dış güvenilirlik değeri ( $\delta_{0i}$ ) büyük olan baz gözleminin seçilmesine karar verilmelidir.

Her bir istasyon noktasını temsil eden yüzey için, ortaya çıkarılmayan hataların koordinat bilinmeyenleri üzerindeki etkisinden kaynaklanan gerinimler, Eşitlik (3.34) kullanılarak afin ya da genişletilmiş helmert dönüşümü ile hesaplanır.

Gerinimler yüzeyin bir koordinat sistemindeki yerinden (başlangıç koşullarından;  $X_0, Y_0, Z_0$ ) bağımsızdır. Bu durumda yüzey üzerinde seçilen bir  $P_0$  referans noktasına göre  $E_i$  gerinim tensör matrisi;

$$\begin{bmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \\ \Delta z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{xx} & e_{xy} & e_{xz} \\ e_{yx} & e_{yy} & e_{yz} \\ e_{zx} & e_{zy} & e_{zz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \\ Z_i - Z_0 \end{bmatrix} \quad (4.37)$$

elde edilir.

#### 4.2.1. Deformasyon vektörünün belirlenmesi

Sağlamlık analizi işlemleri, herhangi bir ağ noktasında, gerinime yol açan deformasyon vektörünün büyüklüğünün belirlenmesi ve anlamlılık düzeyinin araştırılması temeline dayanır. Bu durumda her bir nokta için bir deformasyon vektörünün hesaplanabilmesi için, Eşitlik (4.37)'e göre ağı temsil eden bir başlangıç koşuluna gerek duyulur. Bu değer her bir noktayı temsil eden yüzeyin ağırlık merkezi koordinatlarına getirilen düzeltmelerin karelerini minimum yapan ağırlıklı ortalama olarak kestirilebilir (Berber, 2006).

Başlangıç koordinatlarının belirlenmesi için tüm ağ noktalarındaki yer değiştirme vektörü elemanları normunun minimum olması amaçlanır, (n) ağdaki nokta sayısı olmak üzere amaç fonksiyonu Eşitlik (4.32) ve (4.37)'ye göre;

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^n \|\Delta \vec{r}_i\| \right\} = \min \left\{ \sum_{i=1}^n (u_i^2 + v_i^2 + w_i^2) \right\} \quad (4.38)$$

biçiminde düzenlenir.

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^n \|\Delta \vec{r}_i\| \right\} = \min \left\{ \sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{\partial u_i}{\partial x} (X_i - X_0) + \frac{\partial u_i}{\partial y} (Y_i - Y_0) + \frac{\partial u_i}{\partial z} (Z_i - Z_0) \right)^2 + \left( \frac{\partial v_i}{\partial x} (X_i - X_0) + \frac{\partial v_i}{\partial y} (Y_i - Y_0) + \frac{\partial v_i}{\partial z} (Z_i - Z_0) \right)^2 + \left( \frac{\partial w_i}{\partial x} (X_i - X_0) + \frac{\partial w_i}{\partial y} (Y_i - Y_0) + \frac{\partial w_i}{\partial z} (Z_i - Z_0) \right)^2 \right] \right\} \quad (4.39)$$

Amaç fonksiyonu öteleme parametrelerine göre ayrı ayrı doğrusallaştırılır. ( $X_0$ ) bilinmeyenine göre doğrusallaştırma;

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n \|\Delta \vec{r}_i\|}{\partial X_0} = \sum_{i=1}^n \left[ \begin{array}{c} -2 \left( \frac{\partial u_i}{\partial x} (X_i - X_0) + \frac{\partial u_i}{\partial y} (Y_i - Y_0) + \frac{\partial u_i}{\partial z} (Z_i - Z_0) \right) \frac{\partial u_i}{\partial x} \\ -2 \left( \frac{\partial v_i}{\partial x} (X_i - X_0) + \frac{\partial v_i}{\partial y} (Y_i - Y_0) + \frac{\partial v_i}{\partial z} (Z_i - Z_0) \right) \frac{\partial v_i}{\partial x} \\ -2 \left( \frac{\partial w_i}{\partial x} (X_i - X_0) + \frac{\partial w_i}{\partial y} (Y_i - Y_0) + \frac{\partial w_i}{\partial z} (Z_i - Z_0) \right) \frac{\partial w_i}{\partial x} \end{array} \right] = 0 \quad (4.40)$$

$$\sum_{i=1}^n \left[ \begin{array}{c} \left( -\frac{\partial u_i}{\partial x} \frac{\partial u_i}{\partial x} - \frac{\partial v_i}{\partial x} \frac{\partial v_i}{\partial x} - \frac{\partial w_i}{\partial x} \frac{\partial w_i}{\partial x} \right) X_0 + \left( -\frac{\partial u_i}{\partial y} \frac{\partial u_i}{\partial x} - \frac{\partial v_i}{\partial y} \frac{\partial v_i}{\partial x} - \frac{\partial w_i}{\partial y} \frac{\partial w_i}{\partial x} \right) Y_0 + \\ \left( -\frac{\partial u_i}{\partial z} \frac{\partial u_i}{\partial x} - \frac{\partial v_i}{\partial z} \frac{\partial v_i}{\partial x} - \frac{\partial w_i}{\partial z} \frac{\partial w_i}{\partial x} \right) Z_0 + \left( \frac{\partial u_i}{\partial x} \frac{\partial u_i}{\partial x} + \frac{\partial v_i}{\partial x} \frac{\partial v_i}{\partial x} + \frac{\partial w_i}{\partial x} \frac{\partial w_i}{\partial x} \right) X_i + \\ \left( \frac{\partial u_i}{\partial y} \frac{\partial u_i}{\partial x} + \frac{\partial v_i}{\partial y} \frac{\partial v_i}{\partial x} + \frac{\partial w_i}{\partial y} \frac{\partial w_i}{\partial x} \right) Y_i + \left( \frac{\partial u_i}{\partial z} \frac{\partial u_i}{\partial x} + \frac{\partial v_i}{\partial z} \frac{\partial v_i}{\partial x} + \frac{\partial w_i}{\partial z} \frac{\partial w_i}{\partial x} \right) Z_i \end{array} \right] = 0 \quad (4.41)$$

$$\sum_{i=1}^n [a_i X_0 + b_i Y_0 + c_i Z_0 + d_i] = 0 \quad (4.42)$$

Amaç fonksiyonununun ( $Y_0$ )'a göre doğrusallaştırma işlemi;

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n \|\Delta \vec{r}\|_i}{\partial Y_0} = \sum_{i=1}^n \begin{bmatrix} -2 \left( \frac{\partial u_i}{\partial x} (X_i - X_0) + \frac{\partial u_i}{\partial y} (Y_i - Y_0) + \frac{\partial u_i}{\partial z} (Z_i - Z_0) \right) \frac{\partial u_i}{\partial y} \\ -2 \left( \frac{\partial v_i}{\partial x} (X_i - X_0) + \frac{\partial v_i}{\partial y} (Y_i - Y_0) + \frac{\partial v_i}{\partial z} (Z_i - Z_0) \right) \frac{\partial v_i}{\partial y} \\ -2 \left( \frac{\partial w_i}{\partial x} (X_i - X_0) + \frac{\partial w_i}{\partial y} (Y_i - Y_0) + \frac{\partial w_i}{\partial z} (Z_i - Z_0) \right) \frac{\partial w_i}{\partial y} \end{bmatrix} = 0 \quad (4.43)$$

$$\sum_{i=1}^n \begin{bmatrix} \left( -\frac{\partial u_i}{\partial y} \frac{\partial u_i}{\partial x} - \frac{\partial v_i}{\partial y} \frac{\partial v_i}{\partial x} - \frac{\partial w_i}{\partial y} \frac{\partial w_i}{\partial x} \right) X_0 + \left( -\frac{\partial u_i}{\partial y} \frac{\partial u_i}{\partial y} - \frac{\partial v_i}{\partial y} \frac{\partial v_i}{\partial y} - \frac{\partial w_i}{\partial y} \frac{\partial w_i}{\partial y} \right) Y_0 + \\ \left( -\frac{\partial u_i}{\partial z} \frac{\partial u_i}{\partial y} - \frac{\partial v_i}{\partial z} \frac{\partial v_i}{\partial y} - \frac{\partial w_i}{\partial z} \frac{\partial w_i}{\partial y} \right) Z_0 + \left( \frac{\partial u_i}{\partial x} \frac{\partial u_i}{\partial y} + \frac{\partial v_i}{\partial x} \frac{\partial v_i}{\partial y} + \frac{\partial w_i}{\partial x} \frac{\partial w_i}{\partial y} \right) X_i + \\ \left( \frac{\partial u_i}{\partial y} \frac{\partial u_i}{\partial y} + \frac{\partial v_i}{\partial y} \frac{\partial v_i}{\partial y} + \frac{\partial w_i}{\partial y} \frac{\partial w_i}{\partial y} \right) Y_i + \left( \frac{\partial u_i}{\partial z} \frac{\partial u_i}{\partial y} + \frac{\partial v_i}{\partial z} \frac{\partial v_i}{\partial y} + \frac{\partial w_i}{\partial z} \frac{\partial w_i}{\partial y} \right) Z_i \end{bmatrix} = 0 \quad (4.44)$$

$$\sum_{i=1}^n [a_2 X_0 + b_2 Y_0 + c_2 Z_0 + d_2] = 0 \quad (4.45)$$

Amaç fonksiyonunun ( $Z_0$ )'a göre doğrusallaştırma işlemi;

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n \|\Delta \vec{r}\|_i}{\partial Z_0} = \sum_{i=1}^n \begin{bmatrix} -2 \left( \frac{\partial u_i}{\partial x} (X_i - X_0) + \frac{\partial u_i}{\partial y} (Y_i - Y_0) + \frac{\partial u_i}{\partial z} (Z_i - Z_0) \right) \frac{\partial u_i}{\partial z} \\ -2 \left( \frac{\partial v_i}{\partial x} (X_i - X_0) + \frac{\partial v_i}{\partial y} (Y_i - Y_0) + \frac{\partial v_i}{\partial z} (Z_i - Z_0) \right) \frac{\partial v_i}{\partial z} \\ -2 \left( \frac{\partial w_i}{\partial x} (X_i - X_0) + \frac{\partial w_i}{\partial y} (Y_i - Y_0) + \frac{\partial w_i}{\partial z} (Z_i - Z_0) \right) \frac{\partial w_i}{\partial z} \end{bmatrix} = 0 \quad (4.46)$$

$$\sum_{i=1}^n \begin{bmatrix} \left( -\frac{\partial u_i}{\partial z} \frac{\partial u_i}{\partial x} - \frac{\partial v_i}{\partial z} \frac{\partial v_i}{\partial x} - \frac{\partial w_i}{\partial z} \frac{\partial w_i}{\partial x} \right) X_0 + \left( -\frac{\partial u_i}{\partial z} \frac{\partial u_i}{\partial y} - \frac{\partial v_i}{\partial z} \frac{\partial v_i}{\partial y} - \frac{\partial w_i}{\partial z} \frac{\partial w_i}{\partial y} \right) Y_0 + \\ \left( -\frac{\partial u_i}{\partial z} \frac{\partial u_i}{\partial z} - \frac{\partial v_i}{\partial z} \frac{\partial v_i}{\partial z} - \frac{\partial w_i}{\partial z} \frac{\partial w_i}{\partial z} \right) Z_0 + \left( \frac{\partial u_i}{\partial x} \frac{\partial u_i}{\partial z} + \frac{\partial v_i}{\partial x} \frac{\partial v_i}{\partial z} + \frac{\partial w_i}{\partial x} \frac{\partial w_i}{\partial z} \right) X_i + \\ \left( \frac{\partial u_i}{\partial y} \frac{\partial u_i}{\partial z} + \frac{\partial v_i}{\partial y} \frac{\partial v_i}{\partial z} + \frac{\partial w_i}{\partial y} \frac{\partial w_i}{\partial z} \right) Y_i + \left( \frac{\partial u_i}{\partial z} \frac{\partial u_i}{\partial z} + \frac{\partial v_i}{\partial z} \frac{\partial v_i}{\partial z} + \frac{\partial w_i}{\partial z} \frac{\partial w_i}{\partial z} \right) Z_i \end{bmatrix} = 0 \quad (4.47)$$



$$\sum_{i=1}^n [a_3 X_0 + b_3 Y_0 + c_3 Z_0 + d_3] = 0 \quad (4.48)$$

Eşitlik (4.39) ile verilen amaç fonksiyonu matris vektör gösterimi ile;

$$\sum_{i=1}^n (\Delta r^T \Delta r)_i = \sum_{i=1}^n (X_i - X_0)^T E_i^T E_i (X_i - X_0) \Rightarrow \min \quad (4.49)$$

biçiminde düzenlenebilir.

Amaç fonksiyonu;

$$\sum_{i=1}^n (\Delta r^T \Delta r)_i = \sum_{i=1}^n (\Delta x)^T E_i^T E_i (\Delta x) \Rightarrow \min \quad (4.50)$$

şeklinde düzenlenir ve başlangıç koşullarına göre doğrusallaştırılır. Bu durumda normal denklemler doğrusallaştırılarak;

$$d \left\{ \sum_{i=1}^n (\Delta r^T \Delta r)_i \right\} = 0 \quad (4.51)$$

$$\sum_{i=1}^n \left\{ -dx_0^T E_i^T E_i (X_i - X_0) - (X_i - X_0)^T E_i^T E_i dx_0 \right\} = \sum_{i=1}^n 0^T dx \quad (4.52)$$

$$\sum_{i=1}^n \left\{ -2(X_i - X_0)^T E_i^T E_i dx_0 \right\} = \sum_{i=1}^n 0^T dx \quad (4.53)$$

$$\sum_{i=1}^n E_i^T E_i (X_i - X_0) = 0 \quad (4.54)$$

$$-\sum_{i=1}^n E_i^T E_i X_0 + \sum_{i=1}^n E_i^T E_i X_i = 0 \quad (4.55)$$

biçiminde elde edilir. Başlangıç koşulları,  $X_0^T = [X_0, Y_0, Z_0]$  olmak üzere;

$$X_0 = \left[ \sum_{i=1}^n E_i^T E_i \right]^{-1} \sum_{i=1}^n E_i^T E_i X_i \quad (4.56)$$

hesaplanır (Berber, 2006; Konak, 2018). Elde edilen başlangıç koşulları Eşitlik (4.32) ve (4.38)'de yerine yazılırsa;

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} e_{xx} & e_{xy} & e_{xz} \\ e_{yx} & e_{yy} & e_{yz} \\ e_{zx} & e_{zy} & e_{zz} \end{bmatrix}_i \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}_i \quad (4.57)$$

global yer değiştirme vektörünün ağırlık merkezine göre ötelenmiş (düzeltilmiş) değeri (global yer değiştirme vektörü);

$$d_{Gi} = \sqrt{u_{Gi}^2 + v_{Gi}^2 + w_{Gi}^2} \quad (4.58)$$

olarak hesaplanır.

Eşitlik (4.56)'da verilmekte olan çözüm vektörü elemanter olarak;

$$\begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [a_1] & [b_1] & [c_1] \\ [a_2] & [b_2] & [c_2] \\ [a_3] & [b_3] & [c_3] \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} [d_1] \\ [d_2] \\ [d_3] \end{bmatrix} \quad (4.59)$$

daha açık biçimde gösterilebilir. Burada, nokta koordinatları;

$$X_i^T = [X \ Y \ Z]_i^T \quad (4.60)$$

gerinim vektörü;

$$E_i = [a_1 ; a_2 ; a_3] \quad (4.61)$$

$$E_i^T E_i = \begin{bmatrix} a_1^T a_1 & a_1^T a_2 & a_1^T a_3 \\ a_2^T a_1 & a_2^T a_2 & a_2^T a_3 \\ a_3^T a_1 & a_3^T a_2 & a_3^T a_3 \end{bmatrix}_i \quad (4.62)$$

ve

$$E_i^T E_i X_i = \begin{bmatrix} a_1^T a_1 & a_1^T a_2 & a_1^T a_3 \\ a_2^T a_1 & a_2^T a_2 & a_2^T a_3 \\ a_3^T a_1 & a_3^T a_2 & a_3^T a_3 \end{bmatrix}_i \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_i \quad (4.63)$$

olmak üzere her nokta için ayrı ayrı düzenlenir.

$$[a_1] = \sum_{i=1}^n (a_1^T a_1)_i \quad [b_1] = \sum_{i=1}^n (a_1^T a_2)_i \quad [c_1] = \sum_{i=1}^n (a_1^T a_3)_i \quad (4.64a)$$

$$[a_2] = \sum_{i=1}^n (a_2^T a_1)_i \quad [b_2] = \sum_{i=1}^n (a_2^T a_2)_i \quad [c_2] = \sum_{i=1}^n (a_2^T a_3)_i \quad (4.64b)$$

$$[a_3] = \sum_{i=1}^n (a_3^T a_1)_i \quad [b_3] = \sum_{i=1}^n (a_3^T a_2)_i \quad [c_3] = \sum_{i=1}^n (a_3^T a_3)_i \quad (4.64c)$$

$$[d_1] = \sum_{i=1}^n (a_1^T a_1)_i X_i + \sum_{i=1}^n (a_1^T a_2)_i Y_i + \sum_{i=1}^n (a_1^T a_3)_i Z_i \quad (4.65a)$$

$$[d_2] = \sum_{i=1}^n (a_2^T a_1)_i X_i + \sum_{i=1}^n (a_2^T a_2)_i Y_i + \sum_{i=1}^n (a_2^T a_3)_i Z_i \quad (4.65b)$$

$$[d_3] = \sum_{i=1}^n (a_3^T a_1)_i X_i + \sum_{i=1}^n (a_3^T a_2)_i Y_i + \sum_{i=1}^n (a_3^T a_3)_i Z_i \quad (4.65c)$$

Düzeltilmiş global yer değiştirme vektörü, ağın tamamı yerine her bir durak noktasının temsil ettiği yüzeyden de kestirilebilir. Her bir durak noktası için belirlenen gerinimler, gözlem bağlantısı bulunan noktaların oluşturduğu yüzeyin tamamını temsil eder. Bu durumda her bir yüzey alanı için düzeltilmiş yerel başlangıç koşulları, (m) yüzeydeki nokta sayısı olmak üzere;

$$-m(E^T E)_i X_{L0} + m(E^T E)_i X_i = 0 \quad (4.66)$$

$$X_{L0} = (E^T E)_i^{-1} + (E^T E)_i X_i \quad (4.67)$$

biçiminde hesaplanır. Elde edilen yerel başlangıç koşulları yardımıyla;

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}_{Li} = E_i \begin{bmatrix} X - X_{L0} \\ Y - Y_{L0} \\ Z - Z_{L0} \end{bmatrix}_i \quad (4.68)$$

olmak üzere, yerel yer değiştirme (deformasyon) vektörünün büyüklüğü;

$$d_{Li} = \sqrt{u_{Li}^2 + v_{Li}^2 + w_{Li}^2} \quad (4.69)$$

elde edilir. Herhangi bir nokta için lokal ya da global ölçekte elde edilen yer değiştirme büyüklükleri, bu noktadaki güven elipsoidinden kestirilen;

$$\delta_i = m_0 \sqrt{3 \cdot F_{h,f,1-\alpha} \cdot iz(Q_{xx})} \quad (4.70)$$

eşik değeri ile karşılaştırılır.  $d_{Gi} > \delta_i$  olması durumunda global anlamda,  $d_{Li} > \delta_i$  olması durumunda ise yerel anlamda ele alınan ağ noktasının sağlam (yeterince güvenilebilir) olmadığı söylenebilir (Şekil 4.1) (Berber, 2006).

### 4.3. Algılayabilirlik ve Sağlamlık Sentezleri

Bir ağın olası ölçme hatalarına (uyuşumsuzluklar, outliers) karşın duyarsız olmasının yanı sıra, bu ölçü hatalarının koordinat bilinmeyenleri üzerindeki bozucu etkilerinin de (gerinimlerin, deformasyon vektörlerinin) olabildiğince az olması beklenmektedir. Öte yandan bu etkilerin yer değiştirme vektörü üzerindeki olumsuz etkilerini de yeterli düzeyde algılamaları gerekmektedir. Başka bir deyişle bir ağ ne kadar sağlamsa, ölçülerdeki hatalara ya da zaman içerisindeki değişimlere bir o kadar daha duyarlı olmalıdır.

Bu nedenle algılayabilirlik ve sağlamlık dağılımları birlikte değerlendirilmeli ve yorumlanmalıdır. Ağın herhangi bir noktasında kestirilen yer değiştirme vektörleri, dış güven değerlerini temsil ettikleri için, aynı zamanda belirlenebilir en küçük yer değiştirme yani algılayabilirlik değerleri ile karşılaştırılabilir bir değerdir. Bu durumda yer değiştirme vektörleri için Eşitlik (4.70)'de eşik değeri yerine her bir ağ noktası için algılayabilirlik değeri ( $d_{min}$ ) doğrudan kullanılabilir.

Öte yandan algılayabilirlik değerlerinin asal gerilme doğrultusuna denk gelen özvektörleri birer yer değiştirme vektörü olarak ele alınabilir. Değerlendirme işlemi Bölüm 2'de Eşitlik (2.12) ile tanımlanan kuramsal ve deneysel algılayabilirlik dağılımları kullanılarak gerçekleştirilir. Bu tez çalışmasında sözü edilen değerlendirme işlemi Algılayabilirlik ve Sağlamlık Sentezi olarak adlandırılmaktadır. Sentez işlemleri aşağıda özetlenmektedir.

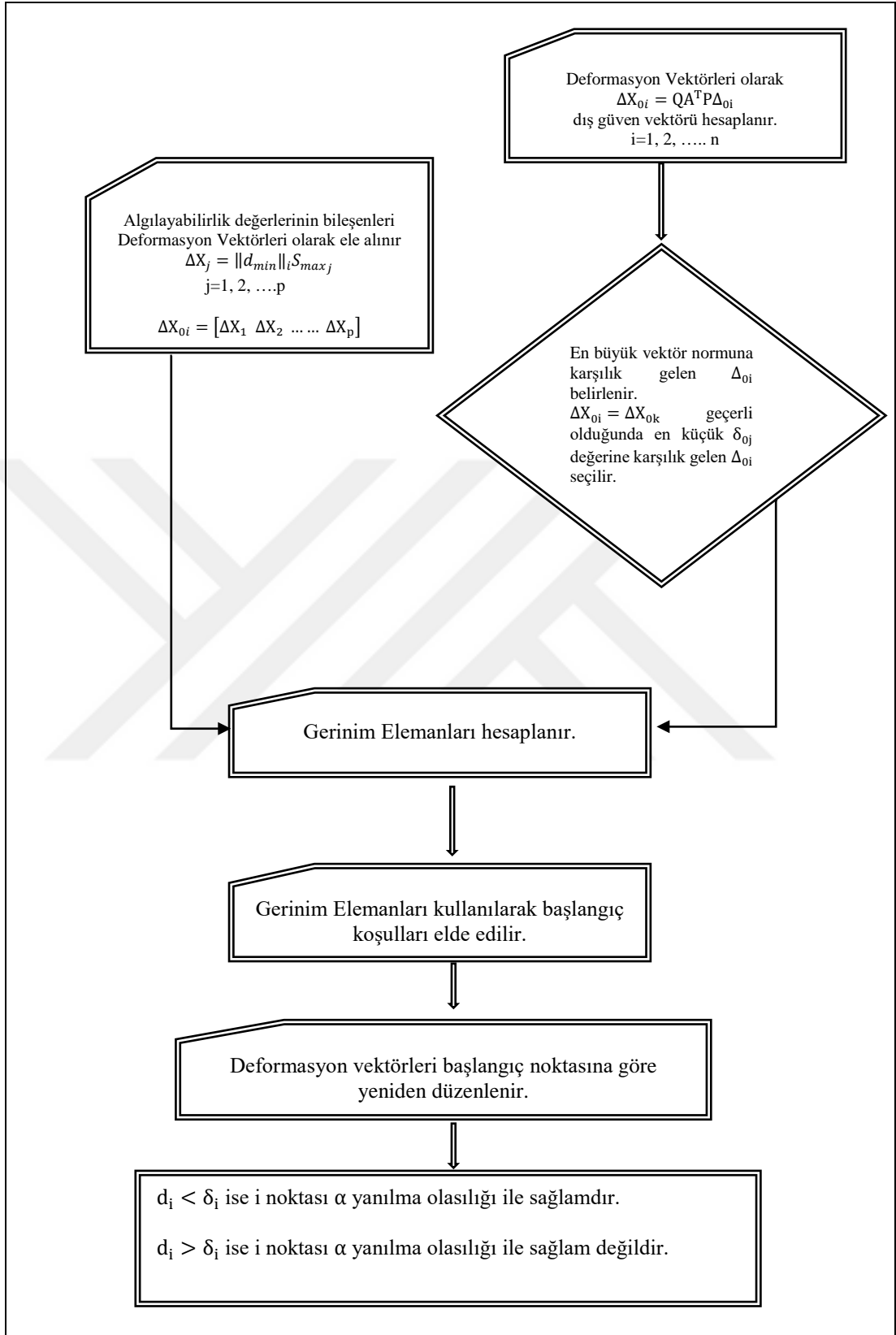
- Herhangi bir istasyon noktasında ortaya çıkarılabilecek minimum yer değiştirme miktarı ( $d_{\min}$ ) Eşitlik (2.12) kullanılarak elde edilir.
- Her istasyon noktasının algılayabilirlik değeri ( $d_{\min}$ ) 'nin bileşenleri ile  $N_{ii}$  matrisinden elde edilen  $\lambda_{\max}$  için asal gerilme doğrultusuna denk gelen özvektörlerden hesaplanan doğrultu kosinüsleri kullanılarak;

$$\Delta X_i = \begin{bmatrix} \|d\|_{\min} \cos \alpha \\ \|d\|_{\min} \cos \beta \\ \|d\|_{\min} \cos \delta \end{bmatrix}_i = \|d\|_{\min} S_{\max} ; i = 1, 2, \dots, p \quad (4.71)$$

olarak elde edilir. Bu değerler  $\Delta X_{oi}$  vektörü olarak depolanır.

- Bir yüzeyi temsil eden istasyon noktalarına ait ortaya çıkarılabilecek minimum yer değiştirme değerlerinin neden olacağı gerinim miktarı, Eşitlik (3.31)'de afin dönüşüm matrisi kullanılarak Eşitlik (3.34) ile hesaplanır.
- Lokal ve global başlangıç koşulları Eşitlik (4.56) ve (4.67) kullanılarak elde edilir.
- Global deformasyon vektörünün büyüklüğü Eşitlik (4.58) ve lokal deformasyon vektörünün büyüklüğü Eşitlik (4.69) ile elde edilir.
- Hesaplanan deformasyon vektörlerinin büyüklüğü, Eşitlik (4.70)'e göre elde edilen sınır değeri, sağlamlık ve algılayabilirlik düzeyleri ile birlikte yorumlanır.

Bu sentez işlemiyle, ağın yer kabuğu hareketlerine karşı yeterliliği topluca sorgulanabilmektedir. Başka bir deyişle, ağın iç yapısının yerel/global yer kabuğu hareketlerinin hangi düzeyde algılanabildiği ve ne kadar sağlamlıkla kestirebildiği sınanmaktadır. Herhangi bir ağ noktasının kuramsal olarak sağlam olması, bu ağ noktasındaki algılayabilirlik düzeyinin yeterince güvenilir olduğunu gösterir. Ters durumda, ağın en zayıf noktasındaki algılayabilirlik değerinin de olabildiğince düşük olması beklenmelidir.



Şekil 4.1. Algılayabilirlik ve sağlamlık sentezi için akış diyagramı

## 5. HIZ ALANLARI İÇİN TUTARLILIK TESTLERİ

Global, bölgesel ya da yerel anlamda üretilen jeodezik ağlarda istasyon noktalarının zamana bağlı değişimleri belirli bir epoğa göre bir hız referans sisteminde tanımlanır. Göreli hız referans sistemlerinde, belirli bir plaka ve blok sınırları içerisinde yer alan istasyon noktalarının hızları komşu blok ya da plakaya göre tanımlanır. Tanımlanan tüm hız referans sistemleri göreli sistemlerdir (Aktuğ, 2003).

Koordinat ve hız bilgilerinin tanımlandığı ITRF sistemleri göreli hız referans sistemleri olarak tanımlanır. ITRF sistemleri Sıfır-Net-Dönüklük (SND) ilkesine göre tanımlanmış sistemlerdir. SND ilkesi ise net açısal momentin sıfır olması olarak açıklanmaktadır. Açısal momentin sıfır olması, yer dönme parametrelerinde uzun periyotta küçük değişimlerin oluşmamasını sağlamaktadır. ITRF sistemlerinde SND ilkesinin sağlanıp sağlanmadığı araştırma konusudur (Aktuğ, 2003). Bu nedenle farklı ITRF sistemlerinde elde edilen hız alanlarının tutarlılıklarının araştırılması gereklidir. Belirli bir alanı temsil eden, farklı ITRF sistemlerinde elde edilen simetrik özellikli rasgele tensörler kullanılarak ITRF sistemlerinin hız alanları analiz edilebilmektedir.

Tutarlılığı test edilmiş bir ITRF sisteminden bölgesel/yerel bir alana hız taşınması işlemi gerçekleştirildikten sonra, özel gerinim testleri ile bölgesel hız alanının karakteri belirlenmektedir. Özel gerinim testleri diğer bir ifade ile afinlik testleri kullanılarak, gerinim tensör matrisi elemanlarının afinlik koşullarını sağlayıp sağlamadıkları test edilmektedir.

### 5.1. Simetrik Özellikli Rasgele Tensörler için Tutarlılık Testleri

Günümüzde oluşturulan yüksek duyarlıklı jeodezik ağlarının kalite sorgulama işlemlerinin sağlıklı olarak gerçekleştirilmesi için referans koordinat sistemlerinin ve hız referans sistemlerinin hassas olarak belirlenmesi gereklidir. Bununla birlikte farklı referans sistemlerinde elde edilen koordinatların ve hızların karşılaştırılabilmesi ve sorgulanabilmesi için farklı referans datumları arasındaki dönüşümlerin de hassas olarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Bu amaçla, çeşitli sistemlerden elde edilen hız bilgilerinin birbirleri ile uyumlarının istatistiksel yöntemlerle test edilmesi oldukça önemli hale gelmiştir.

Farklı ITRF sistemlerinden elde edilen konum ve hız bilgileri kullanılarak hesaplanan alansal gerinim bilgilerinin istatistiksel olarak anlamlılıkları test edilmektedir. Başka bir deyişle Referans sistemlerinin tutarlılıkları istatistiksel anlamda test edilmektedir. Uygulanan istatistiksel testler ise;

- Model Hipotez Testi,
- Anlamlılık Testleri,
- Benzerlik Testleri

şeklindedir.

Doğrusal hipotez testleri kullanılarak gerinim elemanlarının ve bunlara ait varyans-kovaryans matrislerinin anlamlılık testlerinin yapılabilmesi için; gerinim elemanlarının öncül değerlerinin En Yansız Eş Biçimli Doğrusal Kestirim (Best Linear Uniformly Unbiased Estimation, BLUUE), varyans-kovaryans matrislerinin öncül değerlerinin ise En Yansız Eş Biçimli Değişmez Karesel Kestirim (Best Invariant Quadratic Uniformly Unbiased Estimation, BIQUUE) yöntemleri ile belirlenmeleri gerekmektedir (Cai, 2001 ve 2004; Cai ve Grafarend, 2006; Küreç ve Konak, 2013).

Herhangi bir yüzeye ait gerinim elemanları; vektörlerin, sayıların birbirleri ile olan doğrusal ilişkilerini tanımlayan tensörler ile ifade edilmektedir. Hipotez testleri için kullanılan iki boyutlu ikinci dereceden simetrik özellikli rasgele tensörler (S), çok değişkenli modeller içerisinde kestirilmektedirler. İkinci dereceden iki boyutlu simetrik rasgele tensör, vektörleştirilmiş simetrik rasgele tensör olarak;

$$y = S = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{yy} \end{bmatrix}^T \quad (5.1)$$

eşitliği ile gösterilmektedir. Vektörleştirilmiş rasgele tensör; ortalama vektör ( $\mu$ ) ve varyans-kovaryans matrisi ( $\Sigma_y$ ) değerine sahip tekil (singüler) olmayan çok değişkenli normal dağılımdadır  $y \sim N(\mu, \Sigma_y)$  (Cai, 2001 ve 2004). Jeodezik ağlar için elde edilen n boyutlu gözlemler vektörünün;



$$y_i = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_n]^T \quad (5.2)$$

birinci derecede momentleri;

$$E\{\mu_i = \mu_1 = \dots = \mu_n\} = \mu \quad (5.3)$$

ve ikinci derecede momentleri ise;

$$E\{\sigma_i^2 = \sigma_1^2 = \dots = \sigma_n^2\} = \sigma \quad (5.4)$$

özelliklerini sağlar. Rasgele tensörler dolaysız (direkt) gözlemler olarak ele alındıklarında yanlış bir kestirim söz konusudur. Bu kestirim değerlerinin uyumsuzluklara karşı duyarlı olabilmesi için yansız ve doğrusal bir şekilde kestirilmeleri gerekmektedir (Cai, 2001 ve 2004; Cai ve Grafarend, 2006). Tensör bileşenlerinin, özalan sentezi (özdeğer-özvektör bileşimi) olarak ele alınması durumunda doğrusal olmayan vektör değerleri kullanılmaktadır. Bu nedenle vektör fonksiyonları “Özel Doğrusal Olmayan Çok Değişkenli Gauss-Markoff” modeli olarak ele alınmaktadır. Özel Doğrusal Olmayan Gauss-Markoff Modeli;

- Özalan elemanları BLUUE ve
- Özalan elemanlarının varyans-kovaryans matrisleri ise BIQUUE yaklaşımları kullanılarak doğrusallaştırılmaktadır.

Özalan sentezi ile elde edilen iki boyutlu gerinim tensör bileşenlerinin kestirim değerlerinin dolaysız gözlemlerden elde edilmesi durumunda bir vektörü;

$$1 = [1, \ 1, \ \dots \ 1]^T \quad (5.5)$$

ve gözlemler matrisi;

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1p} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2p} \\ y_{31} & y_{32} & \dots & y_{3p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1. \\ y_2. \\ y_3. \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

olmak üzere gerinimlere ait tensör elemanlarının kesin değerleri BLUUE yaklaşımında;

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{n} \mathbf{1}^T \mathbf{Y} = \frac{1}{n} \mathbf{Y}^T \mathbf{1} \quad (5.7)$$

eşitliği elde edilir. Tensör elemanlarına ilişkin birim varyans ( $\hat{\sigma}^2$ );

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2 = \frac{1}{n-1} (\mathbf{y} - \mathbf{1}\mu)^T (\mathbf{y} - \mathbf{1}\mu) \quad (5.8)$$

ve varyans-kovaryans matrisi ( $\hat{\Sigma}_y$ );

$$\hat{\Sigma}_y = \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \mathbf{Y}^T (\mathbf{I} - \frac{1}{n} \mathbf{1}\mathbf{1}^T) \mathbf{Y} \quad (5.9)$$

eşitlikleri ile BIQUUE yaklaşımında doğrusal ve yansız bir biçimde belirlenmektedir (Cai ve Grafarend, 2006).

Vektörleştirilmiş simetrik özellikli tensör bileşenleri  $y_1 = \varepsilon_{xx}$ ,  $y_2 = \varepsilon_{yx}$ ,  $y_3 = \varepsilon_{yy}$  olmak üzere, çok değişkenli vektörleştirilmiş tensör koordinatları;

$$\mathbf{Y} = [\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{y}_n] = \begin{bmatrix} y_{1.1} & \dots & \dots & y_{1.n} \\ y_{2.1} & \dots & \dots & y_{2.n} \\ y_{3.1} & \dots & \dots & y_{3.n} \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

olarak düzenlenir. Vektörleştirilmiş simetrik tensör bileşenleri kullanılarak özdeğer-özvektör analizi ile Eşitlik (3.35) ve (3.36)'e göre elde edilen özdeğerler ( $\lambda_1, \lambda_2$ ) diğer bir ifade ile gerinim elipsinin elemanları ve Eşitlik (3.37)'ye göre elde edilen dönüklük parametresi ( $\alpha$ ) diğer bir ifade ile gerinim elipsinin büyük yarı ekseninin doğrultusu;

$$\xi_0 = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \alpha \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \sqrt{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + 4\varepsilon_{xy}^2} \\ \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} - \sqrt{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + 4\varepsilon_{xy}^2} \\ \arctan \frac{2\varepsilon_{xy}}{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})} \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

eşitliği ile vektörel olarak ifade edilmektedir. Özdeğer-özvektör sentezi ile gerinim tensör matrisi elemanları en büyük yarı eksen doğrultusu için:

özdeğerler,

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & \\ & \lambda_2 \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

ve özvektörler,

$$\mathbf{\Lambda} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

olmak üzere;

$$\mathbf{F} = \mathbf{\Lambda} \mathbf{V} \mathbf{\Lambda}^T \quad (5.14)$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{yy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 \cos^2 \alpha + \lambda_2 \sin^2 \alpha \\ \frac{1}{2}(\lambda_1 - \lambda_2) \sin 2\alpha \\ \lambda_1 \sin^2 \alpha + \lambda_2 \cos^2 \alpha \end{bmatrix} \quad (5.15)$$

eşitlikleri ile özdeğerlerin bir fonksiyonu (F) olarak ifade edilir. Bu fonksiyonun 1. dereceden momenti (türevi);

$$\mathbf{A}_\xi = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \lambda_1} & \frac{\partial f_1}{\partial \lambda_2} & \frac{\partial f_1}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial f_2}{\partial \lambda_1} & \frac{\partial f_2}{\partial \lambda_2} & \frac{\partial f_2}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial f_3}{\partial \lambda_1} & \frac{\partial f_3}{\partial \lambda_2} & \frac{\partial f_3}{\partial \alpha} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\cos \alpha)^2 & (\sin \alpha)^2 & (\lambda_2 - \lambda_1) \sin 2\alpha \\ \frac{1}{2} \sin 2\alpha & -\frac{1}{2} \sin 2\alpha & -(\lambda_2 - \lambda_1) \cos 2\alpha \\ (\sin \alpha)^2 & (\cos \alpha)^2 & -(\lambda_2 - \lambda_1) \sin 2\alpha \end{bmatrix} \quad (5.16)$$

olmak üzere, çok değişkenli vektörleştirilmiş gerinim tensör matrisinin varyans-kovaryans matrisi ters ağırlıkların yayılma ilkesine göre;

$$\mathbf{D}\{\hat{\xi}\} := \mathbf{D}\{\Delta \hat{\xi}\} = \Sigma_\xi = \frac{1}{n} (\mathbf{A}_\xi^T \Sigma_y^{-1} \mathbf{A}_\xi)^{-1} \quad (5.17)$$

eşitliği ile elde edilir (Cai, 2001 ve 2004; Cai ve Grafarend, 2006; Küreç ve Konak, 2013).

### 5.1.1. Model hipotez testi

Çok değişkenli vektörleştirilmiş gerinim tensör matrisinin varyans-kovaryans matrisinin  $(\Sigma_y)$  bilinmediği varsayılarak;  $\xi_0$  : parametre vektörü,  $\xi$  : herhangi bir kestirim değeri,  $\hat{\xi}$  : BLUUE kestirimi (öncül değer) olmak üzere sıfır hipotezi;

$$H_{01} : \xi = \xi_0 \quad (5.18a)$$

$$H_{01} : \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{10} \\ \lambda_{20} \\ \alpha_0 \end{bmatrix} \quad (5.18b)$$

ve seçenek hipotezi;

$$H_{11} : \xi \neq \xi_0 \quad (5.19a)$$

$$H_{11} : \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \alpha \end{bmatrix} \neq \begin{bmatrix} \lambda_{10} \\ \lambda_{20} \\ \alpha_0 \end{bmatrix} \quad (5.19b)$$

şeklinde kurulur. Hotelling istatistiğine göre  $T^2$  karesel büyüklüğü, test değeri;

$$T^2 = \left[ \hat{\xi} - \xi_0 \right]^T \hat{\Sigma}_{\hat{\xi}}^{-1} \left[ \hat{\xi} - \xi_0 \right] \quad (5.20)$$

olarak formülü ile hesaplanır. Test değeri  $\frac{n-3}{(n-1).3} T^2$  eşitliği ile Fisher Dağılımına

$(F_{3,n-3,1-\alpha})$  uyar, bu durumda test değerinin sınır değeri;

$$T_{1-\alpha}^2 = \frac{(n-1).3}{n-3} . F_{3,n-3,1-\alpha} \quad (5.21)$$

elde edilir.  $T^2 > T_{1-\alpha}^2$  olduğu durumda  $\alpha$  yanılma olasılığı ile Sıfır Hipotezi geçersiz olarak kabul edilir (Cai, 2001 ve 2004; Cai ve Grafarend, 2006; Küreç ve Konak, 2013).

### 5.1.2. Özdeğerler için anlamlılık testleri

Özdeğer-özvektör analizi ile Eşitlik (4.41), (4.42) ve (4.43) kullanılarak elde edilen gerinim elipsi elemanlarının diğer bir ifade ile özalan bileşenlerinin anlamlılıkları t-Student testi ile ayrı ayrı analiz edilir. İstatistiksel testler için sıfır hipotezi;

$$H_{02} : \lambda_1 = \lambda_{10} , \lambda_2 = \lambda_{20} , \alpha = \alpha_0 \quad (5.22)$$

ve seçenek hipotezi;

$$H_{12} : \lambda_1 \neq \lambda_{10} , \lambda_2 \neq \lambda_{20} , \alpha \neq \alpha_0 \quad (5.23)$$

eşitlikleri ile oluşturulur. Eşitlik (5.17)'ye göre hesaplanan varyans-kovaryans matrisinin  $(\Sigma_\xi)$  köşegen elemanları, özalan bileşenlerinin varyans  $(\hat{\sigma}_1^2, \hat{\sigma}_2^2, \hat{\sigma}_3^2)$  değerlerine eşittir. Bu durumda hipotez testinin test değerleri;

$$t_1 = \frac{\hat{\lambda}_1 - \lambda_{10}}{\hat{\sigma}_1} , t_2 = \frac{\hat{\lambda}_2 - \lambda_{20}}{\hat{\sigma}_2} , t_3 = \frac{\hat{\alpha}_1 - \alpha_0}{\hat{\sigma}_3} \quad (5.24)$$

formülleri ile hesaplanır.

Özalan bileşenlerinin öncül değerleri  $(\hat{\lambda}_1, \hat{\lambda}_2, \hat{\alpha}_1)$  BLUUE ve özalan bileşenlerinin varyans-kovaryans matrisi elemanlarının öncül değerleri ise BIQUUE yaklaşımları ile kestirilir. Hesaplanan test değerleri  $(t_1, t_2, t_3)$ ,  $(n-1)$  serbestlik derecesine sahip t-Student dağılımına uyar. Çift yönlü teste göre, Eşitlik (5.24) kullanılarak kestirim değerleri için alt sınır değerleri;

$$t_{\hat{\lambda}_1, \frac{\alpha}{2}} = \hat{\sigma}_1 \cdot t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} + \lambda_{10} \quad (5.25a)$$

$$t_{\hat{\lambda}_2, \frac{\alpha}{2}} = \hat{\sigma}_2 \cdot t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} + \lambda_{20} \quad (5.25b)$$

$$t_{\hat{\lambda}_3, \frac{\alpha}{2}} = \hat{\sigma}_3 \cdot t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} + \alpha_0 \quad (5.25c)$$

ve üst sınır değerleri;

$$t_{\hat{\lambda}_1, 1 - \frac{\alpha}{2}} = \hat{\sigma}_1 \cdot t_{n-1, 1 - \frac{\alpha}{2}} + \lambda_{10} \quad (5.26a)$$

$$t_{\hat{\lambda}_2, 1 - \frac{\alpha}{2}} = \hat{\sigma}_2 \cdot t_{n-1, 1 - \frac{\alpha}{2}} + \lambda_{20} \quad (5.26b)$$

$$t_{\hat{\lambda}_3, 1 - \frac{\alpha}{2}} = \hat{\sigma}_3 \cdot t_{n-1, 1 - \frac{\alpha}{2}} + \alpha_0 \quad (5.26c)$$

denklemleri ile elde edilir. Kestirim değerleri alt sınır ve üst sınır arasında kalıyor ise  $\alpha$  yanılma olasılığı ile sıfır hipotezi kabul edilir ve parametreler arasında anlamlı bir değişim yoktur yorumu yapılabilir (Cai, 2001 ve 2004; Cai ve Grafarend, 2006).

Özalan parametre vektörü elemanlarının test edilmesi için ikinci çözüm yolu olarak normlandırılmış özalan parametre vektörleri (özvektörler) kullanılmaktadır. Özalan parametre vektörünün Eşitlik (5.17)'ye göre elde edilen gerinim tensör matrisinin varyans-kovaryans matrisi;

$$\hat{\Sigma}_{\xi} = U_{\xi} \Lambda_{\hat{\eta}} U_{\xi}^T \quad (5.27)$$

özdeğer ve özvektörlerine ayrılır. Bu durumda normlandırılmış özalan parametreleri;

$$\eta = U_{\xi}^T \cdot \hat{\xi}, \quad \eta_0 = U_{\xi}^T \cdot \xi_0 \quad (5.28)$$

ve normlandırılmış özalan parametrelerinin varyans-kovaryans matrisi;

$$\hat{\Sigma}_{\hat{\eta}} = U_{\xi}^T \hat{\Sigma}_{\xi} U_{\xi} = \Lambda_{\hat{\eta}} = \begin{bmatrix} \hat{\sigma}_{\hat{\eta}_1}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \hat{\sigma}_{\hat{\eta}_2}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \hat{\sigma}_{\hat{\eta}_3}^2 \end{bmatrix} \quad (5.29)$$

eşitlikleri ile elde edilir. Buna göre normlandırılmış özalan parametrelerinin standart sapmaları;

$$\hat{\sigma}_{\hat{\eta}_1} = \sqrt{\hat{\lambda}_{\eta_1}}, \hat{\sigma}_{\hat{\eta}_2} = \sqrt{\hat{\lambda}_{\eta_2}}, \hat{\sigma}_{\hat{\eta}_3} = \sqrt{\hat{\lambda}_{\eta_3}} \quad (5.30)$$

formülleri ile elde edilir. Normlandırılmış özalan bileşenleri kullanılarak sıfır hipotezi;

$$H_{02} : \eta_1 = \eta_{10}, \eta_2 = \eta_{20}, \eta_3 = \eta_{30} \quad (5.31)$$

ve seçenek hipotezi;

$$H_{12} : \eta_1 \neq \eta_{10}, \eta_2 \neq \eta_{20}, \eta_3 \neq \eta_{30} \quad (5.32)$$

şeklinde kurulur. Test değerleri ise;

$$t_1 = \frac{\hat{\eta}_1 - \eta_{10}}{\hat{\sigma}_{\eta_1}}, t_2 = \frac{\hat{\eta}_2 - \eta_{20}}{\hat{\sigma}_{\eta_2}}, t_3 = \frac{\hat{\eta}_3 - \eta_{30}}{\hat{\sigma}_{\eta_3}} \quad (5.33)$$

$\eta_{i0}$  : normlandırılmış özvektörler,  $\eta_i$  : kestirim değeri ve  $\hat{\eta}$  : BLUUE kestirimleri (öncül değer) olmak üzere eşitliği ile hesaplanır. Hesaplanan test değerleri, (n-1) serbestlik dereceli t-Student dağılımındadır. (Cai, 2001 ve 2004; Cai ve Grafarend, 2006).

Çift yönlü teste göre Eşitlik (5.33) kullanılarak kestirim değerleri için alt sınır değerleri;

$$t_{\hat{\eta}_1, \frac{\alpha}{2}} = \hat{\sigma}_{\eta_1} \cdot t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} + \eta_{10} \quad (5.34a)$$

$$t_{\hat{\eta}_2, \frac{\alpha}{2}} = \hat{\sigma}_{\eta_2} \cdot t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} + \eta_{20} \quad (5.34b)$$

$$t_{\hat{\eta}_3, \frac{\alpha}{2}} = \hat{\sigma}_{\eta_3} \cdot t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} + \eta_{30} \quad (5.34c)$$

ve üst sınır değerleri;

$$t_{\hat{\eta}_1, 1-\frac{\alpha}{2}} = \hat{\sigma}_{\eta_1} \cdot t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} + \eta_{10} \quad (5.35a)$$

$$t_{\hat{\eta}_2, 1-\frac{\alpha}{2}} = \hat{\sigma}_{\eta_2} \cdot t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} + \eta_{20} \quad (5.35b)$$

$$t_{\hat{\eta}_3, 1-\frac{\alpha}{2}} = \hat{\sigma}_{\eta_3} \cdot t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} + \eta_{30} \quad (5.35c)$$

denklemleri ile elde edilir. Kestirim değerleri alt sınır ve üst sınır arasında kalıyor ise  $\alpha$  yanılma olasılığı ile sıfır hipotezi kabul edilir ve parametreler arasında anlamlı bir değişim yoktur yorumu yapılabilir (Cai, 2001 ve 2004; Cai ve Grafarend, 2006).

### 5.1.3. Benzerlik testleri

Benzerlik testleri ile çok değişkenli vektörleştirilmiş gerinim tensör matrisine ait varyans-kovaryans matrisinin  $(\Sigma_y)$ , seçilen bir kriter (ölçüt) matrisine  $(\Sigma_0)$  benzerliği test edilmektedir. Uygulanacak olan istatistiksel testler için sıfır hipotezi;

$$H_{04} : \xi = \xi_0, \Sigma_y = \Sigma_0 \quad (5.36)$$

ve seçenek hipotezi;

$$H_{14} : \xi \neq \xi_0, \Sigma_y \neq \Sigma_0 \quad (5.37)$$

denklemleri ile oluşturulur. Eğer özalan parametre değerleri kullanılmaksızın varyans-kovaryans matrisi test edilmek isteniyor ise, yansız değiştirilmiş benzerlik oran istatistiği değeri;

$$\Lambda_1 = \left( \frac{e}{n-1} \right)^{\left( \frac{3(n-1)}{2} \right)} \left[ \det(n-1) \hat{\Sigma}_y \Sigma_0^{-1} \right]^{\left( \frac{n-1}{2} \right)} e^{\left\{ -\frac{1}{2} (n-1) \hat{\Sigma}_y \Sigma_0^{-1} \right\}} \quad (5.38)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu durumda test değeri;

$$L_1 = -2 \ln \Lambda_1 \quad (5.39)$$

ve test değerinin sınır değeri;

$$L_{1-\alpha} = -2 \ln \Lambda_1 (1-\alpha) = \chi_{\frac{3(n-1)}{2}, 1-\alpha}^2 \quad (5.40)$$

formülleri ile hesaplanır.  $L_1 > L_{1-\alpha}$  koşulunun geçerli olduğu durumda sıfır hipotezi kabul edilemez ve varyans-kovaryans matrisinin öncül yansız kestirim değerini yeterince temsil etmediği söylenebilir (Cai, 2001 ve 2004; Cai ve Grafarend, 2006; Küreç ve Konak, 2013).



Benzerlik testleri, özalan parametre vektörü ve özalan parametrelerinin varyans kovaryans matrisi kullanılarak yapılmak isteniyor ise bu durumda yansız benzerlik oran istatistiği değeri;

$$\Lambda_2 = \left( \frac{e}{n} \right)^{\left( \frac{3n}{2} \right)} \left[ \det(n-1) \hat{\Sigma}_y \Sigma_0^{-1} \right]^{\left( \frac{n}{2} \right)} e^{iz \left\{ \frac{1}{2} (n-1) \hat{\Sigma}_y \Sigma_0^{-1} \right\}} e^{\left\{ \frac{1}{2} [\hat{\xi} - \xi_0]^T \Sigma_0^{-1} [\hat{\xi} - \xi_0] \right\}} \quad (5.41)$$

formülü ile hesaplanır. Yansız benzerlik oran istatistiği kullanılarak, test değeri;

$$L_2 = -2 \ln \Lambda_2 \quad (5.42)$$

ve test değerinin sınır değeri;

$$L_{1-\alpha} = -2 \ln \Lambda_2 (1 - \alpha) = -2 \ln \Lambda_2 \cdot t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \quad (5.43)$$

hesaplanır.  $L_2 > L_{1-\alpha}$  geçerli olduğunda sıfır hipotezi kabul edilemez. Başka bir deyişle kestirimlerin yansız oldukları söylenemez (Cai, 2001 ve 2004; Cai ve Grafarend, 2006; Küreç ve Konak, 2013).

## 5.2. Bölgesel/Yerel Gerinim Testleri

Üst dereceden ağ noktalarından, sıklaştırma istasyon noktalarına hız taşınması işlemlerinde yüzey yaklaşımları (polinomsal yaklaşımlar) kullanılarak;

$$\dot{x} = a_0 + a_1 x + a_2 y \quad (5.44a)$$

$$\dot{y} = b_0 + b_1 x + b_2 y \quad (5.44b)$$

biçiminde gerinimi temsil eden iki boyutlu afin dönüşümünün temel bağıntıları kullanılmaktadır. Kullanılan bu temel bağıntılardan bir yüzey için elde edilen dönüşüm bilinmeyenleri;

$$a_1 = \frac{\partial u}{\partial x} ; a_2 = \frac{\partial u}{\partial y} \quad (5.45a)$$

$$b_1 = \frac{\partial v}{\partial x} ; b_2 = \frac{\partial v}{\partial y} \quad (5.45b)$$

olarak tanımlanır. Bu durumda bölgesel gerinimlerin test edilmesi aşamasında, üst dereceden ağ noktalarından taşınan hız bilgileri kullanılarak elde edilen gerinimlerin özellikleri de belirlenmektedir.

Dengelemeli olarak uygulanan böyle bir dönüşüme göre, dönüşüm bilinmeyenleri Eşitlik (1.12)'e ve düzeltme vektörleri ise Eşitlik (1.11)' e göre elde edilmektedir. Dönüşümün karesel ortalama hatası;

$$m_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{v}}{2n - 6}} \quad (5.46)$$

ve herhangi bir noktanın eksenler yönündeki kesme gerinimlerin ortalama hatası;

$$m_x = m_y = m_0 \sqrt{\mathbf{A} (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T} \quad (5.47)$$

$Q_{bb}$ , dönüşüm bilinmeyenlerinin ters ağırlık matrisi olmak üzere eşitlikleri ile elde edilir. Dönüşüme giren bir noktanın nokta konum hatası;

$$m_p = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \quad (5.48)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır (İnce ve diğ., 2007).

Afin dönüşüm modelinde, Eşitlik (5.45)'de ifade edilen dönüşüm bilinmeyenleri arasında ( $a_2 \neq -b_1$ ) ve ( $a_1 \neq b_2$ ) şeklinde bir ilişki bulunmaktadır. Buna göre 1. Afinlik Koşulu;

$$a_2 \neq -b_1 \quad (5.49)$$

ve 2. Afinlik Koşulu ise;

$$a_1 \neq b_2 \quad (5.50)$$

şeklinde ifade edilmektedir (İnce ve diğ., 2007).

Her iki afinlik koşulunun geçerli olması durumunda dönüşüm modelinin Afin, afinlik koşullarından yalnızca birinin geçerli olması durumunda ise dönüşüm modelinin Yarı Afin olduğu düşünülmektedir. Afinlik koşullarının geçerli olmadığı diğer bir ifade ile

dönüşüm bilinmeyenleri arasındaki ilişkinin ( $a_2 = -b_1$ ) ve ( $a_1 = b_2$ ) şeklinde olması durumunda uygulanan dönüşüm modelinin Helmert (Benzerlik) dönüşümüne dönüştüğü yorumu yapılmaktadır (İnce ve diğ., 2007). Afinlik koşullarının geçerli olup olmadığı hipotez testleri ile sınanmaktadır. Bu durumda sıfır hipotezi;

$$H_0 = E\{f_1\} = E\{a_2 + b_1\} = 0 ; H_0 = E\{f_2\} = E\{a_1 - b_2\} = 0 \quad (5.51)$$

ve seçenek hipotezi;

$$H_s = E\{f_1\} = E\{a_2 + b_1\} \neq 0 ; H_0 = E\{f_2\} = E\{a_1 - b_2\} \neq 0 \quad (5.52)$$

denklemleri ile oluşturulmaktadır. 1. Afinlik Koşulu için;

$$\frac{|f_1|}{m_{f1}} \geq t_{f,1-\frac{\alpha}{2}} \quad (5.53)$$

ve 2. Afinlik Koşulu için;

$$\frac{|f_2|}{m_{f2}} \geq t_{f,1-\frac{\alpha}{2}} \quad (5.54)$$

eşitsizliklerinin geçerli olması durumunda  $\frac{\alpha}{2}$  yanılma olasılığı ile dönüşümün afin olduğu yorumu yapılmaktadır (İnce ve diğ., 2007).

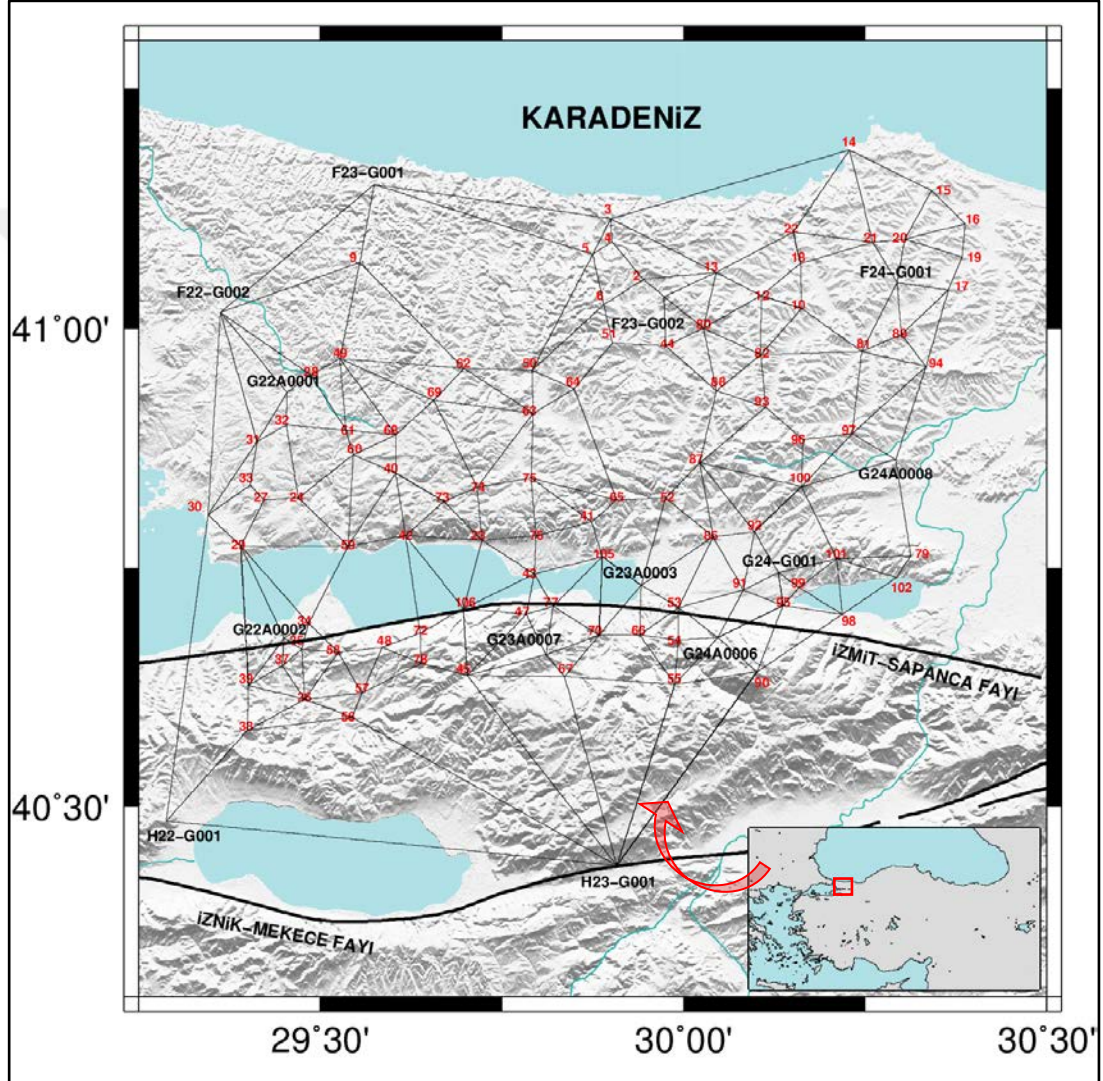
## 6. SAYISAL UYGULAMA

Doktora tezi kapsamında, İZGAZ Doğal Gaz Alt Yapısının Jeodezik Ağlar ve Bilgi Sistemi ile İzlenmesi Projesi (İZDOGAP) çalışmaları için oluşturulan Kocaeli İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağı verileri sayısal uygulama çalışmalarında test ağı olarak kullanılmıştır.

Kocaeli ili ve çevresi için oluşturulan İZDOGAP Ağı, Kuzey Anadolu Fay (KAF) kuşağı üzerinde yer almaktadır. Robert Mallet'ın 1857 yılında "The First Principles of Observational Seismology (Gözlemsel Depremlerin İlk İlkeleri)" isimli kitabının yayımlanmasının ardından, Kuzey Anadolu'yu kapsayan bir deprem kuşağı yaygın olarak bilinmeye başlamıştır. Ülkemizde özellikle 1939 Erzincan depremi ve sonrasında yaşanan deprem felaketlerinin ardından KAF kuşağı Türk ve yabancı jeologların ilgisini çekmeye başlamıştır. KAF kuşağının doğrultu atımlı bir fay olduğu 1948 yılında İhsan Ketin tarafından keşfedilmiştir (Şengör, 1995). Geniş bir alana sahip olan KAF dünyadaki doğrultu atımlı faylar arasında en aktif olanıdır (Kartal ve diğ., 2015). KAF doğuda Bingöl/Karlıova çöküntüsünden başlayarak, Bolu'da çatallanır ve Geyve'nin batısında üç ana kol boyunca Ege Denizi'nin kuzeyinde Saros Körfezine kadar uzanır (Küreç, 2010; Kartal ve diğ., 2015). Kocaeli İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağı, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun batı bölümündeki İzmit-Sapanca Fayı'nı çevrelemektedir (Şekil 6.1). Bu fayın kuzey kısmında Avrasya Plakası, güney kısmında da Anadolu Plakası yer almaktadır (Şekil 6.2, Şekil 6.3).

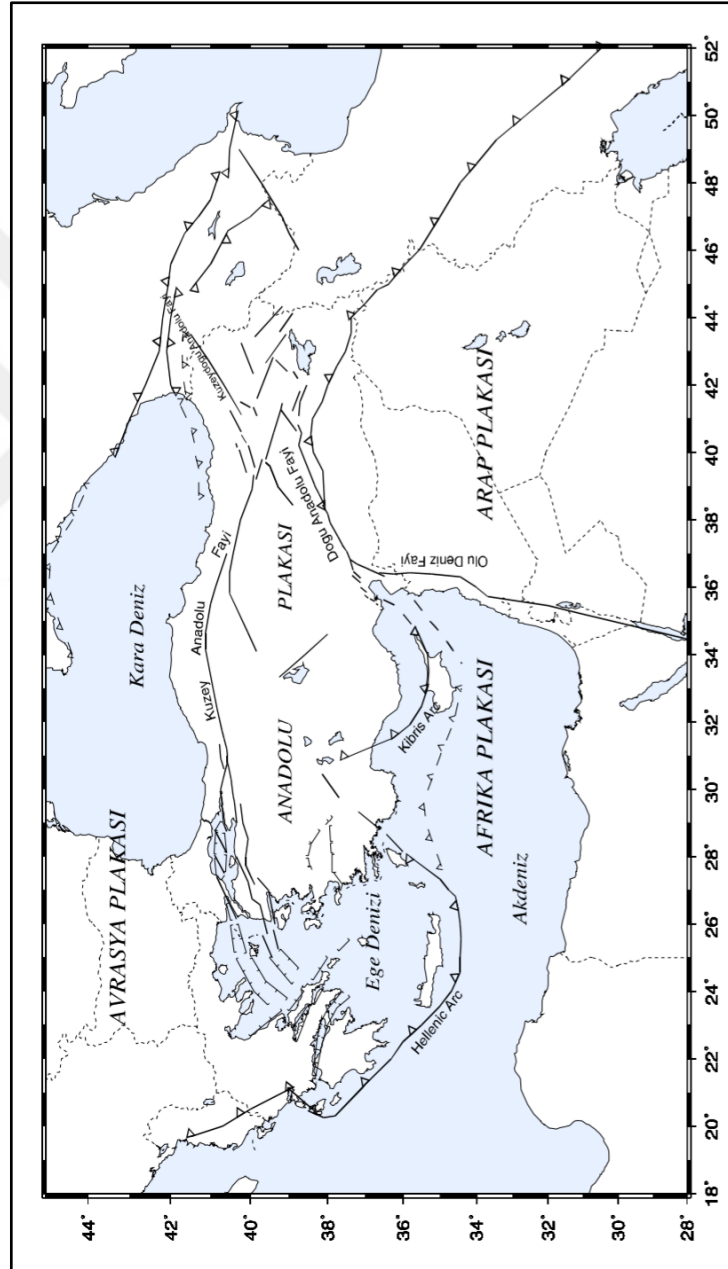
Kocaeli İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağı 106 GPS istasyonuna sahiptir. Bu ağda tesis ve ölçme işlemleri başlamadan önce, ikinci dereceden bir ağırlık optimizasyonu ile ölçme planı elde edilmiş ve baz optimizasyonu ile baz oturumlarının sayıları ve süreleri araştırılmıştır (Kurt ve Konak, 2009; Küreç, 2010). Optimizasyon işlemleri sonucunda ulaşılan optimal duyarlık ve güven isteklerini karşılayabilmek için, ortalama 15 dakikalık GPS ölçme oturum süreleri yeterli olmuştur (Konak ve diğ., 2011).

İZDOGAP Test ağı 2009 yılında 15'er dakikalık oturumlarla ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. 2010 yılında ise bu ağı, sıklaştırma ağları için önerilen klasik standartlara uygun olarak, kısa bazlarda 25 dakika ve uzun bazlarda ise 60 dakikalık sürelerle, optimal ölçme planı korunarak bir kez daha ölçülmüştür. İZDOGAP test ağı 2009 ve 2010 yıllarında, İZGAZ ve KOÜ jeodezi çalışma grubu üyeleri tarafından ölçülmüştür.

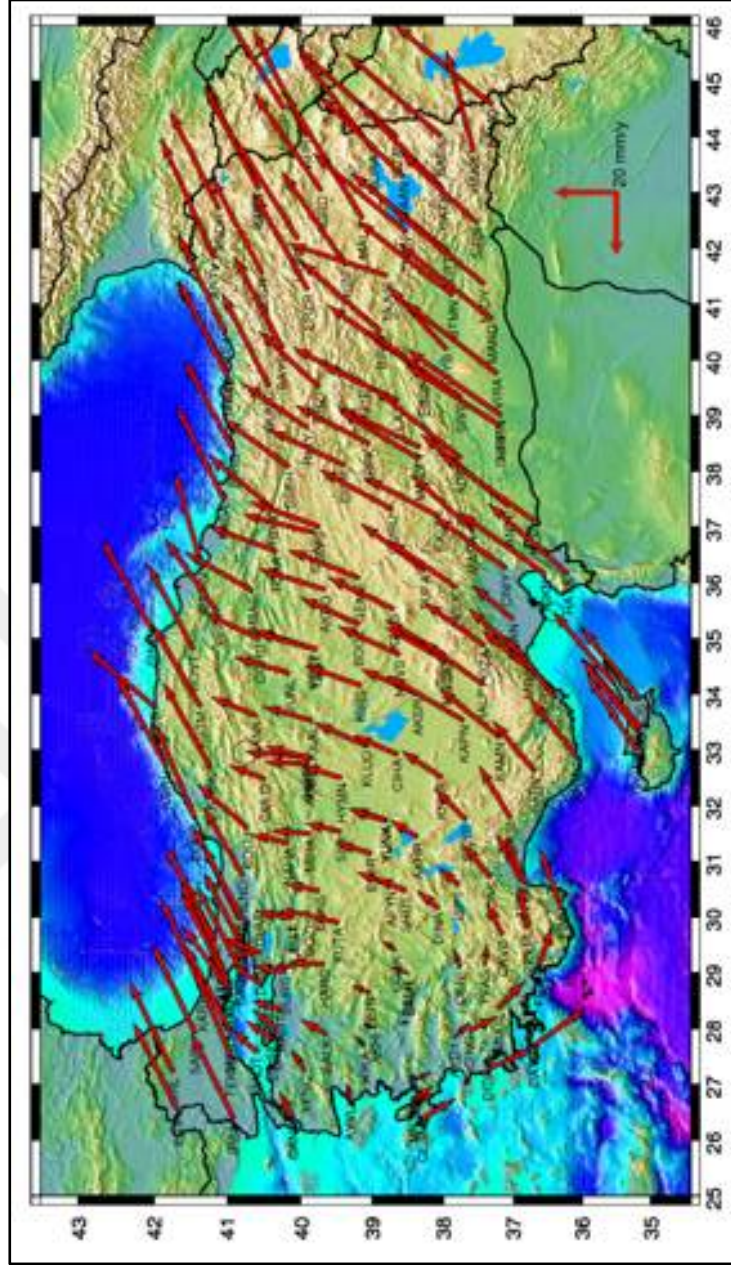


Şekil 6.1. Kocaeli İZDOGAP sıklaştırma GPS ağı

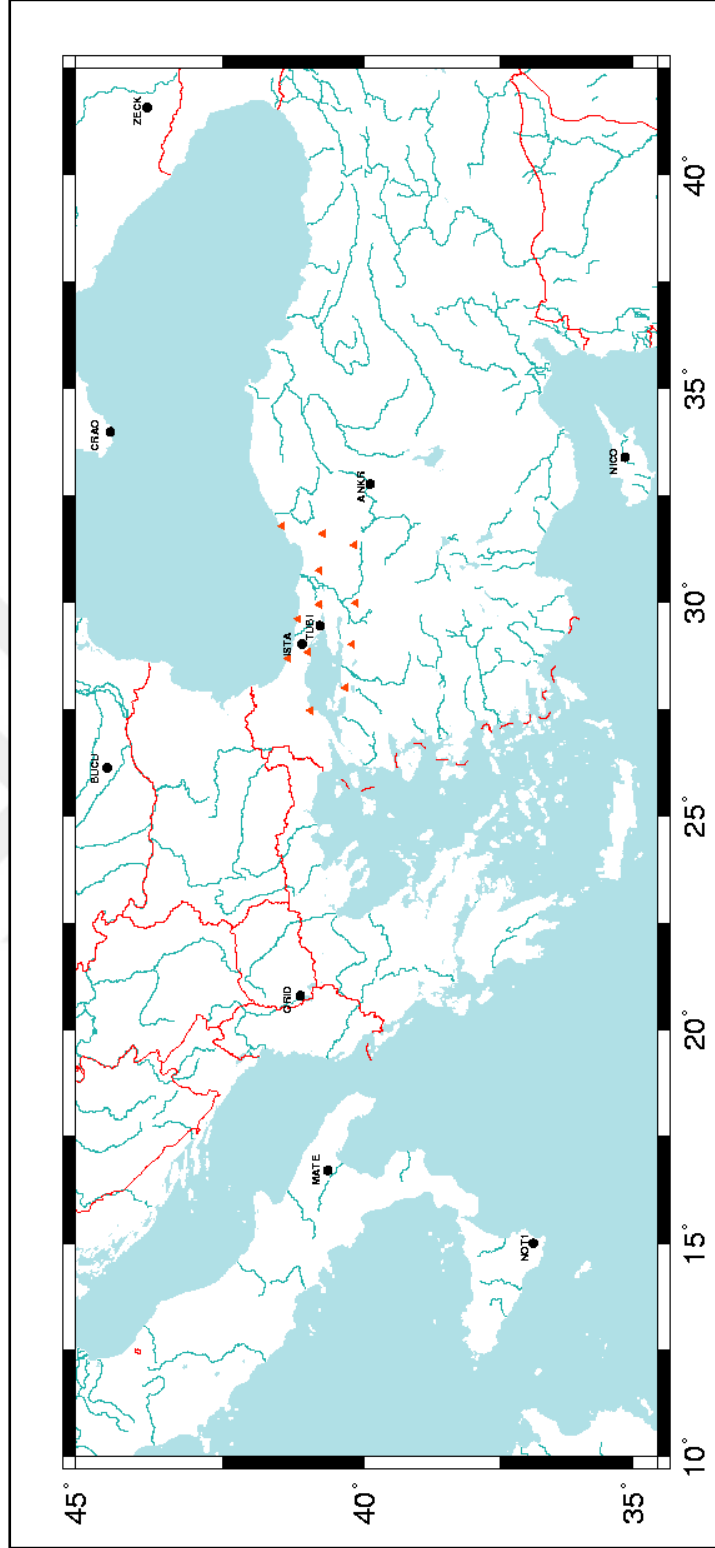
Kocaeli İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağı aktif bir fay kuşağı üzerinde yer almaktadır. Bu nedenle bölgenin global anlamda izlenebilmesi amacıyla; çalışma alanını kapsayan, IGS ve TUSAGA-Aktif istasyonlarından oluşan üst dereceden bir kontrol noktası kümesi oluşturulmuştur (IGS-TUSAGA Kontrol Ağı) (Şekil 6.4). 2009, 2010 ve 2011 yıllarını kapsayan IGS verileri SOPAC arşivinden, TUSAGA-Aktif verileri ise Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.



Şekil 6.2. Türkiye tektonik haritası (Demir ve Açıkgöz, 2000)



Şekil 6.3. TUSAGA-Aktif istasyonlarının ITRF sisteminde hız alanları (Cingöz ve diğ., 2013)



Şekil 6.4. IGS-TUSAGA kontrol ağı ( ● : IGS istasyonları, ▲ : TUSAGA-Aktif istasyonları)



## 6.1. Jeodezik Ağlar için Gerinim ve Algılayabilirlik İzleme Stratejisi

Ülkemiz aktif tektonik hareketliliğe sahip bir bölgede yer almaktadır. Bu nedenle jeodezik amaçlı olarak kurulan ağların kalite sorgulama işlemleri oldukça önemlidir.

Aktif tektonik hareketliliğe sahip bir bölgeyi temsil eden, Kocaeli ili ve çevresini kapsayan ve KAF zonu üzerinde yer alan İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağı'nın (İZDOGAP-GPS) kalite sorgulama işlemleri bu çalışmanın temelini oluşturur. İZDOGAP-GPS Ağı; bölgeyi temsil eden düzgün global bir hız alanı tanımı için IGS-TUSAGA, lokal bir hız alanı tanımı için KOUSAGA ağı ile desteklenerek değerlendirilmiştir. Bu test ağı, KOUSAGA noktaları ile genişletilerek algılayabilirlik gereksinimleri ayrıca denetlenmektedir. Bu amaçla;

- a) Çalışma alanını temsil eden üst dereceden ağ noktalarının (IGS- TUSAGA Kontrol Ağı) 2009, 2010 ve 2011 yıllarını kapsayan rinex verileri GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilerek, üst dereceden ağ noktaları için 3 yıllık düzgün hız alanı belirlendi.
- b) IGS istasyonlarının, ITRF sistemleri için yayınlanmış konum ve hız bilgileri kullanılarak Global Tutarlılık Testleri uygulandı. GAMIT/GLOBK yazılımından, ITRF 2008 sisteminde elde edilen düzgün hız alanı bilgileri kullanılarak çalışma alanını temsil eden KOUSAGA Kontrol Ağı bölgesi için Lokal Tutarlılık Testleri gerçekleştirildi. Bu uygulama için, tarafımdan C++ programlama dilinde geliştirilen `itrfdnsm.cpp`, `2B_grnm.cpp` ve `ttr.cpp` programları kullanıldı.
- c) İZDOGAP GPS Ağı 2009 ve 2010 ölçü epoklarında değerlendirildi. Bu uygulama için, tarafımdan C++ programlama dilinde geliştirilen `srbst_d.cpp` programı kullanıldı.
- d) İZDOGAP GPS Ağı için 2009 ve 2010 epoklarında Güvenirlik Analizleri uygulanarak dış güvenirlik dağılımını bozan gözlemlerin yerleri belirlendi. Bununla birlikte, Algılayabilirlik Analizleri ile algılayabilirlik dağılımını bozan istasyon noktalarının yerleri belirlendi. Geliştirilen bir iyileştirme/sorgulama algoritması ile dış güvenirlik dağılımını bozan gözlemler ve algılayabilirlik dağılımını bozan istasyon noktaları için ağın gereksinimlerini karşılayacak bir dış güvenirlik ve algılayabilirlik dağılımı kestirildi. Bu uygulama için, tarafımdan C++ programlama dilinde geliştirilen `dgv_alg.cpp` ve `srbst_d.cpp` programları kullanıldı.

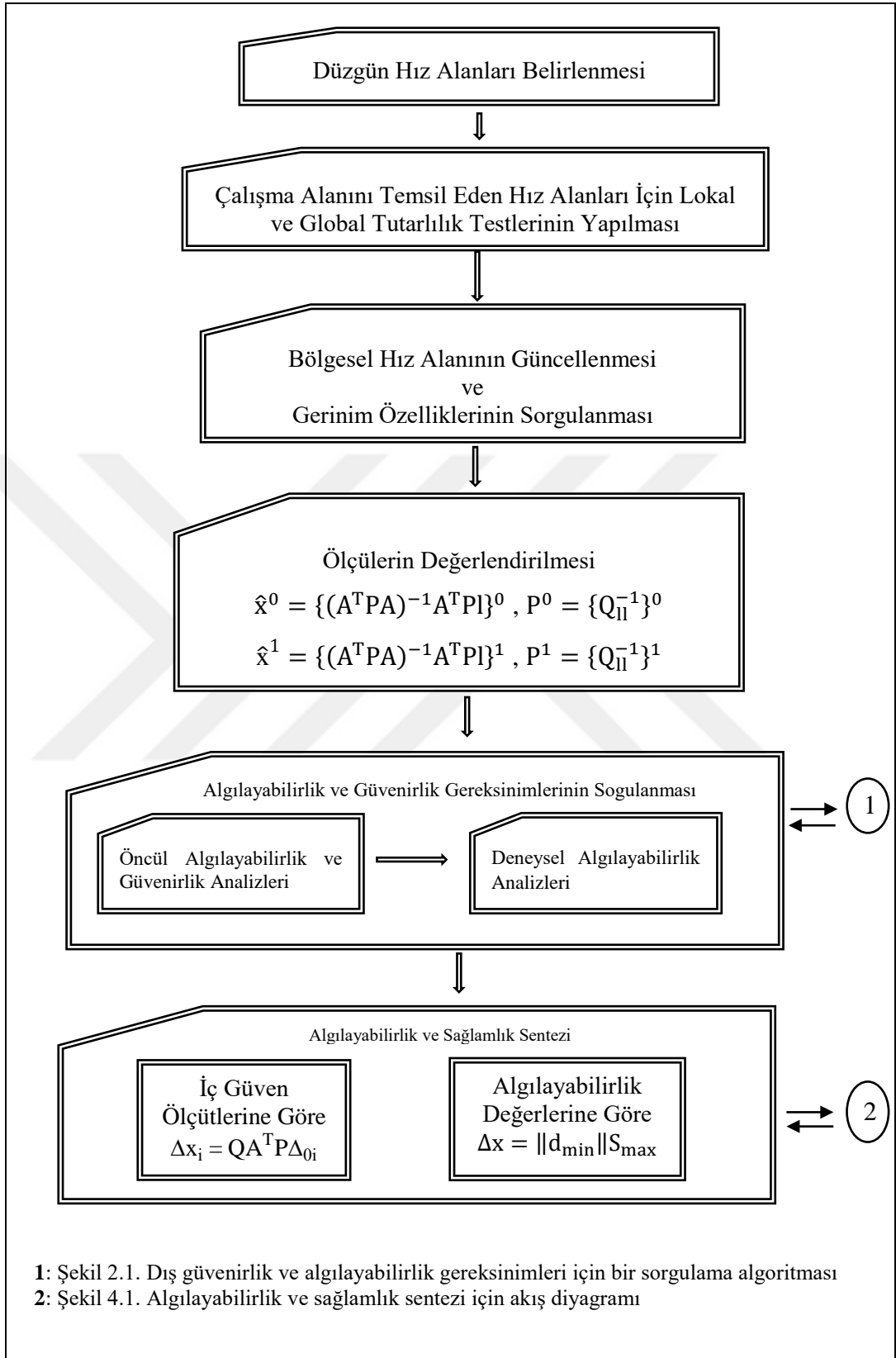
- e) Gözlem süreleri ve gözlem planı ikinci dereceden bir optimizasyon işlemi ile belirlenen İZDOGAP GPS Ağı'nın sürekli gözlem yapan sabit istasyonlar (KOUSAGA) ile genişletildi. Genişletilmiş bu ağın dış güvenilirlik ve algılayabilirlik dağılımına katkıları araştırıldı. Bu uygulama için, tarafımdan C++ programlama dilinde geliştirilen `dgv_alg.cpp` ve `srbst_d.cpp` programları kullanıldı.
- f) Üst dereceden ağ noktalarına dayalı olarak İZDOGAP GPS Ağı'na hız taşındı. Güncellenen bölgesel hız alanının karakteri özel afinlik testleri ile analiz edildi. Bu uygulama için tarafımdan C++ programlama dilinde geliştirilen `b_hiz.cpp` programı ve danışman hocam Prof. Dr. Haluk Konak tarafından FORTRAN programlama dilinde geliştirilen `afinrob.FOR` programı kullanıldı.
- g) İZDOGAP-GPS Ağı için sağlamlık irdelemesi işlemleri gerçekleştirildi ve algılayabilirlik değerleri ile karşılaştırıldı (Şekil 6.5). Bu uygulama için, tarafımdan C++ programlama dilinde geliştirilen `srbst_d.cpp` ve `3B_rbstness.cpp` programları kullanıldı.

#### **6.1.1. Referans sistemleri arasındaki tutarlılık testleri**

Kocaeli İZDOGAP GPS ağının üst dereceden IGS-TUSAGA kontrol ağı noktaları ile izlenmesi amacıyla çalışma alanını temsil eden iki ayrı veri seti kullanılmıştır. Kullanılan bu veri setleri yardımı ile elde edilen hız alanları kullanılarak, çalışma alanı için global ve lokal anlamda tutarlılık testleri uygulanmıştır.

Global anlamda tutarlılık testleri için kullanılan veri seti; ITRF çözümleri için yayımlanan, farklı ölçüm teknikleri ile elde edilen IGS (Simeis, Matera, Ankara) noktalarına ait koordinat ve hız bilgileridir (URL-6, 2017).

Lokal anlamda tutarlılık testleri için kullanılan veri seti ise; 10 IGS (NOT1, MATE, ORID, BUCU, ISTA, ANKR, TUBI, NICO, CRAO ve ZECK) ve 11 TUSAGA-Aktif (TEKR, BAND, BURS, ISTN, SLEE, IZMT, BILE, HEND, NAHA, BOLU ve ZONG) istasyonlarına ait üç yıllık rinex verilerinin GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilmesi sonucu elde edilen düzgün hız ve koordinat bilgileridir.



Şekil 6.5. Bir gerinim izleme ve kalite sorgulama stratejisi

### 6.1.1.1. Global tutarlılık testleri

Global tutarlılık testleri için kullanılan Simeis-Matera-Ankara istasyon noktalarının, GNSS, GPS, SLR ve VLBI teknikleri ile ITRF2008, ITRF2005, ITRF2000, ITRF1997, ITRF1996 ve ITRF1994 referans sistemlerinde yayımlanmış hız ve koordinat bilgileri kullanılmıştır (URL-6, 2017). Simeis-Matera-Ankara üçgensel alanı için hesaplanacak gerinim elemanları dört farklı durum için elde edilmiştir. Buna göre;

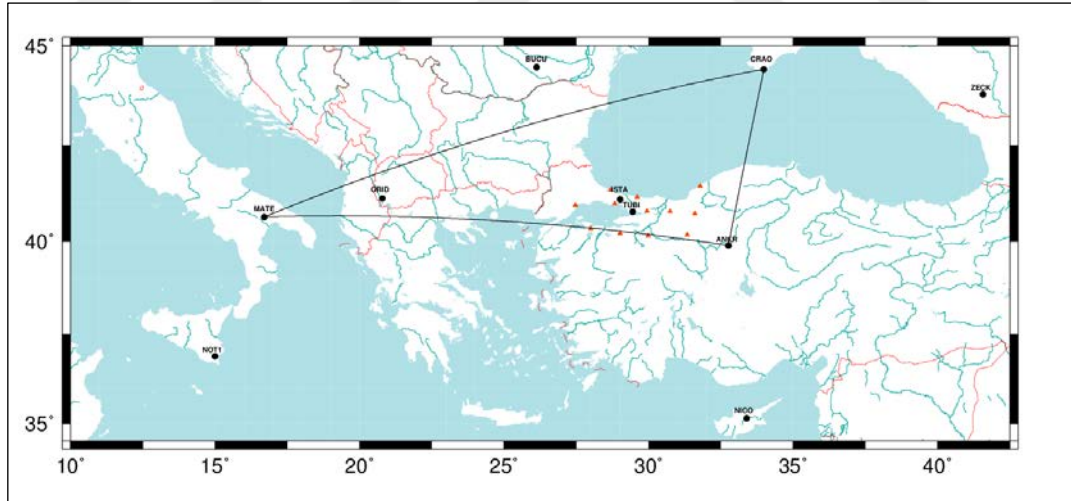
- 1. DURUM: Ankara istasyonunun GNSS, GPS ve SLR teknikleri ile, Matera ve Simeis istasyonu için VLBI teknikleri ile üretilmiş konum ve hız bilgileri kullanılmıştır (Tablo 6.1).
- 2. DURUM: Ankara, Simeis ve Matera IGS istasyonlarının yalnızca SLR tekniği ile üretilmiş ve yayınlanmış, konum ve hız bilgileri kullanılmıştır (Tablo 6.1).
- 3. DURUM: Kullanılan konum ve hız bilgileri, Ankara istasyonu için yayımlanan SLR çözümlerinden, Simeis ve Matera istasyonları için ise yayımlanan VLBI çözümlerinden elde edilmiştir (Tablo 6.1).
- 4. DURUM: Matera, Ankara ve Simeis istasyonlarının yayımlanan, SLR, VLBI, GNSS ve GPS çözüm tekniklerinden elde edilen, en iyi standart sapma değerine sahip çözüm, gerinim hesaplamaları için seçilmiştir (Tablo 6.1).

Farklı ölçme teknikleri ile elde edilen koordinat ve hız bilgileri kullanılarak Simeis-Matera-Ankara üçgensel alanı için 6 farklı ITRF sisteminde iki boyutlu gerinim bilgileri, tarafımdan geliştirilen 2B\_grnm.cpp programı ile elde edilmiştir (Şekil 6.6, Tablo 6.2).

Farklı durumlar için elde edilen gerinim tensör elemanları ve özalan bileşenleri kullanılarak çalışma alanını temsil eden Ankara-Simeis-Matera üçgensel alanı için global anlamda tutarlılık testleri, tarafımdan geliştirilen ttr.cpp programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı durumlar için kullanılan hız bilgilerinin birbirleri ile uyumlu olup olmadıkları model hipotez testi, parametre anlamlılık testleri ve benzerlik oran testleri ile sınanmıştır (Tablo 6.3, Tablo 6.4 ve Tablo 6.5).

Tablo 6.1. IGS İstasyonları için kullanılan çözüm teknikleri

1. DURUM												
İstasyon Adı	ITRF 2008		ITRF 2005		ITRF 2000		ITRF 1997		ITRF 1996		ITRF 1994	
	Teknik	ID	Teknik	ID	Teknik	ID	Teknik	ID	Teknik	ID	Teknik	ID
Ankara	GNSS	(6)	GPS	(4)	GPS	(1)	GPS		GPS		SLR	7589
Simeis	VLBI	7332	VLBI	7332	VLBI	7332	VLBI	7332	VLBI	7332	VLBI	7332
Matera	VLBI	7243	VLBI	7243	VLBI	7243	VLBI	7243	VLBI	7243	VLBI	7243
2. DURUM												
İstasyon Adı	ITRF 2008		ITRF 2005		ITRF 2000		ITRF 1997		ITRF 1996		ITRF 1994	
	Teknik	ID	Teknik	ID	Teknik	ID	Teknik	ID	Teknik	ID	Teknik	ID
Ankara	SLR	7589	SLR	7589	SLR	7589	SLR	7589	SLR	7589	SLR	7589
Simeis	SLR	1873	SLR	1873	SLR	1873	SLR	1873	SLR	1873	SLR	1873
Matera	SLR	7541	SLR	7541	SLR	7541	SLR	7541	SLR	7541	SLR	7541
3. DURUM												
İstasyon Adı	ITRF 2008		ITRF 2005		ITRF 2000		ITRF 1997		ITRF 1996		ITRF 1994	
	Teknik	ID	Teknik	ID	Teknik	ID	Teknik	ID	Teknik	ID	Teknik	ID
Ankara	SLR	7589	SLR	7589	SLR	7589	SLR	7589	SLR	7589	SLR	7589
Simeis	VLBI	7332	VLBI	7332	VLBI	7332	VLBI	7332	VLBI	7332	VLBI	7332
Matera	VLBI	7243	VLBI	7243	VLBI	7243	VLBI	7243	VLBI	7243	VLBI	7243
4. DURUM												
İstasyon Adı	ITRF 2008		ITRF 2005		ITRF 2000		ITRF 1997		ITRF 1996		ITRF 1994	
	Teknik	ID	Teknik	ID	Teknik	ID	Teknik	ID	Teknik	ID	Teknik	ID
Ankara	GNSS	(6)	GPS	(4)	GPS	(1)	GPS		GPS		SLR	7589
Simeis	GNSS		VLBI	7332	VLBI	7332	VLBI	7332	SLR	7561	SLR	7561
Matera	VLBI	7243	VLBI	7243	VLBI	7243	VLBI	7243	VLBI	7243	VLBI	7243



Şekil 6.6. IGS-TUSAGA kontrol ağında global tutarlılık testleri için kullanılan Simeis-Matera-Ankara üçgensel alanı

Tablo 6.2. Farklı ITRF sistemleri için elde edilen gerinim tensör ve özalan bileşenleri

ITRF	1. Durumda Ankara-Matera-Simeis Üçgeni					
	Gerinim Tensör Bileşenleri			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$ (nanostrain)	$e_{xy}$ (nanostrain)	$e_{xx}$ (nanostrain)	$\lambda_1$ (nanostrain)	$\lambda_2$ (nanostrain)	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	-15,0730	21,2515	2,4051	16,6443	-29,3121	33,8233
ITRF2005	-15,3527	21,4878	1,8323	16,3819	-29,9023	34,1024
ITRF2000	-14,2219	19,1095	0,9852	13,9483	-27,1849	34,1513
ITRF1997	-12,7446	15,2068	2,8126	12,1148	-22,0468	31,4546
ITRF1996	-14,9090	19,0889	-4,4782	10,0950	-29,4822	37,3594
ITRF1994	-18,7438	-6,9042	-1,7110	0,7360	-21,1908	19,5157
Epoklar	2. Durumda Ankara-Matera-Simeis Üçgeni					
	Gerinim Tensör Bileşenleri			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$ (nanostrain)	$e_{xy}$ (nanostrain)	$e_{xx}$ (nanostrain)	$\lambda_1$ (nanostrain)	$\lambda_2$ (nanostrain)	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	-24,2612	23,4053	64,1381	69,9526	-30,0757	13,9514
ITRF2005	-3,7967	-0,7362	-6,2347	-3,5917	-6,4397	15,5650
ITRF2000	-14,2344	19,0400	0,9789	13,8755	-27,1310	34,1114
ITRF1997	-12,7551	15,1485	2,8014	12,0519	-22,0056	31,4104
ITRF1996	-14,9217	19,0197	-4,4637	10,0326	-29,4181	37,3138
ITRF1994	-19,5184	-6,5991	-1,5574	0,6065	-21,6823	18,1548
Epoklar	3. Durumda Ankara-Matera-Simeis Üçgeni					
	Gerinim Tensör Bileşenleri			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$ (nanostrain)	$e_{xy}$ (nanostrain)	$e_{xx}$ (nanostrain)	$\lambda_1$ (nanostrain)	$\lambda_2$ (nanostrain)	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	-24,2618	23,0218	79,8879	84,7498	-29,1237	11,9249
ITRF2005	-3,4464	-1,1772	27,8548	27,8990	-3,4907	2,1508
ITRF2000	-14,2222	19,1100	0,9852	13,9487	-27,1857	34,1514
ITRF1997	-12,7450	15,1747	2,8127	12,0862	-22,0185	31,4296
ITRF1996	-14,9095	19,0569	-4,4784	10,0638	-29,4517	37,3469
ITRF1994	-18,7439	-6,9368	-1,7110	0,7565	-21,2115	19,5817
Epoklar	4. Durumda Ankara-Matera-Simeis Üçgeni					
	Gerinim Tensör Bileşenleri			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$ (nanostrain)	$e_{xy}$ (nanostrain)	$e_{xx}$ (nanostrain)	$\lambda_1$ (nanostrain)	$\lambda_2$ (nanostrain)	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	-15,2222	19,9526	-0,0919	13,6816	-28,9957	34,6178
ITRF2005	-15,3527	21,4878	1,8323	16,3819	-29,9023	34,1024
ITRF2000	-14,2219	19,1095	0,9852	13,9483	-27,1849	34,1513
ITRF1997	-12,7461	15,2065	2,8126	12,1141	-22,0477	31,4533
ITRF1996	-14,9189	19,0087	-4,4619	10,0243	-29,4050	37,3103
ITRF1994	-18,7428	-6,8962	-1,6979	0,7428	-21,1835	19,4895

Ankara-Simeis-Matera istasyonlarının SLR, VLBI, GNSS ve GPS ölçü tekniklerinde ve ITRF2008, ITRF2005, ITRF2000, ITRF1997, ITRF1996 ve ITRF1994 sistemlerinde elde edilen koordinat ve hız bilgileri çeşitli kombinasyonlarda kullanılarak bu istasyonlardan oluşan üçgensel alan için gerinim tensör elemanları hesaplanmıştır.

Dört farklı koşulda ve 6 farklı ITRF sisteminde elde edilen gerinim tensör elemanları kullanılarak simetrik özellikli rasgele tensörler için tutarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak model hipotezinin geçerliliği istatistiksel anlamda test edilmiştir. Buna göre dört farklı koşulda da model hipotezi geçerli çıkmıştır (Tablo 6.3).

Uygulanan özalan parametrelerinin anlamlılık testlerinde, 3. durumda elde edilen özalan parametrelerinden ( $\lambda_2$  ve  $\alpha$ ) değerleri için sıfır hipotezi geçersiz çıkmıştır (Tablo 6.4). Bu durumda 3. Durum için farklı ITRF sistemlerinde elde edilen özalan parametrelerinin ( $\lambda_2$  ve  $\alpha$ ) birbirleri ile uyumlu olmadığı yorumu yapılmaktadır.

Normlandırılmış özalan parametrelerinin anlamlılık testlerinde ise test edilen her durum için sıfır hipotezi ( $\alpha$ ) yanılma olasılığı ile geçerli çıkmıştır (Tablo 6.4).

Benzerlik oran testleri, iki durumda yapılmaktadır. Birinci durumda özalan parametrelerinin varyans-kovaryans matrisi kullanılmış, ikinci durumda ise özalan parametreleri ile bunlara ait varyans kovaryans matrisi birlikte kullanılmıştır. Özalan parametrelerinin varyans-kovaryans matrisi kullanılarak yapılan benzerlik oran testleri:

- $\Sigma_0 = \text{diag}(\Sigma_y - 0.1)$
- $\Sigma_0 = E$

koşulları için uygulanmıştır. Buna göre ölçüt (kriter) matrisinin birim matris seçilmesi durumunda sıfır hipotezi  $\alpha$  yanılma olasılığı ile geçersiz çıkmıştır (Tablo 6.5).

Benzerlik oran testlerinin, özalan parametreleri ve bunlara ait varyans-kovaryans matrislerinin kullanılarak yapılması durumunda 1. ve 4. durum için sıfır hipotezi  $\alpha$  yanılma olasılığı ile geçersiz çıkmıştır (Tablo 6.5).

Tablo 6.3. Global hız alanı model hipotezi testi

Simeis-Ankara-Matera Üçgensel Alanı			
DURUM NO	Test Değeri	Sınır Değer	Yorum
1	17,8387	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.
2	13,4485	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.
3	10,6417	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.
4	14,9530	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.

Tablo 6.4. Global hız alanı parametre anlamlılık testleri

Özalan Parametrelerinin Anlamlılık Testleri												
DURUM NO	Alt Sınır	$\lambda_1$	Üst Sınır	Yorum	Alt Sınır	$\lambda_2$	Üst Sınır	Yorum	Alt sınır	$\alpha$	Üst Sınır	Yorum
1. Durum	-0,1419	0,9334	2,1608	Sfır Hipotezi Geçerlidir.	-3,8315	-2,4200	-2,0650	Sfır Hipotezi Geçerlidir.	0,4825	0,5455	0,8216	Sfır Hipotezi Geçerlidir.
2. Durum	-1,9316	1,3903	3,9382	Sfır Hipotezi Geçerlidir.	-3,9521	-1,9541	-1,9315	Sfır Hipotezi Geçerlidir.	0,3337	0,3811	0,9688	Sfır Hipotezi Geçerlidir.
3. Durum	-2,3782	2,1164	4,3909	Sfır Hipotezi Geçerlidir.	<b>-4,0325</b>	<b>-1,8327</b>	<b>-1,8579</b>	<b>Sfır Hipotezi Geçersizdir.</b>	<b>0,3410</b>	<b>0,3070</b>	<b>0,9626</b>	<b>Sfır Hipotezi Geçersizdir.</b>
4. Durum	-0,1153	0,8824	2,1201	Sfır Hipotezi Geçerlidir.	-3,8205	-2,4128	-2,0605	Sfır Hipotezi Geçerlidir.	0,4788	0,5474	0,8236	Sfır Hipotezi Geçerlidir.
Normlandırılmış Özalan Parametrelerinin Anlamlılık Testleri												
DURUM NO	Alt Sınır	$\eta_1$	Üst Sınır	Yorum	Alt Sınır	$\eta_2$	Üst Sınır	Yorum	Alt Sınır	$\eta_3$	Üst Sınır	Yorum
1. Durum	0,0756	0,1109	0,1461	Sfır Hipotezi Geçerlidir.	-2,0145	-1,7757	-1,5368	Sfır Hipotezi Geçerlidir.	-4,0812	-2,6402	-1,1993	Sfır Hipotezi Geçerlidir.
2. Durum	-0,2510	-0,0429	0,1652	Sfır Hipotezi Geçerlidir.	-3,4865	-2,7197	-1,9529	Sfır Hipotezi Geçerlidir.	-4,6563	-1,6390	1,3783	Sfır Hipotezi Geçerlidir.
3. Durum	-0,0698	0,1207	0,3113	Sfır Hipotezi Geçerlidir.	-3,9539	-2,9038	-1,8538	Sfır Hipotezi Geçerlidir.	-4,6954	-1,2903	2,1149	Sfır Hipotezi Geçerlidir.
4. Durum	0,0914	0,1233	0,1552	Sfır Hipotezi Geçerlidir.	-1,9786	-1,7371	-1,4957	Sfır Hipotezi Geçerlidir.	-4,0659	-2,6538	-1,2417	Sfır Hipotezi Geçerlidir.



Tüm koşullar için uygulanan testlerin incelenmesi sonucunda 2. durumda diğer bir ifade ile Ankara-Simeis-Matera istasyonlarının SLR tekniği ile üretilmiş koordinat ve hız bilgilerinin kullanılmasının global anlamda tutarlılık testleri sonucuna göre en uygun koşul olduğu tablo 6.6’da açıkça görülmektedir.

Tablo 6.5. Global hız alanı benzerlik oran testleri

Özalan Parametrelerinin Varyans-Kovaryans Matrisi Kullanılarak Benzerlik Oran Testi						
DURUM NO	$(\Sigma_0=\text{diag}(\Sigma_y-0,1))$ 'e Benzerlik			Birim Matrise Benzerlik ( $\Sigma_0=E$ )		
	Test Değeri	Sınır Değer	Yorum	Test Değeri	Sınır Değer	Yorum
1. Durum	-20,37	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	25,03	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.
2. Durum	0,98	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	28,19	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.
3. Durum	0,33	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	39,96	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.
4. Durum	-15,72	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	26,07	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.
Özalan Parametreleri ve Özalan Parametrelerinin Varyans-Kovaryans Matrisi Kullanılarak Benzerlik Oran Testi						
DURUM NO	$\text{diag}(\Sigma_0=\Sigma_y-0,1)$ 'e Benzerlik					
	Test Değeri	Sınır Değer	Yorum			
1. Durum	<b>-64,66</b>	<b>-166,26</b>	<b>Sıfır Hipotezi Geçersizdir.</b>			
2. Durum	19,41	49,90	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.			
3. Durum	11,71	30,11	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.			
4. Durum	<b>-44,80</b>	<b>-115,18</b>	<b>Sıfır Hipotezi Geçersizdir.</b>			

Tablo 6.6. Global hız alanı tutarlılık testleri özet tablosu

Durum No	Model Hipotezi	Parametre Anlamlılık Testleri						Benzerlik Oran Testleri		
								$\Sigma_y$ kullanılarak		$\xi$ ve $\Sigma_y$ kullanılarak
		$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$	$\eta_1$	$\eta_2$	$\eta_3$	$\text{diag}(\Sigma_0 = \Sigma_y - 0,1)$	$\Sigma_0=E$	$\text{diag}(\Sigma_0=\Sigma_y-0,1)$
1. Durum	+	+	+	+	+	+	+	-	-	
2. Durum	+	+	+	+	+	+	+	-	+	
3. Durum	+	+	-	-	+	+	+	-	+	
4. Durum	+	+	+	+	+	+	+	-	-	

+ : Sıfır Hipotezi Geçersiz Sayılmaz.  
- : Sıfır Hipotezi Geçersizdir.

### 6.1.1.2. Lokal tutarlılık testleri

Lokal tutarlılık testleri için Kocaeli İZDOGAP GPS ağıının yer aldığı bölgeyi temsil eden, 10 IGS (NOT1, MATE, ORID, BUCU, ISTA, ANKR, TUBI NICO, CRAO ve ZECK) ve 11 TUSAGA-Aktif (TEKR, BAND, BURS, ISTN, SLEE, IZMT, BILE, HEND, NAHA, BOLU ve ZONG) istasyonu belirlendi (KOUSAGA). Bu istasyonlara ait 2009, 2010 ve 2011 yıllarını kapsayan 3 yıllık rinex verileri SOPAC arşivinden ve Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü'nden temin edildi.

KOUSAGA istasyon noktalarına ait rinex verileri yıl bazında GAMIT modülü kullanılarak günlük olarak değerlendirildi. Bu değerlendirme işlemleri için “gsoln” dizini altında 2 tane komut dosyası oluşturuldu. Bunlar “globk\_comb.cmd” ve “glorg\_comb.cmd” dosyalarıdır. “globk\_comb.cmd” komut dosyası ile hangi çıkış dosyaslarının yazdırılacağı belirlenir ve öncül değerler atanır. “glorg\_comb.cmd” komut dosyası ile koordinat bilgilerinin hesaplanması için kullanılacak datum noktaları belirlenir (Şekil 6.7-a ve Şekil 6.7-b). “gsoln” dizininde yapılan hesaplamalarda herhangi bir veri ayıklama işlemi gerçekleştirilmez. Bu çalışma için “ankr”, “tubi”, “nico”, “zeck”, “crao” ve “mate” istasyonları koordinat bilgilerinin belirlenmesinde datum noktası olarak seçilmiştir.

Her yıl için ayrı ayrı açılan dizinlerde rinex verileri günlük olarak değerlendirildikten sonra GLOBK modülü ile ikilik sistemdeki h-dosyaları birleştirilerek istasyon noktalarının yıllık hız alanları belirlenmiştir. GLOBK modülünün çalışabilmesi için yıl bazında oluşturulan dizinlerin içinde “globk” dizini açıldı. “globk” dizini içerisinde “globk\_comb.cmd” ve “glorg\_comb.cmd” komut dosyaları oluşturuldu. “globk\_comb.cmd” komut dosyası ile hız bilgisi hesaplanırken kullanılacak datum noktaları için öncül değerler ve hangi çıkış dosyasının yazdırılacağı belirlendi. Yıllık hız alanlarının belirlenmesi işlemlerinde “mate”, “crao” ve “zeck” istasyonları hareketsiz olarak kabul edildi (Şekil 6.7-b ve Şekil 6.7-c).

```

pakize@polaris: ~/tezz/itrf_08/saga/2011/gsoln
* Globk command file to combine solutions
make_svs comb.svs Z
com_file comb.com
srt_file 2011_fxd.gdl
apr_file ../tables/lfile.

max_chii 13 3

in_pmu ../tables/pmu.usno
prt_opt GDLF CMDS BLEN BRAT PSUM VSUM COVA
org_opt PSUM CMDS GDLF COVA
org_cmd glorg_comb.cmd

apr_neu all 10 10 10 1 1 1
apr_svs all .05 .05 .05 .005 .005 .005
apr_wob 10 10 0 0
apr_utl 10 0

# out_glb H-----_2011.GLX
descr Combination of ALL networks

```

(a)

```

pakize@polaris: ~/tezz/itrf_08/saga/2011/gsoln
Standard glorg coordinate solution processing

pos_org xtran ytran ztran xrot yrot zrot
rate_org xrot yrot zrot xtran ytran ztran
cnd_hgt 10 10

stab_it 10

stab_site clear
stab_site ankr nico tubi zeck crao mate
~

```

(b)

```

pakize@polaris: ~/tezz/itrf_08/saga/2011/globk
* Globk command file to combine solutions
make_svs comb.svs Z
com_file comb.com
srt_file 2011_fxd.gdl
apr_file ../tables/lfile.

max_chii 13 3

in_pmu ../tables/pmu.usno
prt_opt GDLF CMDS BLEN BRAT PSUM VSUM COVA
org_opt PSUM CMDS GDLF
org_cmd glorg_comb.cmd

apr_neu all 10 10 10 1 1 1
apr_neu mate .001 .001 .001 0 0 0
apr_neu crao .001 .001 .001 0 0 0
apr_neu zeck .001 .001 .001 0 0 0
apr_svs all .05 .05 .05 .005 .005 .005
apr_wob 10 10 0 0
apr_utl 10 0

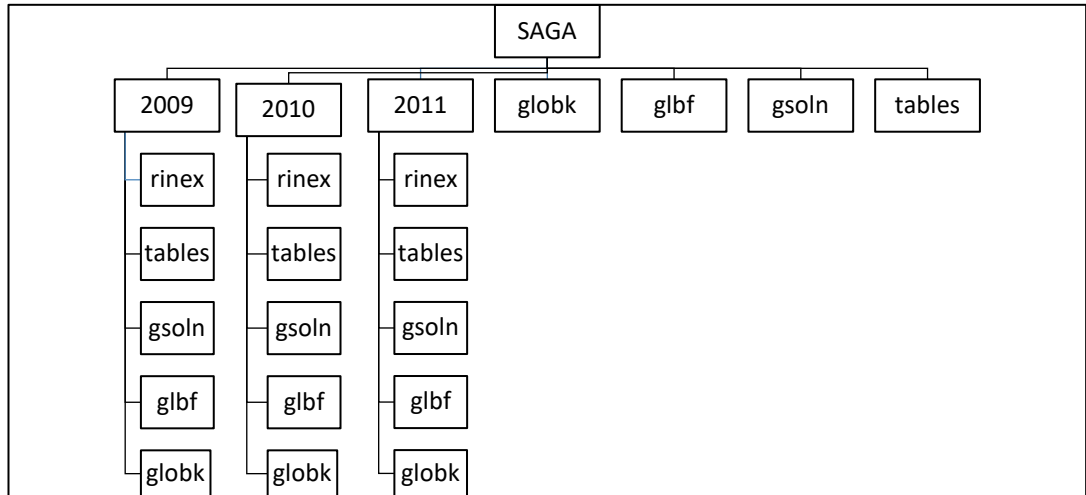
# out_glb H-----_2011.GLX
descr Combination of ALL networks

```

(c)

Şekil 6.7. GAMIT/GLOBK günlük çözümler için komut satırları

Bu koşullar altında değerlendirilen ve hız alanları çizdirilen istasyon noktalarının standart sapma (nrms-normlandırılmış standart sapma, wrms-ağırlıklı standart sapma) değerleri incelendi. Bununla birlikte istasyon noktaları, sinyal kopmaları ve veri yoğunluğu bakımından da gözden geçirildi. Yapılan değerlendirme işlemlerine göre düzgün hız ve koordinat bilgilerinin hesaplanması için kullanılacak olan datum noktaları kesinleştirildi. Düzgün hız alan bilgilerinin elde edilmesi için oluşturulacak dizin yapısı şekil 6.8’de gösterilmektedir. Buna göre, 2009, 2010 ve 2011 yıllarında rinex verilerinin değerlendirilmesiyle elde edilen tüm ikilik sistemdeki h-dosyaları, SAGA dizini altında oluşturulan “glbf” dizininde toplanmıştır. “gsoln” dizininde komut dosyaları “globk\_comb.cmd” ve “glorg\_comb.cmd” oluşturulmuştur ve bu komut dosyaları yardımı ile 3 yıllık koordinat ve hız bilgileri elde edilmiştir (Şekil 6.9-a ve Şekil 6.9-b). Buna göre koordinatlar belirlenirken kullanılan datum noktaları “not1”, “ista”, “bucu”, “nico”, “tubi”, “zeck”, “crao” ve “mate” olarak seçilmiştir. Hesaplanan bu değerler kullanılarak “globk” dizininde, istasyon noktalarına ait bir hız alanı için zaman serileri elde edilmiştir. İstasyon noktaları için hız alanları hesaplanırken “mate” istasyon noktasının hızı sabit olarak seçilmiştir ve buna göre “mate” istasyonuna göre diğer istasyon noktalarının bağıl hızları elde edilmiştir (Şekil 6.9-c).



Şekil 6.8. GAMIT/GLOBK dizin çizelgesi

```
pakize@polaris: ~/tezz/itrf_08/saga/gsoln
Globk command file to combine solutions
make_svs comb.svs Z
com_file comb.com
srt_file saga.gdl
apr_file ../tables/lfile.

max_chii 1000 10000

in_pmu ~/gg/tables/pmu.usno
prt_opt GDLF CMDS BLEN BRAT PSUM VSUM
org_opt PSUM CMDS GDLF
org_cmd glorg_comb.cmd

apr_neu all 10 10 10 0 0 0
apr_svs all .05 .05 .05 .005 .005 .005
apr_wob 10 10 0 0
apr_utl 10 0

# out_glb H-----_saga.GLX
descr Combination of ALL networks
```

(a)

```
pakize@polaris: ~/tezz/itrf_08/saga/gsoln
Standard glorg coordinate solution processing

pos_org xtran ytran ztran xrot yrot zrot
rate_org xrot yrot zrot xtran ytran ztran
cnd_hgt 10 10

stab_it 10

stab_site clear
stab_site not1 ista bucu nico tubi zeck crao mate
~
~
~
~
```

(b)

```
pakize@polaris: ~/tezz/itrf_08/saga/globk
Globk command file to combine solutions
make_svs comb.svs Z
com_file comb.com
srt_file saga.gdl
apr_file ../tables/lfile.

max_chii 1000 10000

in_pmu ~/gg/tables/pmu.usno
prt_opt GDLF CMDS BLEN BRAT PSUM VSUM
org_opt PSUM CMDS GDLF
org_cmd glorg_comb.cmd

apr_neu all 10 10 10 1 1 1
apr_neu mate .001 .001 .001 0 0 0
apr_svs all .05 .05 .05 .005 .005 .005
apr_wob 10 10 0 0
apr_utl 10 0

# out_glb H-----_saga.GLX
descr Combination of ALL networks
~
```

(c)

Şekil 6.9. GAMIT/GLOBK 3 yıllık çözümler için komut dosyaları

Böylece, GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılarak IGS-TUSAGA Kontrol Ağı için 3 yıllık düzgün hız ve koordinat bilgileri ITRF2008 sisteminde elde edilmiştir (Ek-1a, Ek-1b).

ITRF2008 sisteminden önceki ITRF sistemlerine dönüşüm için yayımlanmış olan dönüşüm parametreleri kullanılarak ITRF2005, ITRF2000, ITRF1997, ITRF1993 ve ITRF1992 sistemlerinde konum ve hız bilgileri itr\_f\_dnsn.cpp programı kullanılarak elde edilmiştir (URL-7, 2017). Farklı ITRF sistemlerinden elde edilen koordinat ve hız bilgileri için bir analiz yapılmak istendiği için, ITRF sistemlerinden elde edilen sonuçlar ETRS sistemine itr\_f\_dnsn.cpp programı ile dönüştürülmüştür. Bu işlemler için ITRF sistemlerinden ETRS sistemlerine dönüşüm parametreleri kullanılmıştır (Tablo 6.7 ve Tablo 6.8) (Boucher ve Altamimi, 2011).

Tablo 6.7. ITRF2008'den önceki sistemlere dönüşüm elemanları (Boucher ve Altamimi, 2011).

ITRF	Tx(mm)	Ty(mm)	Tz(mm)	D(ppb)	Rx(.001'')	Ry(.001'')	Rz(.001'')
	$\dot{T}_x$ (mm/y)	$\dot{T}_y$ (mm/y)	$\dot{T}_z$ (mm/y)	$\dot{D}$ (ppb/y)	$\dot{R}_x$ (.001''/y)	$\dot{R}_y$ (.001''/y)	$\dot{R}_z$ (.001''/y)
ITRF2005	-2,0	-0,9	-4,7	0,94	0,00	0,00	0,00
	0,3	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
ITRF2000	-1,9	-1,7	-10,5	1,34	0,00	0,00	0,00
	0,1	0,1	-1,8	0,08	0,00	0,00	0,00
ITRF1997	4,8	2,6	-33,2	2,92	0,00	0,00	0,06
	0,1	-0,5	-3,2	0,09	0,00	0,00	0,02
ITRF1993	-24,0	2,4	-38,6	3,41	-1,71	-1,48	-0,30
	-2,8	-0,1	-2,4	0,09	-0,11	-0,19	0,07
ITRF1992	12,8	4,6	-41,2	2,21	0,00	0,00	0,06
	0,1	-0,5	-3,2	0,09	0,00	0,00	0,02

Tablo 6.8. ITRF sistemlerinden ETRS sistemlerine dönüşüm parametreleri (Boucher ve Altamimi, 2011).

ITRF	Tx(mm)	Ty(mm)	Tz(mm)	D(ppb)	Rx(.001'')	Ry(.001'')	Rz(.001'')
	$\dot{T}_x$ (mm/y)	$\dot{T}_y$ (mm/y)	$\dot{T}_z$ (mm/y)	$\dot{D}$ (ppb/y)	$\dot{R}_x$ (.001''/y)	$\dot{R}_y$ (.001''/y)	$\dot{R}_z$ (.001''/y)
ITRF2008	52,1	49,3	-58,5	1,34	0,891	5,390	-8,712
	0,1	0,1	-1,8	0,08	0,081	0,490	-0,792
ITRF2005	54,1	50,2	-53,8	0,40	0,891	5,390	-8,712
	-0,2	0,1	-1,8	0,08	0,081	0,490	-0,792
ITRF2000	54,0	51,0	-48,0	0,00	0,891	5,390	-8,712
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,081	0,490	-0,792
ITRF1997	47,3	46,7	-25,3	-1,58	0,891	0,490	-0,812
	0,0	0,6	1,4	-0,01	0,081	0,490	-0,812
ITRF1993	76,1	46,9	-19,9	-2,07	2,601	6,870	-8,412
	2,9	0,2	0,6	-0,01	0,191	0,680	-0,862
ITRF1992	39,3	44,7	-17,3	-0,87	0,891	5,390	-8,772
	0,0	0,6	1,4	-0,01	0,081	0,490	-0,812

Lokal tutarlılık testleri için İZDOGAP çalışma alanını temsil eden, 2 IGS (TUBI ve ISTA) ve 11 TUSAGA-Aktif (TEKR, BAND, BURS, ISTN, SLEE, IZMT, BILE, HEND, NAHA, BOLU ve ZONG) istasyonunu içeren KOUSAGA ağı oluşturulmuştur (Şekil 6.10). KOUSAGA ağında delaunay üçgenlemesi ile edilen yüzeyler için, 6 farklı ITRF sisteminde elde edilen koordinat ve hız bilgileri kullanılarak iki boyutlu alansal gerinim bilgileri, 2B\_grnm.cpp programından yararlanılarak elde edilmiştir (Ek-2a).

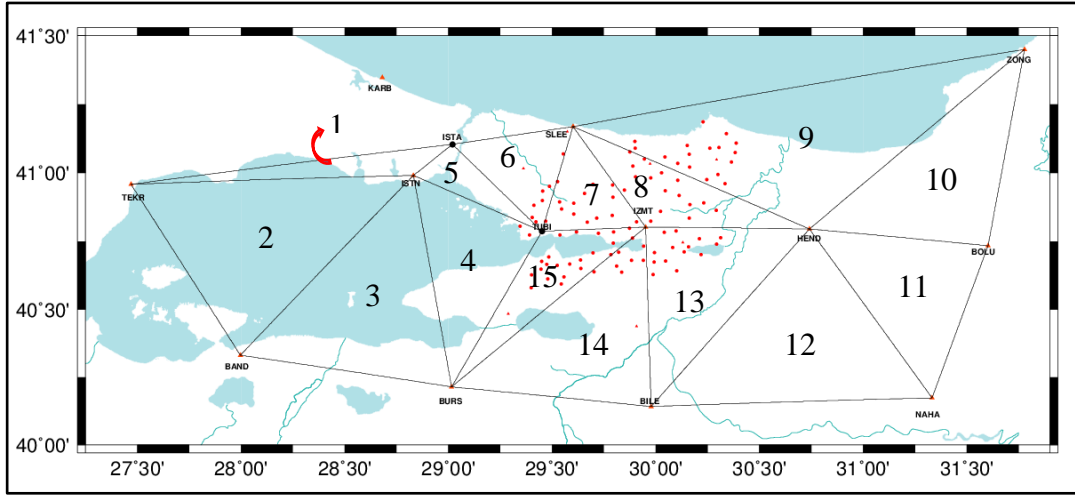
KOUSAGA GPS ağında, her delaunay üçgeni için hesaplanan gerinim tensör ve özalan bileşenleri kullanılarak lokal anlamda tutarlılık testleri ttr.cpp programı ile gerçekleştirilmiştir. Buna göre her delaunay üçgeni için model hipotezi geçerli çıkmıştır (Ek-2b). Özalan parametrelerinin anlamlılık testlerinde  $\alpha$  yanılma olasılığı ile sıfır hipotezi geçerli çıkmıştır. Diğer bir ifade ile özalan parametreleri arasında anlamlı bir değişim olmadığı yorumu yapılabilmektedir (Ek-2c). Normlandırılmış özalan parametrelerinin anlamlılık testlerinde her delaunay üçgeni için, sıfır hipotezi  $\alpha$  yanılma olasılığı ile geçerli çıkmıştır (Ek-2d). Özalan parametrelerinin varyans-kovaryans matrisi kullanılarak yapılan benzerlik oran testlerinde, ölçüt matrisinin birim matris seçilmesi durumunda sıfır hipotezi  $\alpha$  yanılma olasılığı ile geçersiz çıkmıştır (Ek-2e). Benzerlik oran testlerinin, özalan parametreleri ve bunlara ait varyans-kovaryans matrislerinin kullanılarak yapılması durumunda ise her delaunay üçgeni için sıfır hipotezi  $\alpha$  yanılma olasılığı ile geçerli çıkmıştır (Ek-2f, Tablo 6.9).

KOUSAGA GPS ağı için uygulanan lokal anlamdaki tutarlılık testleri tablo 6.10'de özetlenmiştir. Buna göre çalışma alanını temsil eden ITRF2008'de tanımlı hız alanı bilgilerinin önceki ITRF sistemlerine dönüştürülmesi sonucunda elde edilen hız alanlarının birbirleri ile uyumlu oldukları sonucuna ulaşılmıştır. Diğer bir ifade ile kullanılan dönüşüm parametreleri arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır.

Tablo 6.9. KOUSAGA GPS ağı lokal hız tutarlılık testleri: TEKR-ISTN-ISTA üçgeni örneği

Epoklar	1 nolu üçgen TEKR-ISTN-ISTA (2001-2004-1005)					
	Gerinim Tensör Bileşenleri ( $\cdot 10^8$ )			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$	$e_{xy}$	$e_{xx}$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	0,7141	0,7797	-17,0838	0,7482	-17,1179	2,5038
ITRF2005	0,7086	0,7798	-17,0862	0,7427	-17,1203	2,5044
ITRF2000	0,7112	0,7791	-17,0695	0,7453	-17,1036	2,5041
ITRF1997	0,7171	0,7835	-17,0487	0,7516	-17,0832	2,5202
ITRF1993	0,7664	0,7795	-17,0380	0,8004	-17,0721	2,5022
ITRF1992	0,7171	0,7835	-17,0487	0,7516	-17,0832	2,5202
Model Hipotezi Testi Tablosu						
Üçgen	Test Değeri	Sınır Değer	Yorum			
TEKR-ISTN-ISTA	0,0136	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.			
Özalan Parametrelerinin Anlamlılık Testleri						
Üçgen	Alt sınır	$\lambda_1$	Üst Sınır	Yorum		
TEKR-ISTN-ISTA	-1,33	0,76	2,93	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.		
Üçgen	Alt sınır	$\lambda_2$	Üst Sınır	Yorum		
TEKR-ISTN-ISTA	-19,36	-17,10	-14,78	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.		
Üçgen	Alt sınır	$\alpha$	Üst Sınır	Yorum		
TEKR-ISTN-ISTA	0,03	0,04	0,05	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.		
Ortonormal Dönüşüm Matrisi Elemanlarının Anlamlılık Testleri						
Üçgen	Alt sınır	$\eta_1$	Üst Sınır	Yorum		
TEKR-ISTN-ISTA	-0,01	-0,01	-0,00	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.		
Üçgen	Alt sınır	$\eta_2$	Üst Sınır	Yorum		
TEKR-ISTN-ISTA	-15,02	-12,15	-9,28	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.		
Üçgen	Alt sınır	$\eta_3$	Üst Sınır	Yorum		
TEKR-ISTN-ISTA	-13,27	-12,02	-10,77	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.		
Özalan Parametrelerinin Varyans-Kovaryans Matrisi Kullanılarak Uygulanan Benzerlik Oran Testleri						
Üçgen	$(\text{diag}(\Sigma_0 = \Sigma_y - 0,1))$ 'e Benzerlik			$(\Sigma_0 = E)$ 'e Benzerlik		
	Test Değeri	Sınır Değer	Yorum	Test Değeri	Sınır Değer	Yorum
TEKR-ISTN-ISTA	7,50	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir	40,74	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.
Özalan Parametreleri Ve Özalan Parametrelerinin Varyans-Kovaryans Matrisi Kullanılarak Uygulanan Benzerlik Oran Testleri						
Üçgen	$(\text{diag}(\Sigma_0 = \Sigma_y - 0,1))$ 'e Benzerlik			Yorum		
	Test Değeri	Sınır Değer	Yorum			
TEKR-ISTN-ISTA	10,28	26,43	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.			
Açıklama: Diğer üçgen örnekleri için Ek-2a, Ek-2b, Ek-2c, Ek-2d, Ek-2e, Ek-2f' ye bakılmalı.						





Şekil 6.10. KOUSAGA GPS ağı

Tablo 6.10. KOUSAGA GPS ağı lokal tutarlılık testleri özet tablosu

Üçgen Alanı/No	Model Hip.	Parametre Anlamlılık Testleri						Benzerlik Oran Testleri		
								$\Sigma_y$ kullanılarak		$\xi$ ve $\Sigma_y$ kullanılarak
		$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$	$\eta_1$	$\eta_2$	$\eta_3$	$\Sigma_0 = \text{diag}(\Sigma_y - 0, 1)$	$\Sigma_0 = E$	$\text{diag}(\Sigma_0 = \Sigma_y - 0, 1)$
TEKR-İSTN-İSTA (1)	+	+	+	+	+	+	+	-	+	
BAND-TEKR-İSTN (2)	+	+	+	+	+	+	+	-	+	
İSTN-BURS-BAND (3)	+	+	+	+	+	+	+	-	+	
BAND-İSTN-TUBİ (4)	+	+	+	+	+	+	+	-	+	
İSTA-TUBİ-İSTN (5)	+	+	+	+	+	+	+	-	+	
İSTA-TUBİ-SLEE (6)	+	+	+	+	+	+	+	-	+	
TUBİ-SLEE-İZMT (7)	+	+	+	+	+	+	+	-	+	
SLEE-İZMT-HEND (8)	+	+	+	+	+	+	+	-	+	
SLEE-HEND-ZONG (9)	+	+	+	+	+	+	+	-	+	
HEND-BOLU-ZONG (10)	+	+	+	+	+	+	+	-	+	
HEND-NAHA-BOLU (11)	+	+	+	+	+	+	+	-	+	
BİLE-HEND-NAHA (12)	+	+	+	+	+	+	+	-	+	
İZMT-BİLE-HEND (13)	+	+	+	+	+	+	+	-	+	
BURS-İZMT-BİLE (14)	+	+	+	+	+	+	+	-	+	
TUBİ-BURS-İZMT (15)	+	+	+	+	+	+	+	-	+	

+ : Sıfır Hipotezi Geçersiz Sayılmaz.  
- : Sıfır Hipotezi Geçersizdir.

## 6.2. İZDOGAP GPS Ağı için Düzgün Hız Alanı Belirleme

İZDOGAP GPS Ağını temsil eden, 10 IGS ve 11 TUSAGA-Aktif istasyon noktaları için elde edilen 3 yıllık düzgün hız alanı bilgileri için yapılan tutarlılık testlerinin ardından sürekli izlenen KOUSAGA GPS ağı ile epok oturumlu ölçülen İZDOGAP GPS ağı arasında bağlantı gözlemleri araştırılmıştır. 2009 ve 2010 epoklarında ölçülen Kocaeli İZDOGAP GPS Ağının, IGS ve TUSAGA-Aktif istasyonları ile birleştirilmesinde izlenen yollar aşağıda sıralanmıştır;

- a. Kocaeli İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağı'nın ölçme planı optimizasyon işlemleri sonucunda belirlenmiştir. Optimize edilmiş ağın yapısını bozmayacak şekilde, sürekli GPS ağları ile birlikte bir gözlem planı tasarlanmıştır.
- b. İZGZ ve H23-G001 istasyonlarından bağlantı oluşturarak hem datum birliği hem de ölçek ve dönüklük denetiminin sağlanması yeterli görülmüştür.
- c. İZGZ ve H23-G001 istasyonları ile sürekli istasyonlar arasındaki bazlar 3 saatin üzerinde gözlem süresine sahiptir, sürekli istasyonlardan sürekli istasyonlara olan baz gözlemleri (ISTN-SLEE, SLEE-TUBI, ISTN-TUBI, SLEE-IZMT, IZMT-TUBI, IZMT-HEND, HEND-BILE ve ISTN-BILE) ise 8 saatliktir.

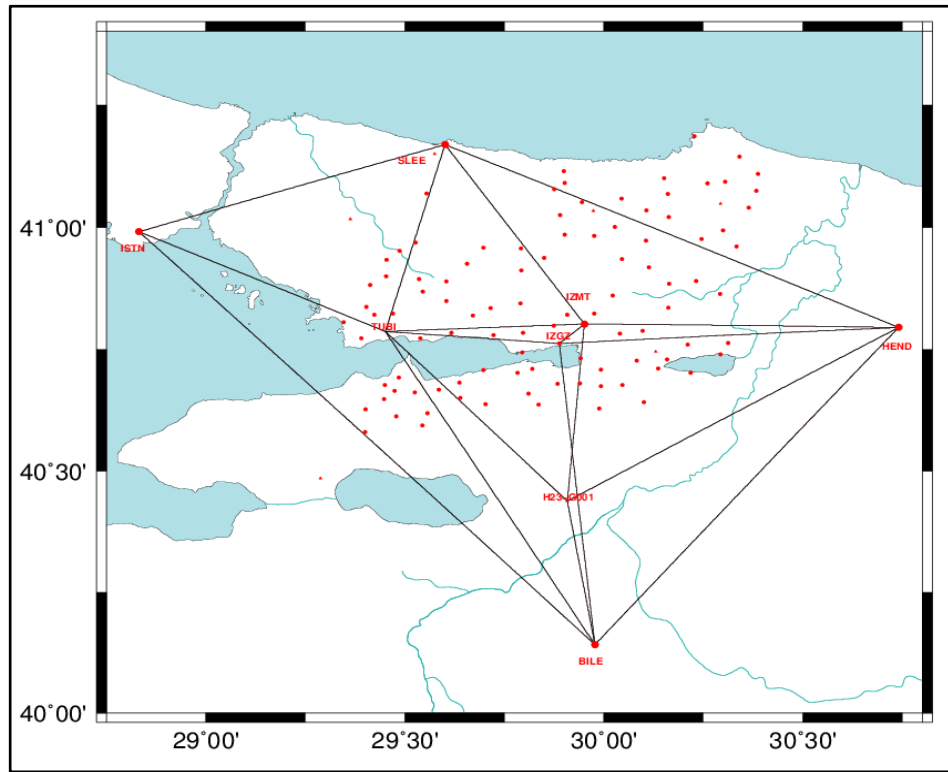
Bu koşullar altında İZDOGAP GPS Ağı, gözlem süresi 3 saatin üzerinde olan 2 GPS istasyonu (H23-G001 ve İZGZ) kullanılarak, 8 saatlik gözlem süresine sahip TUSAGA-Aktif (ISTN, SLEE, HEND, IZMT, BILE) ve IGS (TUBI) istasyonları ile genişletilmiştir (Şekil 6.11). Tüm gözlemler toplu olarak kısmi iz minimum koşulu altında serbest dengelenmiştir.

ISTN, SLEE, HEND, IZMT, BILE ve TUBI istasyonlarının GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılarak elde edilen ITRF 2005 sistemindeki hız bilgileri kullanılarak polinomsal yaklaşım ile bölgesel hız alanlarının güncellenmesi işlemleri b\_hiz.cpp programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

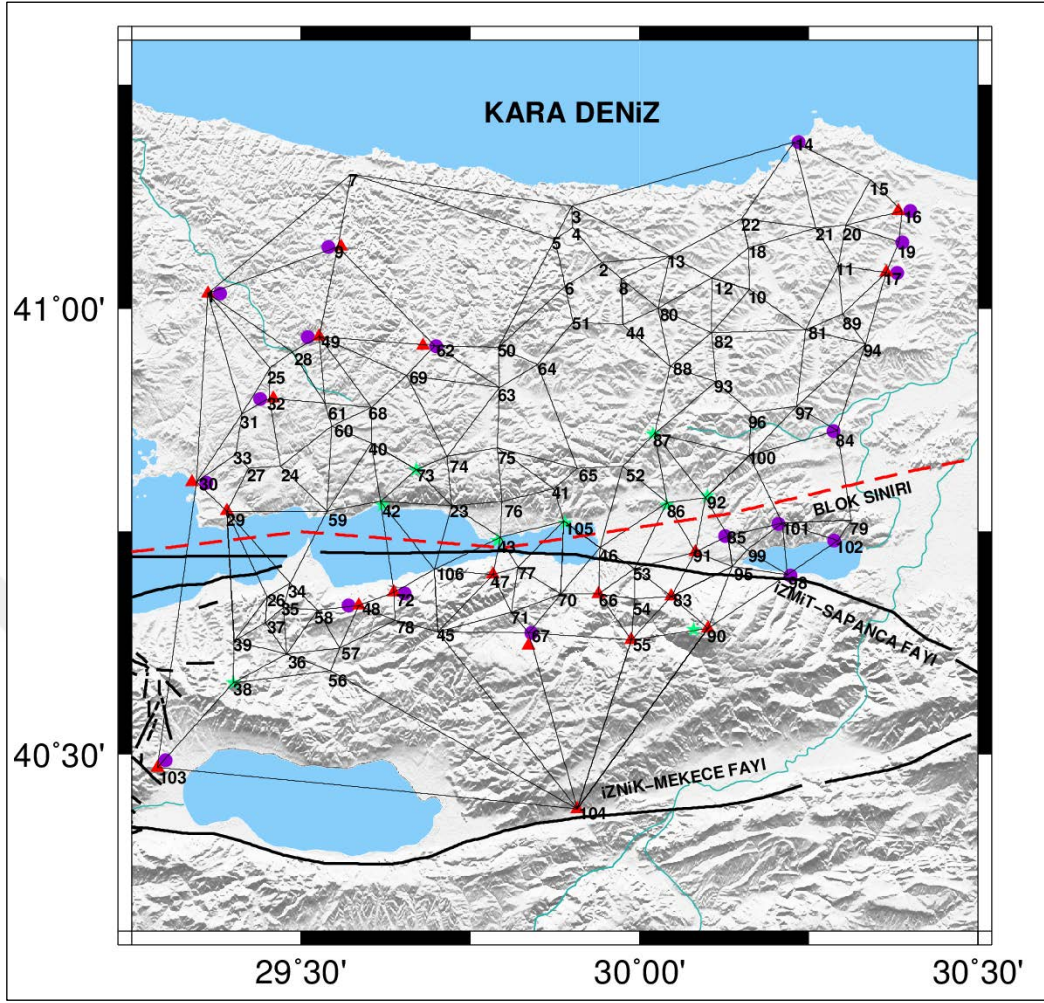
İZDOGAP GPS Ağı bölgesel hız alanı güncellemesi işlemleri için ilk adımda; 83 adet eşlenik noktanın  $t_0=2000.45$  epogundaki koordinat ve hız bilgileri kullanılarak, C++ programlama dilinde tarafımdan geliştirilen rob\_esdeg.cpp programı ile eşdeğerlik testleri uygulanmıştır.  $\alpha_0 = \alpha/n$  düzeyinde eşdeğerlik testi geçerli olan bu ağ  $\alpha = 0,025$  yanılma olasılığı altında istasyon noktalarının dağılımına göre A1, A2 ve

B1, B2 olarak alt bloklara ayrılmıştır (Şekil 6.12 ve Şekil 6.13) (Küreç, 2010). İkinci adımda; bölgesel hız alanı güncellemesi yapılan İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağı için afinrob.FOR programı kullanılarak özel gerinim testleri uygulanmıştır. Bu işlemler için İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağı iki ana blok ve dört alt blok halinde değerlendirilmiştir (Şekil 6.13). İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağı, KAF Kuşağının kuzeyinde kalan bölgesi için A Blok ve KAF Kuşağının güneyinde kalan bölgesi için ise B Blok olarak ikiye ayrılmıştır. Her blok için özel gerinim testleri diğer bir ifade ile afinlik testleri uygulanmıştır. Bu testlere göre İZDOGAP Sıklaştırma GPS ağının her noktasının afinlik özelliğine sahip olduğu sonucuna varılmıştır (Tablo 6.11).

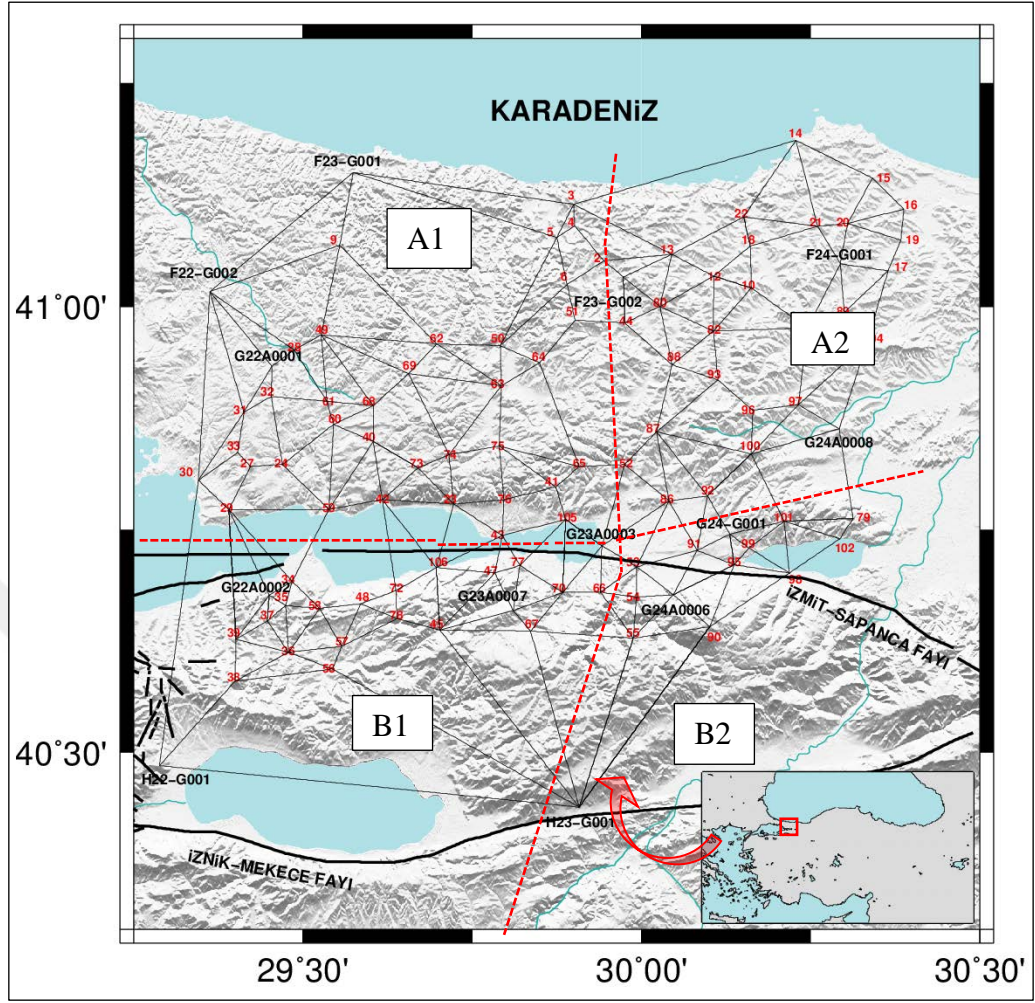
A1 Bloğunda  $m_{A1} = \pm 27,41 \mu\text{m}$  dönüşüm doğruluğuyla 42, 73, 43, 105 nolu istasyon noktalarının, A2 Bloğunda  $m_{A2} = \pm 13,72 \mu\text{m}$  dönüşüm doğruluğuyla 87, 86 ve 92 nolu istasyonların, B1 Bloğunda  $m_{B1} = \pm 24,84 \mu\text{m}$  dönüşüm doğruluğuyla 38 nolu istasyonun ve B2 Bloğunda  $m_{B2} = \pm 71,22 \mu\text{m}$  dönüşüm doğruluğuyla 104 ve 90 nolu noktaların güncellenen hız alanı bilgileri genel yüzey alanı ile uyumamaktadır. Bloklardaki tüm noktalar  $\alpha_0 = \frac{\alpha}{n}$  yanılma olasılığı ile eş değer noktalardır.



Şekil 6.11. Genişletilmiş İZDOGAP ağı



Şekil 6.12.  $\alpha = 0,025$  yanılma olasılığına göre eşdeğerlik test sonuçları (●): 3D Helmert dönüşümüne göre hareketli noktalar, (▲): Genişletilmiş Helmert Dönüşümüne göre hareketli noktalar, (★): Düzgün hız alanı ile uyuşmayan noktalar.



Şekil 6.13. İZDOGAP GPS ağı blokları

Tablo 6.11. Bloklarda düzgün hız alanı için özel afinlik testleri

Blok A1										Blok A2										Blok B1										Blok B2									
Nokta No	Model	Donklük Gon		Redundans		İç Güven		Dış Güven		Robust Ağrlık	Nokta No	Model	Donklük Gon		Redundans		İç Güven		Dış Güven		Robust Ağrlık	Nokta No	Model	Donklük Gon		Redundans		İç Güven		Dış Güven		Robust Ağrlık							
		$r_x$	$r_y$	$k_x$	$k_y$	$r_x$	$r_y$	$k_x$	$k_y$				$r_x$	$r_y$	$k_x$	$k_y$	$r_x$	$r_y$	$k_x$	$k_y$				$r_x$	$r_y$	$k_x$	$k_y$	$r_x$	$r_y$	$k_x$	$k_y$		$r_x$	$r_y$	$k_x$	$k_y$			
1	Afin	236,82	0,84	3,74	1,51	1,00				1,00	2	Afin	259,19	0,81	3,79	1,64	1,00				1,00	103	Afin	315,13	0,41	5,36	4,13	1,00				1,00							
7	Afin	265,95	0,78	3,86	1,80	1,00				1,00	8	Afin	108,58	0,86	3,69	1,40	1,00					1,00	38	Afin	93,59	0,95	3,50	0,74	<b>0,28</b>				1,00						
9	Afin	112,28	0,88	3,65	1,27	1,00				1,00	13	Afin	230,96	0,90	3,61	1,15	1,00					1,00	39	Afin	291,09	0,87	3,66	1,31	1,00				1,00						
3	Afin	319,45	0,84	3,74	1,52	1,00				1,00	12	Afin	115,67	0,95	3,52	0,82	1,00					1,00	36	Afin	290,38	0,92	3,57	1,04	1,00				1,00						
4	Afin	304,58	0,86	3,69	1,40	1,00				1,00	10	Afin	105,88	0,96	3,48	0,68	1,00					1,00	37	Afin	95,92	0,89	3,63	1,21	1,00				1,00						
5	Afin	306,26	0,87	3,65	1,30	1,00				1,00	18	Afin	289,53	0,94	3,52	0,84	1,00					1,00	35	Afin	95,23	0,88	3,64	1,26	1,00				1,00						
6	Afin	312,34	0,90	3,60	1,15	1,00				1,00	10	Afin	105,88	0,96	3,48	0,68	1,00					1,00	26	Afin	289,28	0,82	3,77	1,59	1,00				1,00						
51	Afin	88,36	0,90	3,59	1,11	1,00				1,00	18	Afin	289,53	0,94	3,52	0,84	1,00					1,00	56	Afin	288,26	0,88	3,65	1,29	1,00				1,00						
50	Afin	97,91	0,95	3,51	0,80	1,00				1,00	22	Afin	226,60	0,92	3,57	1,03	1,00					1,00	57	Afin	283,12	0,93	3,55	0,95	1,00				1,00						
64	Afin	99,21	0,93	3,55	0,95	1,00				1,00	14	Afin	302,91	0,83	3,76	1,56	1,00					1,00	58	Afin	94,61	0,92	3,56	1,00	1,00				1,00						
63	Afin	118,81	0,94	3,52	0,83	1,00				1,00	21	Afin	87,54	0,93	3,54	0,93	1,00					1,00	48	Afin	94,19	0,94	3,53	0,88	1,00				1,00						
62	Afin	96,30	0,96	3,48	0,67	1,00				1,00	15	Afin	46,24	0,86	3,68	1,36	1,00					1,00	72	Afin	86,91	0,93	3,55	0,96	1,00				1,00						
69	Afin	95,81	0,97	3,47	0,61	1,00				1,00	16	Afin	360,26	0,86	3,68	1,36	1,00					1,00	78	Afin	94,87	0,94	3,52	0,86	1,00				1,00						
68	Afin	95,73	0,97	3,47	0,62	1,00				1,00	19	Afin	307,43	0,88	3,64	1,26	1,00					1,00	45	Afin	97,69	0,89	3,63	1,21	1,00				1,00						
60	Afin	92,05	0,96	3,49	0,70	1,00				1,00	17	Afin	120,45	0,90	3,61	1,16	1,00					1,00	106	Afin	297,11	0,88	3,64	1,27	1,00				1,00						
61	Afin	95,00	0,96	3,49	0,69	1,00				1,00	20	Afin	75,19	0,92	3,57	1,03	1,00					1,00	47	Afin	82,33	0,86	3,68	1,37	1,00				1,00						
49	Afin	111,07	0,94	3,52	0,83	1,00				1,00	11	Afin	96,44	0,94	3,53	0,88	1,00					1,00	77	Afin	302,10	0,83	3,76	1,56	1,00				1,00						
25	Afin	145,01	0,93	3,54	0,91	1,00				1,00	11	Afin	96,44	0,94	3,53	0,88	1,00					1,00	67	Afin	278,76	0,72	4,04	2,15	1,00				1,00						
28	Afin	173,96	0,94	3,53	0,87	1,00				1,00	81	Afin	277,87	0,95	3,51	0,80	1,00					1,00	70	Afin	76,75	0,75	3,94	1,96	1,00				1,00						
31	Afin	90,81	0,93	3,55	0,96	1,00				1,00	89	Afin	107,16	0,93	3,54	0,94	1,00					1,00	81	Afin	296,76	0,43	5,19	3,91	<b>0,23</b>				1,00						
32	Afin	100,00	0,94	3,52	0,86	1,00				1,00	89	Afin	140,84	0,89	3,62	1,19	1,00					1,00	46	Afin	294,36	0,62	4,33	2,66	1,00				1,00						
33	Afin	320,40	0,92	3,57	1,02	1,00				1,00	94	Afin	87,48	0,88	3,64	1,26	1,00					1,00	66	Afin	92,96	0,78	3,87	1,82	1,00				1,00						
27	Afin	77,34	0,92	3,56	1,01	1,00				1,00	44	Afin	87,48	0,88	3,64	1,26	1,00					1,00	53	Afin	293,91	0,83	3,75	1,55	1,00				1,00						
24	Afin	344,58	0,93	3,54	0,91	1,00				1,00	80	Afin	97,71	0,92	3,57	1,04	1,00					1,00	55	Afin	94,46	0,73	4,00	2,08	1,00				1,00						
30	Afin	302,22	0,31	6,12	5,08	1,00				1,00	82	Afin	96,94	0,95	3,50	0,76	1,00					1,00	83	Afin	95,41	0,89	3,62	1,19	1,00				1,00						
29	Afin	312,94	0,89	3,63	1,22	1,00				1,00	88	Afin	77,38	0,92	3,56	0,99	1,00					1,00	90	Afin	94,71	0,99	3,44	0,41	<b>0,05</b>				1,00						
59	Afin	300,54	0,91	3,58	1,05	1,00				1,00	93	Afin	296,16	0,33	5,93	4,84	1,00					1,00	91	Afin	293,73	0,90	3,60	1,14	1,00				1,00						
40	Afin	93,12	0,96	3,49	0,72	1,00				1,00	52	Afin	321,01	0,25	6,88	5,97	1,00					1,00	95	Afin	292,28	0,92	3,57	1,02	1,00				1,00						
42	Afin	294,80	0,97	3,47	0,59	<b>0,36</b>				1,00	87	Afin	82,58	0,96	3,49	0,70	<b>0,29</b>					1,00	99	Afin	293,12	0,91	3,58	1,08	1,00				1,00						
73	Afin	94,34	0,99	3,44	0,41	<b>0,23</b>				1,00	86	Afin	302,20	0,98	3,45	0,44	<b>0,07</b>					1,00	98	Afin	290,70	0,81	3,80	1,66	1,00				1,00						
74	Afin	96,43	0,94	3,53	0,89	1,00				1,00	92	Afin	299,29	0,98	3,45	0,48	<b>0,09</b>					1,00	101	Afin	92,38	0,85	3,72	1,46	1,00				1,00						
43	Afin	288,67	0,94	3,53	0,88	<b>0,36</b>				1,00	100	Afin	92,93	0,84	3,73	1,48	1,00					1,00	102	Afin	293,63	0,75	3,96	2,00	1,00				1,00						
76	Afin	282,19	0,87	3,67	1,33	1,00				1,00	96	Afin	95,00	0,90	3,60	1,12	1,00					1,00	79	Afin	90,71	0,72	4,04	2,16	1,00				1,00						
75	Afin	103,02	0,92	3,57	1,02	1,00				1,00	97	Afin	241,90	0,89	3,62	1,21	1,00					1,00																	
105	Afin	286,11	0,93	3,54	0,93	<b>0,34</b>				1,00	84	Afin	264,64	0,82	3,78	1,62	1,00					1,00																	
65	Afin	108,40	0,84	3,72	1,48	1,00				1,00																													

### 6.3. Yerel gerinim özelliklerinin sorgulanması

İZDOGAP GPS ağının bulunduğu bölgenin yerel hareketliliği, özel gerinim testleri ile sorgulanmaktadır. İZDOGAP ağı, uyumsuz ölçü çiftlerinin dağılımına göre bölüm (6.2)'de açıklandığı gibi dört bölgeye ayrılmıştır. Yer değiştirme vektörünün bir fonksiyonu olarak ifade edilen yerel hızların davranışları, afinrob.FOR programı kullanılarak, blok blok uygulanan afinlik testleri ile sorgulanmıştır (Tablo 6.12). Bu aşamada hız bilgileri yerine,  $t_0$  ve  $t_1$  epoklarından kestirilen yer değiştirme vektörünün  $\Delta t$  birim zamandaki değişim oranı kullanılmaktadır. Buna göre:

- İZDOGAP ağının yerel hız bilgileri kullanılarak uygulanan özel gerinim testleri sonucunda A1, A2, B1 ve B2 bloklarının yarı afinlik özelliğine sahip olduğu gözlenmektedir.
- A1 bloğunda 73 ve 76 nolu noktalar, A2 bloğunda 12, 16 ve 84 numaralı noktalar, B1 bloğunda 67 nolu nokta ve B2 bloğunda ise 55 nolu noktaların yerel hızları genel yüzey alanı ile uyuşmamaktadır.

Sonuç olarak; İZDOGAP GPS Ağı'nın üç yıllık verilerden modellenen global hız alanı afinlik özelliğine sahiptir. Buna karşın  $t_0=2009.370$  ve  $t_1=2010.496$  epoklarından kestirilen yerel hız alanı ise yarı afin bir davranış sergilemektedir.

Tablo 6.12. Bloklarda yer değiştirme vektörü için özel afinlik testleri

Blok A1										Blok A2										Blok B1										Blok B2									
Nokta No	Model	Donukluk		Redundans		İç Güven		Dış Güven		Robust Ağrılık	Nokta No	Model	Donukluk		Redundans		İç Güven		Dış Güven		Robust Ağrılık	Nokta No	Model	Donukluk		Redundans		İç Güven		Dış Güven		Robust Ağrılık							
		$r_x$	$r_y$	$r_x$	$r_y$	$k_x$	$k_y$	$r_x$	$r_y$				$k_x$	$k_y$	$r_x$	$r_y$	$r_x$	$r_y$	$r_x$	$r_y$				$k_x$	$k_y$	$r_x$	$r_y$	$r_x$	$r_y$	$r_x$	$r_y$		$r_x$	$r_y$	$k_x$	$k_y$	$r_x$	$r_y$	
1	Yarı Afin	176,20	0,85	3,72	1,46	1,00					2	Yarı Afin	197,59	0,80	3,81	1,69	1,00					103	Yarı Afin	195,25	0,45	5,11	3,79	1,00											
7	Yarı Afin	30,13	0,80	3,83	1,73	1,00					8	Yarı Afin	153,47	0,85	3,71	1,43	1,00						38	Yarı Afin	232,22	0,86	3,69	1,40	1,00										
9	Yarı Afin	128,13	0,88	3,63	1,24	1,00					13	Yarı Afin	93,50	0,89	3,62	1,18	1,00						39	Yarı Afin	123,29	0,87	3,65	1,30	1,00										
3	Yarı Afin	194,71	0,84	3,74	1,51	1,00					12	Yarı Afin	297,33	0,99	3,44	0,41	0,25						37	Yarı Afin	337,97	0,89	3,63	1,22	1,00										
4	Yarı Afin	260,98	0,86	3,69	1,40	1,00					10	Yarı Afin	290,02	0,96	3,49	0,69	1,00						34	Yarı Afin	235,60	0,79	3,84	1,74	1,00										
5	Yarı Afin	196,55	0,87	3,65	1,29	1,00					18	Yarı Afin	333,98	0,94	3,53	0,87	1,00						56	Yarı Afin	307,94	0,81	3,80	1,66	1,00										
6	Yarı Afin	42,17	0,90	3,60	1,14	1,00					22	Yarı Afin	246,95	0,91	3,58	1,06	1,00						57	Yarı Afin	384,47	0,93	3,55	0,96	1,00										
51	Yarı Afin	10,48	0,91	3,59	1,09	1,00					14	Yarı Afin	127,10	0,84	3,74	1,52	1,00						48	Yarı Afin	17,44	0,94	3,53	0,88	1,00										
50	Yarı Afin	183,80	0,95	3,51	0,79	1,00					21	Yarı Afin	21,60	0,92	3,55	0,98	1,00						72	Yarı Afin	134,07	0,93	3,55	0,97	1,00										
64	Yarı Afin	92,62	0,93	3,54	0,92	1,00					15	Yarı Afin	275,68	0,86	3,69	1,38	1,00						78	Yarı Afin	31,18	0,93	3,54	0,92	1,00										
63	Yarı Afin	393,46	0,95	3,51	0,80	1,00					25	Yarı Afin	274,66	0,99	3,43	0,33	0,06						45	Yarı Afin	112,03	0,86	3,69	1,39	1,00										
62	Yarı Afin	389,80	0,96	3,48	0,67	1,00					16	Yarı Afin	274,66	0,99	3,43	0,33	0,06						106	Yarı Afin	106,07	0,88	3,65	1,27	1,00										
69	Yarı Afin	71,70	0,97	3,47	0,60	1,00					19	Yarı Afin	299,31	0,86	3,68	1,37	1,00						47	Yarı Afin	175,79	0,85	3,71	1,45	1,00										
68	Yarı Afin	174,32	0,97	3,47	0,61	1,00					17	Yarı Afin	18,28	0,88	3,64	1,26	1,00						77	Yarı Afin	260,46	0,81	3,80	1,66	1,00										
60	Yarı Afin	380,75	0,96	3,49	0,69	1,00					20	Yarı Afin	187,15	0,91	3,59	1,09	1,00						67	Yarı Afin	370,76	0,94	3,53	0,90	0,17										
61	Yarı Afin	41,21	0,96	3,48	0,68	1,00					11	Yarı Afin	191,89	0,93	3,55	0,96	1,00						17	Yarı Afin	272,81	0,69	4,12	2,30	1,00										
49	Yarı Afin	40,58	0,94	3,52	0,83	1,00					81	Yarı Afin	36,34	0,95	3,51	0,82	1,00						11	Yarı Afin	76,22	0,15	8,78	8,08	1,00										
25	Yarı Afin	271,36	0,93	3,53	0,90	1,00					89	Yarı Afin	98,18	0,92	3,56	1,00	1,00						46	Yarı Afin	135,01	0,65	4,25	2,53	1,00										
28	Yarı Afin	20,17	0,94	3,52	0,86	1,00					88	Yarı Afin	391,27	0,88	3,64	1,26	1,00						66	Yarı Afin	268,77	0,77	3,90	1,88	1,00										
31	Yarı Afin	235,80	0,93	3,55	0,96	1,00					80	Yarı Afin	313,09	0,92	3,57	1,03	1,00						53	Yarı Afin	172,24	0,82	3,77	1,59	1,00										
32	Yarı Afin	235,82	0,94	3,52	0,86	1,00					82	Yarı Afin	174,12	0,96	3,49	0,71	1,00						55	Yarı Afin	215,07	0,99	3,44	0,35	0,07										
33	Yarı Afin	115,79	0,92	3,56	1,01	1,00					88	Yarı Afin	397,06	0,94	3,53	0,89	1,00						83	Yarı Afin	5,63	0,91	3,58	1,05	1,00										
27	Yarı Afin	103,20	0,92	3,56	0,99	1,00					93	Yarı Afin	42,72	0,95	3,51	0,78	1,00						90	Yarı Afin	312,20	0,88	3,65	1,27	1,00										
24	Yarı Afin	247,50	0,94	3,53	0,90	1,00					52	Yarı Afin	106,35	0,85	3,70	1,41	1,00						91	Yarı Afin	382,41	0,90	3,60	1,14	1,00										
30	Yarı Afin	32,28	0,89	3,63	1,22	1,00					87	Yarı Afin	141,07	0,90	3,60	1,14	1,00						85	Yarı Afin	295,87	0,90	3,60	1,15	1,00										
29	Yarı Afin	42,42	0,89	3,62	1,20	1,00					86	Yarı Afin	176,33	0,83	3,74	1,53	1,00						95	Yarı Afin	379,17	0,92	3,56	0,98	1,00										
59	Yarı Afin	225,04	0,92	3,56	1,01	1,00					92	Yarı Afin	272,98	0,84	3,73	1,50	1,00						99	Yarı Afin	343,31	0,91	3,58	1,06	1,00										
40	Yarı Afin	349,00	0,96	3,49	0,69	1,00					100	Yarı Afin	251,87	0,88	3,64	1,26	1,00						98	Yarı Afin	148,89	0,85	3,72	1,46	1,00										
42	Yarı Afin	364,13	0,93	3,55	0,95	1,00					96	Yarı Afin	259,70	0,93	3,55	0,97	1,00						101	Yarı Afin	37,24	0,87	3,67	1,34	1,00										
73	Yarı Afin	276,49	1,00	3,42	0,16	0,04					97	Yarı Afin	91,83	0,90	3,60	1,12	1,00						102	Yarı Afin	199,19	0,75	3,93	1,95	1,00										
74	Yarı Afin	277,50	0,94	3,52	0,84	1,00					84	Yarı Afin	172,61	0,31	6,14	5,10	0,56						79	Yarı Afin	391,32	0,73	4,00	2,09	1,00										
43	Yarı Afin	156,58	0,85	3,71	1,45	1,00																																	
76	Yarı Afin	216,29	0,36	5,70	4,56	0,03																																	
75	Yarı Afin	43,04	0,93	3,55	0,95	1,00																																	
105	Yarı Afin	166,63	0,82	3,78	1,60	1,00																																	
65	Yarı Afin	376,62	0,86	3,69	1,38	1,00																																	



## **6.4. İZDOGAP GPS Ağı için Dış Güvenirlik ve Algılayabilirlik Gereksinimlerinin Sorgulanması**

İZDOGAP GPS ağında tesis ve ölçme işlemlerine başlanılmadan önce, ikinci dereceden bir ağırlık optimizasyonu üzerinden bir duyarlık ve güven optimizasyonu işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu optimizasyon işlemi sonucunda ulaşılan optimal duyarlık ve güven isteklerini karşılayabilmek için, ortalama 15 dakikalık GPS ölçme oturumları süreleri yeterli olmuştur (Kurt ve Konak, 2009). İZDOGAP Test ağı 2009 epogunda 15'er dakikalık oturumlarla ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Aynı ağ, sıklaştırma ağları için önerilen klasik standartlara uygun olarak, 2010 yılında kısa bazlarda 25 dakika, uzun bazlarda ise 60 dakikalık sürelerle, optimal ölçme planı korunarak bir kez daha ölçülmüştür. Böylece İZDOGAP GPS Ağı, optimizasyon sonuçları ve klasik standartlar olmak üzere, iki farklı epokta ayrı ayrı değerlendirilmiş ve sonuçlar güvenirlik ve algılayabilirlik yönünden karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Bu bölümdeki sayısal uygulamalar için `srbst_d.cpp` ve `dgv_alg.cpp` programları kullanılmıştır. Bu işlemler için Bölüm 2.3'te ayrıntılı olarak açıklanan sorgulama algoritması adım adım uygulanmıştır (Şekil 2.1).

### **6.4.1. Geometrik şekil ve öncül algılayabilirlik analizleri**

Farklı periyotlarda ölçülüp değerlendirilen jeodezik ağlarda algılayabilirlik analizleri ile her bir periyotta algılayabilirlik dağılımını bozan istasyon noktalarının yerleri tespit edilebilmekte ve bu istasyon noktaları için ulaşılabilir en iyi algılayabilirlik değerleri kestirilebilmektedir. Ulaşılabilir en iyi ağırlık dağılımının kestirilebilmesi için her bir periyotta elde edilen ağırlık dağılımları incelenerek en iyi ağırlık dağılımına sahip periyot amaç fonksiyonu olarak belirlenir. Bu doğrultuda, İZDOGAP GPS Ağı geometrik şekil ve öncül algılayabilirlik kapasitesi bakımından her bir periyot için gözden geçirilmiştir.

İZDOGAP GPS ağı geometrik şekil analizi için  $P=E$  koşulu altında değerlendirilmiş,  $t_0=2009.370$  ve  $t_1=2010.496$  epoklarında ulaşılan öncül güvenirlik ve algılayabilirlik düzeyleri irdelenmiştir. Bu sonuçlara göre,  $P=E$  koşulu altında değerlendirilen İZDOGAP GPS Ağı gözlemleri, her iki epokta da eş düzeyde denetlenmektedir. Bu öncül bilgi, optimizasyon işlemi ile belirlenen ölçme planının ve geometrik şeklin güçlü olduğunun bir göstergesidir.

Her iki epok, deneysel duyarlık bilgilerine göre ( $P = Q_{II}$ ) ayrı ayrı değerlendirilmiştir. 2010 epogunda hesaplanan deneysel dış güvenirlilik değerleri, genellikle 2009 epoguna göre daha zayıf olarak elde edilmiştir.

Öncül Algılayabilirlik ve Dış Güven değişimleri irdelendiğinde; 73 nolu nokta ve çevresindeki algılayabilirlik farklarının, 43-47, 41-105 ve 60-40 nolu bazlarda ise dış güven değerlerindeki farkların oldukça yüksek olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 6.17 ve Şekil 6.18). Benzer davranışlar ağın diğer bölgelerinde de görülebilmektedir.

Bu nedenle okuyucunun ilgisini dağıtmamak amacıyla sayısal bulgular 47 ve 73 numaralı noktaları kapsayan bir bölge için özetlenmiştir (Tablo 6.13, Şekil 6.14).

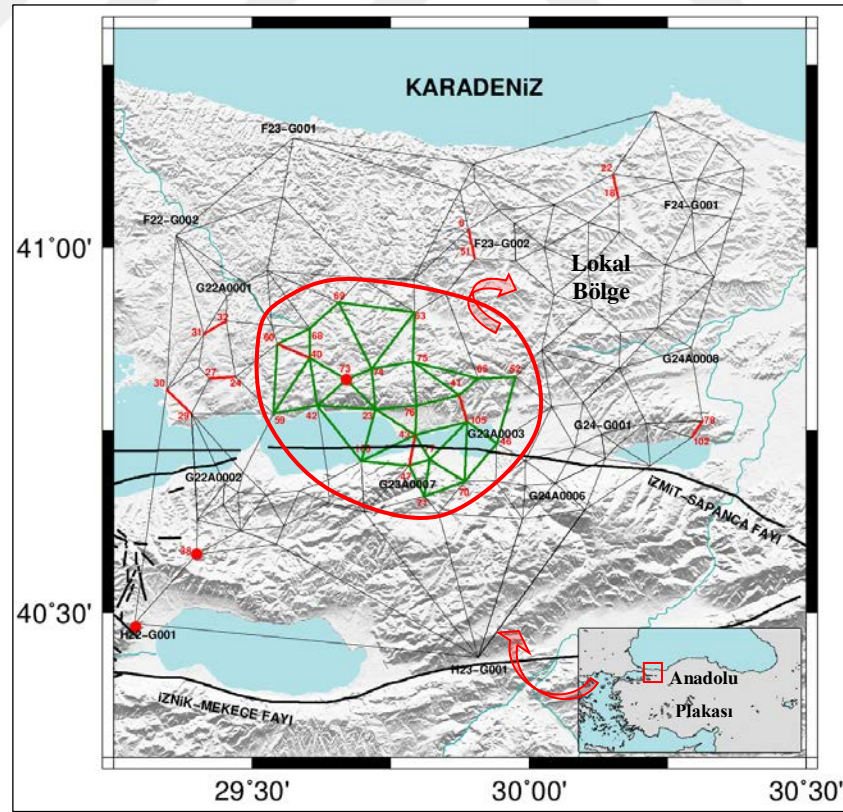
1. Adımda gerçekleştirilen Ağırlık Optimizasyonu sonuçlarına uygun olarak 15 dakikalık ölçme oturumlarının planlandığı  $t_0=2009.370$  epogunda ulaşılan dış güvenirlilik değerleri,  $P=E$  koşulundaki gibi homojen bir dağılıma sahiptir ve  $t_1=2010.496$  epoguna göre oldukça güçlü değerlerdir (Tablo 6.13).

73 numaralı noktadaki algılayabilirlik fark değerlerinde, diğer noktalara göre önemli bir sapma vardır. Aynı zamanda, 43-47 bazındaki gibi bazı gözlemlerde, dış güvenirlilik farklarında önemli aykırılıklar görülmektedir.

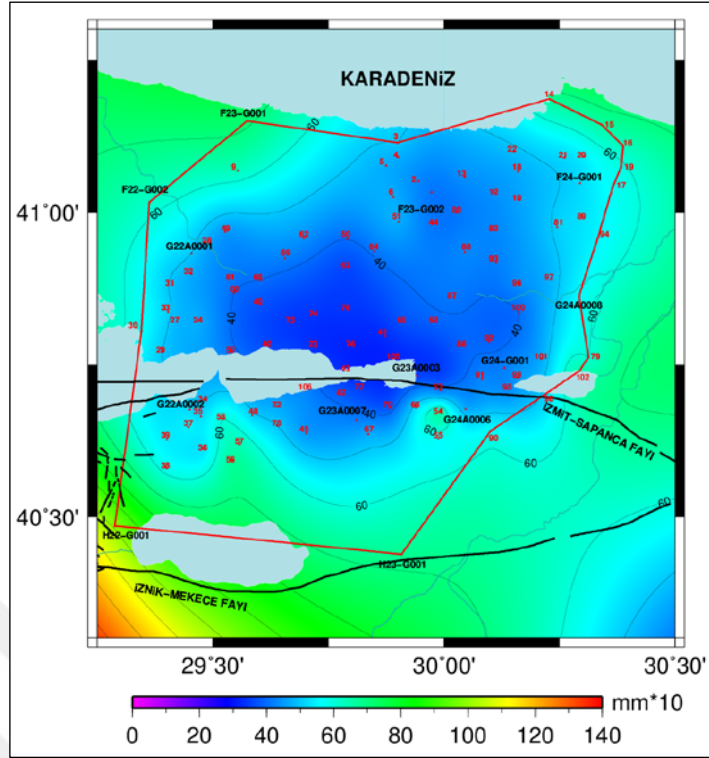
Sonuç olarak; 2009 epogunda ulaşılan ağırlık dağılımı ile oldukça eş düzeyli bir güvenirlilik ve algılayabilirlik dağılımına ulaşılmaktadır. Bu nedenle, 2009 epogunda ulaşılan algılayabilirlik dağılımı, 2010 epoguna ilişkin algılayabilirlik gereksinimlerinin denetlenmesi işlemleri için amaç fonksiyonu olarak belirlenmiştir (Şekil 6.15 ve Şekil 6.16).

Tablo 6.13. Geometrik şekil analizi ve öncül algılayabilirlik değerleri

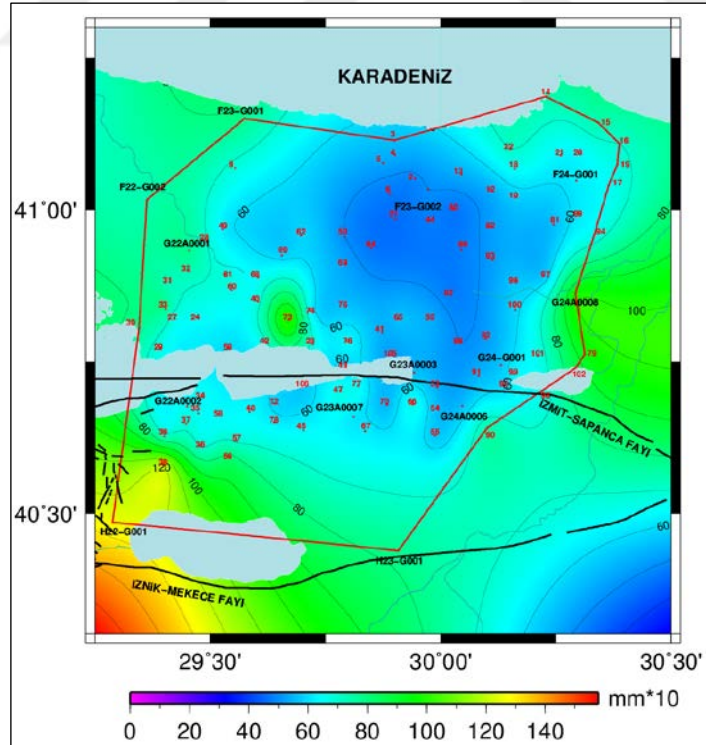
Nokta No	2009.370			2010.496		
	P=E $\delta_{i \max}$	P=Q <sub>II</sub>		P=E $\delta_{i \max}$	P=Q <sub>II</sub>	
		$\delta_{i \max}$	d <sub>min</sub> (cm)		$\delta_{i \max}$	d <sub>min</sub> (cm)
41 (204)	3,07	5,51	0,33	3,12	<b>8,45</b>	0,54
43	2,84	5,06	0,32	2,84	<b>9,41</b>	0,58
46	2,76	4,40	0,35	2,79	4,02	0,56
47	2,51	4,46	0,38	2,51	<b>9,41</b>	0,67
52	3,53	5,83	0,39	2,79	5,44	0,54
65	3,53	5,51	0,38	3,58	5,47	0,56
70	2,53	2,85	0,38	2,60	5,49	0,55
71 (203)	2,55	5,53	0,42	2,42	5,49	0,61
75	2,85	4,06	0,34	2,86	5,10	0,56
76	2,96	5,06	0,32	2,96	5,10	0,64
77	2,51	4,49	0,35	2,51	4,11	0,65
105	3,07	5,36	0,32	3,12	<b>8,45</b>	0,52
59	2,85	5,35	0,41	2,86	7,67	0,60
42	2,96	5,35	0,36	2,96	7,67	0,68
106	2,83	4,52	0,43	2,83	5,79	0,57
23 (201)	2,80	3,45	0,33	2,80	4,56	0,68
73	2,81	4,69	0,34	2,91	4,59	<b>1,01</b>
74	2,81	4,69	0,34	2,88	4,59	0,64
60	2,90	5,38	0,40	2,91	<b>9,11</b>	0,67
40	2,70	3,59	0,37	2,91	<b>9,11</b>	0,68
68	2,75	4,15	0,40	2,75	4,27	0,65
69	2,75	5,04	0,42	2,70	3,65	0,58
63	2,84	5,38	0,36	2,80	3,86	0,53



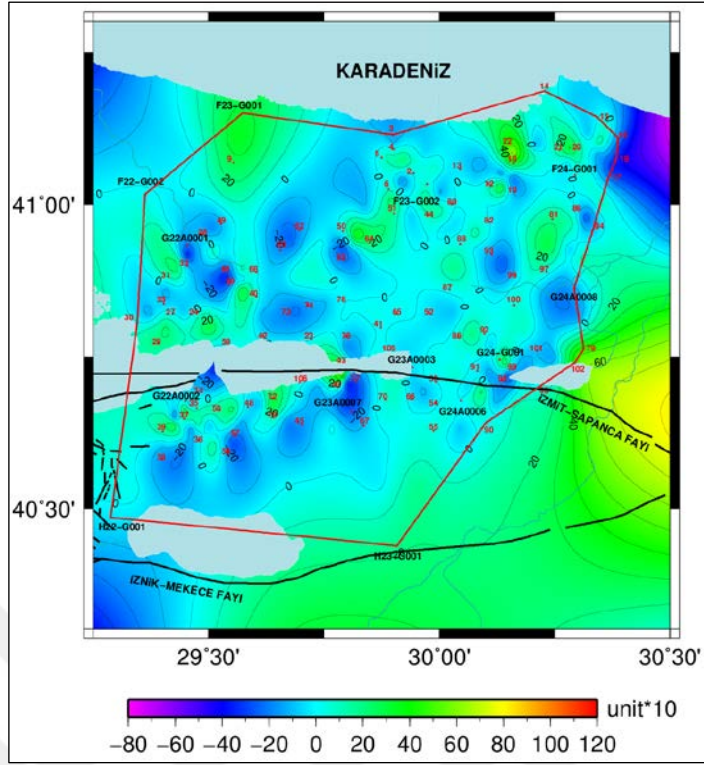
Şekil 6.14. İZDOGAP sıklaştırma GPS ağı ve seçilen test bölgesi (kırmızı çizgi: tartışılan dış güvenilirlik, kırmızı nokta: tartışılan algılayabilirlik)



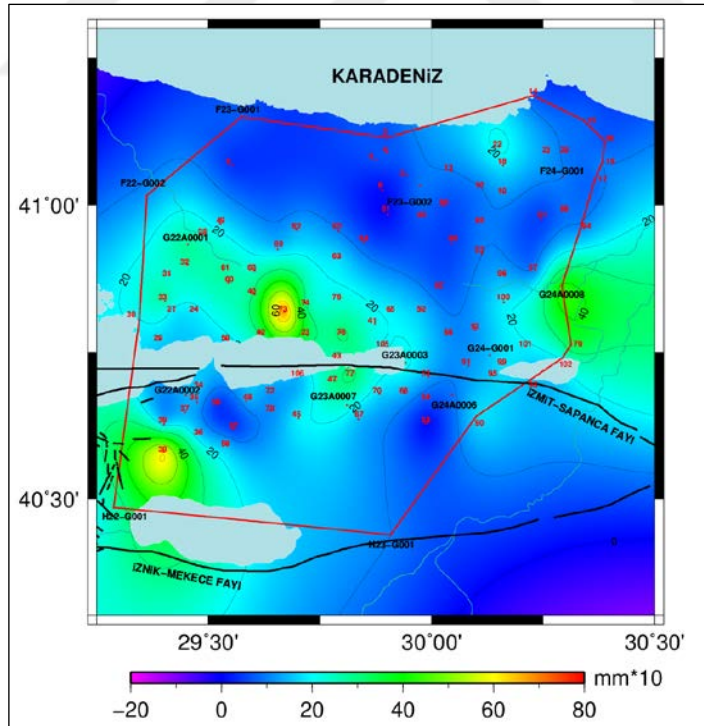
Şekil 6.15. 2009 epoklu ölçüler için algılayabilirlik haritası



Şekil 6.16. 2010 epoklu ölçüler için algılayabilirlik haritası



Şekil 6.17. Öncül dış güvenilirlik fark haritaları



Şekil 6.18. Öncül algılayabilirlik fark haritaları

#### 6.4.2. Dış güven gereksinimlerinin denetlenmesi

2009 ve 2010 epoklarında, dış güven eşik değerini ( $\delta_{j_{max}} > 8$ ) aşan GPS gözlemlerinin ağırlıkları EKK\_ITRW ağırlıklandırma işlemiyle azaltılarak, İZDOGAP GPS Ağının dış güvenilirlik dağılımı ölçeklendirilmiştir. Bu ölçeklendirme işlemi sonucunda; 2010 epoğunda toplam 9 GPS gözlem için (60-40, 47-43, 6-51, 22-18, 31-32, 79-102, 27-24, 29-30, 41-105) elde edilmesi gereken dış güven gereksinimleri deneysel olarak kestirilmiştir. Buna karşın 2009 epoğunda ise seçilen alanın dışında kalan yalnızca 1 GPS gözleminin ağırlığı (103-38) ölçeklendirilmiştir. 2010 epoğunun dış güvenilirlik değerleri için daha iyimser gereksinim değerleri kestirilmiş fakat algılayabilirlik dağılımında bazı bozulmalar belirlenmiştir. 2009 epoğundaki GPS noktalarının algılayabilirlik değerlerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir. Bu durum, gözlemlerdeki ağırlık dağılımının algılayabilirlik düzeyleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu kanıtlamaktadır (Tablo 6.14).

Özellikle II. Tip ağırlık fonksiyonu, dış güven değerlerini oldukça keskin bir biçimde küçültmektedir. Bu durum doğal olarak, algılayabilirlik dağılımını da olumsuz yönde etkilemektedir. Öte yandan I. Tip ağırlık fonksiyonu hem güvenilirlik hem de algılayabilirlik gereksinimlerinin denetimi sürecinde daha tutarlı dağılımlar vermektedir (Tablo 6.14, Şekil 6.19, Şekil 6.20, Şekil 6.21 ve Şekil 6.22).

Sonuç olarak, dış güven iyileştirme sürecinde; I. Tip ağırlık fonksiyonu ile başarılı sonuçlar elde edilmekte, algılayabilirlik dağılımları da olumsuz anlamda pek fazla bozulmamaktadır.

#### 6.4.3. Algılayabilirlik gereksinimlerinin denetlenmesi

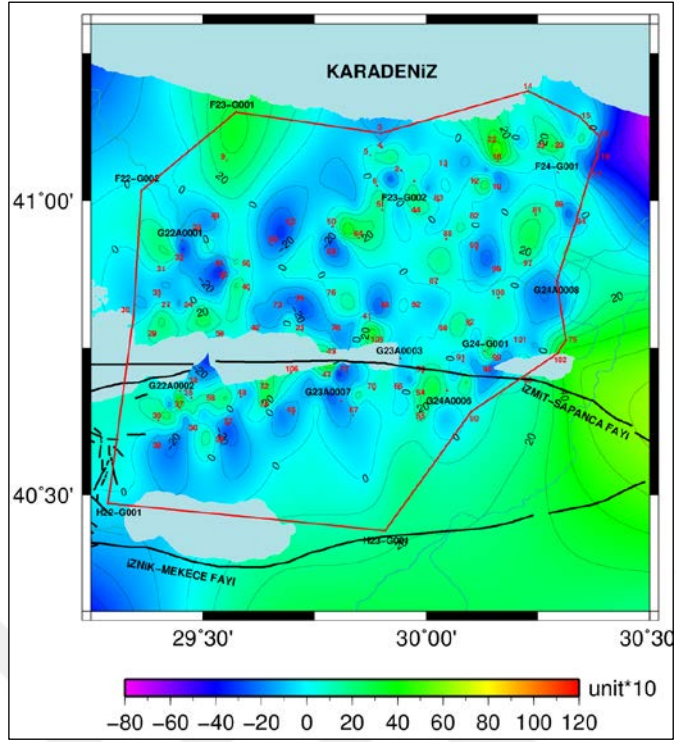
İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağının 2009 yılında elde edilen gözlemlerinin ağırlıkları homojen ve izotrop yapıda ağ isteklerini sağlamaktadır. Bu nedenle öncül değerlendirme işlemlerine göre algılayabilirlik ve dış güvenilirlik dağılım sonuçları homojen ve tutarlı bir yapıya sahiptir.

İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağı için elde edilen öncül algılayabilirlik fark haritaları incelendiğinde 73 numaralı istasyon noktasında önemli bir sapma gözlenmiştir (Tablo 6.13, Şekil 6.18). Bu nedenle 73 numaralı istasyon noktası için ulaşılabilir en iyi algılayabilirlik dağılımı bu algoritma yardımıyla araştırılmış ve belirlenmiştir.

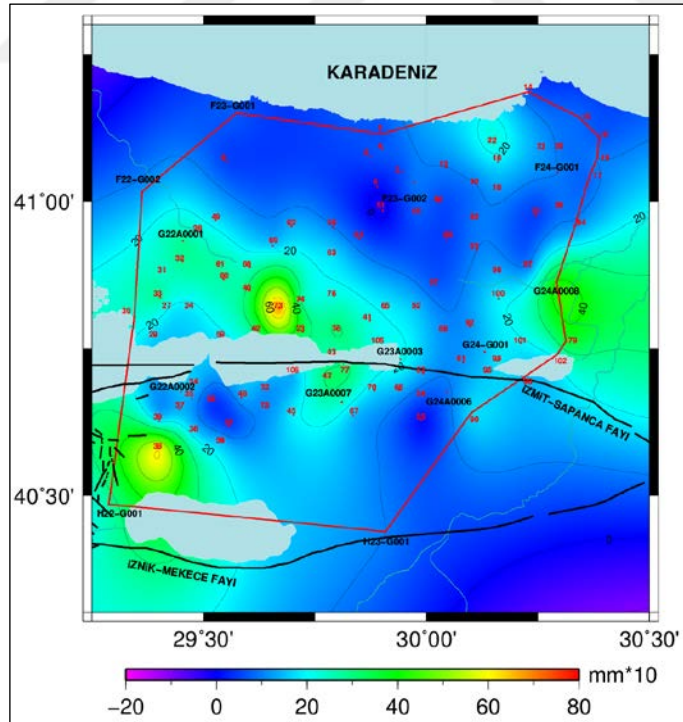
Tablo 6.14. Dış güven gereksinimleri için kestirilen değerler ve algılayabilirlik dağılımına etkileri

İstasyon No	Periyot 2009.370						Periyot 2010.496					
	Öncül Değerler		I. Tip EKK_ITRW		II. Tip EKK_ITRW		Öncül Değerler		I. Tip EKK_ITRW		II. Tip EKK_ITRW	
	$\delta_{i\max}$	$d_{\min}$ (cm)	$\delta_{i\max}$	$d_{\min}$ (cm)	$\delta_{i\max}$	$d_{\min}$ (cm)	$\delta_{i\max}$	$d_{\min}$ (cm)	$\delta_{i\max}$	$d_{\min}$ (cm)	$\delta_{i\max}$	$d_{\min}$ (cm)
<b>41 (204)</b>	<b>5,51</b>	0,33	5,51	<b>0,33</b>	5,51	0,33	<b>*8,45</b>	0,54	7,99	<b>*0,55</b>	6,01	0,68
<b>43</b>	<b>5,06</b>	0,32	5,06	<b>0,32</b>	5,06	0,32	<b>*9,41</b>	0,58	7,89	<b>*0,58</b>	4,50	0,61
<b>46</b>	4,40	0,35	4,40	0,35	4,40	0,35	4,02	0,56	3,74	0,56	3,76	0,58
<b>47</b>	<b>4,46</b>	0,38	4,46	<b>0,38</b>	4,46	0,38	<b>*9,41</b>	0,67	7,89	<b>*0,70</b>	2,69	0,92
<b>52</b>	5,83	0,39	5,83	0,39	5,83	0,39	5,44	0,54	5,44	0,54	5,91	0,55
<b>65</b>	5,51	0,37	5,51	0,37	5,51	0,37	5,47	0,56	5,49	0,56	6,01	0,61
<b>70</b>	2,85	0,38	2,85	0,38	3,18	0,38	5,49	0,55	5,50	0,55	5,70	0,60
<b>71 (203)</b>	5,53	0,42	5,53	0,42	5,53	0,42	5,49	0,61	5,50	0,61	5,70	0,64
<b>75</b>	4,06	0,34	4,06	0,34	4,06	0,34	5,10	0,56	5,10	0,57	5,21	0,62
<b>76</b>	5,06	0,32	5,06	0,32	5,06	0,32	5,10	0,64	5,10	0,64	5,21	0,67
<b>77</b>	4,49	0,35	4,49	0,35	4,49	0,35	4,11	0,65	4,13	0,66	4,44	0,69
<b>105</b>	<b>5,36</b>	0,32	5,36	<b>0,32</b>	5,36	0,32	<b>*8,45</b>	0,52	7,99	<b>*0,53</b>	3,13	0,61
<b>59</b>	<b>5,35</b>	0,41	5,35	<b>0,41</b>	5,35	0,41	<b>*7,67</b>	0,60	7,68	<b>*0,60</b>	5,35	0,66
<b>42</b>	<b>5,35</b>	0,36	5,35	<b>0,36</b>	5,35	0,37	<b>*7,67</b>	0,68	7,68	<b>*0,68</b>	5,35	0,71
<b>106</b>	4,52	0,43	4,52	0,43	4,52	0,43	5,79	0,57	5,79	0,57	5,85	0,59
<b>23 (201)</b>	3,45	0,33	3,45	0,33	3,45	0,33	4,56	0,68	4,56	0,68	4,60	0,70
<b>73</b>	<b>4,69</b>	0,34	4,69	0,34	4,69	0,34	<b>4,59</b>	1,01	4,59	1,01	4,65	1,02
<b>74</b>	4,69	0,34	4,69	0,34	4,69	0,34	4,59	0,64	4,59	0,64	4,65	0,68
<b>60</b>	<b>5,38</b>	0,40	5,38	<b>0,40</b>	5,38	0,40	<b>*9,11</b>	0,67	7,94	<b>*0,68</b>	3,36	0,74
<b>40</b>	<b>3,59</b>	0,37	3,59	<b>0,37</b>	3,59	0,37	<b>*9,11</b>	0,68	7,94	<b>*0,68</b>	5,22	0,75
<b>68</b>	4,15	0,40	4,15	0,40	4,15	0,40	4,27	0,65	4,28	0,65	5,22	0,67
<b>69</b>	5,04	0,42	5,04	0,42	5,04	0,42	3,65	0,58	3,65	0,58	3,72	0,62
<b>63</b>	5,38	0,36	5,38	0,36	5,38	0,36	3,86	0,53	3,86	0,53	7,89	0,60
SA $\delta_{i\max}$	5,83		5,83		5,83		9,41		7,99		7,89	
İZDOGAP $\delta_{i\max}$	8,11		8,00		7,86		11,43		8,00		7,99	

SA: Seçilen Alan  
\*: 2010 Epoğunda, yüksek dış güvenilirlik dağılımına sahip GPS istasyonları.  
$$\delta_{i\max} = \max \{ \delta_{\Delta X}; \delta_{\Delta Y}; \delta_{\Delta Z} \}_i$$

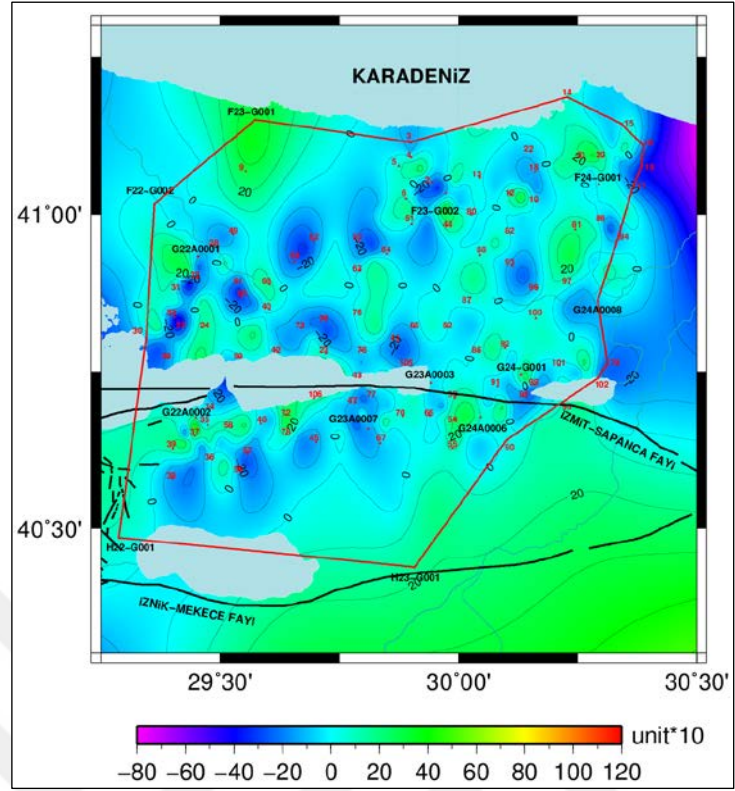


Şekil 6.19. I. Tip robust ağırlıklılandırılmalı dış güvenilirlik fark haritası

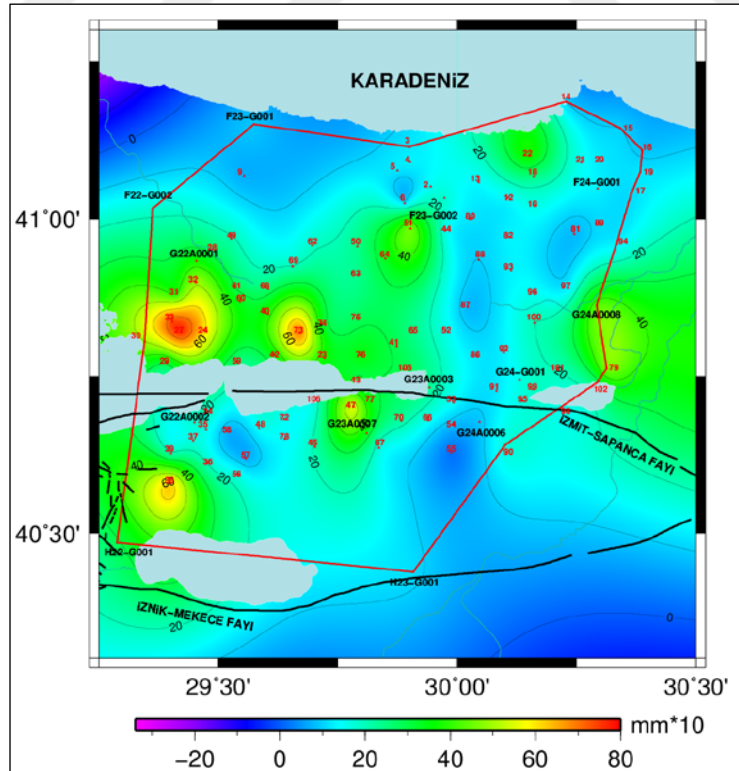


Şekil 6.20. I. tip robust ağırlıklılandırmanın algılayabilirlik farklarına etkisi





Şekil 6.21. II. Tip robust ağırlıklandırılmalı dış güvenirlilik fark haritası



Şekil 6.22. II. Tip robust ağırlıklandırmanın algılayabilirlik farklarına etkisi

Diğer bir ifade ile 73 nolu istasyon noktasının 2010.496 epoğundaki algılayabilirlik değeri amaç fonksiyonu olarak belirlenen 2009.370 epoğuna yakınlştırılmaya çalışılmıştır.

Ulaşılabilir en iyi algılayabilirlik değerinin kestirilmesi işlemleri için öncelikli olarak İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağı'nın yapısına uygun bir ölçeklendirme katsayısı belirlenmelidir. İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağı'nın ölçme planı ikinci dereceden optimizasyon işlemleri sonucunda belirlenmiş ve 252 baz ölçüsünün yapılması tasarlanmıştır. Fakat 2009 yılında 271 baz, 2010 yılında ise 266 baz ölçülmüştür. Ölçeklendirme katsayısının yansız bir şekilde belirlenmesi amacı ile her iki periyot ölçülerinin benzer koşullarda olması için tekrarlı ölçüler kullanılmamıştır. Tekrarlı gözlemlerden en iyi dış güvenilirlik değerine sahip olanı seçilip diğerleri ölçeklendirme katsayısının belirlenmesinde ihmal edilmiştir.

Benzer koşullarda her bir ağ noktası için elde edilen ölçek katsayısı, ağın yapısına uygun olarak belirlenen bir ölçek katsayısı sınır değeri ile karşılaştırılmıştır. Sınır değeri aşan her istasyon noktası için ölçeklendirme işlemi uygulanarak algılayabilirlik dağılımını bozan istasyon noktaları için ulaşılabilir en iyi algılayabilirlik değeri kestirilmiştir. Bu çalışmada, ölçek katsayısı için üç ayrı eşik değeri ( $\Lambda_s = 3, 7$  ve  $10$ ) test edilmiştir. Ulaşılabilir en iyi algılayabilirlik değerinin kestirilmesinde, ölçek katsayısı eşik değerinin önemi araştırılmıştır. En iyi algılayabilirlik değerinin kestirilmesi işlemlerinde, ölçü ağırlıkları ölçeklendirilirken ağın dış güvenilirlik değerlerinde oluşacak olumsuz yöndeki sapmalardan kaçınmak gerekmektedir. Bu nedenle ölçek katsayısı sınır değeri belirlenirken, kullanılacak sınır değerinin hem en uygun algılayabilirlik değerinin kestirilmesine olanak sağlaması hem de dış güvenilirlik değerlerinde bozucu etkilere yol açmaması gerekmektedir. Uygulanan test işlemleri sonucunda elde edilen bulgular ise aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- Ölçek katsayısı sınır değerinin ( $\Lambda_s = 3$ ) ve ( $\Lambda_s = 7$ ) alınması durumunda, dış güvenilirlik dağılımında önemli sapmalar gözlenmektedir. Özellikle ( $\Lambda_s = 3$ ) seçildiğinde yalnızca algılayabilirlik değerleri küçülmektedir. Başka bir deyişle; ölçü ağırlıkları yeniden ölçeklendirilen nokta sayısı arttıkça, algılayabilirlik dağılımını en iyi şekilde kestirilse bile bu durum dış güvenilirlik dağılımının korunmasını güvence altına almamaktadır. Kısacası ağın güvenilirliği bozulmaktadır (Tablo 6.15).

- Ölçek katsayısı sınır değeri ( $\Lambda_s = 10$ ) alındığında 2010 epöğunun hem güvenirlük dağılımı hem de algılayabilirlik dağılımı kontrollü bir şekilde kestirilmektedir. Bu nedenle en uygun algılayabilirlik değerinun kestirilmesi işlemlerinde ölçek katsayısı sınır değeri ( $\Lambda_s = 10$ ) olarak önerilmiştir (Tablo 6.15).

Tablo 6.15 incelendiğinde:

- Algılayabilirlik değerinun oldukça yüksek olduğu 73 numaralı istasyon noktasında kestirilen en uygun algılayabilirlik değeri amaç fonksiyonuna yakınsamaktadır.
- 40, 42, 59 ve 60 numaralı GPS istasyon noktalarındaki ölçeklendirme katsayıları sınır değeri ( $\Lambda_s = 10$ ) aşmamasına rağmen bu istasyon noktalarının algılayabilirlik değerleri de amaç fonksiyonuna yakınsamaktadır.
- En uygun algılayabilirlik değerlerinin kestirilmesi için kullanılan ölçeklendirme katsayısına bağılı olarak 41, 43 ve 105 numaralı istasyon noktalarında maksimum dış güvenirlük değerleri ( $\delta_{jmax}$ ), dış güvenirlük eşik değerine ( $c=8$ ) yakınsamaktadır.
- En uygun algılayabilirlik değerinun kestirilmesi işlemlerinde dış güvenirlük değerlerinin büyümesi doğaldır. Fakat ölçeklendirme katsayısı için ağıın yapısına uygun bir sınır değerin seçimi ile dış güvenirlük dağılımındaki bozulmalardan kaçınılmıştır. Böylece algılayabilirlik dağılımını bozan istasyon noktaları için elde edilebilir en iyi algılayabilirlik değerlerinin belirlenmesine olanak sağlanmıştır.

#### 6.4.4. Soncul algılayabilirlik irdelemeleri

Dış güvenirlük ve algılayabilirlik gereksinimlerin gözden geçirilmekte olduğu değerlendirme işlemleri aşağıda sıralanmakta olan temel ölçütlere göre, İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağına uygulanmıştır.

- Dış güvenirlük dağılımını bozan gözlemler için ulaşılabilir en iyi dış güvenirlük değerinun kestirimi için I. Tip Robust Ağırlıklandırma Modeli kullanılmıştır. Bu model için kullanılan ağırlık fonksiyonunda eşik değeri ( $c = 8$ ) olarak seçilmiştir.
- Denetimli ve kararlı bir algılayabilirlik analizi işlemin için en uygun ölçek katsayısı sınır değeri ( $\Lambda = 10$ ) olarak önerilmektedir. Bu değeri İZDOGAP GPS Ağıının yapısına uygundur.

Tablo 6.15. En uygun algılayabilirlik değerin kestiriminde sınır değeri araştırması

İstasyon No	Epok 2009.370	Epok 2010.496										
	252 ortak baz için $d_{min}$ (cm)	252 ortak baz için $d_{min}$ (cm)	$\Lambda_i$	$\Lambda_s = 3$			$\Lambda_s = 7$			$\Lambda_s = 10$		
				$d_{min}$ (cm)	$\delta_{b_{max}}$	$\delta_{i_{max}}$	$d_{min}$ (cm)	$\delta_{b_{max}}$	$\delta_{i_{max}}$	$d_{min}$ (cm)	$\delta_{b_{max}}$	$\delta_{i_{max}}$
41 (204)	0,34	0,60	2,05	0,52	7,65	7,64	0,57	8,83	8,95	0,57	8,83	8,95
43	0,33	0,58	2,85	0,47	8,71	10,74	0,58	7,91	9,57	0,58	7,91	9,57
46	0,37	0,61	1,94	0,55	3,40	3,74	0,57	3,41	3,76	0,57	3,41	3,76
47	0,39	0,68	<b>3,14</b>	<b>0,50</b>	<b>8,71</b>	<b>10,74</b>	0,67	7,91	9,57	0,67	7,91	9,57
52	0,40	0,55	1,36	0,53	5,25	5,69	0,54	5,28	5,72	0,54	5,28	5,72
65	0,37	0,60	1,62	0,53	4,11	5,49	0,56	4,21	5,57	0,56	3,58	5,57
70	0,44	0,67	1,76	0,58	4,63	5,57	0,63	3,94	6,36	0,63	3,94	6,36
71 (203)	0,43	0,79	2,88	0,60	3,43	5,23	0,66	3,94	6,36	0,66	3,94	6,36
75	0,35	0,61	2,08	0,49	4,43	4,99	0,57	3,35	5,06	0,57	3,35	5,06
76	0,33	0,63	<b>3,10</b>	<b>0,52</b>	<b>4,28</b>	<b>5,29</b>	0,64	3,35	5,06	0,64	3,35	5,06
77	0,35	0,71	<b>3,19</b>	<b>0,51</b>	<b>4,34</b>	<b>5,38</b>	0,66	3,56	4,16	0,66	3,56	4,16
105	0,33	0,60	-	0,50	7,65	7,64	0,56	8,83	8,95	0,56	8,83	8,95
59	0,41	0,71	2,24	0,53	3,80	5,72	0,58	4,60	6,43	0,58	4,62	6,45
42	0,37	0,68	-	0,52	2,94	5,72	0,59	3,36	6,43	0,59	3,59	6,45
106	0,44	0,61	1,88	0,53	5,66	5,56	0,58	6,20	6,12	0,58	6,21	6,13
23 (201)	0,34	0,69	<b>3,96</b>	<b>0,50</b>	<b>3,59</b>	<b>4,94</b>	0,68	4,11	4,52	0,68	4,12	4,53
73	0,36	2,25	<b>13,68</b>	<b>0,49</b>	<b>3,36</b>	<b>8,35</b>	<b>0,57</b>	<b>4,35</b>	<b>10,83</b>	<b>0,57</b>	<b>4,35</b>	<b>10,83</b>
74	0,35	0,88	<b>3,88</b>	<b>0,49</b>	<b>4,43</b>	<b>8,35</b>	0,57	4,35	10,83	0,57	4,35	10,83
60	0,42	1,23	<b>3,49</b>	<b>0,50</b>	<b>7,60</b>	<b>10,41</b>	0,63	6,15	8,80	0,63	6,15	8,81
40	0,40	1,70	<b>3,82</b>	<b>0,50</b>	<b>7,60</b>	<b>10,41</b>	0,61	6,15	8,80	0,61	6,15	8,81
68	0,41	0,85	<b>3,12</b>	<b>0,50</b>	<b>4,28</b>	<b>5,44</b>	0,63	3,28	4,26	0,63	3,28	4,26
69	0,42	0,72	2,29	0,53	4,28	5,44	0,60	3,78	4,92	0,60	3,78	4,92
63	0,36	0,61	2,29	0,51	3,38	3,89	0,53	3,42	3,91	0,53	3,42	3,91
* $\delta_{b_{max}}$	7,80	8,60			15,68			15,71			8,83	
* $\delta_{b_{max}}$ = İZDOGAP Ağı için												
$0 \leq \delta_{i_{max}} \leq 8$ , Başarılı $8 \leq \delta_{i_{max}} \leq 15$ , Yeterli $\delta_{i_{max}} > 15$ , Zayıf						$0 \leq \delta_{b_{max}} \leq 6$ , Başarılı $6 \leq \delta_{b_{max}} \leq 10$ , Yeterli $\delta_{b_{max}} > 10$ , Zayıf						

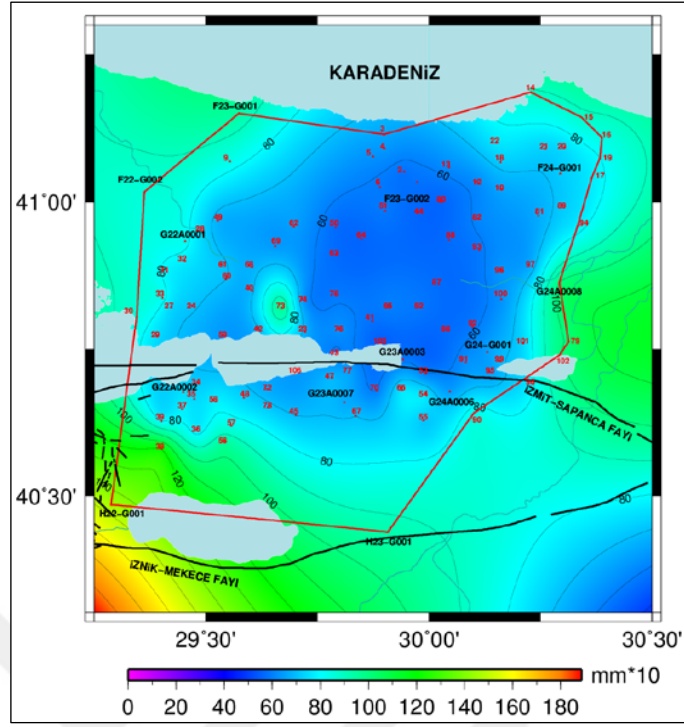
- Bu işlemler sonucunda ölçeklendirilmiş dış güven dağılımının bozulmaması için iyi denetlenebilir ağırlarda ön görülen dış güven sınır değeri ( $\delta_b \leq 10$ ) kullanılmıştır.
- 2009 ve 2010 yıllarında epok oturumlu olarak ölçülüp değerlendirilen İZDOGAP Ağı ölçeklendirilmiş yeni ağırlık bilgileri ile multivaryat ağ düzeninde birleştirilmiştir. Önerilen bu algoritma sonucunda ulaşılabilir en iyi algılayabilirlik değerleri Tablo 6.16’da özetlenmiş ve Şekil 6.23 ile Şekil 6.24’de görsel olarak sergilenmiştir.

Sonuç olarak; İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağına gereksinimleri karşılayan dış güvenilirlik ve algılayabilirlik değerleri, önerdiğimiz algoritma ile ağına dağılımına uygun bir şekilde kestirilmiştir.

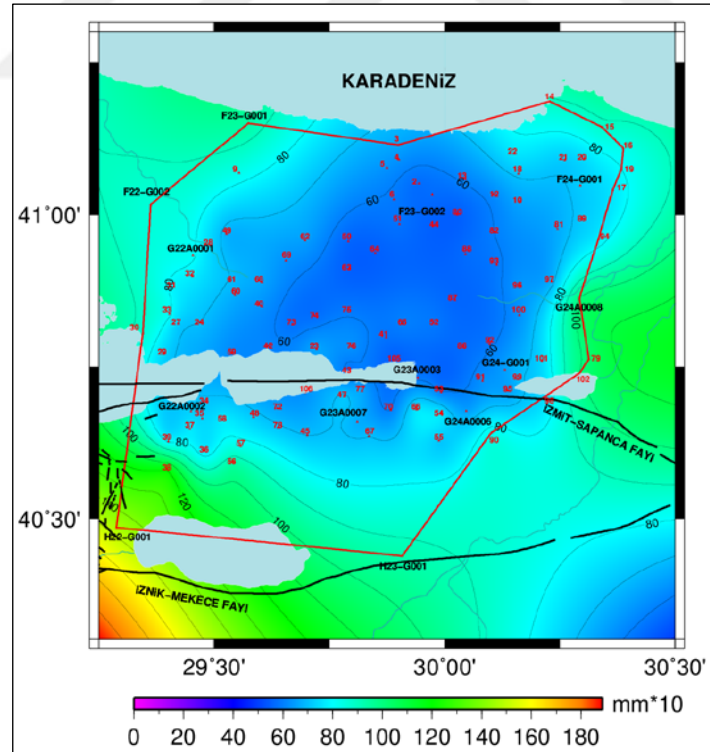
Tablo 6.16. İZDOGAP GPS ağı için soncul algılayabilirlik dağılımı

İstasyon No	Özgün Deneysel Sonuçlar			İyileştirilme Değerleri		
	Öncül		Soncul $d_{min}$ (cm)	Öncül		Soncul $d_{min}$ (cm)
	Epok 2009.370 $d_{min}$ (cm)	Epok 2010.496 $d_{min}$ (cm)		Epok 2009.370 $d_{min}$ (cm)	Epok 2010.496 $d_{min}$ (cm)	
* 41 (204)	<b>0,33</b>	<b>0,54</b>	<b>0,58</b>	<b>0,33</b>	<b>0,54</b>	<b>0,58</b>
* 43	<b>0,32</b>	<b>0,58</b>	<b>0,59</b>	<b>0,32</b>	<b>0,57</b>	<b>0,58</b>
46	0,35	0,56	0,59	0,35	0,56	0,59
* 47	<b>0,38</b>	<b>0,67</b>	<b>0,69</b>	<b>0,38</b>	<b>0,70</b>	<b>0,71</b>
52	0,39	0,54	0,59	0,39	0,54	0,59
65	0,37	0,56	0,60	0,37	0,56	0,60
70	0,38	0,55	0,60	0,38	0,55	0,60
71 (203)	0,42	0,61	0,67	0,42	0,61	0,67
75	0,34	0,56	0,59	0,34	0,56	0,59
76	0,32	0,64	0,63	0,32	0,63	0,63
77	0,35	0,65	0,66	0,35	0,65	0,66
* 105	<b>0,32</b>	<b>0,52</b>	<b>0,55</b>	<b>0,32</b>	<b>0,52</b>	<b>0,55</b>
* 59	0,41	0,60	0,64	0,41	0,57	0,62
* 42	<b>0,36</b>	<b>0,68</b>	<b>0,69</b>	<b>0,36</b>	<b>0,58</b>	<b>0,61</b>
106	0,43	0,57	0,64	0,43	0,56	0,63
23 (201)	0,33	0,68	0,68	0,33	0,67	0,66
**73	<b>0,34</b>	<b>1,01</b>	<b>0,96</b>	<b>0,34</b>	<b>0,54</b>	<b>0,58</b>
74	0,34	0,64	0,65	0,34	0,53	0,57
* 60	<b>0,40</b>	<b>0,67</b>	<b>0,70</b>	<b>0,40</b>	<b>0,63</b>	<b>0,67</b>
* 40	<b>0,37</b>	<b>0,68</b>	<b>0,69</b>	<b>0,37</b>	<b>0,60</b>	<b>0,63</b>
68	0,40	0,65	0,68	0,40	0,62	0,66
69	0,42	0,58	0,64	0,42	0,56	0,63
63	0,36	0,53	0,57	0,36	0,50	0,55

\* : 2010 epogunda dış güven değerlerinin eşik değeri aşan noktalar noktalar  
\*\* : 2010 epogunda algılayabilirlik değerlerinin kötü olduğu nokta



Şekil 6.23. Özgün deneysel sonuçlar için soncul algılayabilirlik haritası



Şekil 6.24. algoritma sonucunda soncul algılayabilirlik haritası

## **6.5. Diğer Ağlar için Dış Güvenirlik ve Algılayabilirlik İrdelemeleri**

KOUSAGA ağı için 2009 ve 2010 yıllarında İZDOGAP GPS ağının ölçme kampanyalarına denk gelen bir zaman diliminde epok oturumlu bir gözlem planı tasarlanmıştır. KOUSAGA ağında epok oturumlu olarak planlanan ölçme planına göre gözlemler serbest ağ yöntemiyle değerlendirilerek algılayabilirlik ve dış güvenirlik analizleri gerçekleştirilmiştir. Öte yandan optimizasyon işlemleri ile gözlem planı tasarlanan İZDOGAP GPS ağının, üst dereceden ağ noktaları ile genişletilmesinin dış güvenirlik ve algılayabilirlik dağılımına katkısı araştırılmıştır.

### **6.5.1. Genişletilmiş İZDOGAP (G-İZDOGAP) ağı**

İZDOGAP GPS Ağı, gözlem süresi 3 saatin üzerinde olan 2 GPS istasyonu (H23-G001 ve İZGZ) kullanılarak, 8 saatlik gözlem süresine sahip 5 TUSAGA-Aktif (ISTN, SLEE, HEND, IZMT, BILE) ve 1 IGS (TUBI) istasyonları ile genişletilmiştir (Şekil 6.11). Tüm gözlemler toplu olarak kısmi iz minimum koşulu altında serbest dengelenmiştir. Bu değerlendirme işlemleri sonucunda Genişletilmiş İZDOGAP ağı için algılayabilirlik ve dış güvenirlik değerleri elde edilmiştir (Tablo 6.17).

#### **6.5.1.1. Dış güvenirlik irdemeleri: G-İZDOGAP**

Genişletilmiş İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağı ile İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağının dış güvenirlik ve algılayabilirlik değerleri karşılaştırıldığında anlamlı bir değişim gözlenmemiştir (Şekil 6.25, Şekil 6.26, Şekil 6.27, Şekil 6.28).

İZDOGAP GPS ağının gözlem planı ağırlık optimizasyonu sonuçlarına göre elde edilmiştir. Bu nedenle komşuluk ilişkisine dayalı olan bu ağa eklenen yeni noktalar, gözlemlerin dış güvenirlik değerlerini ve ağ noktalarının algılayabilirliklerini etkilememektedir. Üst dereceden ağ noktalarına ait gözlem sürelerinin algılayabilirlik ve dış güvenirlik değerlerine etkisini araştırmak için sürekli istasyonlarda 24 saatlik veriler kullanılarak aynı işlemler yapılmıştır. Bu koşul altında algılayabilirlik ve dış güvenirlik değerlerinde anlamlı bir değişim gözlenmemiştir (Tablo 6.18).

Bununla birlikte, KOUSAGA ve Genişletilmiş İZDOGAP ağı birlikte toplu olarak değerlendirilmesi sonucunda ise KOUSAGA ağının “IZMT” istasyonunda algılayabilirlik ve dış güvenirlik değerleri İZDOGAP ağından elde edilen

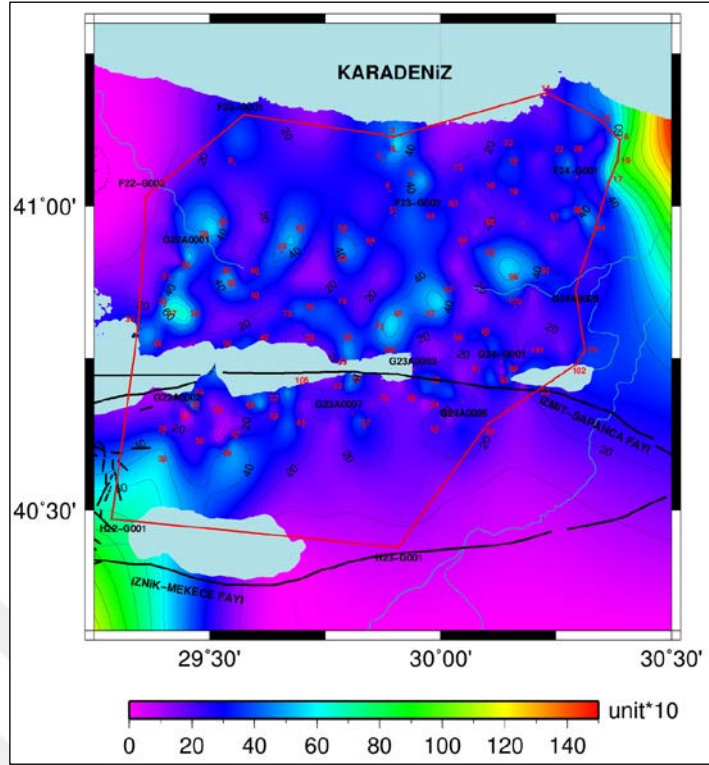
algılayabilirlik ve dış güvenilirlik dağılımına yaklaşmaktadır. Öte yandan KOUSAGA ağıının diğer istasyon noktalarında da iyileşmeler gözlemlenmektedir (Tablo 6.19).

Genişletilmiş İZDOGAP Ağı için elde edilen dış güvenilirlik dağılım değerleri incelendiğinde İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağı ile benzer sonuçlar vermiştir. Bu nedenle, dış güvenilirlik sınır değerini aşan gözlemler için ulaşılabılır en iyi ağırlık dağılımı kestirilirken I. Tip Ağırlıklandırma Modeli uygulanmıştır (Tablo 6.20). Tablo 6.14 ve Tablo 6.20 birlikte incelendiğinde elde edilen sonuçlar arasında anlamlı bir değişimin olmadığı açıkça görülmektedir.

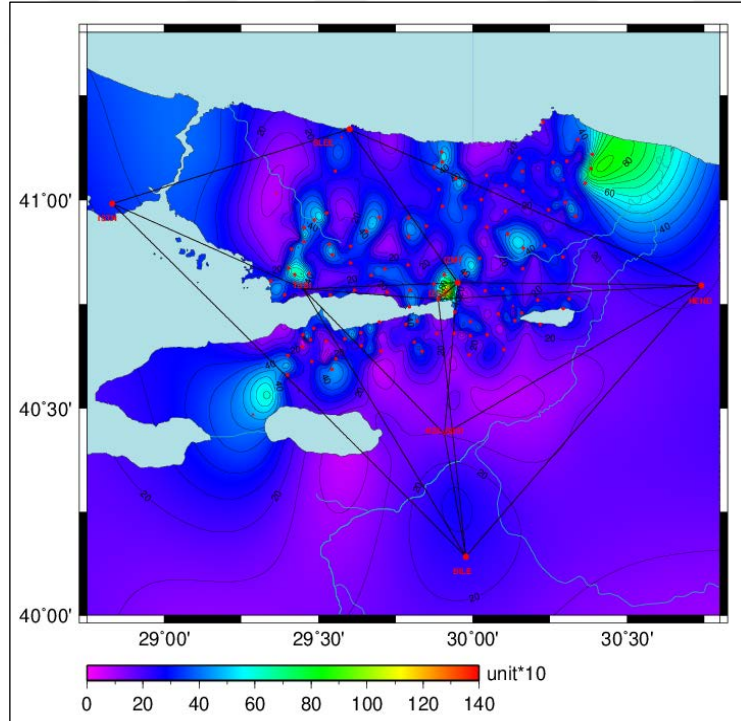
Tablo 6.17. Genişletilmiş İZDOGAP ağı algılayabilirlik ve dış güvenilirlik değerleri

İstasyon No	Genişletilmiş Epok 2009.370		Genişletilmiş Epok 2010.496	
	$\delta_{i\max}$	$d_{\min}$ (cm)	$\delta_{i\max}$	$d_{\min}$ (cm)
41 (204)	5,50	0,32	8,37	0,53
43	5,06	0,31	9,41	0,57
46	4,36	0,34	3,73	0,56
47	4,46	0,37	9,41	0,66
52	5,83	0,39	5,44	0,54
65	5,50	0,36	5,45	0,55
70	2,85	0,37	5,47	0,53
71 (203)	5,51	0,41	5,47	0,60
75	4,06	0,34	5,10	0,56
76	5,06	0,32	5,10	0,63
77	4,49	0,34	4,11	0,64
105	5,35	0,31	8,37	0,49
59	5,35	0,41	7,67	0,60
42	5,35	0,37	7,67	0,68
106	4,52	0,43	5,77	0,57
23 (201)	3,45	0,33	4,55	0,68
73	4,69	0,34	4,59	1,01
74	4,69	0,34	9,11	0,64
60	5,38	0,41	4,59	0,68
40	3,59	0,37	9,11	0,68
68	4,15	0,40	4,27	0,65
69	5,04	0,42	3,78	0,58
63	5,38	0,36	3,86	0,53

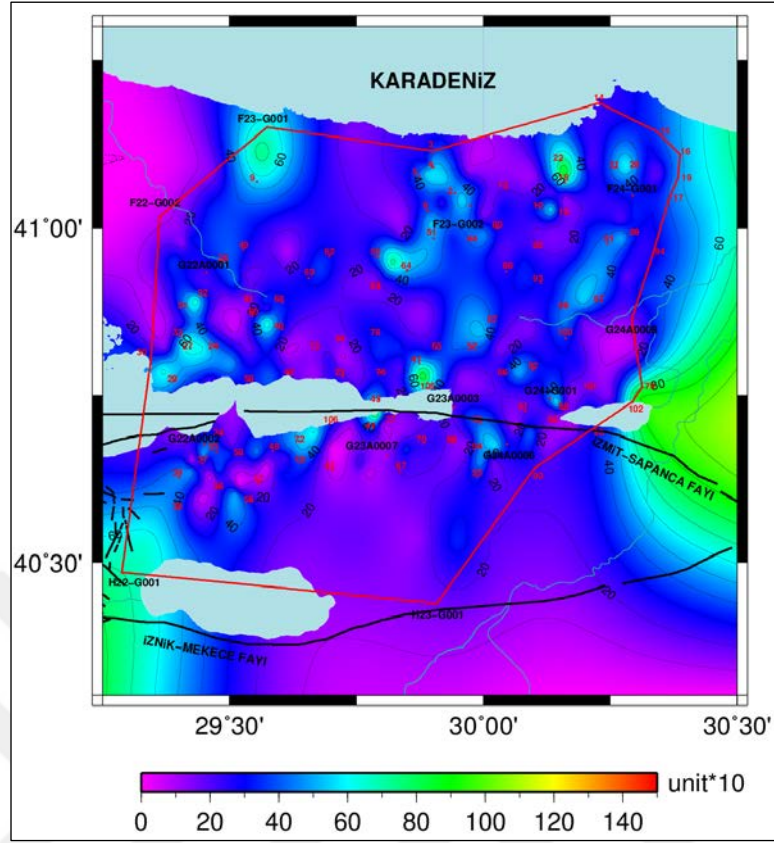




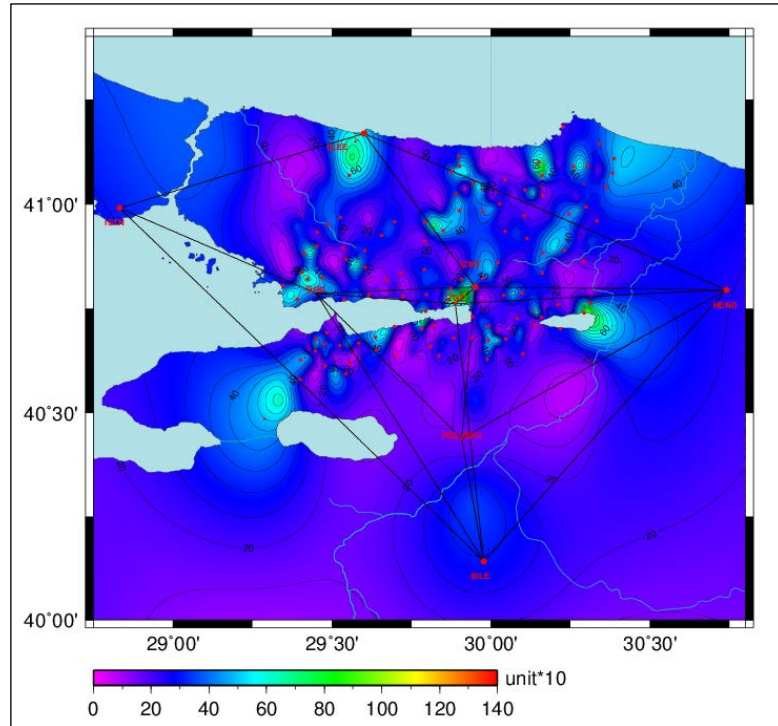
Şekil 6.25. 2009 epoklu İZDOGAP ağı deneysel dış güvenilirlik haritası



Şekil 6.26. 2009 epoklu genişletilmiş İZDOGAP ağı deneysel dış güvenilirlik haritası



Şekil 6.27. 2010 epoklu İZDOGAP ağı deneysel dış güvenilirlik haritası



Şekil 6.28. 2010 epoklu genişletilmiş İZDOGAP ağı deneysel dış güvenilirlik haritası

Tablo 6.18. Genişletilmiş İZDOĞAP GPS ağının dış güvenilirlik ve algılayabilirlik değerlerine katkısı

İstasyon No	İZDOĞAP Sıklaştırma GPS Ağı			Genişletilmiş İZDOĞAP Ağı			Genişletilmiş İZDOĞAP ve KOUSAGA Ağı (8 saatlik gözlemler)			Genişletilmiş İZDOĞAP ve KOUSAGA Ağı (24 saatlik gözlemler)		
	Epok 2009.370		Epok 2010.496	Epok 2009.370		Epok 2010.496	Epok 2009.370		Epok 2010.496	Epok 2009.370		Epok 2010.496
	$\delta_{i,max}$	$d_{min}$ (cm)	$\delta_{i,max}$	$d_{min}$ (cm)	$\delta_{i,max}$	$d_{min}$ (cm)	$\delta_{i,max}$	$d_{min}$ (cm)	$\delta_{i,max}$	$d_{min}$ (cm)	$\delta_{i,max}$	$d_{min}$ (cm)
<b>41 (204)</b>	5,51	0,33	8,45	0,54	5,50	0,32	8,37	0,53	5,50	0,33	8,36	0,52
<b>43</b>	5,06	0,32	9,41	0,58	5,06	0,31	9,41	0,57	5,06	0,32	9,41	0,57
<b>46</b>	4,40	0,35	4,02	0,6	4,36	0,34	3,73	0,56	4,36	0,35	3,73	0,56
<b>47</b>	4,46	0,38	9,41	0,67	4,46	0,37	9,41	0,66	4,46	0,38	9,41	0,67
<b>52</b>	5,83	0,39	5,44	0,54	5,83	0,39	5,44	0,54	5,83	0,40	5,44	0,55
<b>65</b>	5,51	0,37	5,47	0,56	5,50	0,36	5,45	0,55	5,50	0,37	5,45	0,56
<b>70</b>	2,85	0,38	5,49	0,55	2,85	0,37	5,47	0,53	2,85	0,38	5,46	0,53
<b>71 (203)</b>	5,53	0,42	5,49	0,61	5,51	0,41	5,47	0,60	5,51	0,42	5,46	0,60
<b>75</b>	4,06	0,34	5,10	0,56	4,06	0,34	5,10	0,56	4,06	0,35	5,10	0,56
<b>76</b>	5,06	0,32	5,10	0,64	5,06	0,32	5,10	0,63	5,06	0,33	5,10	0,63
<b>77</b>	4,49	0,35	4,11	0,65	4,49	0,34	4,11	0,64	4,49	0,35	4,11	0,64
<b>105</b>	5,36	0,32	8,45	0,52	5,35	0,31	8,37	0,49	5,35	0,31	8,36	0,49
<b>59</b>	5,35	0,41	7,67	0,60	5,35	0,41	7,67	0,60	5,35	0,43	7,67	0,62
<b>42</b>	5,35	0,36	7,67	0,68	5,35	0,37	7,67	0,68	5,35	0,38	7,67	0,69
<b>106</b>	4,52	0,43	5,79	0,57	4,52	0,43	5,77	0,57	4,52	0,44	5,77	0,58
<b>23 (201)</b>	3,45	0,33	4,56	0,68	3,45	0,33	4,55	0,68	3,45	0,34	4,55	0,68
<b>73</b>	4,69	0,34	4,59	1,01	4,69	0,34	4,59	1,01	4,69	0,35	4,59	1,02
<b>74</b>	4,69	0,34	4,59	0,64	4,69	0,34	4,59	0,64	4,69	0,35	4,59	0,65
<b>60</b>	5,38	0,40	9,11	0,67	5,38	0,41	9,11	0,68	5,38	0,42	9,11	0,69
<b>40</b>	3,59	0,37	9,11	0,68	3,59	0,37	9,11	0,68	3,59	0,38	9,11	0,70
<b>68</b>	4,15	0,40	4,27	0,65	4,15	0,40	4,27	0,65	4,15	0,42	4,27	0,67
<b>69</b>	5,04	0,42	3,65	0,58	5,04	0,42	3,78	0,58	5,04	0,43	3,64	0,60
<b>63</b>	5,38	0,36	3,86	0,53	5,38	0,36	3,86	0,53	5,38	0,37	3,86	0,55

Tablo 6.19. KOUSAGA GPS ağı'nın dış güvenilirlik ve algılayabilirlik dağılımına katkısı

İstasyon No	KOUSAGA Ağı (8 saatlik gözlemler)				Genişletilmiş İZDOĞAP Ağı ve KOUSAGA Ağı (8 saatlik gözlemler)				Genişletilmiş İZDOĞAP Ağı ve KOUSAGA Ağı (24 saatlik gözlemler)			
	Epok 2009.370		Epok 2010.496		Epok 2009.370		Epok 2010.496		Epok 2009.370		Epok 2010.496	
	$\delta_{imax}$	$d_{imin}$ (cm)	$\delta_{imax}$	$d_{imin}$ (cm)	$\delta_{imax}$	$d_{imin}$ (cm)	$\delta_{imax}$	$d_{imin}$ (cm)	$\delta_{imax}$	$d_{imin}$ (cm)	$\delta_{imax}$	$d_{imin}$ (cm)
BAND	3,83	2,47	3,73	2,47	3,78	3,50	3,68	2,82	3,79	3,27	3,78	3,09
BILE	3,12	1,94	3,18	1,86	2,64	1,67	2,76	1,40	2,46	1,28	2,92	1,43
BOLU	4,63	2,67	4,64	2,54	4,55	3,59	4,58	2,81	4,40	3,23	4,11	2,98
HEND	3,21	1,87	3,13	1,78	3,05	1,83	3,25	1,53	3,12	1,42	3,46	1,59
ISTA	8,89	1,78	8,67	1,79	7,23	2,34	7,11	1,92	6,92	1,99	6,98	2,01
ISTN	8,89	1,84	8,67	1,85	7,23	2,23	7,11	1,83	6,92	1,84	6,98	1,90
IZMT	<b>3,76</b>	<b>1,68</b>	<b>3,80</b>	<b>1,71</b>	<b>1,66</b>	<b>0,76</b>	<b>1,86</b>	<b>0,63</b>	<b>1,54</b>	<b>0,53</b>	<b>1,71</b>	<b>0,63</b>
NAHA	4,63	2,60	4,64	2,44	4,55	3,43	4,58	2,68	4,40	3,20	3,77	2,92
SLEE	3,15	1,69	3,45	1,65	2,21	1,83	2,40	1,50	2,22	1,48	2,44	1,54
TEKR	3,83	2,88	3,73	2,96	3,78	4,06	3,68	3,30	3,79	3,68	3,78	3,51
TUBI	3,76	1,52	3,60	1,51	2,11	1,39	2,20	1,24	2,08	0,98	2,14	1,25
ZONG	4,07	2,93	3,98	2,88	4,04	4,00	3,95	3,18	4,08	3,53	4,11	3,41

Tablo 6.20. Genişletilmiş İZDOGAP ağı için ulaşılabilir dış güvenilirlik dağılımı

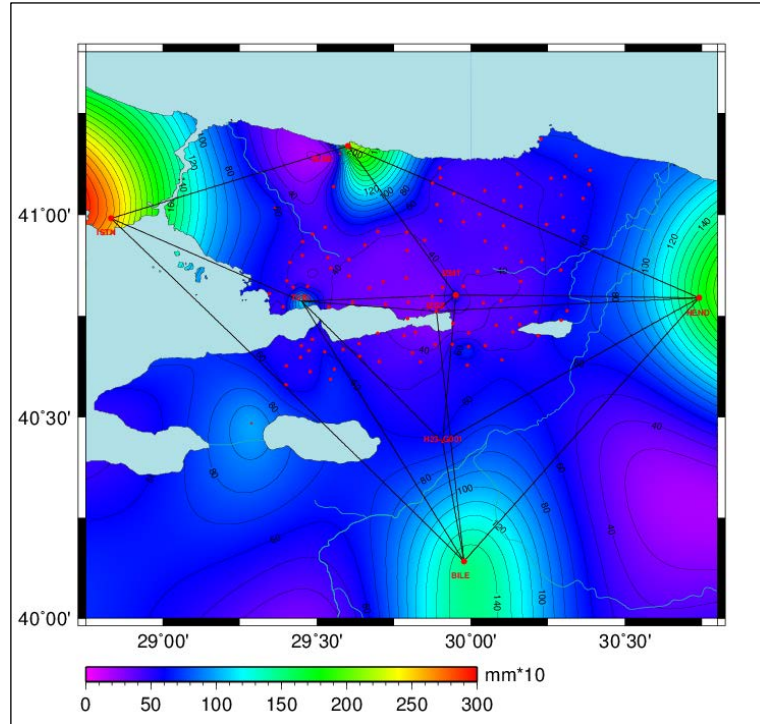
İstasyon No	Genişletilmiş İZDOGAP Epok 2009.370				Genişletilmiş İZDOGAP Epok 2010.496			
	Öncül Değerler		I. Tip EKK_ITRW		Öncül Değerler		I. Tip EKK_ITRW	
	$\delta_{imax}$	$d_{min}$ (cm)	$\delta_{imax}$	$d_{min}$ (cm)	$\delta_{imax}$	$d_{min}$ (cm)	$\delta_{imax}$	$d_{min}$ (cm)
<b>41</b> <b>(204)</b>	5,50	0,32	5,50	0,32	8,37	0,53	8,00	0,53
<b>43</b>	5,06	0,31	5,06	0,31	9,41	0,57	7,89	0,57
<b>46</b>	4,36	0,34	4,36	0,34	3,73	0,56	3,73	0,56
<b>47</b>	4,46	0,37	4,46	0,37	9,41	0,66	7,89	0,69
<b>52</b>	5,83	0,39	5,83	0,39	5,44	0,54	5,44	0,54
<b>65</b>	5,50	0,36	5,50	0,36	5,45	0,55	5,47	0,55
<b>70</b>	2,85	0,37	2,85	0,37	5,47	0,53	5,48	0,54
<b>71</b> <b>(203)</b>	5,51	0,41	5,51	0,41	5,47	0,60	5,48	0,60
<b>75</b>	4,06	0,34	4,06	0,34	5,10	0,56	5,10	0,56
<b>76</b>	5,06	0,32	5,06	0,32	5,10	0,63	5,10	0,63
<b>77</b>	4,49	0,34	4,49	0,34	4,11	0,64	4,12	0,64
<b>105</b>	5,35	0,31	5,35	0,31	8,37	0,49	8,00	0,50
<b>59</b>	5,35	0,41	5,35	0,41	7,67	0,60	7,68	0,61
<b>42</b>	5,35	0,37	5,35	0,37	7,67	0,68	7,68	0,68
<b>106</b>	4,52	0,43	4,52	0,43	5,77	0,57	5,78	0,57
<b>23</b> <b>(201)</b>	3,45	0,33	3,45	0,33	4,55	0,68	4,56	0,68
<b>73</b>	4,69	0,34	4,69	0,34	4,59	1,01	4,59	1,01
<b>74</b>	4,69	0,34	4,69	0,34	9,11	0,64	4,59	0,64
<b>60</b>	5,38	0,41	5,38	0,41	4,59	0,68	7,94	0,69
<b>40</b>	3,59	0,37	3,59	0,37	9,11	0,68	7,94	0,69
<b>68</b>	4,15	0,40	4,15	0,40	4,27	0,65	4,27	0,66
<b>69</b>	5,04	0,42	5,04	0,42	3,78	0,58	3,65	0,58
<b>63</b>	5,38	0,36	5,38	0,36	3,86	0,53	3,86	0,53

### 6.5.1.2. Algılayabilirlik analizleri: G-İZDOGAP

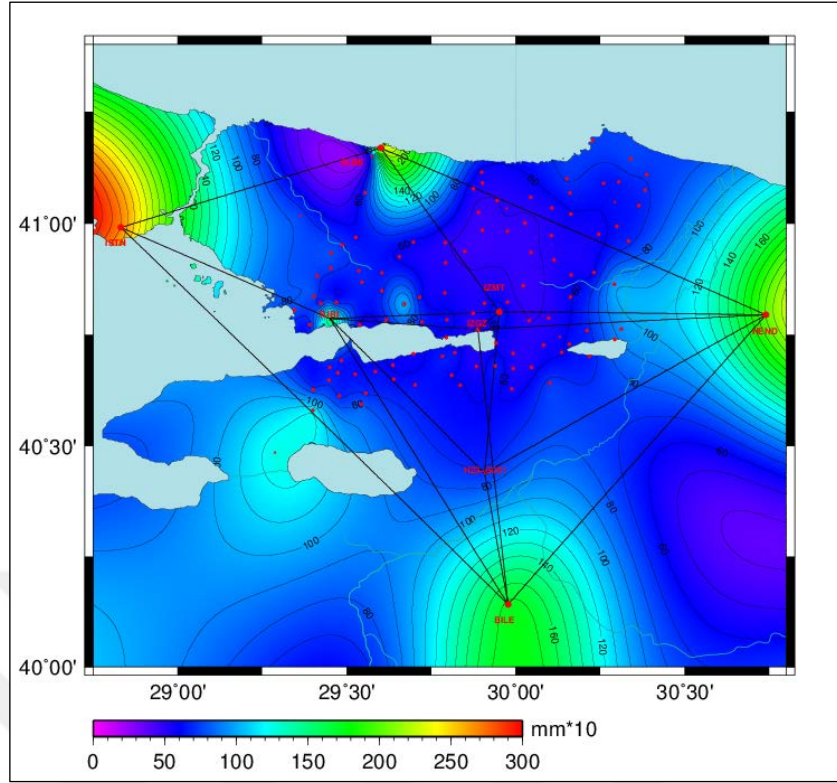
Genişletilmiş İZDOGAP ağı için 2009 ve 2010 epoklarında elde edilen algılayabilirlik dağılımlarının İZDOGAP GPS Ağı ile karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda komşuluk ilişkilerine dayalı olarak gözlem planı oluşturulan ve güçlü bir geometrik şekle sahip ağlarda, gözlem planına yeni gözlemlerin eklenmesi ile algılayabilirlik dağılımının değişmediği görülmüştür (Tablo 6.20, şekil 6.29 ve şekil 6.30)

Bununla birlikte Genişletilmiş İZDOGAP Ağı için 2009.370 ve 2010.496 epoklarında elde edilen algılayabilirlik değerleri fark haritası incelendiğinde de İZDOGAP GPS Ağı'nda olduğu gibi 73 numaralı istasyon noktasında algılayabilirlik farkında bir sapmanın oluştuğu gözlenmiştir (şekil 6.31).

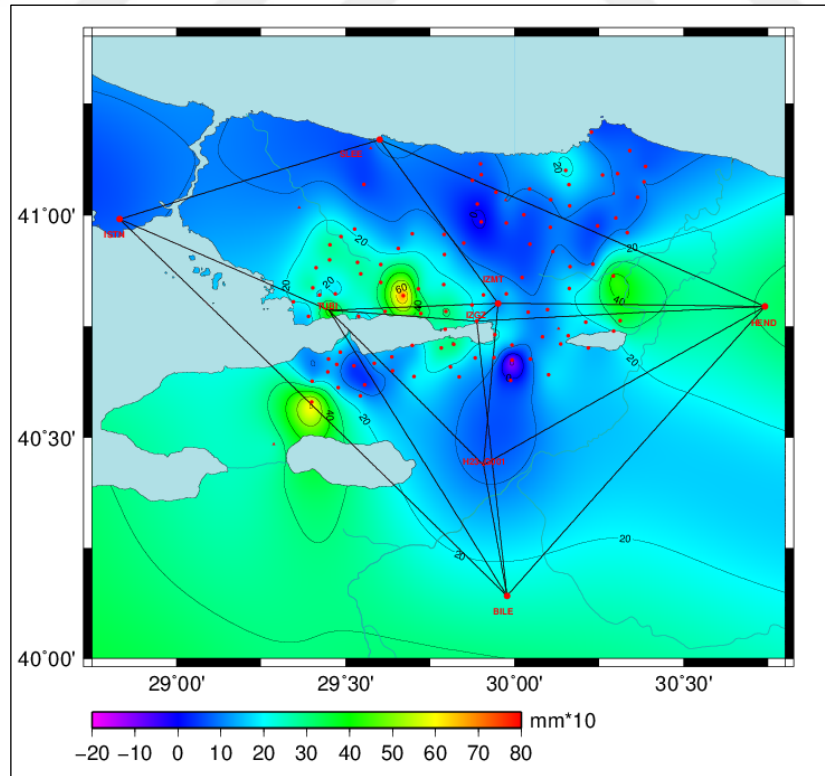
İZDOGAP GPS Ağı için uygulanan algılayabilirlik analizleri sonucunda en uygun ölçek katsayısı sınır değeri ( $\Lambda_s = 10$ ) olarak belirlenmiştir. İZDOGAP GPS Ağı'nın genişletilmesi ile algılayabilirlik dağılımında herhangi bir değişimin olmamasından dolayı Genişletilmiş İZDOGAP Ağı için ölçek katsayısı sınır değerini ( $\Lambda_s = 10$ ) olarak kullanılmış ve 73 nolu istasyon noktasında daha iyimser bir kestirim değerini elde edilmiştir (Tablo 6.21).



şekil 6.29. Genişletilmiş İZDOGAP ağı epok 2009 algılayabilirlik haritası



Şekil 6.30. Genişletilmiş İZDOGAP ağı epok 2010 algılayabilirlik haritası



Şekil 6.31. Genişletilmiş İZDOGAP ağı algılayabilirlik fark haritası

Tablo 6.21. Genişletilmiş İZDOGAP ağı için ulaşılabilir algılayabilirlik dağılımı

İstasyon No	Genişletilmiş İZDOGAP Epok 2009.370		Genişletilmiş İZDOGAP Epok 2010.496			
	Öncül Değerler		Öncül Değerler		$\Lambda_s = 10$	
	$\delta_{i_{max}}$	$d_{min}$ (cm)	$\delta_{i_{max}}$	$d_{min}$ (cm)	$\delta_{i_{max}}$	$d_{min}$ (cm)
41 (204)	5,50	0,32	8,37	0,53	8,33	0,52
43	5,06	0,31	9,41	0,57	9,41	0,56
46	4,36	0,34	3,73	0,56	3,73	0,56
47	4,46	0,37	9,41	0,66	9,41	0,66
52	5,83	0,39	5,44	0,54	5,44	0,54
65	5,50	0,36	5,45	0,55	5,44	0,55
70	2,85	0,37	5,47	0,53	5,46	0,53
71 (203)	5,51	0,41	5,47	0,60	5,46	0,60
75	4,06	0,34	5,10	0,56	5,05	0,55
76	5,06	0,32	5,10	0,63	5,05	0,62
77	4,49	0,34	4,11	0,64	4,10	0,64
105	5,35	0,31	8,37	0,49	8,33	0,49
59	5,35	0,41	7,67	0,60	6,39	0,57
42	5,35	0,37	7,67	0,68	6,39	0,58
106	4,52	0,43	5,77	0,57	5,73	0,56
23 (201)	3,45	0,33	4,55	0,68	4,48	0,67
73	4,69	0,34	4,59	1,01	10,28	0,54
74	4,69	0,34	9,11	0,64	10,28	0,53
60	5,38	0,41	4,59	0,68	8,79	0,63
40	3,59	0,37	9,11	0,68	8,79	0,60
68	4,15	0,40	4,27	0,65	4,25	0,63
69	5,04	0,42	3,78	0,58	3,45	0,57
63	5,38	0,36	3,86	0,53	3,83	0,50

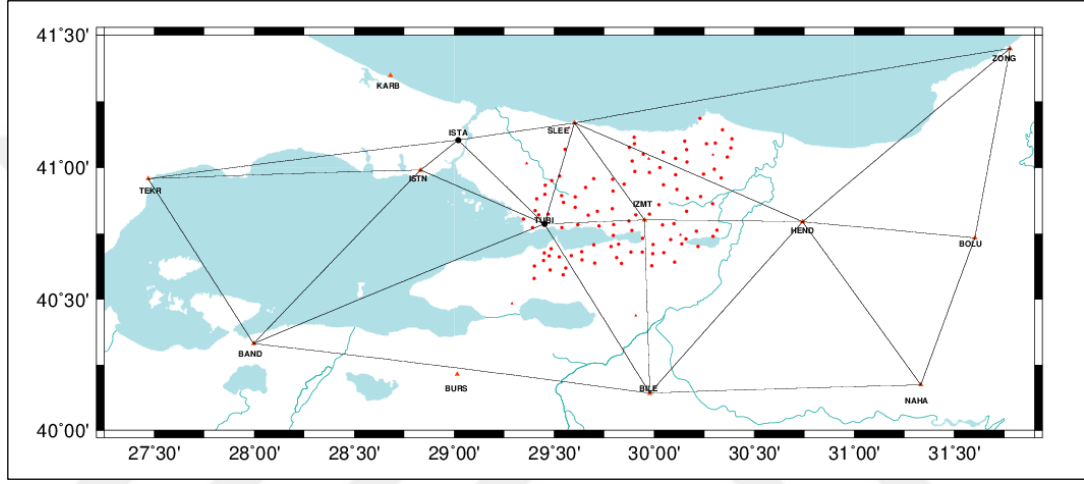
### 6.5.2. KOUSAGA sabit GPS ağı

İZDOGAP ağını çevreleyen, 2 IGS ve 10 (BAND, BILE, ZONG, HEND, NAHA, BOLU, IZMT, SLEE, TEKR, ISTN) TUSAGA-Aktif istasyonundan oluşan KOUSAGA Sabit GPS Ağında, delaunay üçgenlemesinden yararlanılarak 2009 ve 2010 epoklarında 8 saatlik gözlem planları oluşturulmuştur (Şekil 6.32). Algılayabilirlik ve dış güvenirlilik analizlerinin yapılabilmesi için oluşturulan gözlem planında TUSAGA-Aktif istasyonlarından “BURS” bulunmamaktadır. Bunun sebebi ise, 2009 yılında İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağı 25.04.2009-03.06.2009 tarihleri arasında ölçüldüğünde, “BURS” istasyonunda ilgili tarihler arasında veri kaydı bulunmamasıdır.



### 6.5.2.1. Dış güvenilirlik irdelemeleri: KOUSAGA

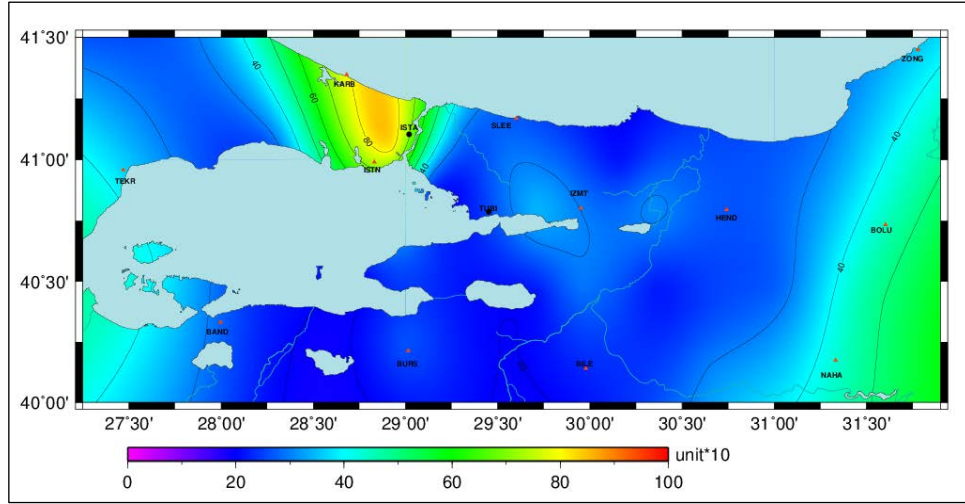
2009 ve 2010 epoklarında 8 saatlik gözlemlerin değerlendirilmesi sonucunda KOUSAGA ağı için algılayabilirlik ve dış güvenilirlik değerleri elde edilmiştir (Tablo 6.22, Şekil 6.33, Şekil 6.34). 2009 ve 2010 epoklarındaki 8 saatlik gözlemlerin değerlendirilmesi sonucu hesaplanan dış güvenilirlik dağılımlarının benzer olduğu gözlemlenmiştir ve dış güvenilirlik farkları ise yaklaşık sıfırdır (Şekil 6.35). Bu nedenle KOUSAGA ağı için herhangi bir ölçeklendirme işlemi uygulanmamıştır.



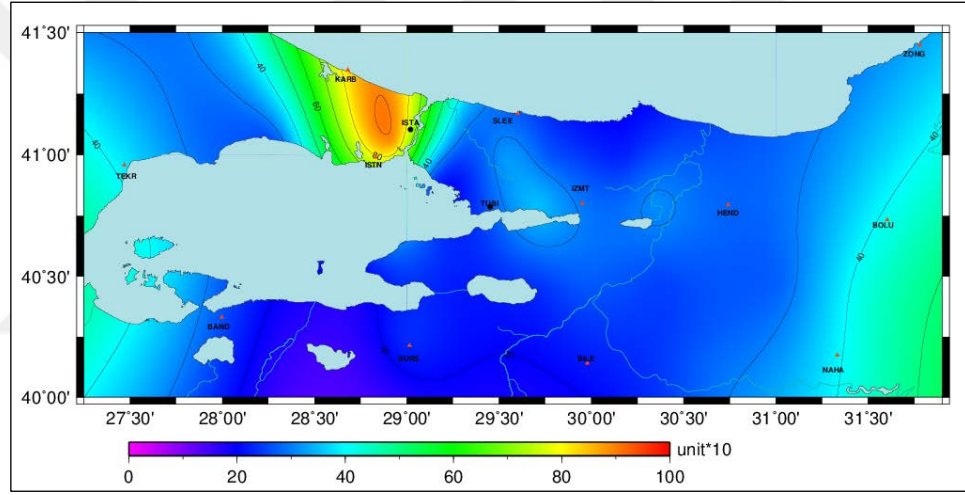
Şekil 6.32. KOUSAGA ağı gözlem planı

Tablo 6.22. KOUSAGA ağı dış güvenilirlik ve algılayabilirlik değerleri

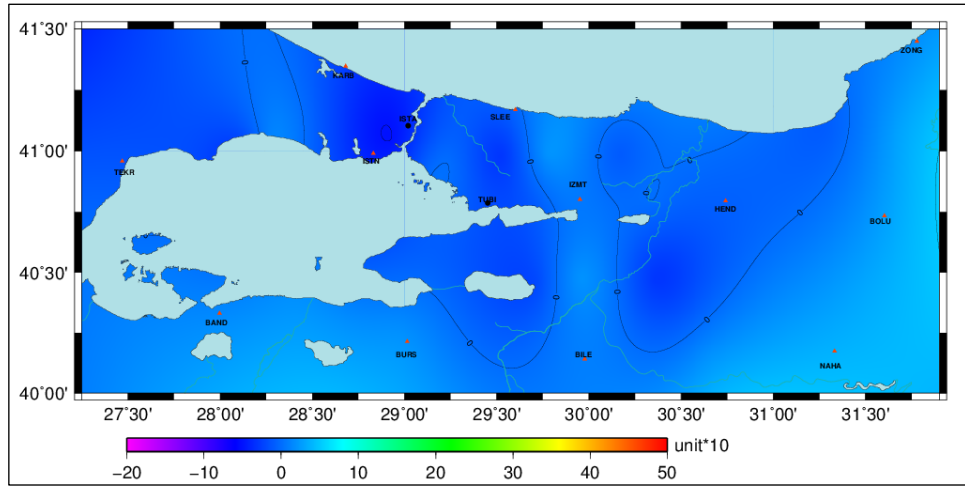
İstasyon Adı	Epok 2009.370		Epok 2010.496	
	Öncül		Öncül	
	$\delta_{i\max}$	$d_{\min}$ (cm)	$\delta_{i\max}$	$d_{\min}$ (cm)
BAND	3,83	2,47	3,73	2,47
BİLİ	3,12	1,94	3,18	1,86
BOLU	4,63	2,67	4,64	2,54
HEND	3,21	1,87	3,13	1,78
İSTA	8,89	1,78	8,67	1,79
İSTN	8,89	1,84	8,67	1,85
İZMT	3,76	1,68	3,80	1,71
NAHA	4,63	2,60	4,64	2,44
SLEE	3,15	1,69	3,45	1,65
TEKR	3,83	2,88	3,73	2,96
TUBİ	3,76	1,52	3,60	1,51
ZONG	4,07	2,93	3,98	2,88



Şekil 6.33. KOUSAGA ağı epok 2009 dış güven haritası



Şekil 6.34. KOUSAGA ağı epok 2010 dış güven haritası



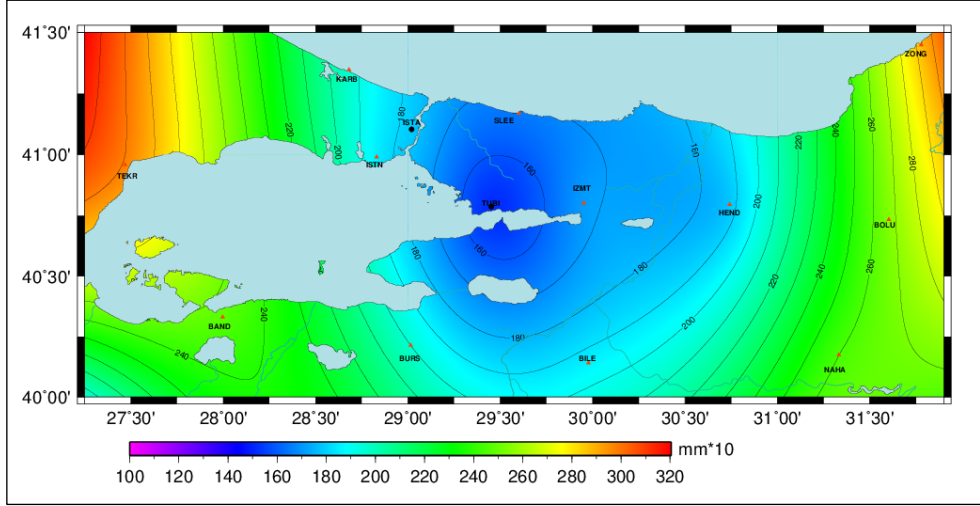
Şekil 6.35. KOUSAGA ağı dış güvenirlilik fark haritası

### 6.5.2.2. Algılayabilirlik analizleri: KOUSAGA

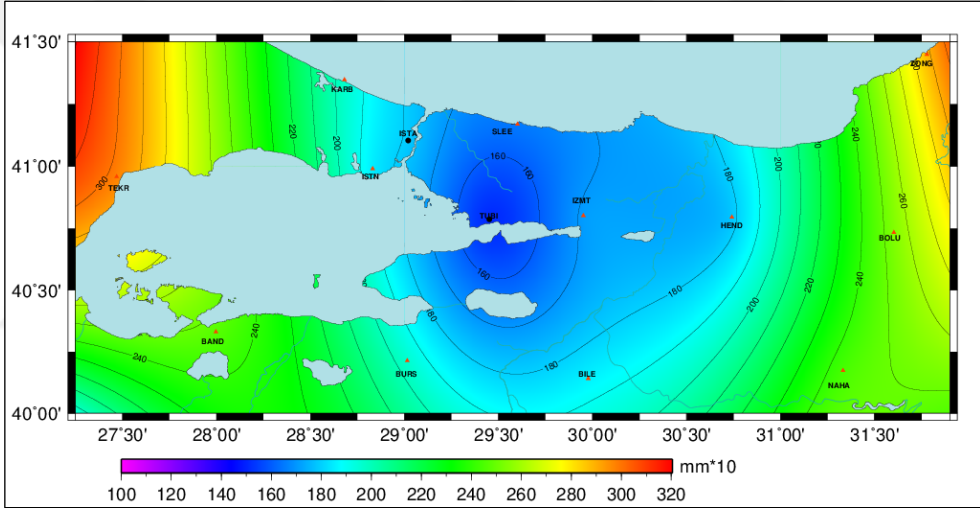
Dış güvenilirlik analizleri bölümünde anlatıldığı gibi, KOUSAGA ağı için delaunay üçgenlemesine göre epok oturumlu bir gözlem planı tasarlanmıştır (Şekil 6.32). Tasarlanan gözlem planına göre 2009 ve 2010 yıllarındaki 8 saatlik gözlemlerin değerlendirilmesi sonucu her epokta elde edilen algılayabilir değerleri tablo 19'da özetlenmiştir (Şekil 6.36, Şekil 6.37). Her iki epokta elde edilen algılayabilirlik değerlerinin benzer dağılımı sahip oldukları algılayabilirlik fark haritaları ile açıkça görülmüştür (Şekil 6.38). Diğer bir ifade ile iki epok arasındaki algılayabilirlik farkları yaklaşık sıfır olarak elde edilmiştir. Bu nedenle uygun bir algılayabilirlik değerinin kestirilmesi için herhangi bir ölçeklendirmeye gerek duyulmamıştır.

Sonuç olarak:

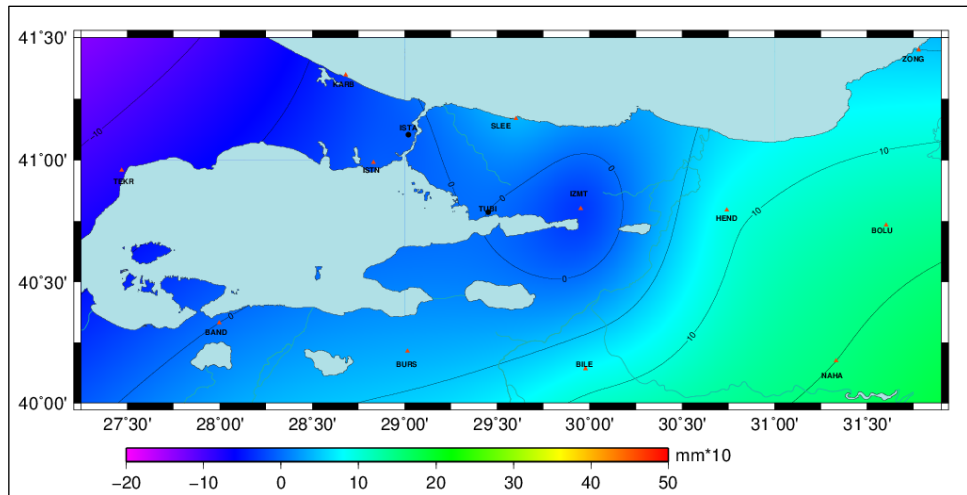
- İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağının ölçme planı ikinci dereceden bir ağırlık optimizasyonu kullanılarak ve baz oturumlarının sayıları ve süreleri ise baz optimizasyonu kullanılarak belirlenmiştir (Kurt ve Konak 2009). Komşuluk ilişkilerine göre tasarlanan İZDOGAP Ağının, ek gözlem planı ile IGS ve TUSAGA-Aktif istasyonları ile genişletilmesinin ağın dış güvenilirlik ve algılayabilirlik dağılımında belirgin bir iyileşme sağlamadığı gözlenmiştir. Bununla birlikte, sürekli istasyon noktalarının gözlem sürelerinin arttırılması ile İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağının dış güvenilirlik ve algılayabilirlik dağılımında herhangi bir iyileşme gözlenmemiştir (Tablo 6.18).
- KOUSAGA Ağı ile Genişletilmiş İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağı birlikte değerlendirildiğinde, İZDOGAP Sıklaştırma GPS ağının ortalarına denk gelen IZMT istasyonunda dış güvenilirlik ve algılayabilirlik değerleri İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağından elde edilen dış güvenilirlik ve algılayabilirlik dağılımına yakınsamaktadır. Bununla birlikte KOUSAGA ağının gözlem sürelerinin arttırılması ile IZMT istasyon noktasının algılayabilirlik ve dış güvenilirlik değerlerinin İZDOGAP Sıklaştırma GPS Ağından elde edilen dış güvenilirlik ve algılayabilirlik dağılım değerlerine daha iyi bir şekilde yakınsadığı gözlenmiştir (Tablo 6.19).



Şekil 6.36. KOUSAGA ağı epok 2009 algılayabilirlik haritası



Şekil 6.37. KOUSAGA ağı epok 2010 algılayabilirlik haritası



Şekil 6.38. KOUSAGA ağı algılayabilirlik fark haritası

## 6.6. Algılayabilirlik ve Sağlamlık Sentezi

Sağlamlık irdelemeleri, herhangi bir ölçüde ortaya çıkarılmayan hatanın, koordinat bilinmeyenlerine etkisinden kaynaklanan yer değiştirme vektörleri kullanılarak gerçekleştirilir. Bu irdeleme aşamasında, her istasyon noktasında ölçü sayısı kadar yer değiştirme büyüklüğü elde edilebilmektedir. Koordinat bilinmeyenleri üzerinde en büyük etkiye sahip gözlemin neden olduğu deformasyon direncinin ya da geriniminin belirlenmesi sağlamlık analizleri açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle koordinat bilinmeyenleri üzerinde en büyük etkiye sahip gözlem datumdan bağımsız bir şekilde kestirilmelidir. Kestirim işlemleri için çeşitli vektör normları test edilmiş ve yansız bir sonuç veren öklit normunun diğer bir ifade ile L2 normunun kullanılmasına karar verilmiştir. Öklit normuna göre belirlenen koordinat bilinmeyenleri üzerinde en büyük etkiye sahip yer değiştirme vektörü kullanılarak İZDOGAP Sıklaştıırma GPS Ağı için gerinim bilgileri hesaplanmıştır.

Gerinim bilgileri, her bir istasyon noktası için belirlenen yüzeyde, dengelemeli afin dönüşümü işlemi ile Eşitlik (3.31), (3.32), (3.33) ve (3.34) kullanılarak üç boyutlu olarak elde edilmiştir. Elde edilen gerinim bilgileri kullanılarak, her bir istasyon noktası için gerinimlerden kaynaklanan deformasyon vektörleri kestirilmiştir. Deformasyon vektörlerinin ötelemeden bağımsız olarak ve tutarlı bir şekilde kestirilebilmesi için başlangıç koşullarına ihtiyaç duyulur. Bunun için tez çalışması kapsamında lokal ve global başlangıç noktaları, Eşitlik (4.56) ve (4.68) kullanılarak iki farklı yaklaşımla ele alınmıştır. Elde edilen lokal ve global başlangıç koşulları kullanılarak her bir istasyon noktası için düzeltilmiş yer değiştirme vektörleri ayrı ayrı kestirilmiştir. Diğer bir ifade ile her bir istasyon noktasının sağlamlık derecesi lokal ve global anlamda elde edilmiştir. Elde edilen deformasyon değerleri Eşitlik (4.70) kullanılarak hesaplanan eşik değer ile karşılaştırılmış ve deformasyon vektörünün anlamlılığı test edilmiştir. Bu işlemler, İZDOGAP GPS Ağı için 2009.370 ve 2010.496 epoklarında ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1, Tablo 6.23, Ek-3a ve Ek-3b). Bu bölümdeki sayısal uygulamalar için `srbst_d.cpp` ve `3B_rbstness.cpp` programları kullanılmıştır.

Tablo 6.23, Ek-3a ve Ek-3b incelendiğinde:

- Lokal yaklaşıma göre kestirilen yer değiştirme vektörünün büyüklükleri global yaklaşıma göre kestirilen değerlerden genel olarak daha küçük olarak elde edilmiştir.
- Öte yandan 2009.370 epoğunda 103 ve 38 nolu istasyon noktalarında lokal yer değiştirme vektörleri global yer değiştirme vektörlerinden daha yüksektir. Bu istasyon noktalarının Şekil 6.13'de yerleri incelendiğinde dış kuşak noktalarında yer aldığı gözlenmiştir. 2010.496 epoğunda ise 73 ve 42 nolu istasyon noktalarında lokal deformasyon vektörlerinin büyüklüğü global deformasyon vektörlerinden daha yüksektir.
- 2009.370 ve 2010.496 epoklarında, her istasyon noktası için elde edilen lokal ve global yer değiştirme vektörleri güven elipsi elemanlarından elde edilen sınır değeri aşmamıştır.
- Sonuç olarak İZDOGAP GPS Ağı tüm noktalarda sağlamdır ve algılayabilirlik değerleri de güvenilir değerlerdir.

Dış güven vektörleri, ağı gözlem planına göre sifıra yakın ve sifıra eşit çok sayıda alt vektör bileşenlerinden oluşur. Bu nedenle sağlamlık analizi için global bir yer değiştirme vektörü kesitirmektedir. Lokal ve global yer değiştirme vektörünün büyüklüğü başlangıç koşullarının seçimindeki varsayımına göre değişmektedir. Başka bir anlatımla, bir noktadaki lokal yer değiştirme vektörü komşu noktaların oluşturduğu ortak bir yüzeyi temsil ederler. Bu nedenle gözlemlerin ağırlıklarına ve ölçme planındaki yerine karşı oldukça duyarlı bir davranış sergilerler. Bu durumda lokal karşılaştırma ölçütü olarak önerdiğimiz lokal yer değiştirme vektörü yerel sorgulama dedektörü amacıyla kullanılabilir.

Herhangi bir istasyon noktası için elde edilen yer değiştirme vektörleri, ortaya çıkarılmayan hataların koordinat bilinmeyenleri üzerindeki etkisini temsil ettiği için, aynı zamanda ortaya çıkarılabilir minimum yer değiştirme miktarı diğer bir ifade ile algılayabilirlik ( $d_{min}$ ) düzeyi ile karşılaştırılabilir bir değer olarak yorumlanabilir (Tablo 6.23, Ek-3a ve Ek-3b). Buna göre:

- 2009.370 epoğunda lokal yer değiştirme vektörleri incelendiğinde; yalnızca 103 ve 38 nolu istasyon noktalarında yer değiştirme vektör değerleri ( $d_{min}$ ) sınır değerini aşmıştır. 2009.370 epoğunda 103-38 baz gözlemi dış güvenilirlik değeri güvenilirlik

dağılımını bozan bir gözlemdir. Bununla birlikte gerek 2009.370 gerekse 2010.496 epoklarında, 103 ve 38 nolu istasyonların algılayabilirlik değerleri yüksek bir düzeyde elde edilmiştir.

- 2010.496 epogunda; 74 ve 201 (23) nolu istasyon noktalarında global yer değiştirme vektörleri ( $d_{min}$ ) sınır değerini aşmıştır. 73 ve 42 nolu istasyon noktalarında yalnızca lokal yer değiştirme vektörleri ( $d_{min}$ ) sınır değerini aşmıştır. Bu noktalarda algılayabilirlik değerleri de görece zayıftır.
- Elde edilen bu bulguların ışığında; sağlamlık analizlerinde sınır değerlerin algılayabilirlik değerinden seçilmesi durumunda ayırt edebilirliğin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Başka bir deyişle algılayabilirlik değerlerini geçen noktalar kuşkulu noktalar olarak yorumlanabilir. Bu noktalarda gözlem ağırlıkları ayrıca irdelenmelidir. Bazı gözlem ağırlıkları diğerlerine göre daha fazla olabilir.
- Genel olarak global yer değiştirme vektörü, algılayabilirlik dağılımı sonuçlarıyla daha uyumlu bir davranış sergilemektedir.
- Global yer değiştirme vektörü dış güven değerlerine, lokal deformasyon vektörü ise noktadaki gözlem ağırlıklarına karşı duyarlıdır.

Tablo 6.23. Öncül algılayabilirlik ve sağlamlık sentezi (cm)

NN	Epok 2009.370				Epok 2010.496			
	Deformasyon Vektörü		Sınırlar		Deformasyon Vektörü		Sınırlar	
	Lokal	Global	Sınır	$d_{min}$ ( $m_0$ )	Lokal	Global	Sınır	$d_{min}$ ( $m_0$ )
<b>3</b>	0,0006	0,0133	3,12	1,15	0,0028	0,0216	5,55	1,97
<b>10</b>	0,0005	0,0187	2,98	1,07	0,0018	0,0380	5,69	2,06
<b>14</b>	0,0015	0,1059	4,17	1,57	0,0052	0,2707	8,34	2,61
<b>15</b>	0,0001	0,0070	4,12	1,54	0,0014	0,0355	7,66	2,61
<b>16</b>	0,0002	0,0122	4,04	1,47	0,0003	0,0238	7,22	2,47
<b>19</b>	0,0001	0,0103	3,69	1,37	0,0003	0,0185	7,03	2,42
<b>20</b>	0,0001	0,0255	3,49	1,29	0,0001	0,0386	6,58	2,26
<b>21</b>	0,0004	0,0131	3,32	1,20	0,0015	0,0134	6,48	2,24
<b>30</b>	1,0206	0,0530	3,61	1,18	0,0122	0,0485	7,67	2,73
<b>33</b>	0,0192	0,2043	3,23	1,18	0,0041	0,1323	7,96	2,71
<b>38</b>	<b>1,5879</b>	0,0939	3,63	<b>1,36</b>	0,0097	0,0592	13,94	4,16
<b>56</b>	0,0362	0,3403	4,16	1,05	0,0089	0,1552	8,48	2,90
<b>64</b>	0,0013	0,0818	2,69	0,95	0,0330	0,2971	4,96	1,67
<b>73</b>	0,0021	0,0838	2,34	0,80	<b>7,6174</b>	0,8845	13,09	<b>3,55</b>
<b>74</b>	0,0025	0,0343	2,36	0,79	<b>2,0290</b>	2,4175	6,66	<b>2,24</b>
<b>79</b>	0,0023	0,0411	3,95	1,39	0,0081	0,0454	8,51	3,29
<b>98</b>	0,0048	0,0130	3,37	1,19	0,0020	0,0354	6,30	2,33
<b>99</b>	0,0002	0,0238	2,97	1,04	0,0011	0,0577	6,12	2,21
<b>101</b>	0,0010	0,0100	3,18	1,10	0,0034	0,0174	6,30	2,34
<b>103</b>	<b>5,4968</b>	0,2282	6,49	<b>2,31</b>	0,0143	0,0452	14,46	4,44

### 6.6.1. Algılayabilirlik ve sağlamlık sentezi için alternatif uygulamalar

Kuramsal gerekçelerine göre ele alındığında, algılayabilirlik değerleri, sağlamlık analizi için kestirilen deformasyon vektörü ile benzer bilgiler içerirler. Bu durumda algılayabilirlik değerleri ( $\|d_{\min}\|$ ) eşik (sınır) değer yerine, birer yer değiştirme vektörü olarak yorumlanabilir. Algılayabilirlik değerleri kullanılarak her bir ağ noktası için sağlamlık irdelemeleri yapılabilir.

Bu amaçla; her istasyon noktası için Eşitlik (4.71)'den elde edilen algılayabilirlik değerinin bir fonksiyonu olarak kestirilen lokal ve global yer değiştirme vektörleri, eşik değerler olarak belirlenen istasyon noktalarının algılayabilirlik değerleri ( $\|d_{\min}\|$ ) ile karşılaştırılmıştır (Tablo 6.24, Ek-3c, Ek-3d ve Ek-3e). Buna göre;

- 2009.370 ve 2010.496 epoklarında elde edilen soncul lokal yer değiştirme vektörleri sınır değer olarak seçilen algılayabilirlik değerini aşmadığı gözlenmiştir.
- 2009.370 epogunda elde edilen global deformasyon vektörleri algılayabilirlik değerleri ile karşılaştırıldığında ise; 3, 10, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 30, 33, 38, 48, 56, 64, 79, 84, 98, 99, 101, 103 numaralı istasyon noktalarının sınır değerleri aştığı gözlenmiştir.
- Epok 2010.496'da, 3, 13, 14, 15, 19, 20, 30, 33, 38, 39, 56, 72, 79, 85, 94, 98, 101 ve 102 numaralı istasyon noktalarında global deformasyon vektörleri, sınır değer olarak belirlenen algılayabilirlik değerinin üzerindedir.
- Her istasyon noktası için, soncul algılayabilirlik değerleri kullanılarak global yer değiştirme vektörleri hesaplanmıştır. Yer değiştirme vektörleri sınır değerler ile karşılaştırıldığında; 8, 11, 16, 23, 28, 44, 53, 55, 60, 66, 67, 69, 83, 86, 88, 91, 92, 95, 106 nolu istasyon noktalarında sınır değerini aştığı gözlenmiştir.

Alternatif sentez için önerilen ve kullanılan algılayabilirlik değerleri, tüm ağ noktaları için, dış güven vektörünün aksine sıfırdan farklı dolu bir deformasyon vektörü oluşturur. Bu durumda, amaç fonksiyonu gereği, yer değiştirme vektörünün global anlamda kestirilmesi önemli sapmalara neden olur. Bu durumda; yer değiştirme vektörü için bu tez çalışmasında önerilmekte olan lokal yer değiştirme vektörü kullanılmalıdır. Lokal yer değiştirme vektörü bir noktadaki gerininin komşu noktalarla birlikte oluşturduğu yüzeyi temsil eden bir yaklaşım yöntemidir ve doğal olarak yerel ayırd edici özelliği daha yüksektir.



Sonuç olarak, algılayabilirlik değerleri, yerel (lokal) deformasyon vektörleri ile doğrudan karşılaştırılabilir bir sınır değer olarak önerilmektedir. Başka bir deyişle algılayabilirlik değeri ile kestirilen yerel deformasyon vektörleri ağ noktalarının komşuluk ilişkilerini doğrudan yansıtmaktadır.

Tablo 6.24. Alternatif algılayabilirlik ve sağlamlık sentezi (cm)

NN	Epok 2009.370			Epok 2010.496			Deneysel		
	Deformasyon Vektörü		Sınır	Deformasyon Vektörü		Sınır	Deformasyon Vektörü		Sınır
	Lokal	Global	dmin (s <sub>0</sub> )	Lokal	Global	dmin (s <sub>0</sub> )	Lokal	Global	dmin (s <sub>0</sub> )
<b>16</b>	0,0287	<b>0,7448</b>	0,63	0,0113	0,6481	0,69	0,2080	<b>1,2580</b>	0,83
<b>30</b>	0,0376	<b>1,2599</b>	0,57	0,0358	<b>1,6104</b>	0,77	0,0439	0,2377	0,85
<b>33</b>	0,0126	<b>0,5246</b>	0,51	0,0441	<b>1,5954</b>	0,76	0,0182	0,0730	0,81
<b>38</b>	0,0819	<b>1,0248</b>	0,58	0,6214	<b>1,3462</b>	1,17	0,0203	0,2352	1,19
<b>56</b>	0,0375	<b>0,7136</b>	0,67	0,2140	<b>1,6825</b>	0,82	0,0458	0,0175	0,95
<b>60</b>	0,0090	0,3416	0,40	0,0219	0,3694	0,67	0,1822	<b>1,2037</b>	0,69
<b>66</b>	0,0205	0,2938	0,52	0,0191	0,0845	0,66	0,0919	<b>1,3970</b>	0,75
<b>69</b>	0,0230	0,0486	0,41	0,0122	0,0591	0,57	0,5842	<b>1,2891</b>	0,63
<b>72</b>	0,0186	0,3142	0,46	0,0314	<b>1,1868</b>	0,59	0,0145	0,2505	0,67
<b>73</b>	0,0149	0,0368	0,34	0,4001	0,0952	1,00	0,0277	0,4686	0,95
<b>74</b>	0,0126	0,0081	0,34	0,1074	0,0408	0,63	0,0365	0,5903	0,64
<b>85</b>	0,0049	0,0588	0,42	0,0084	<b>0,7887</b>	0,57	0,0415	0,5730	0,64
<b>95</b>	0,0215	0,3419	0,43	0,0229	0,4646	0,59	0,0619	<b>1,8135</b>	0,65
<b>98</b>	0,0512	<b>0,9684</b>	0,51	0,0231	<b>0,8807</b>	0,65	0,0391	0,1806	0,74
<b>103</b>	0,3190	<b>1,1917</b>	0,99	0,3474	0,8053	1,25	0,0230	0,3934	1,46
<b>106</b>	0,0465	0,2782	0,42	0,0790	0,3027	0,57	0,0435	0,9800	0,63

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Doktora tezi kapsamında sayısal uygulamalar için test ağı olarak kullanılan İZDOGAP GPS Ağı aktif bir fay kuşağı üzerinde yer almaktadır. Sıklaştırma GPS ağı niteliğinde kurulan İZDOGAP GPS Ağı bir deformasyon ağı olarak ele alınmaktadır. Bu nedenle İZDOGAP GPS Ağı'ndan yerel hareketliliği algılayabilmesi beklenmektedir. Bu tez çalışmasında, İZDOGAP GPS Ağı için gerinim izleme ve kalite sorgulama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kalite sorgulamaları için İZDOGAP GPS Ağı, bu anlamda dış güvenilirlik, algılayabilirlik ve sağlamlık düzeyleri yönünden gözden geçirilmiştir. Tez kapsamında;

- İZDOGAP GPS Ağı'nı temsil eden üst dereceden ağ (IGS-TUSAGA) noktaları kullanılarak düzgün bir hız alanı belirlendi.
- Çalışma alanını temsil eden hız alanları (IGS-TUSAGA) için lokal ve global tutarlılık testleri yapıldı.
- IGS-TUSAGA Kontrol ağı düzgün hız alanı bilgileri kullanılarak bölgesel hız alanı bilgileri güncellendi ve özel gerinim testleri ile çalışma alanının gerinim özellikleri sorgulandı.
- İZDOGAP GPS Ağı'nın 2009 ve 2010 epoklarında elde edilen gözlemleri, ayrı ayrı EKK ilkesine dayalı olarak serbest ağ yapısında değerlendirildi.
- İZDOGAP GPS Ağı'nın her epok için algılayabilirlik ve güvenilirlik gereksinimleri sorgulandı.
- İZDOGAP GPS Ağı için algılayabilirlik ve sağlamlık sentezleri gerçekleştirildi.
- KOUSAGA GPS Ağı ayrıca bir kez de algılayabilirlik dağılımı yönünden irdelenmiştir.

Başlangıç olarak; IGS-TUSAGA Ağı kullanılarak, İZDOGAP GPS Ağı bölgesinin global ve lokal anlamda tutarlı bir hız alanı bilgilerine sahip olup olmadığı araştırılmıştır. Bu kapsamda, global tutarlılık testleri için IGS istasyonlarının (Ankara,

Simeis, Matera) farklı ölçme tekniklerinden elde edilmiş ITRF2008, ITRF2005, ITRF2000, ITRF1997, ITRF1996 ve ITRF1994 sistemlerinde yayımlanmış koordinat ve hız bilgileri kullanılmıştır. ITRF sistemlerinde tanımlı bu bilgiler SND koşulu taşımayan ETRS sistemine dönüştürülerek gerinim tensör bileşenleri için tutarlılık testleri uygulanmıştır. Bunun sonucunda IGS istasyonlarının SLR tekniği ile üretilmiş koordinat ve hız bilgileri farklı ITRF sistemlerinde benzer dağılıma sahiptir. Lokal tutarlılık testleri için çalışma alanını temsil eden IGS-TUSAGA Kontrol Ağı için 3 yıllık rinex verileri GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilerek, ITRF2008 sisteminde düzgün koordinat ve hız bilgileri elde edilmiştir. ITRF2008 sisteminde elde edilen koordinat ve hız bilgileri ITRF2005, ITRF2000, ITRF1997, ITRF1996 ve ITRF1994 sistemlerine dönüştürülmüştür. ITRF sisteminde tanımlı bu bilgiler ETRS sistemine dönüştürülerek her üçgensel alanda gerinim tensör bileşenleri için tutarlılık testleri uygulanmıştır. Lokal tutarlılık testleri sonucunda ise tüm IGS-TUSAGA Kontrol ağı her delaunay üçgensel alanının farklı ITRF sistemlerinde hız bilgileri benzer dağılıma sahiptir.

Bu işlemlerin ardından; IGS-TUSAGA kontrol ağının ITRF2008 sistemindeki düzgün hız alanı bilgileri ile polinomsal dönüşüm kullanılarak bölgesel hız alanı güncellemesi yapıldı ve 4 alt bölgeye ayrılan İZDOGAP GPS Ağı için özel afinlik testleri uygulandı. Buna göre tüm blokların afinlik özelliğine sahip olduğu gözlemlendi. Bloklardaki tüm noktalar  $\alpha_0 = \frac{\alpha}{n}$  yanılma olasılığı ile eşdeğerdir. Bununla birlikte; 38, 42, 43, 73, 86, 87, 90 ve 92 numaralı noktaların güncellenen hız alanı bilgileri genel yüzey alanıyla uyuşmamaktadır. İZDOGAP GPS Ağı'nın yerel hızlarının davranışları da blok blok uygulanan afinlik testleri ile test edildi. Buna göre tüm blokların yarı afinlik özelliğine sahip olduğu gözlemlendi. İZDOGAP GPS Ağı 12, 16, 36, 55, 67, 73 ve 76 numaralı istasyon noktalarının yerel hızları genel yüzey alanıyla uyumlu olmadığı gözlemlenmiştir.

Farklı epoklarda izlenmekte olan GPS/GNSS ağlarının, dış güvenilirlik ve algılayabilirlik yönünden olabildiğince birbirine eşit ve benzer (homojen ve izotrop) bir dağılıma sahip olması beklenmektedir. Bu durumda söz konusu ağlar, her bir epokta dış güvenilirlik ve algılayabilirlik yönünden gözden geçirilmelidir. Bu amaçla dış güven dağılımını bozan gözlemler ile algılayabilirlik dağılımını bozan istasyon noktaları için ağın gereksinimlerini karşılayabilecek dış güvenilirlik ve algılayabilirlik

değerlerinin kestirilmesine yönelik bir algoritma önerilmiştir. Önerilen bu algoritma ile, kaliteli jeodezik ağ tasarımları için, güvenilirlik ve algılayabilirlik yönünden yansız ve etkin bir sorgulama ve denetleme olanağı sağlanmaktadır. Bunun yanı sıra bu algoritma, ağ düzeninde tasarlanan sıklaştırma GPS/GNSS ağları için, henüz ölçme kampanyaları tamamlanmadan önce ulaşılması gereken güvenilirlik ve algılayabilirlik değerlerini de büyük bir oranda güvence altına almaktadır.

Ölçme ve değerlendirme işlemlerine başlanılmadan önce, İZDOGAP GPS Test Ağı'nda ikinci dereceden optimizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Başka bir deyişle bu ağ, homojen ve izotrop yapıda ağ isteklerini sağlamaktadır. Bu nedenle test ağı, tasarım ilkelerine uygun olarak, 2009 epoğunda 15'er dakikalık GPS oturumları planlanarak ölçülmüştür. Buna karşın, İZDOGAP GPS Ağı 2010 epok BÖHHBÜY standartlarına uygun bir biçimde kısa bazlarda 25'er dakikalık, uzun bazlarda 60 dakikalık GPS oturumları planlanarak ölçülmüştür. Ancak, 2010 epoğunda GPS gözlemlerinde düzgün bir duyarlık dağılımı elde edilememiştir ve algılayabilirlik dağılımı görece daha büyük bir oranda elde edilmiştir.

Doğal olarak her iki epokta aynı düzeyde bir dış güven ve algılayabilirlik dağılımı sağlayan GPS gözlemlerinin elde edilmesi her zaman olanaklı değildir. Böyle bir sonuç, her bir GPS oturumuna ilişkin gerçekleştirilen post-processing aşamasında anlaşılabilir. Bu durum, GPS gözlemlerinin ağ düzeninde topluca değerlendirme işlemleri aşamasında fark edilir. Buna benzer sorunlu baz ve noktaların sayısı, her ne kadar pek fazla değilse de, özellikle homojen dağılımlı öncül algılayabilirlik isteklerini bozmaktadır. Öte yandan bu bilgiler soncul algılayabilirlik değerlerini de zayıflatmaktadır.

Bu tez çalışmasında önerilen değerlendirme algoritması kullanılarak; sorunlu gözlemlerin ve noktaların yerleri, her bir epokta ve başlangıçta kestirilebilmektedir. Her bir epokta planlanan ölçme dönemi tamamlanmadan önce, sorunlu bazlar ve noktalar için uygun bir ölçme zamanı ve ek ölçme oturumları planlama olanağı sağlanmaktadır.

İZDOGAP Ağı, ölçme planını zorlamaksızın yalnızca datum ve ölçek birliğini sağlamak amacıyla, üst dereceden KOUSAGA GPS Ağı ile ortak iki noktaya dayalı

olarak değerlendirilmiştir. Kısmi iz minimum koşuluyla topluca değerlendirilen bu ağın dış güvenilirlik ve algılayabilirlik dağılımı da korunmuştur.

Sürekli ağlarda dış güvenilirlik ve algılayabilirlik gereksinimlerinin sorgulanması için üst dereceden ağ noktalarından oluşan KOUSAGA Sabit GPS Ağı kullanılmıştır. KOUSAGA Sabit GPS Ağında delaunay üçgenlemesi ile gözlem planı oluşturulmuştur. Bu kapsamda 2009 ve 2010 epoklarında 8 saatlik ve 24 saatlik gözlem planları oluşturuldu ve her epokta gözlemler EKK ilkesine dayalı olarak serbest ağ yapısında değerlendirildi. KOUSAGA Sabit GPS Ağı'nın algılayabilirlik ve güvenilirlik gereksinimleri sorgulandığında, dış güvenilirlik ve algılayabilirlik dağılımlarının benzer olduğu gözlemlendi.

İZDOGAP GPS Ağı sağlamlık analizinde; koordinat bilinmeyenleri üzerinde en büyük etkiye sahip gözlem, Öklit normuna göre belirlenerek her istasyon noktası için yer değiştirme vektörü elde edildi. Bu yer değiştirme vektörleri kullanılarak, her istasyon noktasının bağlantılı olduğu gözlemleri temsil eden yüzey alanları için gerinim tensör bileşenleri elde edildi. Gerinim tensör bileşenleri kullanılarak yer değiştirme vektörleri başlangıç koşullarına ötelendi. Sonuç olarak; İZDOGAP GPS Ağı için uygulanan sağlamlık analizlerinde tüm istasyon noktalarının sağlam olduğu ve algılayabilirlik değerlerinin de güvenilir olduğu gözlemlenmiştir.

Eşitlik (4.50)'de  $\Delta r^T \Delta r \Rightarrow \min$  amaç fonksiyonu, her ağ noktasındaki deformasyon vektörü elemanlarını dengeleyen bir kestirim işlemi gerçekleştirir. Bu özelliğin bir sonucu olarak yer değiştirme vektörleri:

- Dış güven vektöründen seçilirse, sıfırdan farklı değerlere göre ötelenir.
- $\|d_{\min}\| S_{\max}$ , algılayabilirlik bilgilerinden seçilirse; algılayabilirlik değerlerinin ortalama değerine göre ötelenir.

Bu durumda önermekte olduğumuz lokal yer değiştirme vektörü;

- Dış güven değerlerine dayanan algılayabilirlik ve sağlamlık sentezi işlemlerinde yerel bir sorgulayıcı (dedektör)
- Algılayabilirlik değerlerine dayanan algılayabilirlik ve sağlamlık sentezi işlemlerinde ise yerel bir denetleyici (kontrolör) olarak kullanılabilir.

Herhangi bir gözlemin ölçme planındaki yeri ve ağırlığı, bu ölçünün denetlenebilirliğini doğrudan etkiler. Ağırlığı yüksek bir uyuşumsuz ölçü, hatasını komşu gözlemlere göreceli olarak yayar. Bu nedenle bir gözlemin komşu gözlemlerle birlikte eş düzeyde denetlenmesi beklenir. Öte yandan bir durak noktasındaki gözlemlerin toplam ağırlığı ne kadar yüksekse; bu noktadaki algılayabilirlik değeri de o kadar iyi olur. Ancak bu durumda da bir durak noktasındaki gözlemlerin eşit ağırlıkta olması her zaman güvence altına alınamaz. Böyle durumlarda dış güvenilirlik ve algılayabilirlik dağılımı birbirlerini zıt yönde ve olumsuz bir biçimde etkilerler. Özellikle görece olarak zayıf denetlenebilen bir gözlem ağda bazı noktalarda önemli gerinim birikimlerine neden olurlar ve ağın geometrik sağlamlığını bozarlar. Bu çelişkiler jeodezik ağlar için önemli bir tasarım sorunudur.

Bu tez çalışmasında sözü edilen tasarım sorununa uygun bir çözüm getirebilecek bir gerinim izleme ve kalite değerlendirme stratejisi önerilmektedir.

- Dış güvenilirlik ve algılayabilirlik gereksinimlerinin sorgulanması ve ulaşılabilir değerlerin kestirilmesi
- Algılayabilirlik ve sağlamlık sentezi

üzerine yapılandırılan bu strateji, her türden jeodezik ağ için kullanımı kolay ve etkin bir strateji olarak kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

Acar C., Haberler-Weber M., Ayan T., Bulanık Çıkarım Sistemleri ile Heyelan Bloklarının Belirlenmesi: Gürpınar Örneği, *Jeodezi Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 2008, **98**, 38-42.

Aksoy A., Ayan T., Deniz R., Yalın D., Karasu H., Seeger H., Franke P., Altınar Y., Hirsch O., Bautsch P., Türkiye’de Yer Kabuğu Hareketlerinin Yersel Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi Çalışmaları, *Türk Haritacılığının 100. Yılı TUJJB ve TUFUAB Kongreleri*, Ankara, Türkiye, 1-5 Mayıs 1995.

Aksoy A., Jeodezik Değerlerin Matematik İstatistik Testlerle İrdelenmesi, *Türkiye I. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Türkiye, 1987.

Aktuğ B., Referans Sistemlerinin Zamansal Evrimi ve Türkiye için Ulusal Bir Model: TURES-96, *Harita Dergisi*, 2005, **133**, 1-26.

Aktuğ B., ITRF Hız Alanı ve Görelî Hız Referans Sistemlerine Bakış, *Harita Dergisi*, 2003, **130**, 12-31.

Altamimi Z., Collilieux X., Legrand J., Garayt B., Boucher C., ITRF2005: A new release of the International Terrestrial Reference Frame Based on Time Series of Station Positions and Earth Orientation Parameters, *Journal of Geophysical Research*, 2007, **112**, 1-19.

Baarda W., *A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks*, Publication on Geodesy, Delft, Netherlands, 1968.

Berber M., Robustness Analysis of Geodetic Networks, Ph.D. Thesis, University of Brunswick, Canada, 2006.

Berber M., Vanicek P., Dare P., Robustness analysis of 3D networks, *J. Geodyn*, 2009, **47**, 1-8.

Boucher C., Altamimi Z., Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign, <http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V8.pdf>, 2008, (20 Eylül 2017).

Boucher C., Altamimi Z., Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign. <http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V8.pdf>, 2011, (Ziyaret tarihi: 20 Eylül 2017).

Bogusz J., Klas A., Figuski M., Jarosisnski M., Kontny B., Investigation of the Reliability of Local Strain Analysis by means of the triangle Modelling, *Acta Geodynm. Geometer*, 2013, **10**(3), 293-305.

BÖHNBÜY, *Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği*, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ankara, 2008.

Bruynnix C., Habrich H., Söhne W., Kenyeres A., Stangl G., Völksen C., Enhancement of the EUREF Permanent Network Services and Products, *Geodesy for Planet Earth*, 2012, **136**, 27-34.

Cai J., Grafarend E. W., Statistical analysis of geodetic deformation (strain rate) derived from the space geodetic measurements of BIFROST project in Fennoscandia, *Journal Of Geodynamics*, 2006, **43**(2), 3-12.

Cai J., Hypothesis tests and sampling statistics of the eigenvalues and eigendirections of a random tensor of type deformation tensor, Stuttgart, 2001.

Cai J., Statistical inference of the eigenspace components of a symmetric random deformation tensor, München, 2004.

Cingöz A., Erkan Y., Kurt A. İ., Peker S., Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) Sistemleri, *14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, 2013.

Demir C., Açıkgöz M., Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı Noktalarındaki Uzun Periyotlu Koordinat Değişimlerinin (Seküler Hızlarının) Kestirilmesi, *Harita Dergisi*, 2000, **123**, 1-19.

Dilaver A., Konak H., Çepni M. S., Jeodezik Ağlarda Uyuşumsuz Ölçülerin Yerleştirilmesinde Kullanılan Yöntemlerin Davranışları, *HKMO Dergisi*, 1998, **84**, 1-20.

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

Even-Tzur G., More on Sensitivity of a Geodetic Monitoring Network, *Journal of Applied Geodesy*, 2010, **4**, 27-38.

Godarzi M. A., Covard M., Santere R., GeoStrain: An open source software for calculating crustal strain rates, *Computer & Geosciences*, 2015, **82**, 1-12.

Han J. Y., Guo J., Zheng Z. Y., Sensitivity Analysis for the Principal Strain Parameters of a Deformation Monitoring Network, *Journal of Surveying Engineering*, 2012, **138**, 109-116.

Hefty J., Gerhatova L., Combination of 3D Epoch-Wise and Permanent Geodetic Networks Observed by GNSS, *Acta Univ. Palacki. Olomuc.*, 2011, **50**, 37-44.

Herring T. A., King R. W., Floyd M. A., McClusky S. C., GAMIT Reference Manual, [http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/GAMIT\\_Ref.pdf](http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/GAMIT_Ref.pdf), 2015, (Ziyaret tarihi: 1 Kasım 2016).



Herring T. A., King R. W., Floyd M. A., McClusky S. C., Introduction to GAMIT/GLOBK, [http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/Intro\\_GG.pdf](http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/Intro_GG.pdf), 2015, (Ziyaret tarihi: 1 Kasım 2017).

Hsu R., Hsiao K., Pre-Computing The Sensitivity of a GPS Station for Crustal Deformation Monitoring, *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 2002, **25**(6), 715-722.

Hsu R., Lee H. C., Kao S. P., Statistical Tests for Discerning Differences of Robustness of Horizontal Geodetic Networks due to Different Approaches, *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 2008, **31**, 71-80.

İnal C., Yetkin M., Robust Yöntemlerle Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, *Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 2006, **21**(3), 33-48.

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

Kahveci M., Gerçek Zamanlı Ulusal Sabit GNSS (CORS) Ağları ve Düşündürdükleri, *hkm Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 2009, **100**, 13-20.

Kartal R. F., Kadirioğlu F. T., Zünbül S., Kuzey Anadolu Fay Zonunun Kinematığı, *19. Aktif Tektonik Araştırma Grubu Çalıştayı*, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 7-9 Ekim 2015.

Konak H., 3. Derece Yüzey Ağlarının Dengelenmesi, Kişisel Çalışma, *K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 1990.

Konak H., Yüzey Ağlarının Optimizasyonu, Doktora Tezi, KTÜ, Trabzon, 1995, 33787.

Konak H., Dilaver A., Jeodezik Ağlarda Uyuşumsuz Ölçülerin Yerelleştirilmesinde Kullanılan Yöntemlerin Davranışları-II, *HKMO Dergisi*, 1998, **85**, 91-109.

Konak H., Dilaver A., Öztürk E., Effects of Observation Plan and Precision on the Duration of Outliers Detection and Fuzzy Logic: A Real Network Application, *Survey Review*, 2005, **298**, 331-341.

Konak H., Jeodezik Ağlar ve Uygulamaları Ders Notları, KOÜ Mühendislik Fakültesi, Kocaeli, 2010.

Konak H., Jeodezik Ağlarda Sağlamlık Ders Notları, KOÜ, FBE, Jeodezi ve Jeoinformasyon Mühendisliği Anabilim Dalı, 2018.

Konak H., Küreç Nehbit P., İnce C. D., Sensitivity Optimization at the Densification GPS Networks for Monitoring Crustal Movements, *International Scientific Conference Geobalkanica 2017*, Skopje, Republic of Macedonia, 20-21 May 2017b.

Konak H., Küreç Nehbit P., İnce C. D., Yaşamsal Altyapı Sistemlerinin GPS Ağlarıyla İzlenmesi ve Deformasyon Sonuçlarının Yorumlanması: Kocaeli İZDOGAP GPS Ağı Uygulaması, *Geomatik Dergisi*, 2017a, 2(1), 40-52.

Konak H., Küreç P., İnce C. D., Şentürk E., İzgaz Doğal Gaz Alt Yapısının Ulusal Jeodezik Ağlar ve Arazi Bilgi Sistemi ile İzlenmesi Projesi (İZDOGAP), Teknik Rapor V, 8-10, 2011.

Kovac M., Hefty J., A Universal Approach to Processing 4-Dimensional Geodetic Reference Networks, *Slovak Journal of Civil Engineering*, 2007, 4, 10-17.

Kurt O., Konak H., İzgaz Doğal Gaz Alt Yapısının Ulusal Jeodezik Ağlar ve Arazi Bilgi Sistemi ile İzlenmesi Projesi (İZDOGAP), Teknik Rapor I, 17-19, 2009.

Küreç P., Yüzey ağlarının değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, KOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010, 275768.

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

Küreç P., Konak H., 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.*, 2014, 14, 1299-1308.

Küreç P., Konak H., Doğrusal Hipotez Testleri ile Gerinim Analizi, 14. Türkiye Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 18 -22 Nisan 2013.

Labant S., Weiss G., Zuzik J., Boran M., Graphical interpretation analysis of stability are using of strain analysis, *Acta Montanistica Slovaca*, 2014, 19(1), 31-40.

Massimi V., Stasevicius T., Monitoring Permanent GPS Stations in Umbria, Italy, Y. Lisans Tezi, AALBORG Üniversitesi, İtalya, 2012.

Niemeier W., *Ausgleichsrechnung*, De Gruyter Lehrbuch. New York, Berlin, 2002.

Nocquet J. M., Analysis of Geodetic Velocity Fields, Ders Notu, [http://renag.unice.fr/regal/PERSO/JMN/enseignement/lecture\\_velocity\\_analysis.pdf](http://renag.unice.fr/regal/PERSO/JMN/enseignement/lecture_velocity_analysis.pdf), 2008, (Ziyaret tarihi: 27 Kasım 2015).

Öztürk E., Serbetçi M., *Dengeleme Hesabı Cilt III*, 144/40, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 1992.

Öztürk E., Jeodezik Ağlarda Güven Ölçütleri ve Ölçme Planının En Uygunlaştırılması, 149, KTÜ Yayınları, Trabzon, 1982.

Poyraz F., Kuzey Anadolu fay zonu doğu kesiminde yatay yer kabuğu hareketleri ve gerilme birikiminin araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 244421.

Ralf B., *Eine Strategie zur Ausglei chung und Analyse von Verdichtungsnetzen*, DGK Reihe C, 1984.

Schmitt G., Edited by E. W. Grafarend and F. Sanso *Second Order Design: Optimization and Design of Geodetic Networks.*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo, 74-121, 1985.

Shan-long K., Optimization and Design of Deformation Monitoring Schemes, Ph.D. Dissertation, Department of Surveying Engineering Technical Report, *University of New Brunswick*, 157, 1991.

Simkooei A., A New Method for Second Order Design of Geodetic Networks: Aiming at High Reliability, *Survey Review*, 2004, **37**(293) 552-560.

Şengör A. M. C., Kuzey Anadolu Fayı'nın Keşfi, <http://www.bilimteknik.tubitak.gov.tr>, 1995, (Ziyaret tarihi: 12 Aralık 2017).

URL-1: <https://space-geodesy.nasa.gov/techniques/techOverview.html>, (Ziyaret tarihi: 12 Aralık 2017).

URL-2: <https://www.iers.org>, (Ziyaret tarihi: 27 Aralık 2017).

URL-3: <http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/>, (Ziyaret tarihi: 15 Aralık 2016).

URL-4: <http://www.igs.org>, (Ziyaret tarihi: 3 Haziran 2018).

URL-5: <https://www.hgk.msb.gov.tr>, (Ziyaret tarihi: 31 Mayıs 2018).

URL-6: [http://itrf.ign.fr/ITRF\\_solutions/index.php](http://itrf.ign.fr/ITRF_solutions/index.php), (Ziyaret tarihi: 24 Aralık 2017).

URL-7: [http://itrf.ign.fr/doc\\_ITRF/Transfo-ITRF2008\\_ITRFs.txt](http://itrf.ign.fr/doc_ITRF/Transfo-ITRF2008_ITRFs.txt), (Ziyaret tarihi: 24 Haziran 2017).

URL-8: <https://muhendishane.org/kutuphane/malzemelerin-mekanik-davranisi/>, (Ziyaret tarihi: 17 Nisan 2018).

Vanicek P., Craymer M. R., Krakiwsky E. J., Robustness Analysis of Geodetic Horizontal Networks, *Journal Of Geodesy*, 2001, **75**(4), 199-209.

Vanicek P., Krakiwsky E. J., Craymer M. R., Gao Y., Ong P. S., Robustness Analysis, Final contract report, Department of Surveying Engineering Technical Report, *University of New Brunswick*, 156, 1990.

Weining Q., Robust Estimation in Adjustment of Correlative Observed Values [online], <https://www.yumpu.com/en/document/view/40107606/robust-estimation-in-adjustment-of-correlative-observed-values>, (Ziyaret tarihi: 2018).

Wieser A., Robust and Fuzzy Techniques for Parameter Estimation and Quality Assessment in GPS, Doktora Tezi, TU Graz, 2002.

Yetkin M., Berber M., GPS baseline configuration design on robustness analysis, *Journal of Geodetic Science*, 2012, **2**(3), 234-239.

Yıldırım Ö., Bakıcı S., Cingöz A., Erkan Y., Güllal E., Dindar A. A., TUSAGA-AKTİF (CORS-TR) Projesi ve Ülkemize Katkıları, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, 30 Ekim-02 Kasım 2007.

Yıldırım Ö., Bakıcı S., Mekik Ç., TUSAGA-AKTİF (CORS-TR) Sisteminin Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğüne Katkıları, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 18-22 Nisan 2011.

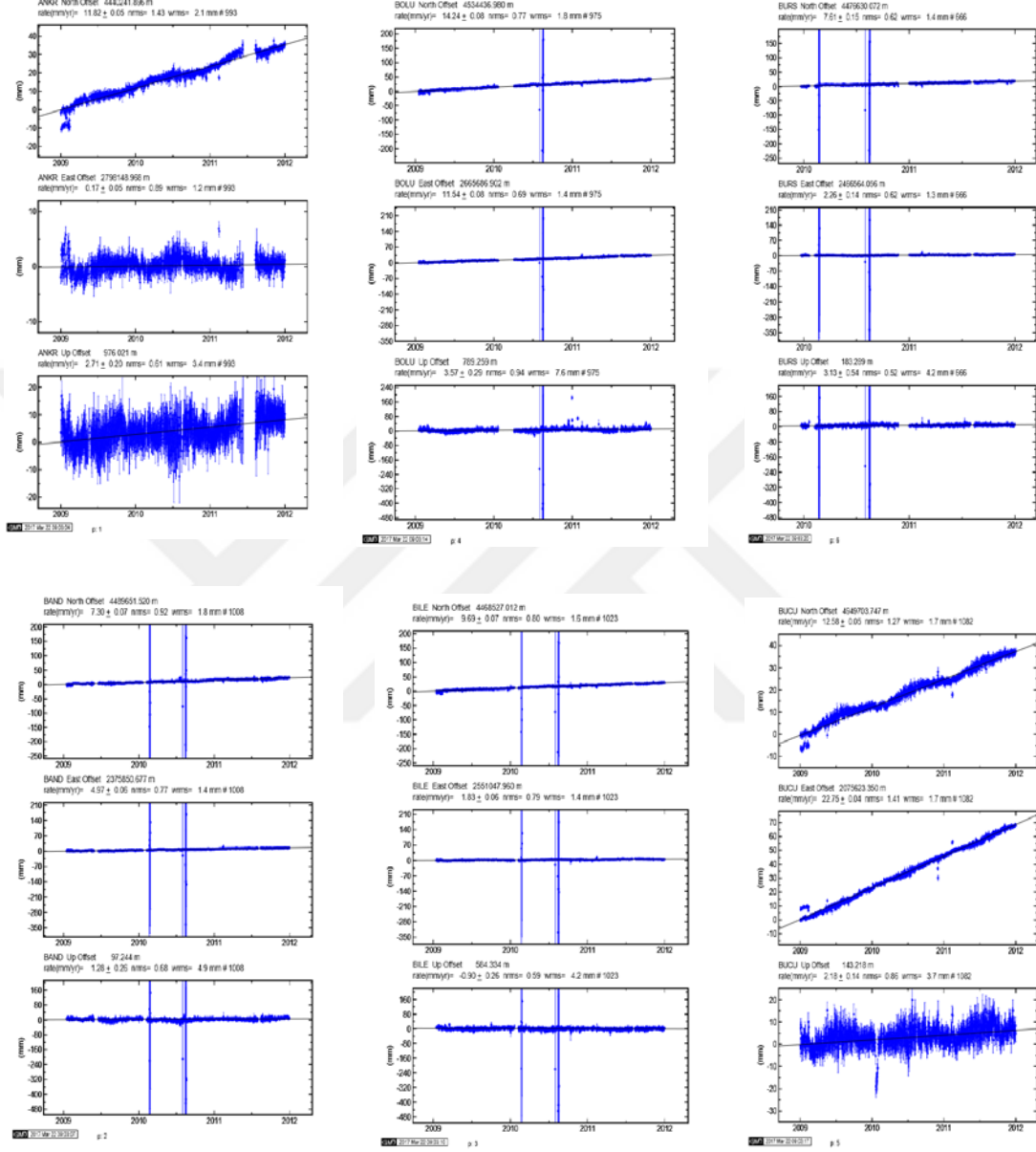


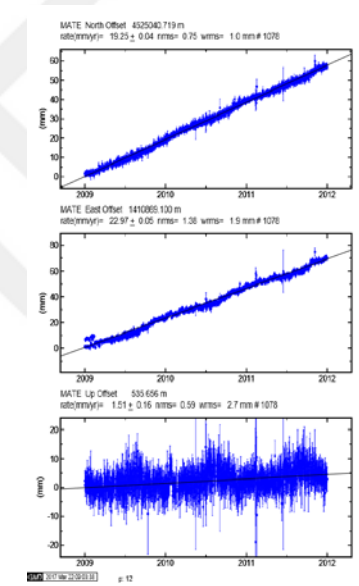
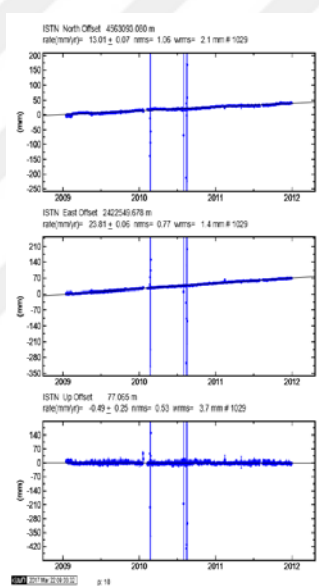
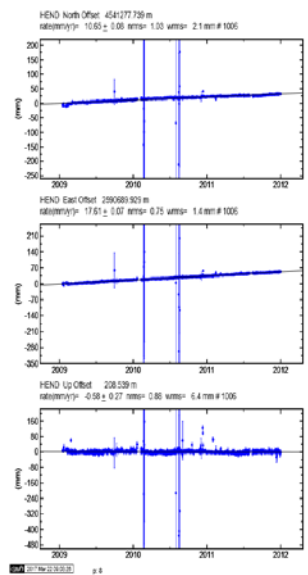
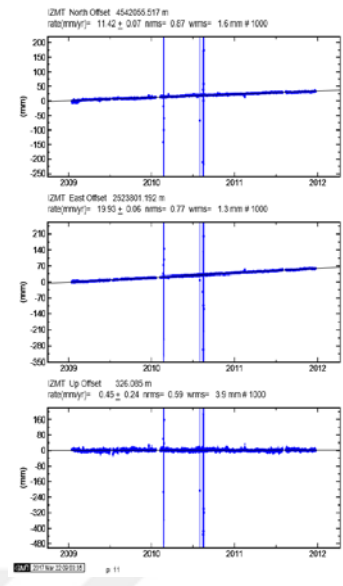
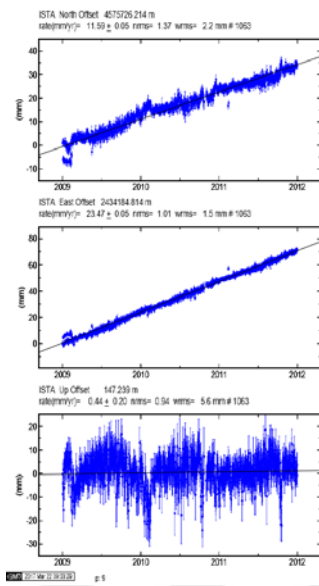
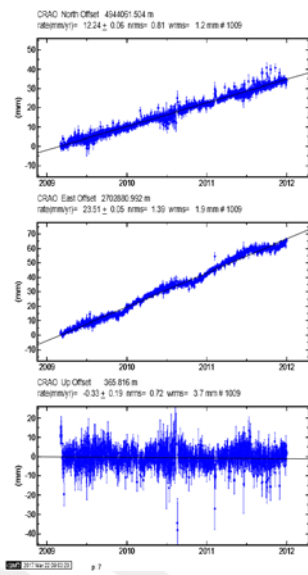


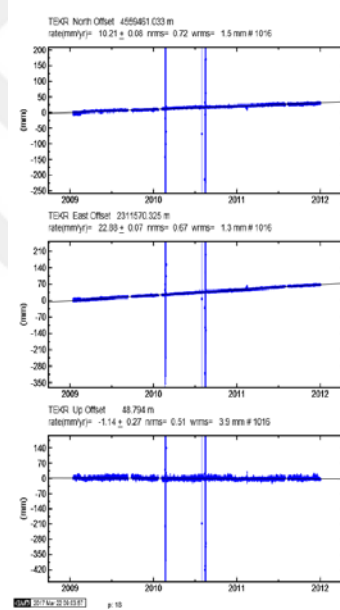
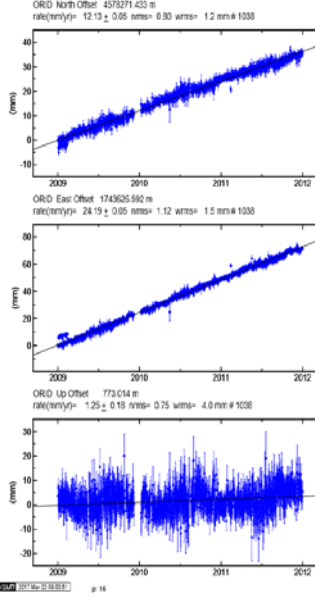
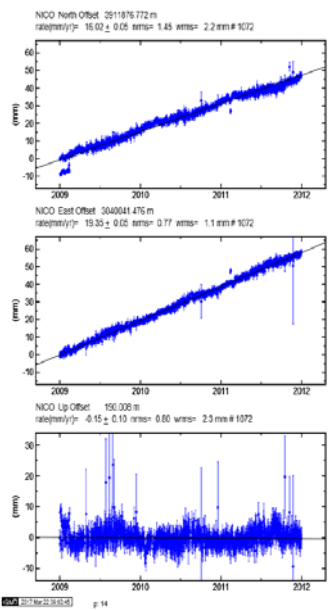
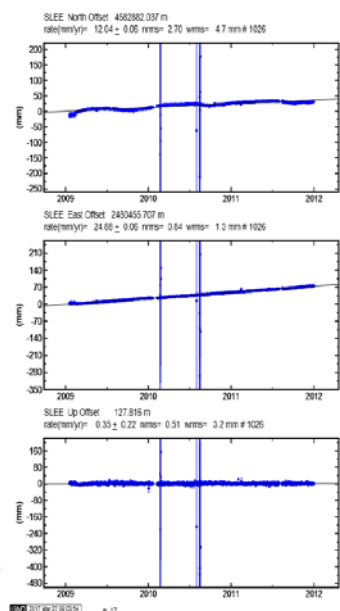
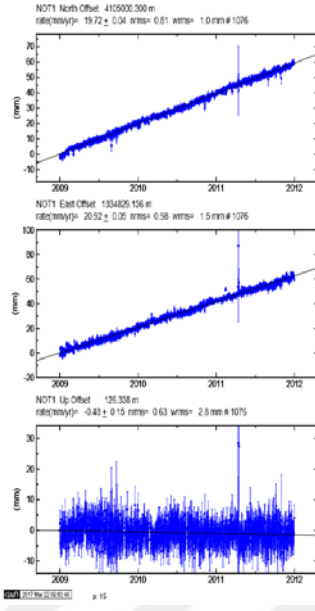
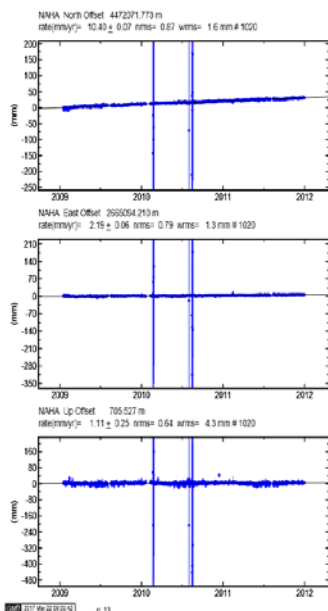
**EKLER**

## Ek-A: DÜZGÜN HIZ ALANI BELİRLEME İŞLEMLERİ

### Ek-1a: IGS-TUSAGA kontrol ağı istasyon noktalarının ITRF2008 sisteminde hız bilgileri için zaman serileri

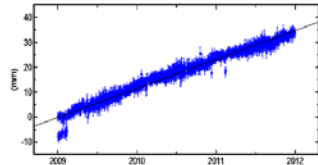




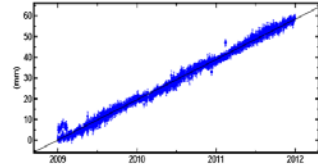




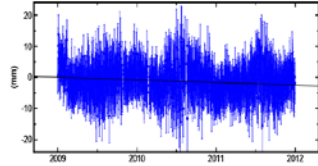
TUBI North Offset: 454057.503 m  
rate(mm/y): 11.63 ± 0.07 mm/s= 0.90 mm/s= 1.7 mm # 1074



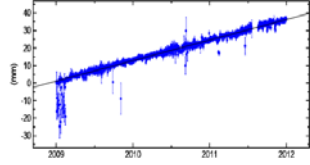
TUBI East Offset: 2482290.437 m  
rate(mm/y): 19.42 ± 0.06 mm/s= 0.79 mm/s= 1.3 mm # 1074



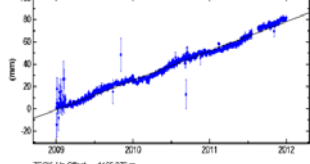
TUBI Up Offset: 223.339 m  
rate(mm/y): -0.85 ± 0.25 mm/s= 0.51 mm/s= 3.7 mm # 1074



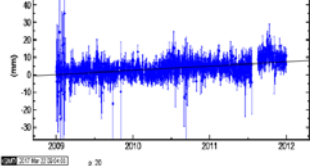
ZEOK North Offset: 4874501.642 m  
rate(mm/y): 11.71 ± 0.04 mm/s= 0.91 mm/s= 1.1 mm # 1037



ZEOK East Offset: 3542951.817 m  
rate(mm/y): 25.34 ± 0.05 mm/s= 1.69 mm/s= 2.3 mm # 1037

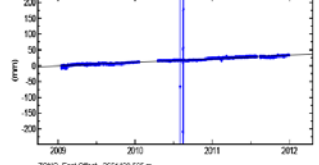


ZEOK Up Offset: 1166.279 m  
rate(mm/y): 2.42 ± 0.16 mm/s= 0.72 mm/s= 3.1 mm # 1037

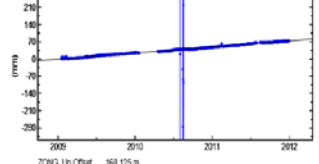


2012/06/28 09:53:33 p. 20

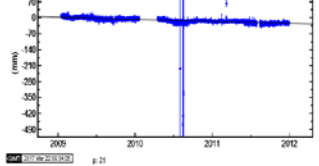
ZONG North Offset: 454148.171 m  
rate(mm/y): 11.21 ± 0.07 mm/s= 0.91 mm/s= 1.9 mm # 961



ZONG East Offset: 2651480.556 m  
rate(mm/y): 24.71 ± 0.07 mm/s= 0.91 mm/s= 1.5 mm # 961

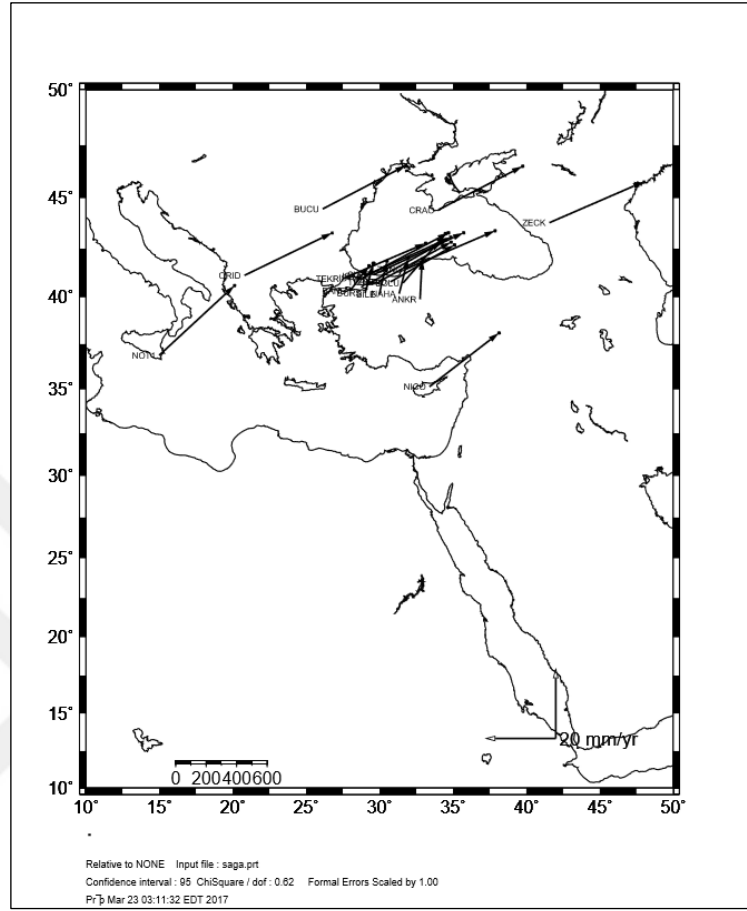


ZONG Up Offset: 168.125 m  
rate(mm/y): -0.22 ± 0.27 mm/s= 0.64 mm/s= 4.7 mm # 961



2012/06/28 09:53:33 p. 21

**Ek-1b:** IGS-TUSAGA Kontrol Ağı; ITRF2008 sisteminde 3 yıllık düzgün hız bilgileri



## Ek-B: KOUSAGA GPS AĞI; LOKAL HIZ ALANI TUTARLILIK TESTLERİ

**Ek-2a:** KOUSAGA GPS ağı: Farklı ITRF sistemleri için elde edilen gerinim tensör ve özalan bileşenleri

Epoklar	1 nolu üçgen TEKR-ISTN-ISTA (2001-2004-1005)					
	Gerinim Tensör Bileşenleri ( $\cdot 10^8$ )			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$	$e_{xy}$	$e_{xx}$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	0,7141	0,7797	-17,0838	0,7482	-17,1179	2,5038
ITRF2005	0,7086	0,7798	-17,0862	0,7427	-17,1203	2,5044
ITRF2000	0,7112	0,7791	-17,0695	0,7453	-17,1036	2,5041
ITRF1997	0,7171	0,7835	-17,0487	0,7516	-17,0832	2,5202
ITRF1993	0,7664	0,7795	-17,0380	0,8004	-17,0721	2,5022
ITRF1992	0,7171	0,7835	-17,0487	0,7516	-17,0832	2,5202
Epoklar	2 nolu üçgen BAND-TEKR-ISTN (2002-2001-2004)					
	Gerinim Tensör Bileşenleri ( $\cdot 10^8$ )			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$	$e_{xy}$	$e_{xx}$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	-0,1850	14,1734	6,3744	17,6426	-11,4532	38,4856
ITRF2005	-0,1905	14,1735	6,3719	17,6390	-11,4576	38,4828
ITRF2000	-0,1878	14,1726	6,3886	17,6495	-11,4487	38,4689
ITRF1997	-0,1819	14,1772	6,4083	17,6683	-11,4418	38,4577
ITRF1993	-0,1327	14,1733	6,4207	17,6912	-11,4031	38,4913
ITRF1992	-0,1819	14,1772	6,4083	17,6683	-11,4418	38,4577
Epoklar	3 nolu üçgen ISTN-BURS-BAND (2004-2003-2002)					
	Gerinim Tensör Bileşenleri ( $\cdot 10^8$ )			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$	$e_{xy}$	$e_{xx}$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	0,2521	14,0096	6,4054	17,6722	-11,0147	38,8069
ITRF2005	0,2466	14,0097	6,4029	17,6686	-11,0191	38,8041
ITRF2000	0,2493	14,0089	6,4196	17,6790	-11,0102	38,7900
ITRF1997	0,2551	14,0134	6,4393	17,6977	-11,0032	38,7784
ITRF1993	0,3037	14,0099	6,4515	17,7208	-10,9655	38,8124
ITRF1992	0,2551	14,0134	6,4393	17,6977	-11,0032	38,7784
Epoklar	4 nolu üçgen BAND-ISTN-TUBI (2002-2004-1006)					
	Gerinim Tensör Bileşenleri ( $\cdot 10^8$ )			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$	$e_{xy}$	$e_{xx}$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	1,9019	12,5064	7,6523	17,6097	-8,0555	38,5263
ITRF2005	1,8965	12,5065	7,6498	17,6062	-8,0599	38,5232
ITRF2000	1,8990	12,5056	7,6666	17,6166	-8,0510	38,5073
ITRF1997	1,9050	12,5101	7,6863	17,6354	-8,0441	38,4946
ITRF1993	1,9534	12,5064	7,6988	17,6582	-8,0060	38,5319
ITRF1992	1,9050	12,5101	7,6863	17,6354	-8,0441	38,4946

5 nolu üçgen ISTA-TUBI-ISTN (1005-1006-2004)						
Epoklar	Gerinim Tensör Bileşenleri ( $\cdot 10^8$ )			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$	$e_{xy}$	$e_{xx}$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	-5,7941	-0,7437	-8,8014	-5,6202	-8,9753	13,1579
ITRF2005	-5,7995	-0,7436	-8,8039	-5,6256	-8,9778	13,1681
ITRF2000	-5,7969	-0,7444	-8,7870	-5,6218	-8,9621	13,2342
ITRF1997	-5,7910	-0,7398	-8,7666	-5,6172	-8,9403	13,2195
ITRF1993	-5,7426	-0,7437	-8,7552	-5,5690	-8,9288	13,1389
ITRF1992	-5,7910	-0,7398	-8,7666	-5,6172	-8,9403	13,2195
6 nolu üçgen ISTA-TUBI-SLEE (1005-1006-2006)						
Epoklar	Gerinim Tensör Bileşenleri ( $\cdot 10^8$ )			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$	$e_{xy}$	$e_{xx}$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	0,5260	7,3747	1,5881	8,4509	-6,3368	42,9406
ITRF2005	0,5205	7,3748	1,5857	8,4471	-6,3409	42,9348
ITRF2000	0,5231	7,3740	1,6026	8,4566	-6,3309	42,9067
ITRF1997	0,5292	7,3786	1,6226	8,4748	-6,3229	42,8812
ITRF1993	0,5779	7,3748	1,6338	8,4995	-6,2878	42,9526
ITRF1992	0,5292	7,3786	1,6226	8,4748	-6,3229	42,8812
7 nolu üçgen TUBI-SLEE-IZMT (1006-2006-2007)						
Epoklar	Gerinim Tensör Bileşenleri ( $\cdot 10^8$ )			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$	$e_{xy}$	$e_{xx}$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	0,3683	6,4748	1,5135	7,4409	-5,5592	42,4730
ITRF2005	0,3629	6,4749	1,5111	7,4372	-5,5633	42,4665
ITRF2000	0,3654	6,4740	1,5280	7,4468	-5,5533	42,4345
ITRF1997	0,3718	6,4786	1,5481	7,4652	-5,5454	42,4064
ITRF1993	0,4197	6,4748	1,5592	7,4893	-5,5103	42,4856
ITRF1992	0,3718	6,4786	1,5481	7,4652	-5,5454	42,4064
8 nolu üçgen SLEE-IZMT-HEND (2006-2007-2009)						
Epoklar	Gerinim Tensör Bileşenleri ( $\cdot 10^8$ )			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$	$e_{xy}$	$e_{xx}$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	-3,4784	3,9517	0,5001	2,9350	-5,9133	31,6400
ITRF2005	-3,4837	3,9518	0,4977	2,9319	-5,9179	31,6317
ITRF2000	-3,4812	3,9510	0,5149	2,9443	-5,9107	31,5872
ITRF1997	-3,4749	3,9555	0,5345	2,9643	-5,9047	31,5617
ITRF1993	-3,4273	3,9513	0,5455	2,9817	-5,8634	31,6552
ITRF1992	-3,4749	3,9555	0,5345	2,9643	-5,9047	31,5617

9 nolu üçgen SLEE-HEND-ZONG (2006-2009-2012)						
Epoklar	Gerinim Tensör Bileşenleri ( $\cdot 10^8$ )			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$	$e_{xy}$	$e_{xx}$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	-2,3873	5,5624	1,3630	5,3578	-6,3821	35,6854
ITRF2005	-2,3926	5,5625	1,3607	5,3546	-6,3865	35,6783
ITRF2000	-2,3901	5,5617	1,3776	5,3658	-6,3784	35,6440
ITRF1997	-2,3837	5,5664	1,3980	5,3860	-6,3717	35,6190
ITRF1993	-2,3359	5,5622	1,4072	5,4043	-6,3330	35,7016
ITRF1992	-2,3837	5,5664	1,3980	5,3860	-6,3717	35,6190
10 nolu üçgen HEND-BOLU-ZONG (2009-2011-2012)						
Epoklar	Gerinim Tensör Bileşenleri ( $\cdot 10^8$ )			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$	$e_{xy}$	$e_{xx}$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	-6,8992	10,0457	-2,9812	5,2947	-15,1751	39,4827
ITRF2005	-6,9045	10,0458	-2,9835	5,2913	-15,1793	39,4785
ITRF2000	-6,9020	10,0449	-2,9666	5,3015	-15,1701	39,4584
ITRF1997	-6,8957	10,0496	-2,9461	5,3209	-15,1627	39,4414
ITRF1993	-6,8484	10,0456	-2,9368	5,3416	-15,1269	39,4914
ITRF1992	-6,8957	10,0496	-2,9461	5,3209	-15,1627	39,4414
11 nolu üçgen HEND-NAHA-BOLU (2009-2010-2011)						
Epoklar	Gerinim Tensör Bileşenleri ( $\cdot 10^8$ )			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$	$e_{xy}$	$e_{xx}$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	-6,9239	10,3254	6,1622	11,8431	-12,6048	28,8191
ITRF2005	-6,9292	10,3255	6,1599	11,8402	-12,6095	28,8162
ITRF2000	-6,9267	10,3246	6,1763	11,8526	-12,6031	28,8014
ITRF1997	-6,9204	10,3292	6,1963	11,8733	-12,5974	28,7935
ITRF1993	-6,8732	10,3251	6,2064	11,8886	-12,5554	28,8252
ITRF1992	-6,9204	10,3292	6,1963	11,8733	-12,5974	28,7935
12 nolu üçgen BILE-HEND-NAHA (2008-2009-2010)						
Epoklar	Gerinim Tensör Bileşenleri ( $\cdot 10^8$ )			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$	$e_{xy}$	$e_{xx}$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	-0,5224	11,4578	1,1669	11,8112	-11,1666	42,8920
ITRF2005	-0,5276	11,4579	1,1645	11,8076	-11,1707	42,8884
ITRF2000	-0,5252	11,4571	1,1810	11,8167	-11,1609	42,8708
ITRF1997	-0,5188	11,4616	1,2010	11,8349	-11,1527	42,8547
ITRF1993	-0,4719	11,4578	1,2120	11,8587	-11,1187	42,8986
ITRF1992	-0,5188	11,4616	1,2010	11,8349	-11,1527	42,8547

13 nolu üçgen IZMT-BILE-HEND (2007-2008-2009)						
Epoklar	Gerinim Tensör Bileşenleri ( $\cdot 10^8$ )			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$	$e_{xy}$	$e_{xx}$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	-3,3063	11,3716	2,0913	11,0799	-12,2949	38,3246
ITRF2005	-3,3117	11,3717	2,0889	11,0765	-12,2993	38,3211
ITRF2000	-3,3091	11,3709	2,1053	11,0868	-12,2906	38,3041
ITRF1997	-3,3028	11,3754	2,1252	11,1059	-12,2835	38,2904
ITRF1993	-3,2552	11,3713	2,1364	11,1270	-12,2459	38,3315
ITRF1992	-3,3028	11,3754	2,1252	11,1059	-12,2835	38,2904
14 nolu üçgen BURS-IZMT-BILE (2003-2007-2008)						
Epoklar	Gerinim Tensör Bileşenleri ( $\cdot 10^8$ )			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$	$e_{xy}$	$e_{xx}$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	2,0634	13,7129	3,0894	16,2989	-11,1461	43,9288
ITRF2005	2,0580	13,7130	3,0869	16,2951	-11,1502	43,9257
ITRF2000	2,0605	13,7122	3,1034	16,3040	-11,1401	43,9112
ITRF1997	2,0666	13,7167	3,1233	16,3219	-11,1319	43,8971
ITRF1993	2,1144	13,7131	3,1347	16,3471	-11,0980	43,9347
ITRF1992	2,0666	13,7167	3,1233	16,3219	-11,1319	43,8971
15 nolu üçgen TUBI-BURS-IZMT (1006-2003-2007)						
Epoklar	Gerinim Tensör Bileşenleri ( $\cdot 10^8$ )			Özalan Bileşenleri		
	$e_{yy}$	$e_{xy}$	$e_{xx}$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$ (derece)
ITRF2008	-0,2319	13,7762	4,7491	16,2581	-11,7410	39,8763
ITRF2005	-0,2373	13,7763	4,7466	16,2546	-11,7453	39,8734
ITRF2000	-0,2348	13,7754	4,7631	16,2645	-11,7361	39,8590
ITRF1997	-0,2284	13,7800	4,7830	16,2832	-11,7287	39,8470
ITRF1993	-0,1804	13,7759	4,7949	16,3060	-11,6915	39,8819
ITRF1992	-0,2284	13,7800	4,7830	16,2832	-11,7287	39,8470

**Ek-2b: KOUSAGA GPS Ağı lokal hız alanı model hipotezi testi tablosu**

Model Hipotezi Testi Tablosu			
Üçgen	Test Değeri	Sınır Değer	Yorum
TEKR-ISTN-ISTA	0,0136	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.
BAND-TEKR-ISTN	0,0025	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.
ISTN-BURS-BAND	0,0025	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.
BAND-ISTN-TUBI	0,0025	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.
ISTA-TUBI-ISTN	0,0043	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.
ISTA-TUBI-SLEE	0,0025	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.
TUBI-SLEE-IZMT	0,0025	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.
SLEE-IZMT-HEND	0,0025	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.
SLEE-HEND-ZONG	0,0025	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.
HEND-BOLU-ZONG	0,0025	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.
HEND-NAHA-BOLU	0,0025	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.
BILE-HEND-NAHA	0,0025	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.
IZMT-BILE-HEND	0,0025	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.
BURS-IZMT-BILE	0,0025	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.
TUBI-BURS-IZMT	0,0025	46,40	Modeli Hipotezi geçerlidir.

**Ek-2c: KOUSAGA GPS ağı için özalan parametrelerinin anlamlılık testleri**

Üçgenler	Alt sınıır	$\lambda_1$	Üst Sınıır	Yorum	Alt sınıır	$\lambda_2$	Üst Sınıır	Yorum	Alt sınıır	$\alpha$	Üst Sınıır	Yorum
tekr-istn-ista	-1,33	0,76	2,93	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-19,36	-17,10	-14,78	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	0,03	0,04	0,05	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
band-tekr-istn	15,61	17,66	19,77	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-13,46	-11,44	-9,35	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	0,65	0,67	0,70	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
istn-burs-band	15,64	17,69	19,80	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-12,99	-11,00	-8,94	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	0,65	0,68	0,70	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
band-istn-tubi	15,58	17,63	19,73	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-10,04	-8,04	-5,97	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	0,64	0,67	0,70	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
ista-tubi-istn	-7,72	-5,61	-3,42	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-11,16	-8,95	-6,70	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	0,16	0,23	0,30	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
ista-tubi-slee	6,43	8,47	10,57	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-8,29	-6,32	-4,29	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	0,69	0,75	0,81	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
tubi-slee-izmt	5,43	7,46	9,55	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-7,50	-5,55	-3,52	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	0,68	0,74	0,80	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
slee-izmt-hend	0,92	2,95	5,04	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-7,94	-5,90	-3,79	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	0,48	0,55	0,63	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
slee-hend-zong	3,36	5,38	7,45	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-8,36	-6,38	-4,31	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	0,56	0,62	0,69	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
hend-bolu-zong	3,31	5,31	7,37	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-17,10	-15,16	-13,15	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	0,65	0,69	0,73	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
hend-naha-bolu	9,85	11,86	13,93	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-14,63	-12,59	-10,48	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	0,48	0,50	0,53	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
bile-hend-naha	9,83	11,83	13,88	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-13,07	-11,15	-9,16	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	0,71	0,75	0,78	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
izmt-bile-hend	9,09	11,10	13,16	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-14,26	-12,28	-10,23	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	0,64	0,67	0,70	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
burs-izmt-bile	14,30	16,31	18,39	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-13,06	-11,13	-9,14	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	0,74	0,77	0,80	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
tubi-burs-izmt	14,26	16,27	18,36	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-13,72	-11,73	-9,66	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	0,67	0,70	0,72	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.



**Ek-2d: KOUSAGA GPS ağı için ortonormal dönüşüm matrisi elemanlarının anlamlılık testleri**

Üçgenler	Alt sınırlar	$\eta_4$	Üst Sınırlar	Yorum	Alt sınırlar	$\eta_5$	Üst Sınırlar	Yorum	Alt sınırlar	$\eta_6$	Üst Sınırlar	Yorum	Alt sınırlar	$\eta_7$	Üst Sınırlar	Yorum
tekr-istn-ista	-0,01	-0,01	-0,00	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-15,02	-12,15	-9,28	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-13,27	-12,02	-10,77	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-7,44	-4,57	-1,70	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
band-tekr-istn	1,61	1,62	1,63	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-21,03	-20,49	-19,95	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-7,92	-5,07	-2,22	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-9,87	-7,02	-4,16	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
istn-burs-band	1,66	1,67	1,67	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-20,68	-20,16	-19,64	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-9,87	-7,02	-4,16	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-9,87	-7,02	-4,16	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
band-istn-tubi	1,61	1,62	1,63	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-18,55	-18,01	-17,48	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-9,87	-7,02	-4,16	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-9,87	-7,02	-4,16	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
ista-tubi-istn	0,37	0,41	0,44	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-13,16	-10,31	-7,46	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-3,28	-2,08	-0,88	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-3,28	-2,08	-0,88	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
ista-tubi-slee	2,10	2,12	2,14	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-10,62	-10,24	-9,85	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-4,60	-1,75	1,10	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-4,60	-1,75	1,10	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
tubi-slee-izmt	2,01	2,04	2,06	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-9,37	-8,97	-8,56	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-4,41	-1,56	1,27	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-4,41	-1,56	1,27	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
slee-izmt-hend	1,11	1,13	1,15	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-4,89	-2,07	0,75	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-6,95	-6,17	-5,38	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-6,95	-6,17	-5,38	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
slee-hend-zong	1,37	1,38	1,40	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-8,88	-8,21	-7,54	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-2,18	0,62	3,42	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-2,18	0,62	3,42	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
hend-boltu-zong	1,73	1,74	1,75	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-15,02	-14,49	-13,97	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	3,90	6,69	9,47	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	3,90	6,69	9,47	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
hend-naha-boltu	0,98	0,98	0,99	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-3,44	-0,66	2,11	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-18,12	-17,26	-16,39	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-18,12	-17,26	-16,39	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
bile-hend-naha	2,10	2,12	2,13	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-16,49	-16,11	-15,74	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-3,61	-0,82	1,97	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-3,61	-0,82	1,97	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
izmt-bile-hend	1,58	1,60	1,60	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-17,02	-16,47	-15,92	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-2,11	0,70	3,51	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-2,11	0,70	3,51	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
burs-izmt-bile	2,25	2,26	2,27	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-19,54	-19,20	-18,86	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-6,95	-4,14	-1,32	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-6,95	-4,14	-1,32	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
tubi-burs-izmt	1,73	1,73	1,74	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-20,20	-19,71	-19,22	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-6,23	-3,38	-0,54	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	-6,23	-3,38	-0,54	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.

**Ek-2e:** KOUSAGA GPS ağı için özalan parametrelerinin varyans-kovaryans matrisi kullanılarak uygulanan benzerlik oran testleri

Üçgenler	(diag( $\Sigma_0 = \Sigma_y - 0, 1$ ))'e Benzerlik			( $\Sigma_0 = E$ )'e Benzerlik		
	Test Değeri	Sınır Değer	Yorum	Test Değeri	Sınır Değer	Yorum
TEKR-İSTN-İSTA	7,50	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	40,74	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.
BAND-TEKR-İSTN	6,92	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	40,08	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.
İSTN-BURS-BAND	7,08	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	39,77	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.
BAND-İSTN-TUBİ	6,82	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	39,56	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.
İSTA-TUBİ-İSTN	7,04	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	39,80	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.
İSTA-TUBİ-SLEE	6,83	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	39,51	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.
TUBİ-SLEE-İZMT	6,71	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	39,03	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.
SLEE-İZMT-HEND	6,95	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	38,83	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.
SLEE-HEND-ZONG	6,71	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	38,24	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.
HEND-BOLU-ZONG	6,78	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	38,03	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.
HEND-NAHA-BOLU	6,95	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	37,93	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.
BİLE-HEND-NAHA	6,96	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	38,20	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.
İZMT-BİLE-HEND	6,98	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	38,67	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.
BURS-İZMT-BİLE	6,94	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	38,77	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.
TUBİ-BURS-İZMT	6,79	15,49	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.	39,14	15,49	Sıfır Hipotezi Geçersizdir.

**Ek-2f:** KOUSAGA GPS ağı için özalan parametreleri ve özalan parametrelerinin varyans-kovaryans matrisi kullanılarak uygulanan benzerlik oran testleri

Üçgenler	(diag( $\Sigma_0 = \Sigma_y - 0,1$ ))'e Benzerlik		
	Test Değeri	Sınır Değer	Yorum
TEKR-ISTN-ISTA	10,28	26,43	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
BAND-TEKR-ISTN	9,57	24,60	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
ISTN-BURS-BAND	9,77	25,11	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
BAND-ISTN-TUBI	9,45	24,30	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
ISTA-TUBI-ISTN	9,71	24,97	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
ISTA-TUBI-SLEE	9,46	24,32	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
TUBI-SLEE-IZMT	9,31	23,93	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
SLEE-IZMT-HEND	9,61	24,72	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
SLEE-HEND-ZONG	9,31	23,93	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
HEND-BOLU-ZONG	9,40	24,16	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
HEND-NAHA-BOLU	9,61	24,70	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
BILE-HEND-NAHA	9,62	24,74	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
IZMT-BILE-HEND	9,65	24,80	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
BURS-IZMT-BILE	9,59	24,67	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.
TUBI-BURS-IZMT	9,41	24,20	Sıfır Hipotezi Geçerlidir.

## Ek-C: ALGILAYABİLİRLİK VE SAĞLAMLIK SENTEZİ İŞLEMLERİ

### Ek-3a: 2009.370 epöğunda algılayabilirlik ve sağlamlık sentezi (cm)

NN	Öklit Norm			Deformasyon Vektörü		Sınırlar		
	$\Delta x_i$	$\Delta y_i$	$\Delta z_i$	Lokal	Global	Sınır	$d_{\min}(m_0)$	$d_{\min}(s_0)$
1	0,0366	0,0133	0,0115	0,0090	0,2152	3,98	1,45	0,62
8	0,0498	-0,0014	0,0195	0,0003	0,0299	2,74	0,95	0,41
7	0,0491	0,0074	0,0133	0,0029	0,0459	4,85	1,66	0,71
11	0,0458	-0,0042	0,0231	0,0001	0,0091	3,31	1,21	0,52
27	0,0433	0,0110	-0,0208	0,0115	0,1508	3,10	1,12	0,48
25	0,0386	0,0101	-0,0061	0,0051	0,1804	3,15	1,15	0,50
84	0,0413	-0,0072	0,0302	0,0007	0,0440	4,05	1,31	0,56
65	0,0579	-0,0013	0,0174	0,0023	0,0294	2,83	0,86	0,37
104	-0,0784	-0,0516	0,1215	0,2924	0,3190	4,44	1,58	0,68
<b>103</b>	<b>-7,1913</b>	<b>0,0276</b>	<b>-0,9064</b>	<b>5,4968</b>	<b>0,2282</b>	<b>6,49</b>	<b>2,31</b>	0,99
48	0,1317	0,0049	-0,0126	0,0062	0,3081	3,46	1,20	0,51
85	0,0353	-0,0103	0,0392	0,0003	0,0258	2,83	0,99	0,42
26	0,2444	0,0119	-0,0731	0,0077	0,0922	3,34	1,20	0,52
46	0,0559	-0,0041	0,0302	0,0026	0,1219	2,55	0,82	0,35
47	0,0672	0,0021	0,0190	0,0084	0,1493	2,64	0,88	0,38
83	0,0334	-0,0112	0,0485	0,0017	0,0944	2,93	1,10	0,47
105	0,0584	-0,0031	0,0210	0,0019	0,0607	2,33	0,74	0,32
66	0,0484	-0,0059	0,0386	0,0058	0,2463	3,47	1,22	0,52
55	0,0082	-0,0142	0,0728	0,0016	0,2355	3,59	1,31	0,56
53	0,0396	-0,0101	0,0377	0,0055	0,1219	2,71	0,95	0,41
52	0,0485	-0,0058	0,0269	0,0013	0,0666	2,94	0,91	0,39
87	0,0460	-0,0065	0,0289	0,0029	0,0231	2,88	0,96	0,41
86	0,0432	-0,0080	0,0333	0,0013	0,1127	2,73	0,90	0,39
91	0,0354	-0,0109	0,0381	0,0012	0,0565	2,73	1,01	0,43
90	0,0023	-0,0232	0,0722	0,0064	0,1194	3,77	1,33	0,57
92	0,0409	-0,0089	0,0354	0,0012	0,0252	2,68	0,92	0,39
100	0,0416	-0,0073	0,0314	0,0005	0,0176	2,75	0,92	0,40
96	0,0428	-0,0066	0,0269	0,0010	0,0408	3,06	1,01	0,44
97	0,0425	-0,0070	0,0270	0,0008	0,0115	3,11	1,12	0,48
79	0,0380	-0,0090	0,0387	0,0023	0,0411	3,95	1,39	0,60
101	0,0357	-0,0103	0,0386	0,0010	0,0100	3,18	1,10	0,47
102	0,0351	-0,0101	0,0384	0,0005	0,0481	4,39	1,54	0,66
99	0,0339	-0,0108	0,0398	0,0002	0,0238	2,97	1,04	0,45
95	0,0323	-0,0114	0,0415	0,0090	0,0675	2,78	1,00	0,43
98	0,0325	-0,0107	0,0396	0,0048	0,0130	3,37	1,19	0,51
32	0,0357	0,0093	-0,0104	0,0039	0,0407	3,03	1,08	0,47
28	0,0493	0,0082	-0,0040	0,0051	0,1510	2,99	1,10	0,47
49	0,0556	0,0070	-0,0019	0,0035	0,0317	2,95	1,04	0,45
60	0,0663	0,0069	-0,0079	0,0081	0,1326	2,55	0,94	0,40
61	0,0597	0,0082	-0,0051	0,0011	0,0426	2,63	0,97	0,42
64	0,0553	-0,0006	0,0095	0,0013	0,0818	2,69	0,95	0,41
75	0,0604	-0,0006	0,0098	0,0022	0,0352	2,47	0,80	0,34
76	0,0618	0,0003	0,0124	0,0004	0,0721	2,42	0,76	0,32
43	0,0631	0,0000	0,0158	0,0024	0,1149	2,30	0,75	0,32
51	0,0519	0,0005	0,0176	0,0021	0,0890	3,00	1,10	0,47
9	0,0464	0,0063	0,0055	0,0030	0,0289	4,51	1,48	0,63
12	0,0476	-0,0029	0,0215	0,0003	0,0172	2,85	1,04	0,44
10	0,0475	-0,0031	0,0219	0,0005	0,0187	2,98	1,07	0,46
13	0,0492	-0,0019	0,0205	0,0005	0,0318	2,82	1,02	0,44
18	0,0473	-0,0031	0,0219	0,0002	0,0125	3,03	1,10	0,47
22	0,0473	-0,0031	0,0219	0,0004	0,0120	3,14	1,13	0,49
80	0,0491	-0,0021	0,0209	0,0002	0,0218	2,71	0,95	0,41
82	0,0477	-0,0033	0,0228	0,0004	0,0305	2,94	1,01	0,43
14	0,0463	-0,0035	0,0215	0,0015	0,1059	4,17	1,57	0,67
15	0,0461	-0,0040	0,0226	0,0001	0,0070	4,12	1,54	0,66
16	0,0457	-0,0042	0,0230	0,0002	0,0122	4,04	1,47	0,63
17	0,0455	-0,0045	0,0233	0,0004	0,0364	3,52	1,33	0,57
19	0,0456	-0,0043	0,0231	0,0001	0,0103	3,69	1,37	0,59
20	0,0461	-0,0041	0,0228	0,0001	0,0255	3,49	1,29	0,55
21	0,0464	-0,0037	0,0225	0,0004	0,0131	3,32	1,20	0,52

NN	Öklit Norm			Deformasyon Vektörü		Sınırlar		
	$\Delta x_i$	$\Delta y_i$	$\Delta z_i$	Lokal	Global	Sınır	$d_{\min} (m_0)$	$d_{\min} (s_0)$
4	0,0513	0,0002	0,0164	0,0004	0,0193	3,03	1,10	0,47
2	0,0503	-0,0007	0,0181	0,0002	0,0552	2,81	0,99	0,43
3	0,0512	0,0003	0,0163	0,0006	0,0133	3,12	1,15	0,50
5	0,0515	0,0004	0,0158	0,0016	0,0258	3,01	1,10	0,47
6	0,0515	-0,0004	0,0162	0,0004	0,0744	2,98	1,09	0,47
29	0,0712	-0,0044	-0,0719	0,0778	0,0936	3,17	1,18	0,50
30	-0,0803	0,0097	0,0151	1,0206	0,0530	3,61	1,33	0,57
31	0,0146	0,0099	-0,0150	0,0244	0,2302	3,17	1,15	0,49
33	0,0165	0,0100	-0,0161	0,0192	0,2043	3,23	1,18	0,51
34	0,2093	0,0106	-0,0544	0,0307	0,0717	3,30	1,15	0,50
35	0,2515	0,0113	-0,0650	0,0046	0,0699	3,38	1,21	0,52
37	0,2747	0,0113	-0,0666	0,0031	0,0932	3,58	1,28	0,55
39	0,2962	0,0167	-0,0898	0,0328	0,1580	3,42	1,26	0,54
45	0,0892	0,0133	0,0303	0,0379	0,1658	3,26	1,05	0,45
56	0,2743	0,0193	-0,0659	0,0362	0,3403	4,16	1,56	0,67
57	0,1989	-0,0049	-0,0526	0,0075	0,0835	3,99	1,50	0,64
58	0,2489	0,0264	-0,0507	0,0073	0,2072	4,02	1,40	0,60
59	0,1035	0,0021	-0,0289	0,0189	0,1674	2,81	0,95	0,41
67	0,0515	-0,0032	0,0368	0,0240	0,2315	3,13	1,11	0,47
68	0,0632	0,0061	-0,0061	0,0023	0,0540	2,58	0,93	0,40
70	0,0579	-0,0032	0,0237	0,0033	0,0863	2,68	0,89	0,38
72	0,1177	0,0053	-0,0093	0,0056	0,0640	3,22	1,09	0,47
77	0,0630	-0,0002	0,0192	0,0020	0,0543	2,45	0,81	0,35
78	0,1270	0,0066	-0,0139	0,0185	0,2684	3,44	1,17	0,50
88	0,0480	-0,0032	0,0227	0,0006	0,0166	2,96	1,00	0,43
89	0,0453	-0,0048	0,0237	0,0002	0,0101	3,33	1,24	0,53
93	0,0462	-0,0052	0,0258	0,0001	0,0251	2,94	0,97	0,42
94	0,0447	-0,0048	0,0249	0,0002	0,0121	3,43	1,29	0,55
24	0,0531	0,0098	-0,0158	0,0030	0,0438	3,01	1,09	0,47
42	0,0839	0,0053	-0,0084	0,0036	0,1068	2,49	0,85	0,36
44	0,0497	-0,0016	0,0197	0,0003	0,0155	2,74	0,95	0,41
81	0,0457	-0,0045	0,0238	0,0007	0,0079	3,20	1,19	0,51
36	0,3093	0,0160	-0,0593	0,0017	0,0228	3,44	1,23	0,53
<b>38</b>	<b>0,3991</b>	<b>0,0061</b>	<b>-0,1154</b>	<b>1,5879</b>	<b>0,0939</b>	<b>3,63</b>	<b>1,36</b>	0,58
106	0,0988	0,0074	0,0064	0,0156	0,1351	3,03	1,00	0,43
23	0,0677	0,0020	0,0058	0,0029	0,1022	2,29	0,77	0,33
54	0,0333	-0,0086	0,0556	0,0065	0,1109	4,46	1,52	0,65
71	0,0624	0,0005	0,0249	0,0010	0,1062	2,79	0,98	0,42
41	0,0591	-0,0011	0,0166	0,0010	0,0427	2,50	0,77	0,33
73	0,0707	0,0055	-0,0018	0,0021	0,0838	2,34	0,80	0,34
74	0,0656	0,0012	0,0041	0,0025	0,0343	2,36	0,79	0,34
69	0,0601	0,0045	0,0003	0,0005	0,0310	2,75	0,98	0,42
62	0,0581	0,0033	0,0032	0,0013	0,0261	2,81	1,03	0,44
50	0,0556	0,0003	0,0083	0,0022	0,0371	2,62	0,93	0,40
63	0,0575	0,0008	0,0077	0,0033	0,0174	2,39	0,83	0,36
40	0,0746	0,0063	-0,0044	0,0071	0,1044	2,40	0,86	0,37

**Ek-3b: 2010.496 epogunda algılayabilirlik ve sağlamlık sentezi (cm)**

NN	Öklit Norm			Deformasyon vektörleri		Sınırlar		
	$\Delta x_i$	$\Delta y_i$	$\Delta z_i$	Lokal	Global	Sımr	$d_{\min}(m_0)$	$d_{\min}(s_0)$
1	0,0189	-0,0816	-0,0276	0,0063	0,0285	8,15	2,62	0,74
8	-0,0837	-0,0313	-0,0495	0,0026	0,0312	4,93	1,78	0,50
7	-0,0004	-0,0794	-0,0474	0,0247	0,0978	8,02	2,76	0,78
11	-0,0952	-0,0137	-0,0373	0,0003	0,0225	6,31	2,18	0,62
27	-0,0113	-0,0620	-0,0048	0,0020	0,0145	7,28	2,38	0,67
25	0,0310	-0,0744	-0,0162	0,0031	0,3317	9,42	2,74	0,78
84	-0,1112	0,0009	-0,0271	0,0067	0,1037	9,52	3,41	0,97
65	-0,1433	0,0282	-0,0112	0,0178	0,2096	5,53	1,97	0,56
104	-0,1613	0,0596	0,0105	0,0139	0,0698	8,22	2,74	0,78
103	-0,0890	-0,0029	0,0217	0,0143	0,0452	14,46	4,44	1,26
48	-0,1853	0,0400	0,0414	0,0078	0,0406	6,65	2,28	0,64
85	-0,1420	0,0280	-0,0031	0,0006	0,0154	5,7	2,02	0,57
26	-0,1304	-0,0246	0,0042	0,0099	0,0136	6,69	2,35	0,67
46	-0,1634	0,0457	0,0075	0,0187	0,2268	5,59	1,99	0,56
47	-0,2986	0,1236	0,0419	0,0340	0,3481	6,88	2,37	0,67
83	-0,1576	0,0381	0,0012	0,0010	0,0297	5,46	1,97	0,56
105	-0,1642	0,0925	0,0558	0,0140	0,3650	5,15	1,84	0,52
66	-0,1625	0,0495	0,0076	0,0093	0,1964	6,8	2,35	0,66
55	-0,1669	0,0408	0,0022	0,0040	0,1192	5,73	2,03	0,57
53	-0,1578	0,0395	0,0020	0,0063	0,0562	5,24	1,90	0,54
52	-0,1360	0,0225	-0,0166	0,0075	0,0839	5,26	1,91	0,54
87	-0,1318	0,0079	-0,0278	0,0067	0,0680	4,8	1,70	0,48
202	-0,1612	0,0393	0,0016	0,0006	0,0550	5,45	1,92	0,55
203	-0,1914	0,0900	0,0377	0,0164	0,2666	6,51	2,15	0,61
204	-0,1737	0,0598	0,0221	0,0049	0,2228	5,4	1,92	0,54
86	-0,1360	0,0264	-0,0091	0,0036	0,0792	4,88	1,76	0,56
91	-0,1433	0,0316	-0,0009	0,0026	0,0289	5,20	1,94	0,55
90	-0,1514	0,0395	0,0056	0,0032	0,0729	7,24	2,61	0,74
92	-0,1356	0,0247	-0,0105	0,0044	0,0724	5,12	1,82	0,52
100	-0,1137	0,0155	-0,0130	0,0023	0,0724	5,83	2,07	0,59
96	-0,1067	0,0003	-0,0295	0,0049	0,1119	5,88	2,01	0,57
97	-0,1017	-0,0008	-0,0280	0,0018	0,0240	6,10	2,10	0,59
79	-0,1366	0,0222	-0,0087	0,0081	0,0454	8,51	3,29	0,93
101	-0,1338	0,0272	-0,0026	0,0034	0,0174	6,30	2,34	0,66
102	-0,1387	0,0234	-0,0084	0,0044	0,0390	8,42	3,08	0,87
99	-0,1411	0,0283	-0,0025	0,0011	0,0577	6,12	2,21	0,63
95	-0,1474	0,0337	0,0009	0,0008	0,0355	5,66	2,09	0,59
98	-0,1411	0,0310	-0,0002	0,0020	0,0354	6,3	2,33	0,66
32	0,0321	-0,0712	-0,0125	0,0042	0,0779	8,31	2,57	0,73
28	0,0286	-0,0937	-0,0332	0,0033	0,0849	7,78	2,49	0,71
49	0,0380	-0,0934	-0,0427	0,0104	0,0280	6,82	2,21	0,63
60	0,0615	-0,1295	-0,0366	0,0059	0,0597	7,12	2,37	0,67
61	0,0409	-0,1019	-0,0352	0,0051	0,1461	7,07	2,41	0,68
68	0,0633	-0,1110	-0,0337	0,0077	0,1778	6,79	2,29	0,65
40	0,0780	-0,1529	-0,0343	0,4814	0,5226	7,19	2,39	0,68
73	9,7073	1,0192	1,7399	<b>7,6174</b>	0,8845	13,09	3,55	1,01
74	0,1649	-0,0833	-0,1568	2,0290	<b>2,4175</b>	6,66	2,24	0,64
69	0,0417	-0,0890	-0,0694	0,0199	0,0747	5,91	2,03	0,58
62	0,0209	-0,0833	-0,0743	0,0059	0,0313	5,95	2,07	0,59
50	-0,0601	-0,0570	-0,0900	0,0160	0,2389	5,3	1,77	0,50
63	-0,0193	-0,0751	-0,0991	0,0819	0,2006	5,28	1,86	0,53
64	-0,0684	-0,0535	-0,0845	0,0330	0,2971	4,96	1,67	0,47
75	-0,1518	0,0269	-0,0126	0,0743	0,1321	5,46	1,99	0,56
76	-0,1839	0,1009	0,0668	0,0359	1,6679	6,54	2,25	0,64
43	-0,2879	0,1470	0,0642	0,0169	0,4125	5,82	2,04	0,58
51	-0,0834	-0,0466	-0,0609	0,0062	0,1706	4,77	1,64	0,46
9	0,0217	-0,0826	-0,0410	0,0062	0,0493	7,32	2,40	0,68
12	-0,0910	-0,0189	-0,0419	0,0014	0,0173	5,21	1,91	0,54
10	-0,0927	-0,0167	-0,0398	0,0018	0,0380	5,69	2,06	0,58
13	-0,0824	-0,0288	-0,0452	0,0023	0,0980	5,56	1,90	0,54
18	-0,0919	-0,0169	-0,0392	0,0005	0,0189	6,85	2,30	0,65
22	-0,0913	-0,0168	-0,0390	0,0024	0,0192	7,33	2,46	0,70
80	-0,0895	-0,0237	-0,0468	0,0025	0,1045	4,63	1,66	0,47

NN	Öklit Norm			Deformasyon vektörleri		Sınırlar		
	$\Delta x_i$	$\Delta y_i$	$\Delta z_i$	Lokal	Global	Sınır	$d_{\min}$ ( $m_0$ )	$d_{\min}$ ( $s_0$ )
82	-0,0952	-0,0147	-0,0395	0,0010	0,0531	5,23	1,83	0,52
14	-0,0901	-0,0167	-0,0430	0,0052	0,2707	8,34	2,61	0,74
15	-0,0931	-0,0146	-0,0373	0,0014	0,0355	7,66	2,61	0,74
16	-0,0934	-0,0141	-0,0369	0,0003	0,0238	7,22	2,47	0,70
17	-0,0963	-0,0133	-0,0369	0,0011	0,0719	6,65	2,29	0,65
19	-0,0941	-0,0138	-0,0371	0,0003	0,0185	7,03	2,42	0,68
20	-0,0936	-0,0144	-0,0372	0,0001	0,0386	6,58	2,26	0,64
21	-0,0931	-0,0149	-0,0380	0,0015	0,0134	6,48	2,24	0,63
2	-0,0852	-0,0381	-0,0532	0,0013	0,1353	4,92	1,73	0,49
3	-0,0789	-0,0431	-0,0563	0,0028	0,0216	5,55	1,97	0,56
4	-0,0784	-0,0428	-0,0555	0,0018	0,0244	5,32	1,90	0,54
5	-0,0773	-0,0437	-0,0558	0,0140	0,0975	5,29	1,86	0,53
6	-0,0798	-0,0436	-0,0582	0,0021	0,1704	5,00	1,67	0,47
29	-0,0221	-0,0551	0,0003	0,0247	0,0100	6,99	2,38	0,67
30	-0,0224	-0,0554	-0,0013	0,0122	0,0485	7,67	2,73	0,77
31	0,0219	-0,0758	-0,0173	0,0060	0,0430	8,08	2,54	0,72
33	-0,0065	-0,0625	-0,0032	0,0041	0,1323	7,96	2,71	0,77
34	-0,1320	-0,0293	0,0007	0,0363	0,1138	6,55	2,29	0,65
35	-0,1316	-0,0205	0,0074	0,0036	0,0128	6,53	2,30	0,65
37	-0,1316	-0,0222	0,0046	0,0016	0,0085	6,91	2,44	0,69
39	-0,1310	-0,0201	0,0037	0,0145	0,0359	7,26	2,57	0,73
45	-0,2116	0,0962	0,0243	0,0208	0,1364	6,52	2,27	0,64
56	-0,1646	-0,0103	0,0048	0,0089	0,1552	8,48	2,90	0,82
57	-0,1796	-0,0021	0,0360	0,0122	0,1230	6,94	2,52	0,71
58	-0,1265	0,0067	0,0354	0,0132	0,0203	6,53	2,29	0,65
59	0,0049	-0,0670	-0,0044	0,0243	0,0104	6,32	2,11	0,60
67	-0,1773	0,0852	0,0281	0,0172	0,0968	6,95	2,20	0,62
70	-0,1726	0,0858	0,0434	0,0113	0,2539	5,46	1,94	0,55
72	-0,2193	0,0502	0,0245	0,0412	0,2649	6,06	2,08	0,59
77	-0,2312	0,1041	0,0565	0,0238	0,3519	6,61	2,31	0,65
78	-0,2084	0,0448	0,0287	0,0104	0,0391	6,2	2,19	0,62
88	-0,0894	-0,0064	-0,0351	0,0035	0,0672	4,74	1,70	0,48
89	-0,0963	-0,0125	-0,0366	0,0009	0,0287	6,36	2,18	0,62
93	-0,0989	-0,0010	-0,0338	0,0083	0,0732	5,19	1,82	0,52
94	-0,0972	-0,0101	-0,0341	0,0009	0,0334	6,61	2,34	0,66
24	-0,0002	-0,0659	-0,0059	0,0199	0,0029	6,91	2,31	0,65
42	-0,0161	-0,0670	-0,0020	2,7724	0,4183	6,95	2,39	0,68
44	-0,0845	-0,0264	-0,0470	0,0038	0,0744	4,63	1,68	0,48
81	-0,0980	-0,0129	-0,0379	0,0019	0,0246	5,78	1,99	0,56
36	-0,1363	-0,0135	0,0121	0,0112	0,0310	6,84	2,43	0,69
38	-0,1189	-0,0161	0,0113	0,0097	0,0592	13,94	4,16	1,18
106	-0,3107	0,1091	-0,0015	0,0913	0,1919	6,08	2,02	0,57
201	-0,4440	0,3888	0,1880	1,9348	3,2029	6,83	2,42	0,68

**Ek-3c: 2009.370 epoklu ölçüler alternatif algılayabilirlik ve sağlamlık sentezi (cm)**

NN	d <sub>min</sub>	Δx <sub>dmin</sub>	Δy <sub>dmin</sub>	Δz <sub>dmin</sub>	Deformasyon Vektörü		Sınır d <sub>min</sub> (s0)
					Lokal	Global	
1	0,6217	-0,3637	0,4931	0,1054	0,1081	0,4555	0,6217
8	0,4087	-0,2336	0,3273	0,0729	0,0152	0,1679	0,4087
7	0,7119	-0,2264	0,6621	-0,1314	0,1757	0,4750	0,7119
11	0,5213	-0,2936	0,4245	0,0731	0,0016	0,3261	0,5213
27	0,4819	-0,2780	0,3851	0,0813	0,0077	0,2394	0,4819
25	0,4952	-0,2937	0,3851	0,1033	0,0200	0,4811	0,4952
84	0,5606	-0,3725	0,3878	0,1583	0,0551	0,6215	0,5606
65	0,3673	-0,2540	0,2184	0,1507	0,0401	0,0309	0,3673
104	0,6760	-0,4312	0,4416	0,2759	0,1398	0,4922	0,6760
103	0,9927	-0,5061	0,8521	0,0570	0,3190	<b>1,1917</b>	0,9927
48	0,5146	-0,3061	0,3904	0,1367	0,0197	0,5121	0,5146
85	0,4232	-0,2554	0,3148	0,1214	0,0049	0,0588	0,4232
26	0,5169	-0,2913	0,4209	0,0719	0,0084	0,1324	0,5169
46	0,3513	-0,2316	0,2455	0,0975	0,0587	0,0663	0,3513
47	0,3781	-0,2340	0,2723	0,1184	0,0178	0,1431	0,3781
83	0,4707	-0,2547	0,3902	0,0672	0,0032	0,2137	0,4707
105	0,3188	-0,2142	0,2099	0,1083	0,0204	0,0962	0,3188
66	0,5246	-0,3005	0,4294	0,0224	0,0205	0,2938	0,5246
55	0,5611	-0,3326	0,4277	0,1458	0,0041	0,2337	0,5611
53	0,4075	-0,2454	0,3152	0,0805	0,0576	0,2184	0,4075
52	0,3918	-0,2506	0,2800	0,1110	0,0199	0,0847	0,3918
87	0,4119	-0,2619	0,2972	0,1128	0,0122	0,0271	0,4119
86	0,3867	-0,2279	0,2926	0,1094	0,0152	0,0785	0,3867
91	0,4337	-0,2527	0,3342	0,1120	0,0042	0,1033	0,4337
90	0,5698	-0,3380	0,4307	0,1577	0,0443	0,4462	0,5698
92	0,3936	-0,2354	0,2933	0,1164	0,0225	0,0768	0,3936
100	0,3962	-0,2369	0,2949	0,1180	0,0056	0,2146	0,3962
96	0,4351	-0,2681	0,3190	0,1252	0,0238	0,4307	0,4351
97	0,4819	-0,2710	0,3920	0,0721	0,0227	0,3803	0,4819
79	0,5953	-0,3288	0,4770	0,1369	0,0306	<b>0,7061</b>	0,5953
101	0,4701	-0,2632	0,3651	0,1357	0,0590	<b>0,6497</b>	0,4701
102	0,6609	-0,3411	0,5591	0,0891	0,1167	0,3937	0,6609
99	0,4459	-0,2574	0,3438	0,1200	0,0088	<b>0,4491</b>	0,4459
95	0,4302	-0,2476	0,3372	0,1003	0,0215	0,3419	0,4302
98	0,5116	-0,2769	0,4130	0,1201	0,0512	<b>0,9684</b>	0,5116
32	0,4654	-0,2688	0,3677	0,0952	0,0129	0,2820	0,4654
28	0,4713	-0,2633	0,3879	0,0482	0,0228	0,2431	0,4713
49	0,4475	-0,2677	0,3511	0,0730	0,0473	0,1947	0,4475
60	0,4039	-0,2249	0,3297	0,0621	0,0090	0,3416	0,4039
61	0,4164	-0,2286	0,3436	0,0556	0,0177	0,1404	0,4164
68	0,3979	-0,2447	0,2936	0,1105	0,0171	0,0581	0,3979
40	0,3678	-0,2206	0,2829	0,0813	0,0166	0,1326	0,3678
73	0,3415	-0,2105	0,2516	0,0949	0,0149	0,0368	0,3415
74	0,3376	-0,2161	0,2451	0,0848	0,0126	0,0081	0,3376
69	0,4191	-0,2540	0,3134	0,1134	0,0230	0,0486	0,4191
62	0,4422	-0,2610	0,3452	0,0909	0,0120	0,2320	0,4422
50	0,3979	-0,2197	0,3315	0,0123	0,0228	0,0653	0,3979
63	0,3569	-0,2154	0,2750	0,0735	0,0292	0,0865	0,3569
64	0,4075	-0,2460	0,3121	0,0902	0,0140	<b>0,4619</b>	0,4075
75	0,3435	-0,2370	0,2128	0,1287	0,0105	0,0130	0,3435
76	0,3243	-0,2184	0,2136	0,1088	0,0039	0,0335	0,3243
43	0,3207	-0,2119	0,2139	0,1104	0,0077	0,1245	0,3207
51	0,4727	-0,2497	0,4002	0,0304	0,0423	0,1487	0,4727
9	0,6348	-0,1937	0,5976	-0,0908	0,1628	0,4101	0,6348
12	0,4449	-0,2332	0,3765	0,0429	0,0284	0,4073	0,4449
10	0,4608	-0,2262	0,4014	0,0084	0,0434	<b>0,5402</b>	0,4608
13	0,4382	-0,2283	0,3715	0,0440	0,0108	0,2465	0,4382
18	0,4719	-0,2405	0,4052	0,0255	0,0133	0,2039	0,4719
22	0,4853	-0,2528	0,4131	0,0311	0,0080	0,4635	0,4853
80	0,4098	-0,2363	0,3243	0,0831	0,0145	0,1534	0,4098
82	0,4326	-0,2585	0,3286	0,1109	0,0076	0,2390	0,4326
14	0,6729	-0,3519	0,5640	0,1040	0,1036	<b>0,6872</b>	0,6729
15	0,6610	-0,3362	0,5685	0,0260	0,0583	<b>0,8919</b>	0,6610
16	0,6319	-0,3473	0,5227	0,0737	0,0287	<b>0,7448</b>	0,6319



NN	d <sub>min</sub>	$\Delta x_{dmin}$	$\Delta y_{dmin}$	$\Delta z_{dmin}$	Deformasyon Vektörü		Sınır d <sub>min</sub> (s <sub>0</sub> )
					Lokal	Global	
17	0,5691	-0,3145	0,4686	0,0740	0,0219	0,4184	0,5691
19	0,5860	-0,3196	0,4856	0,0737	0,0018	<b>0,7281</b>	0,5860
20	0,5526	-0,2991	0,4593	0,0700	0,0118	<b>0,7131</b>	0,5526
21	0,5168	-0,2833	0,4282	0,0595	0,0137	<b>0,7207</b>	0,5168
2	0,4265	-0,2374	0,3505	0,0517	0,0297	0,4090	0,4265
3	0,4957	-0,2669	0,4164	0,0325	0,0193	<b>0,5355</b>	0,4957
4	0,4730	-0,2592	0,3930	0,0462	0,0121	0,2750	0,4730
5	0,4709	-0,2507	0,3984	0,0137	0,0395	0,1248	0,4709
6	0,4687	-0,2200	0,4132	-0,0239	0,0097	0,0251	0,4687
29	0,5045	-0,2753	0,4203	0,0463	0,0235	0,3357	0,5045
30	0,5706	-0,3290	0,4626	0,0571	0,0376	<b>1,2599</b>	0,5706
31	0,4917	-0,2876	0,3832	0,1104	0,0384	0,3648	0,4917
33	0,5051	-0,2904	0,4021	0,0953	0,0126	<b>0,5246</b>	0,5051
34	0,4956	-0,2749	0,4098	0,0453	0,0291	0,1574	0,4956
35	0,5202	-0,2888	0,4283	0,0616	0,0213	0,3292	0,5202
37	0,5496	-0,3255	0,4208	0,1379	0,0307	0,2142	0,5496
39	0,5409	-0,3069	0,4355	0,0938	0,0054	0,0909	0,5409
45	0,4494	-0,2988	0,2990	0,1524	0,0121	0,3062	0,4494
56	0,6716	-0,3396	0,5702	0,1029	0,0375	<b>0,7136</b>	0,6716
57	0,6425	-0,3659	0,5109	0,1338	0,0325	0,4258	0,6425
58	0,5995	-0,3227	0,5022	0,0551	0,0029	0,1920	0,5995
59	0,4074	-0,2158	0,3453	0,0099	0,0092	0,1335	0,4074
67	0,4748	-0,2872	0,3535	0,1338	0,0543	0,2689	0,4748
70	0,3814	-0,2466	0,2807	0,0770	0,0421	0,3198	0,3814
72	0,4659	-0,2672	0,3649	0,1118	0,0186	0,3142	0,4659
77	0,3463	-0,2262	0,2398	0,1061	0,0163	0,1675	0,3463
78	0,5042	-0,3129	0,3705	0,1379	0,0354	0,4617	0,5042
88	0,4300	-0,2526	0,3325	0,1028	0,0025	0,0626	0,4300
89	0,5318	-0,2879	0,4450	0,0426	0,0151	0,3213	0,5318
93	0,4181	-0,2540	0,3128	0,1115	0,0063	0,0448	0,4181
94	0,5537	-0,2805	0,4763	0,0330	0,0223	0,5408	0,5537
24	0,4665	-0,2797	0,3608	0,0957	0,0109	0,1996	0,4665
42	0,3644	-0,2053	0,2951	0,0595	0,0257	0,1466	0,3644
44	0,4085	-0,2386	0,3217	0,0802	0,0199	0,1941	0,4085
81	0,5100	-0,2801	0,4231	0,0513	0,0099	0,2984	0,5100
36	0,5266	-0,2837	0,4398	0,0583	0,0074	0,0700	0,5266
38	0,5827	-0,3184	0,4803	0,0863	0,0819	<b>1,0248</b>	0,5827
106	0,4283	-0,2299	0,3562	0,0613	0,0465	0,2782	0,4283
23	0,3309	-0,2076	0,2429	0,0858	0,0115	0,0880	0,3309
54	0,6511	-0,4143	0,4502	0,2229	0,1004	0,3789	0,6511
71	0,4188	-0,2562	0,3122	0,1110	0,0184	0,3237	0,4188
41	0,3296	-0,2263	0,2000	0,1319	0,0085	0,0136	0,3296

**Ek-3d: 2010.496 epoklu ölçüler alternatif algılayabilirlik ve sağlamlık sentezi (cm)**

NN	d <sub>min</sub>	$\Delta x_{dmin}$	$\Delta y_{dmin}$	$\Delta z_{dmin}$	Deformasyon Vektörü		Sınır d <sub>min</sub> (s <sub>0</sub> )
					Lokal	Global	
1	0,7423	-0,3949	0,6275	0,0356	0,0485	0,2392	0,7423
8	0,5030	-0,2660	0,4258	0,0301	0,0113	0,4715	0,5030
7	0,7814	-0,3265	0,7098	-0,0129	0,1296	0,6332	0,7814
11	0,6189	-0,3351	0,5169	0,0594	0,0024	0,3420	0,6189
27	0,6737	-0,3621	0,5656	0,0541	0,0186	0,5615	0,6737
25	0,7763	-0,4163	0,6519	0,0663	0,0047	0,2172	0,7763
84	0,9671	-0,5124	0,8117	0,1178	0,9408	0,8553	0,9671
65	0,5587	-0,3342	0,4424	0,0693	0,0401	0,0583	0,5587
104	0,7771	-0,4395	0,6387	0,0534	0,0460	0,4241	0,7771
103	1,2573	-0,9230	0,5458	0,6565	0,3474	0,8053	1,2573
48	0,6447	-0,3941	0,4890	0,1455	0,0427	0,2991	0,6447
85	0,5721	-0,2113	0,5236	-0,0922	0,0084	<b>0,7887</b>	0,5721
26	0,6652	-0,3688	0,5500	0,0635	0,0041	0,4182	0,6652
46	0,5633	-0,2895	0,4805	0,0505	0,0719	0,2825	0,5633
47	0,6715	-0,4192	0,5109	0,1188	0,0526	0,4857	0,6715
83	0,5571	-0,2693	0,4872	0,0224	0,0122	0,4007	0,5571
105	0,5226	-0,2781	0,4425	0,0037	0,0168	0,0487	0,5226
66	0,6645	-0,4361	0,4693	0,1764	0,0191	0,0845	0,6645
55	0,5747	-0,3233	0,4681	0,0814	0,0062	0,0814	0,5747
53	0,5374	-0,2489	0,4762	0,0111	0,0118	0,3929	0,5374
52	0,5408	-0,3332	0,4175	0,0845	0,0684	0,1454	0,5408
87	0,4822	-0,2586	0,4062	0,0261	0,0565	0,0773	0,4822
86	0,4993	-0,2166	0,4482	-0,0385	0,0233	0,3744	0,4993
91	0,5490	-0,1863	0,5057	-0,1047	0,0138	0,1670	0,5490
90	0,7381	-0,3642	0,6386	0,0658	0,0880	0,6236	0,7381
92	0,5157	-0,1995	0,4707	-0,0682	0,0128	0,1562	0,5157
100	0,5862	-0,3046	0,4992	0,0410	0,0134	0,5781	0,5862
96	0,5684	-0,2841	0,4920	0,0187	0,0242	0,2358	0,5684
97	0,5944	-0,3010	0,5117	0,0303	0,0412	0,5676	0,5944
79	0,9332	-0,3115	0,8447	-0,2456	0,1428	1,5329	0,9332
101	0,6638	-0,2421	0,6093	-0,1037	0,0198	0,9864	0,6638
102	0,8736	-0,2546	0,7836	-0,2903	0,1542	1,3273	0,8736
99	0,6259	-0,2479	0,5711	-0,0638	0,0229	0,6074	0,6259
95	0,5927	-0,3098	0,5022	0,0561	0,0229	0,4646	0,5927
98	0,6593	-0,3036	0,5852	0,0026	0,0231	0,8807	0,6593
32	0,7280	-0,3617	0,6318	0,0072	0,0220	0,2994	0,7280
28	0,7055	-0,3676	0,6021	0,0116	0,0100	0,1371	0,7055
49	0,6250	-0,3326	0,5279	0,0357	0,0315	0,1489	0,6250
60	0,6728	-0,4145	0,5211	0,0960	0,0219	0,3694	0,6728
61	0,6829	-0,3478	0,5876	0,0060	0,0304	0,2472	0,6829
68	0,6479	-0,3652	0,5341	0,0349	0,0119	0,0545	0,6479
40	0,6764	-0,4105	0,5306	0,0861	0,0161	0,3295	0,6764
73	1,0067	-0,2685	0,9608	-0,1349	0,4001	0,0952	1,0067
74	0,6359	-0,2655	0,5778	-0,0036	0,1074	0,0408	0,6359
69	0,5760	-0,2905	0,4962	0,0344	0,0122	0,0591	0,5760
62	0,5866	-0,2788	0,5154	0,0266	0,0094	0,1152	0,5866
50	0,5014	-0,1985	0,4582	-0,0460	0,0102	0,0694	0,5014
63	0,5255	-0,2388	0,4682	0,0026	0,0277	0,0874	0,5255
64	0,4728	-0,2146	0,4210	-0,0170	0,0170	0,1891	0,4728
75	0,5649	-0,3233	0,4616	0,0382	0,0429	0,0559	0,5649
76	0,6360	-0,4420	0,4046	0,2130	0,0095	0,4420	0,6360
43	0,5765	-0,3651	0,4195	0,1518	0,0547	0,3095	0,5765
51	0,4639	-0,2368	0,3987	0,0114	0,0060	0,0494	0,4639
9	0,6797	-0,3231	0,5977	0,0188	0,0085	0,2604	0,6797
12	0,5408	-0,2295	0,4893	-0,0215	0,0188	0,4226	0,5408
10	0,5832	-0,2682	0,5175	0,0193	0,0290	0,3803	0,5832
13	0,5392	-0,2341	0,4843	-0,0372	0,0214	0,7001	0,5392
18	0,6527	-0,3339	0,5604	0,0215	0,0398	0,5806	0,6527
22	0,6983	-0,3513	0,6019	0,0431	0,0192	0,4874	0,6983
80	0,4701	-0,2407	0,4037	0,0096	0,0159	0,4180	0,4701
82	0,5188	-0,2680	0,4442	0,0028	0,0131	0,3056	0,5188
14	0,7385	-0,4283	0,5979	0,0668	0,0940	0,7739	0,7385
15	0,7383	-0,3549	0,6463	-0,0386	0,0937	1,4174	0,7383
16	0,6989	-0,3741	0,5891	0,0386	0,0113	0,6481	0,6989

NN	d <sub>min</sub>	Δx <sub>dmin</sub>	Δy <sub>dmin</sub>	Δz <sub>dmin</sub>	Deformasyon Vektörü		Sınır d <sub>min</sub> (s0)
					Lokal	Global	
17	0,6488	-0,3525	0,5418	0,0554	0,0156	0,3033	0,6488
19	0,6845	-0,3811	0,5625	0,0828	0,0281	0,7457	0,6845
20	0,6394	-0,3516	0,5298	0,0671	0,0114	0,7475	0,6394
21	0,6343	-0,3469	0,5275	0,0607	0,0172	0,3158	0,6343
2	0,4888	-0,2213	0,4355	-0,0159	0,0186	0,2347	0,4888
3	0,5590	-0,2619	0,4936	0,0164	0,0326	0,7596	0,5590
4	0,5386	-0,2055	0,4950	-0,0528	0,0455	0,3039	0,5386
5	0,5283	-0,2251	0,4774	-0,0227	0,0284	0,1822	0,5283
6	0,4741	-0,2156	0,4221	-0,0090	0,0035	0,1199	0,4741
29	0,6734	-0,3666	0,5600	0,0737	0,0314	0,4107	0,6734
30	0,7727	-0,4801	0,5755	0,1879	0,0358	<b>1,6104</b>	0,7727
31	0,7186	-0,3777	0,6107	0,0291	0,0610	0,1282	0,7186
33	0,7669	-0,4207	0,6374	0,0703	0,0441	<b>1,5954</b>	0,7669
34	0,6496	-0,3676	0,5302	0,0761	0,0048	0,2116	0,6496
35	0,6517	-0,3621	0,5376	0,0673	0,0141	0,2029	0,6517
37	0,6906	-0,3958	0,5585	0,0911	0,0207	0,5896	0,6906
39	0,7282	-0,4477	0,5561	0,1433	0,0397	<b>0,8891</b>	0,7282
45	0,6432	-0,3836	0,5095	0,0835	0,1143	0,2678	0,6432
56	0,8206	-0,3473	0,7397	-0,0751	0,2140	<b>1,6825</b>	0,8206
57	0,7138	-0,4779	0,4776	0,2305	0,0625	0,5284	0,7138
58	0,6496	-0,3721	0,5251	0,0881	0,0196	0,3504	0,6496
59	0,5990	-0,3655	0,4653	0,0935	0,0362	0,3246	0,5990
67	0,6243	-0,2988	0,5476	0,0243	0,0179	0,1308	0,6243
70	0,5493	-0,2985	0,4603	0,0275	0,0216	0,1825	0,5493
72	0,5902	-0,4100	0,3744	0,2002	0,0314	<b>1,1868</b>	0,5902
77	0,6545	-0,3301	0,5603	0,0743	0,0559	0,2414	0,6545
78	0,6214	-0,4593	0,2897	0,3022	0,0608	0,2426	0,6214
88	0,4805	-0,2758	0,3897	0,0539	0,0037	0,2701	0,4805
89	0,6183	-0,3370	0,5152	0,0574	0,0170	0,3888	0,6183
93	0,5167	-0,2916	0,4224	0,0592	0,0371	0,2336	0,5167
94	0,6643	-0,3298	0,5764	0,0181	0,0482	<b>1,0076</b>	0,6643
24	0,6530	-0,3483	0,5509	0,0390	0,0121	0,4891	0,6530
42	0,6759	-0,4888	0,3830	0,2669	0,1542	0,5469	0,6759
44	0,4768	-0,2884	0,3732	0,0701	0,0518	0,2448	0,4768
81	0,5624	-0,2805	0,4874	0,0056	0,0512	0,2058	0,5624
36	0,6888	-0,3774	0,5751	0,0358	0,1557	0,4792	0,6888
38	1,1774	-0,8556	0,2186	0,7788	0,6214	<b>1,3462</b>	1,1774
106	0,5730	-0,3327	0,4623	0,0629	0,0790	0,3027	0,5730
201	0,6846	-0,4170	0,5313	0,1119	0,1415	0,4974	0,6846
202	0,5452	-0,2690	0,4733	0,0287	0,0072	0,3805	0,5452
203	0,6100	-0,2363	0,5589	-0,0627	0,0766	0,1288	0,6100
204	0,5444	-0,3081	0,4488	0,0000	0,0291	0,3710	0,5444

**Ek-3e: Soncul alternatif algılayabilirlik ve sağamlık sentezi (cm)**

NN	dmin	$\Delta x_{dmin}$	$\Delta y_{dmin}$	$\Delta z_{dmin}$	Deformasyon Vektörü		Sımr dmin (s0)
					Lokal	Global	
1	0,8614	-0,4774	0,7124	0,0809	0,0868	0,4297	0,8614
8	0,5765	-0,3211	0,4732	0,0735	0,0363	<b>0,7269</b>	0,5765
11	0,7188	-0,3959	0,5944	0,0814	0,0266	<b>0,7738</b>	0,7188
27	0,7363	-0,4078	0,6074	0,0824	0,0200	0,3256	0,7363
25	0,8190	-0,4511	0,6770	0,0939	0,0357	0,2299	0,8190
65	0,6005	-0,3907	0,4292	0,1542	0,0051	0,1641	0,6005
104	0,9309	-0,5914	0,6780	0,2393	0,1816	0,7812	0,9309
103	1,4644	-0,9818	1,0032	0,4173	0,0230	0,3934	1,4644
48	0,7334	-0,4463	0,5533	0,1803	0,1109	0,5571	0,7334
85	0,6468	-0,2982	0,5740	-0,0039	0,0415	0,5730	0,6468
26	0,7484	-0,4180	0,6152	0,0833	0,0022	0,3620	0,7484
46	0,5935	-0,3491	0,4692	0,1013	0,0291	0,5505	0,5935
47	0,6875	-0,4386	0,5043	0,1611	0,0228	0,5105	0,6875
83	0,6483	-0,3334	0,5528	0,0596	0,1250	<b>0,8960</b>	0,6483
66	0,7584	-0,4681	0,5829	0,1277	0,0919	<b>1,3970</b>	0,7584
53	0,6013	-0,3246	0,5014	0,0696	0,0228	<b>0,8258</b>	0,6013
52	0,5946	-0,3782	0,4388	0,1342	0,0206	0,3520	0,5946
87	0,5658	-0,3443	0,4348	0,1119	0,0266	0,4613	0,5658
86	0,5692	-0,3107	0,4701	0,0806	0,0202	<b>0,8527</b>	0,5692
91	0,6313	-0,2878	0,5619	-0,0018	0,0170	<b>0,8546</b>	0,6313
90	0,8315	-0,4487	0,6864	0,1378	0,0199	0,5410	0,8315
92	0,5878	-0,2830	0,5147	0,0235	0,0157	<b>0,6109</b>	0,5878
100	0,6331	-0,3471	0,5214	0,0923	0,1174	0,1999	0,6331
96	0,6427	-0,3471	0,5364	0,0695	0,0065	0,3683	0,6427
97	0,6804	-0,3582	0,5757	0,0565	0,0131	0,3976	0,6804
79	1,0073	-0,4941	0,8777	-0,0114	0,0070	0,3774	1,0073
101	0,7423	-0,3670	0,6422	0,0623	0,0174	0,4732	0,7423
102	0,9966	-0,4327	0,8889	-0,1256	0,0085	0,3321	0,9966
99	0,6937	-0,3379	0,6042	0,0443	0,0348	0,4754	0,6937
95	0,6517	-0,3602	0,5332	0,1035	0,0619	<b>1,8135</b>	0,6517
98	0,7468	-0,3828	0,6351	0,0883	0,0391	0,1806	0,7468
32	0,7702	-0,4010	0,6560	0,0457	0,0220	0,3499	0,7702
28	0,7541	-0,3999	0,6388	0,0274	0,0228	<b>0,8036</b>	0,7541
49	0,6838	-0,3761	0,5683	0,0567	0,0184	0,1593	0,6838
61	0,7116	-0,3707	0,6067	0,0287	0,0205	0,1824	0,7116
68	0,6795	-0,4018	0,5411	0,0868	0,1315	0,5499	0,6795
74	0,6473	-0,3003	0,5730	0,0219	0,0365	0,5903	0,6473
69	0,6358	-0,3514	0,5216	0,0933	0,5842	<b>1,2891</b>	0,6358
62	0,6547	-0,3434	0,5527	0,0726	0,0490	0,6753	0,6547
50	0,5723	-0,2597	0,5091	-0,0295	0,0248	0,2934	0,5723
63	0,5672	-0,2975	0,4802	0,0517	0,0377	0,1062	0,5672
64	0,5592	-0,2964	0,4722	0,0436	0,1262	0,4000	0,5592
75	0,5923	-0,3659	0,4559	0,0949	0,0422	0,2566	0,5923
43	0,5862	-0,3812	0,4084	0,1777	0,0391	0,0563	0,5862
51	0,5883	-0,3062	0,5016	0,0271	0,0621	0,3078	0,5883
9	0,8331	-0,3256	0,7648	-0,0560	0,0492	0,1680	0,8331
12	0,6231	-0,2988	0,5465	0,0191	0,0457	0,4167	0,6231
10	0,6608	-0,3150	0,5805	0,0225	0,0376	0,4541	0,6608
13	0,6193	-0,2900	0,5471	-0,0071	0,0477	0,3430	0,6193
18	0,7154	-0,3646	0,6149	0,0265	0,0129	0,1084	0,7154
22	0,7554	-0,3850	0,6481	0,0484	0,0205	0,1747	0,7554
80	0,5560	-0,3087	0,4573	0,0686	0,0276	0,1175	0,5560
82	0,6059	-0,3469	0,4895	0,0845	0,0472	0,4809	0,6059
14	0,8931	-0,5013	0,7327	0,0974	0,0885	0,4182	0,8931
15	0,8814	-0,4381	0,7647	-0,0103	0,0058	0,1511	0,8814
16	0,8373	-0,4526	0,7015	0,0645	0,2080	<b>1,2580</b>	0,8373
17	0,7667	-0,4186	0,6379	0,0761	0,0506	0,7580	0,7667
19	0,8003	-0,4414	0,6605	0,0969	0,0137	0,3909	0,8003
20	0,7508	-0,4101	0,6232	0,0841	0,0114	0,0818	0,7508
21	0,7267	-0,3974	0,6039	0,0739	0,0142	0,4045	0,7267
2	0,5778	-0,2931	0,4971	0,0277	0,0234	0,2912	0,5778
3	0,6648	-0,3320	0,5750	0,0312	0,0123	0,2949	0,6648
4	0,6398	-0,3013	0,5644	0,0047	0,0375	0,0381	0,6398
5	0,6306	-0,2994	0,5549	-0,0045	0,0073	0,1070	0,6306
6	0,5926	-0,2709	0,5266	-0,0227	0,0539	0,0265	0,5926

NN	d <sub>min</sub>	$\Delta x_{dmin}$	$\Delta y_{dmin}$	$\Delta z_{dmin}$	Deformasyon Vektörü		Sınır d <sub>min</sub> (s <sub>0</sub> )
					Lokal	Global	
29	0,7474	-0,4074	0,6216	0,0785	0,0264	0,2787	0,7474
30	0,8549	-0,5093	0,6689	0,1549	0,0439	0,2377	0,8549
31	0,7766	-0,4293	0,6423	0,0792	0,0193	0,1410	0,7766
33	0,8166	-0,4588	0,6679	0,1013	0,0182	0,0730	0,8166
34	0,7257	-0,4073	0,5955	0,0779	0,0254	0,1976	0,7257
35	0,7406	-0,4115	0,6105	0,0806	0,0564	0,0876	0,7406
37	0,7860	-0,4649	0,6156	0,1508	0,0069	0,5848	0,7860
39	0,8064	-0,4802	0,6307	0,1482	0,3574	0,3273	0,8064
45	0,7002	-0,4515	0,5086	0,1664	0,0997	0,0527	0,7002
56	0,9500	-0,4217	0,8509	-0,0262	0,0458	0,0175	0,9500
57	0,8566	-0,5358	0,6281	0,2286	0,0083	0,1885	0,8566
58	0,7853	-0,4349	0,6480	0,0867	0,0280	0,1087	0,7853
59	0,6445	-0,3733	0,5208	0,0687	0,0544	0,4420	0,6445
67	0,7032	-0,3975	0,5669	0,1232	0,0889	<b>1,3563</b>	0,7032
70	0,5960	-0,3567	0,4712	0,0771	0,0254	0,3324	0,5960
72	0,6735	-0,4227	0,4971	0,1668	0,0145	0,2505	0,6735
77	0,6621	-0,3769	0,5302	0,1236	0,0133	0,3575	0,6621
78	0,7213	-0,4945	0,4593	0,2546	0,0059	0,0901	0,7213
88	0,5746	-0,3409	0,4487	0,1125	0,1188	<b>0,8557</b>	0,5746
89	0,7243	-0,3940	0,6043	0,0644	0,0088	0,4715	0,7243
93	0,5925	-0,3518	0,4627	0,1150	0,0144	0,2713	0,5925
94	0,7682	-0,3831	0,6652	0,0281	0,0486	0,1013	0,7682
24	0,7142	-0,4006	0,5862	0,0775	0,0048	0,1528	0,7142
42	0,6869	-0,4391	0,5055	0,1535	0,0046	0,3917	0,6869
44	0,5587	-0,3353	0,4357	0,0991	0,0865	<b>0,6137</b>	0,5587
81	0,6749	-0,3534	0,5740	0,0330	0,0085	0,1692	0,6749
36	0,7712	-0,4218	0,6430	0,0586	0,0157	0,1573	0,7712
38	1,1971	-0,8777	0,4113	0,7024	0,0203	0,2352	1,1971
106	0,6375	-0,3540	0,5260	0,0657	0,0435	<b>0,9800</b>	0,6375
105	0,5504	-0,3393	0,4242	0,0883	0,0240	0,4359	0,5504
84	1,0001	-0,5773	0,7969	0,1788	0,0190	0,3827	1,0001
7	0,9428	-0,3535	0,8691	-0,0923	0,0388	0,6084	0,9428
55	0,7147	-0,4225	0,5549	0,1561	0,0458	<b>1,0431</b>	0,7147
73	0,9568	-0,2677	0,9111	-0,1173	0,0277	0,4686	0,9568
76	0,6343	-0,4368	0,4085	0,2114	0,0117	0,4981	0,6343
40	0,6852	-0,4172	0,5338	0,1029	0,0731	0,9452	0,6852
60	0,6988	-0,4199	0,5499	0,0976	0,1822	<b>1,2037</b>	0,6988
23	0,6758	-0,4204	0,5121	0,1336	0,3973	<b>1,4359</b>	0,6758
54	0,7603	-0,4730	0,5527	0,2211	0,1305	0,6726	0,7603
71	0,6703	-0,3357	0,5789	0,0393	0,0209	0,0592	0,6703
41	0,5757	-0,3775	0,4184	0,1177	0,0657	0,2491	0,5757

## KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

**Küreç, P.**, Konak H., 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.*, 2014, **14**, 1299-1308.

**Küreç P.**, Konak H., Sıklaştırma Ağlarının Yer Kabuğu Hareketlerine Karşı Duyarlılıkları ve Olası Algılayabilirlik Düzeyleri, *hkm Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 2011, **Özel Sayı**, 84-90.

Konak H., **Küreç Nehbit P.**, İnce C. D., Yaşamsal Altyapı Sistemlerinin GPS Ağlarıyla İzlenmesi ve Deformasyon Sonuçlarının Yorumlanması: Kocaeli İZDOGAP GPS Ağı Uygulaması, *Geomatik Dergisi*, 2017, **2(1)**, 40-52.

Konak H., **Küreç Nehbit P.**, İnce C. D., Sensitivity Optimization at the Densification GPS Networks for Monitoring Crustal Movements, *International Scientific Conference Geobalcanica 2017*, Skopje, Republic of Macedonia, 20-21 May 2017.

Üstün A., Erener A., Konak H., Şentürk E., **Küreç P.**, Güvenaltın M. A., Yalvaç S., Canaslan Çomut F., An Eight-Year Displacement Investigation In Izmit Bay Based On Gps Control Survey, *TUJBBK-Türkiye Ulusal Jeodezi Ve Jeofizik Birliği Bilimsel Kongresi*, İzmir, 30 Mayıs-2 Haziran 2018.

**Küreç P.**, Konak H., Doğrusal Hipotez Testleri ile Gerinim Analizi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 14. Türkiye Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, 18 -22 Nisan 2013.

**Küreç P.**, Konak H., Sıklaştırma Ağlarının Yer Kabuğu Hareketlerine Karşı Duyarlılıkları ve Olası Algılayabilirlik Düzeyleri, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, 18-22 Nisan 2011.

Konak H., **Küreç Nehbit P.**, İnce C.D., Sıklaştırma Temel GPS Ağlarında Güvenirlik ve Algılayabilirlik Optimizasyonu, *8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, İstanbul, 19-21 Ekim 2016.

Konak H., **Küreç P.**, Yer kabuğu Hareketleri için Multivaryat Düzenli GPS Ağlarında Deneysel Algılayabilirlik Analizleri: Kocaeli İZDOGAP GPS Ağı, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Prof. Dr. Ergün ÖZTÜRK Jeodezi Kolokiyumu*, Kocaeli, 15 Mart 2013.

İnce C. D., Konak H., **Küreç P.**, Çepni M., İzgaz Doğal Gaz Alt Yapısının Ulusal Jeodezik Ağlar ve Arazi Bilgi Sistemi ile İzlenmesi Projesi (İZDOGAP), Teknik Rapor III, 2010.

Konak H., **Küreç P.**, İnce C. D., Çepni M., İzgaz Doğal Gaz Alt Yapısının Ulusal Jeodezik Ağlar ve Arazi Bilgi Sistemi ile İzlenmesi Projesi (İZDOGAP), Teknik Rapor IV, 2010.

Konak H., **Küreç P.**, İnce C. D., Şentürk E., İzgaz Doğal Gaz Alt Yapısının Ulusal Jeodezik Ağlar ve Arazi Bilgi Sistemi ile İzlenmesi Projesi (İZDOGAP), Teknik Rapor V, 2011.



## ÖZGEÇMİŞ

Pakize KÜREÇ NEHBİT 1980 yılında Adana’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana’da tamamladı. 1998 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Yabancı Diller Bölümü’ne, 1999 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü’ne başladı. 2003-2004 yılları arasında Bilişim Eğitim Merkezi’nde açılan kurslara katılarak Donanım&Teknik Servis Uzmanlığı ve Microsoft Windows 2000 Professional and Server sertifikalarını almaya hak kazandı. 2004 yılında Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisi olarak Yıldız Teknik Üniversitesi’nden mezun oldu. 2006 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Yüksek Lisans öğrenimini 2010 yılında tamamlayarak Harita Yüksek Mühendisi ünvanını aldı, aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora öğrenimine başladı. 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Jeoinformasyon Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora öğrenimine başladı. 2004-2007 yılları arasında özel sektörde çalıştı. 2007-2018 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Jeoinformasyon Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi olarak görev yaptı. 2018 yılından itibaren Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü Jeodezi Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.