

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜZEY AĞLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Pakize KÜREÇ

Anabilim Dalı: Jeodezi ve Jeoinformasyon Mühendisliği

Danışman: Prof. Dr. Haluk KONAK

KOCAELİ, 2010

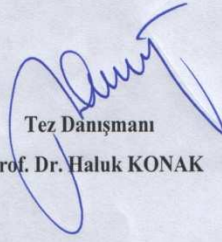
KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ *FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

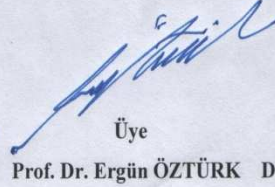
YÜZEY AĞLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

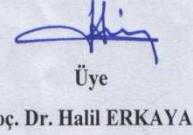
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Harita Müh. Pakize KÜREÇ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 18 Haziran 2010

Tezin Savunulduğu Tarih: 23 Temmuz 2010


Tez Danışmanı
Prof. Dr. Haluk KONAK


Üye
Prof. Dr. Ergün ÖZTÜRK


Üye
Doç. Dr. Halil ERKAYA

KOCAELİ, 2010

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

“İZGAZ Doğal Gaz Alt Yapısının Ulusal Jeodezik Ağlar ve Arazi Bilgi Sistemi ile İzlenmesi Projesi, İZDOGAP” için kurulan İZDOGAP GPS Ağı BÖHHBÜY’ne göre değerlendirilmiştir. Bununla birlikte bu ağın deformasyonları algılayabilirlik derecesi ve deformasyonlardan kaynaklanan gerinim elemanları hesaplanmıştır.

Tez çalışmam boyunca değerli yardımlarıyla beni yönlendiren ve destekleyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Haluk KONAK’a teşekkür ederim.

Tez çalışmamda kullandığım veriler için İZDOGAP Ekibi’nin özverili çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim. İZGAZ Jeodezi Çalışma Grubu üyelerinden Sayın Serkan YEĞNİDEMİR’e ve Sayın Özhan YALIN’a, KOÜ Jeodezi Çalışma Grubu üyelerinden Sayın Yrd. Doç. Dr. Cankut Dağdal İNCE’ye ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Orhan KURT’a teşekkür ederim.

Ayrıca yaşamım boyunca verdiğim tüm kararları destekleyen, yanımda olan ağabeyim Tolga KÜREÇ’e, babam Mehmet Tahir KÜREÇ’e ve annem Bağdat KÜREÇ’e sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR	v
ÖZET.....	vi
İNGİLİZCE ÖZET	vii
1. GİRİŞ	1
2. YÜZEY AĞLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	5
2.1. Uzay ve Uydu Teknikleriyle Oluşturulan Jeodezik Ağlar	8
2.2. Değerlendirme Modelleri	10
2.3. Jeodezik Ağ Ölçülerinin Değerlendirilmesi.....	13
2.3.1. Ölçme epeğinde değerlendirme	14
2.3.2. Ölçme anında serbest dengeleme	15
2.3.3. Uyuşumsuz ölçüler testi	19
2.3.4. Korelasyonlu gözlemlerin sağlam kestirim yöntemleriyle yerleştirilmesi....	25
2.3.5. Eş değerlik testleri.....	27
2.3.6. Dayalı dengeleme.....	29
3. YÜZEY AĞLARINDA GÜVENİRLİK VE SAĞLAMLIK İRDELEMELERİ... 30	
3.1. Bir Kestirimin Kalitesi	30
3.2. Duyarlık Ölçütleri	32
3.3. Güven Ölçütleri.....	38
3.4. Algılayabilirlik (Sensitivity) Ölçütleri	40
3.5. Jeodezik Ağlarda Sağlamlık Ölçütleri	46
3.6. Hareketli Blokların İç Duyarlıkları	52
3.7. Ağ Bloklarının İç Gerinimleri.....	56
4. SAYISAL UYGULAMA	58
4.1. İZDOGAP Kocaeli GPS Test Ağı	58
4.1.1. İZDOGAP GPS test ağının değerlendirilmesi	65
4.1.2. Değerlendirme sonuçları	65
4.1.3. Eş değerlik testleri.....	68
4.1.4. Sonuç Dengelemesi.....	69
4.2. Ağ Noktalarının Algılayabilirlik Düzeyleri	70
4.3. İZDOGAP Ağında Farklı Ölçme Anlarına Göre Eş Değerlik Testleri.....	73
4.3.1. Robust ağırlıklandırılmalı en küçük varyans araştırması.....	73
4.3.1.1. Sıklaştırma noktaları ile birlikte değerlendirme sonuçları.....	79
4.3.2. En küçük varyans araştırması yöntemi	82
4.4. İZDOGAP GPS Ağına İç Gerinimlerinin Hesaplanması	83
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	89
KAYNAKLAR	92
EKLER.....	95
ÖZGEÇMİŞ	102

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Birinci Derecede Nirengi ve Zincir Poligon Noktaları	6
Şekil 2.2: TUTGA Ağı	7
Şekil 3.1: Gerinimlerin çizimi	52
Şekil 4.1: İZDOGAP GPS Test Ağı Noktalarının Dağılımı	62
Şekil 4.2: İZDOGAP GPS Test Ağı Ölçme Planı	63
Şekil 4.3: İZDOGAP GPS Test Ağının Numaralandırılması	64
Şekil 4.4: Algılayabilirlik analizleri	74
Şekil 4.5: t_i ölçme anında 3B Helmert ve Genişletilmiş Helmert dönüşümlerinin karşılaştırılması	85
Şekil 4.6: t_i epogu için blokların gerinim elips elemanlarının gösterimi	87
Şekil 4.7: t_0 epogu için blokların gerinim elips elemanlarının gösterimi	98

TABLolar DİZİNİ

Tablo 4.1: İZDOGAP Kocaeli GPS Test Ağı Yer Seçimi Çalışmaları.....	60
Tablo 4.2: Kesinleşen İZDOGAP GPS Test Ağı Noktaları.....	61
Tablo 4.3: Model Hipotezi testi	65
Tablo 4.4: Serbestlik Ölçütlerine Göre Güvenirlik Dereceleri	66
Tablo 4.5: İç Güven Ölçütlerine Göre Güvenirlik Dereceleri.....	67
Tablo 4.6: Dış Güven Ölçütlerine Göre Güvenirlik Dereceleri.....	67
Tablo 4.7: t_i Ölçme Anı için Eş Değerlik Testi Sonuçları	68
Tablo 4.8: t_i Ölçme Anı için Geleneksel Eş Değerlik Testi Sonuçları.....	69
Tablo 4.9: Serbest Dengeleme Sonuçları	71
Tablo 4.10: Belirlenen Olası Hata Miktarının ve Yönlerinin Karşılaştırılması.....	72
Tablo 4.11: t_0 Ölçme Anı için Robust Ağırlıklandırılmalı En Küçük Varyans Araştırması Sonuçları	76
Tablo 4.12: t_i Ölçme Anı için Robust Ağırlıklandırılmalı En Küçük Varyans Araştırması	77
Tablo 4.13: t_i Ölçme Anı için Genişletilmiş Helmert Dönüşümü ile Robust Ağırlıklandırılmalı En Küçük Varyans Araştırması.....	78
Tablo 4.14: 83 Eşlenik Nokta için t_0 Ölçme Anında Eş Değerlik Testi Sonuçları	80
Tablo 4.15: 83 Eşlenik Nokta için t_i Ölçme Anında Eş Değerlik Testi Sonuçları.....	81
Tablo 4.16: t_0 Ölçme Anı için En Küçük Varyans Araştırması	82
Tablo 4.17: t_i Ölçme Anı için En Küçük Varyans Araştırması.....	83
Tablo 4.18: t_i ve t_0 Ölçme Anları için Gerinim Elipsinin Elemanları	86

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Katsayılar matrisi
d	: Yer değiştirme vektörü
F	: Fisher dağılımı
f	: Serbestlik derecesi
G	: Dönüşüm matrisi
v	: Düzeltmeler vektörü
t	: Student dağılımı
T	: Test değeri
W	: Robust ağırlık matrisi
x	: Bilinmeyenler vektörü
$E(.)$: Herhangi bir ölçünün umut değeri
K_{ll}	: Ölçülerin varyans-kovaryans matrisi
s_0^2	: Kuramsal varyans
δ_0	: Dış merkezlik parametresinin sınır değeri
m_0^2	: Deneysel varyans
H_0	: Sıfır hipotezi
H_S	: Seçenek hipotezi
r_i	: i ölçüsü için redundanz değeri
Q_{xx}	: Bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi
Q_{ll}	: Ölçülerin ters ağırlık matrisi
Q_{vv}	: Düzeltmelerin ters ağırlık matrisi
e_i	: i . ölçü için birim vektör
ε	: Gerçek hata değeri
τ	: Tau dağılımı
χ	: Che-Karedağılımı
α	: Yanılma olasılığı
Δ_i	: i . ölçüdeki kaba hata değeri
ΔX	: x yönündeki baz ölçüsü
ΔY	: y yönündeki baz ölçüsü
ΔZ	: z yönündeki baz ölçüsü

Kısaltmalar

AGA	: Ana GPS Ağı
ASN	: Alım için Sıklaştırma GPS Ağı
GPS	: Global Positioning System
GRS80	: Geodetic Reference System
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
SGA	: Sıklaştırma GPS Ağı
TUTGA	: Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
TUSAGA	: Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı

YÜZEY AĞLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Pakize KÜREÇ

Anahtar kelimeler: Yüzey Ağları, Duyarlık, Güvenirlik, Algılayabilirlik, Sağlamlık, Gerinim.

Özet: Yüzey ağları günümüzde, ülke temel ağlarına dayalı olarak tek bir sistemde ve statik GPS ağları yapısında kurulmaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak; yüzey ağlarında gerçekleştirilen GPS gözlemleri, ortak bir datumda ve uluslar arası yer merkezli üç boyutlu koordinat sistemlerinde değerlendirilmektedir. Öte yandan, plaka hareketleri ile jeofizik kaynaklı doğal etkiler de jeodezik datum bilgilerinin belli aralıklarla güncellenmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada, yüzey ağlarında gerçekleştirilecek datum belirleme işlemlerinde; Ülke Temel GPS ağı ile Ana GPS Ağı noktalarının yeterli olup olmadıkları, Sıklaştırma GPS Ağlarının da datum belirleme işlemine katılmasının ağın kalitesi üzerindeki yararlılıkları ayrı ayrı irdelenmektedir. Bu amaçla, gerçek bir yüzey ağında datum sorunu üzerinde yoğunlaşmakta, buna bağlı olarak da ağ noktalarındaki konumsal yer değiştirme büyüklüklerinin en küçük değerleri (algılayabilirlik değerleri) araştırılmaktadır. Son adımda ise; eş değerlik testleri sonuçlarına göre, birbirlerine göre ayrık gibi görünen dört farklı ağ bölgesi için gerinim hesapları yapılmaktadır.

EVALUATION OF THE SURFACE NETWORKS

Pakize KÜREÇ

Keywords: Surface Networks, Precision, Reliability, Sensitivity, Robustness, Strain.

Abstract: Nowadays, the surface networks, which are based on National Fundamental Network, are established in the unique coordinate system and as statics GPS network. As a result of this situation; observation of GPS is evaluated a common datum and geocentric three-dimensional coordinate system. On the other hand, geodetic datum information should be updated periodically because of plate movements and their geophysical natural effects. In this study are analyzed capacities of National Fundamental Network and First Order Network points for datum determination process. Also for this purpose are investigated effects on networks quality criteria of Second Order Networks. One of the aims in the study is focused on the datum problem in a real surface networks, in addition to this, minimum values of geometrical displacement (sensitivities) in networks points are investigated. Finally, strain parameters are calculated for four different sub-network regions according to the result of congruency test for GPS networks.

1. GİRİŞ

Amacına yönelik olarak kurulan jeodezik ağların güvenilirlik ve duyarlık yönünden irdelenmesine yönelik ilk çalışmalar, Baarda'nın 1966 yılındaki uyuşumsuz ölçülerin yerleştirilmesi çalışmalarıyla başlamıştır.

Aksoy, 1987'de jeodezik ağların matematik-istatistik yöntemlerle irdelenmesine yönelik olarak; dengelemeye eklenen ek koşullarla uyuşumsuz ölçülerin testi, ölçü çiftlerinde uyuşumsuz ölçü testleri ve bir sistemin Helmert dönüşümü ile başka bir sisteme dönüştürülmesi işlemlerinde uyuşumsuz ölçü testlerinin uygulanması üzerine kuramsal bir çalışma yapmıştır.

Öztürk 1982 ve 1987'de; model hatalarının güven ölçüleriyle denetlenmesi ve model hatalarına neden olan kaba hataların ayıklanması, uyuşumsuz ölçülerin yerleştirilmesi üzerine çalışmıştır. Bu çalışmalarda amacına yönelik olarak kurulan Jeodezik Ağların kalitesinin belirlenmesi için kullanılan duyarlık ölçütlerinin dengeleme modelinin geçerli olduğu durumlarda gerçekçi bilgiler içerebileceği vurgulanmaktadır.

Konak, 1995 yılında yapmış olduğu doktora tezinde; bütünleşik yüzey ağlarının tasarım aşamasında; amacına uygun olarak, ölçme planı ve ölçü duyarlılıkları yönünden en uygun duruma getirilmesi gerekliliği öne sürülmekte ve gerçek bir Ağ üzerinde ulaştığı deneysel bulguları ayrı ayrı sergilenmektedir.

Dilaver ve diğ. 1998, Konak ve diğ. 1999 ve 2001 yılında uyuşumsuz ölçülerin yerleştirilmesi amacıyla kullanılan kestirim yöntemlerini ayrı ayrı karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada iyi tasarlanmamış bir ağ için gerek Robust gerekse En Küçük Kareler kestirimlerinin kullanılması durumunda gerçekçi sonuçlar veremeyeceği açıkça ortaya konulmaktadır.

Papo, 1999 yılında yapmış olduğu bir çalışmasında, ağ geometrisi ile noktaların konum doğruluğu arasındaki ilişkiyi test etmiştir. alışmasının sonucunda hata elipsoidi elemanlarının yönünün ve büyüklüğünün, aralarındaki uzaklığın bir fonksiyonu olduğunu, bununla birlikte serbest ağlar içindeki noktaların konum doğruluğunun baskın olarak datumu tanımlayan noktaların alansal dağılımına bağlı olduğunu vurgulamaktadır.

Vanicek ve diğ., 2000 yılında; yatay jeodezik ağların sağlamlık analizi üzerinde çalışmıştır. Yapılan bu çalışmada sağlamlık analizinin çok güçlü bir teknik olduğu ve bir ağın algılama gücünün nokta nokta belirlenmesiyle daha sağlıklı olarak belirlenebileceğini ileri sürmektedir.

Wieser, 2002 yılında yaptđđ doktora tezinde; GPS ölçülerindeki sinyal bozulma etkilerinin ortaya çıkarılmasına yönelik olarak sağlam kestirim ve fuzzy yöntemlerini karşılaştırmıştır. Bu çalışmada korelasyonlu gözlemler için ayrı bir sağlam kestirim yöntemi geliştirmiştir.

Hsu ve Hsiao, 2002 yılında; üç boyutlu GPS ağlarında Belirlenebilir En Küçük Deformasyon Miktarlarının hesaplanması anlamına gelen algılayabilirlik (sensitivity, algılama gücü) zerinde çalışmıştır. Bu çalışmanın sonucuna göre iyi planlanmamış bir ağın yer değiştirmelere karşı duyarsız olduğu sonucuna varılmıştır.

Aydın ve diğ., 2004 yılında yaptıkları bir çalışmada; tasarladıkları bir deformasyon ağının duyarlı olup olmadđđ incelenmişlerdir. Buna ek olarak Belirlenebilir En Küçük Yer değiştirme Miktarının hesaplanması için dış merkezlik parametresinin büyüklüğünün hangi sınırlar içerisinde kalabileceği araştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucuna göre bir ağın duyarlılığının; noktaların konumuna, ölçü sayısına, ölçü doğruluğuna, öngörülen deformasyonların büyüklüğüne ve doğrultusuna bağlı olarak değiştiği sonucuna varılmıştır.

Even-Tzur, 2006 yılında; jeodezik ağlarda datum seçiminin jeodezik ağların duyarlılığı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Jeodezik ağlarda algılayabilirlik (Sensitivity, Ayırma ya da algılama gücü) kavramını, ağ noktalarındaki yer

değiştirmelerin ölçülmesi ve belirlenebilme kapasitesi olarak tanımlamıştır. Bu çalışmanın sonucunda ise datum seçiminin ağıın algılama gücünü ya da algılayabilirlik düzeyini önemli ölçüde etkilemediğini görülmektedir. Buna karşın ağda farklı bir ağırlık merkezinin oluşması durumunda çarpıcı ve şaşkırtıcı önemli sonuçlar ortaya çıkabileceğini vurgulamıştır.

Cai ve Grafarend, 2006 yılında yaptıkları çalışmalarında; deformasyon gerinimlerini temsil eden özalan bileşenlerinin (özdeğerler ve özvektörler) istatistiksel sonuçlarını çözümlenmişlerdir. Bu yöntem yeni bir bakış ve yaklaşım olarak deformasyon belirleme çalışmalarındaki yerini hızlı bir biçimde almaktadır.

Berber, 2006 yılında jeodezik ağların sağlamlık analizi üzerine çalışmıştır. Bu çalışmada bir jeodezik ağın sağlamlığı ve ağ noktalarındaki olası deformasyon derecelerinin, Strain (Gerinim) analizleriyle de belirlenebileceği ileri sürülmektedir. Bu amaçla iki ve üç boyutlu ağlar için strain (gerinim) elemanlarının hesaplanmasına yönelik özel yöntemler geliştirmiştir.

Acar ve diğ., 2008 yılındaki çalışmasında heyelan bölgelerinin farklı hızlarda hareket etme durumlarına göre farklı bloklara ayrılması gereği üzerinde durmaktadırlar. Bu çalışma sırasında deformasyon büyüklüklerine bağılı olarak benzer yönde harekete sahip olan noktalar kümesi aynı blok içerisinde toplanmıştır. Bu amaçla blokların belirlenmesi için; deformasyon analizinin gelişmiş hali olan iki boyutlu genişletilmiş Helmert dönüşümü kullanılmıştır.

Weining, 2009 yılında yapmış olduğu bir çalışmasında sağlam kestirimin korelasyonlu gözlemlerin dengelenmesinde kullanılması konusunu araştırmıştır. Bu çalışmada; gözlemlerin korelasyonlu olması durumlarında robust ve en küçük kareler kestirimleri karşılaştırılmaktadır. Korelasyonlu gözlem değerlerinin dengelenmesi sırasında, kaba hatalarla gözlem değerlerinin ağırlıklarının değişmesinin diğere gözlemleri etkilediği görülmektedir. Bu çalışmaya göre en küçük kareler yöntemi kullanılarak robust kestirim ile daha doğru sonuçlara ulaşılabildiği gösterilmektedir.

Jeodezik ağların değerlendirilmesi ve kalite sorgulaması işlemlerinde; duyarlılık ve güvenirlik ölçütlerinin yanı sıra, bu ölçütlerden türetilen ve ağın datumundan bağımsız olan yeni ölçütler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ltler ağın deformasyonları algılama gücü anlamına gelen algılayabilirlik (sensitivity) ve deformasyonların neden olduğu gerinim büyüklükleridir.

Bu alışma giriş ile birlikte beş ana bölümden oluşmaktadır. Buna göre;

Birinci bölümde yüzey ağlarının değerlendirilmesi ve yüzey ağlarında güvenirlik ve sağamlık konularında yapılmış yayınlar hakkında zet bilgiler verilmiştir. Özetlenen bu yayınlar bu çalışmanın sayısal uygulama bölümünün temelini oluşturmaktadır.

İkinci bölümde jeodezik ağlar ve bu ağların değerlendirme modelleri hakkında bilgiler verilmiş ve oluşturulan jeodezik ağların BÖHHBÜY'ne göre değerlendirilmesi aşamalar halinde anlatılmıştır.

nc bölümde; yüzey ağlarında güvenirlik ve sağamlık irdelemeleri anlatılmıştır. Bu bölümde yapılan çalışmanın ağrılıklı konusu olarak; jeodezik ağların deformasyonları algılayabilirlik ltleri (sensitivity), bu hareketlerden kaynaklanan gerinim büyüklüklerinin hesaplanması ve bölgesel gerinim elips elemanlarının çizilmesi hakkında bilgiler verilmiştir.

Sayısal uygulama olarak değerlendirilen dördüncü bölümde ise öncelikli olarak İZDOGAP Kocaeli GPS ağı tanıtılmıştır. İZDOGAP GPS ağı BÖHHBÜY'ne göre değerlendirilmiş ve bu ağın deformasyonları algılayabilirlik düzeyleri hesaplanmıştır. İZDOGAP ağında farklı epoklara göre eş değerlik testleri yapılmıştır. Bu eş değerlik testleri sonuçlarına göre, gözlemlenen farklı hareket alanları için İZDOGAP ağı dört bölgeye ayrılmış ve bu bölgeler için deformasyonların neden olduğu gerinim elemanları hesaplanmıştır.

Son bölümde ise sayısal uygulama sonuçlarından elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.

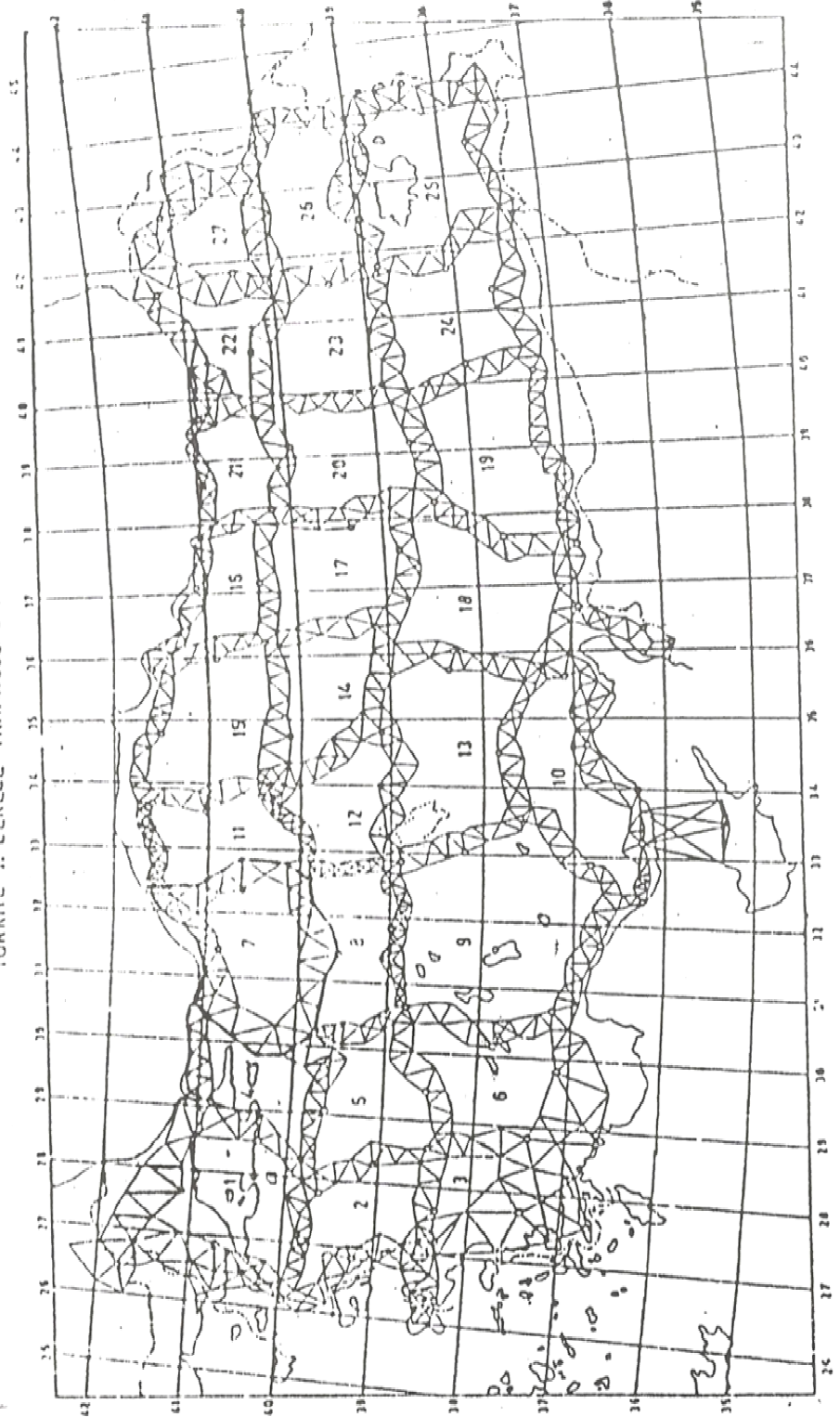
2. YÜZEY AĞLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Büyük ölçekli jeodezik çalışmalar için; ülke temel ağı noktalarına dayalı olarak sıklaştırılan ve ortalama 5-7 km kenar nirengi noktalarından oluşan 2 ya da 3 boyutlu Jeodezik Kontrol Ağları Yüzey Ağları olarak adlandırılır. Yüzey ağlarının oluşturulmasına yönelik ilk girişimler 1895 yılında, ülkemizde ise 1942 yılında başlamıştır. 1924 yılında uluslararası elipsoid kabul edilen Hayford elipsoidi, hesap yüzeyi olarak tanımlanmıştır. Bu elipsoide ait ulusal datum parametreleri Meşedağ noktasından yapılan astronomik enlem, boylam ve azimut değerleri esas alınarak belirlenmiş, daha sonra komşu ülkelerdeki 8 noktadan yapılan ek gözlemlerle 1950 Avrupa datumuna (ED50) bağlanmıştır (Aksoy ve diğ. 1989, Konak 1990 ve 1995).

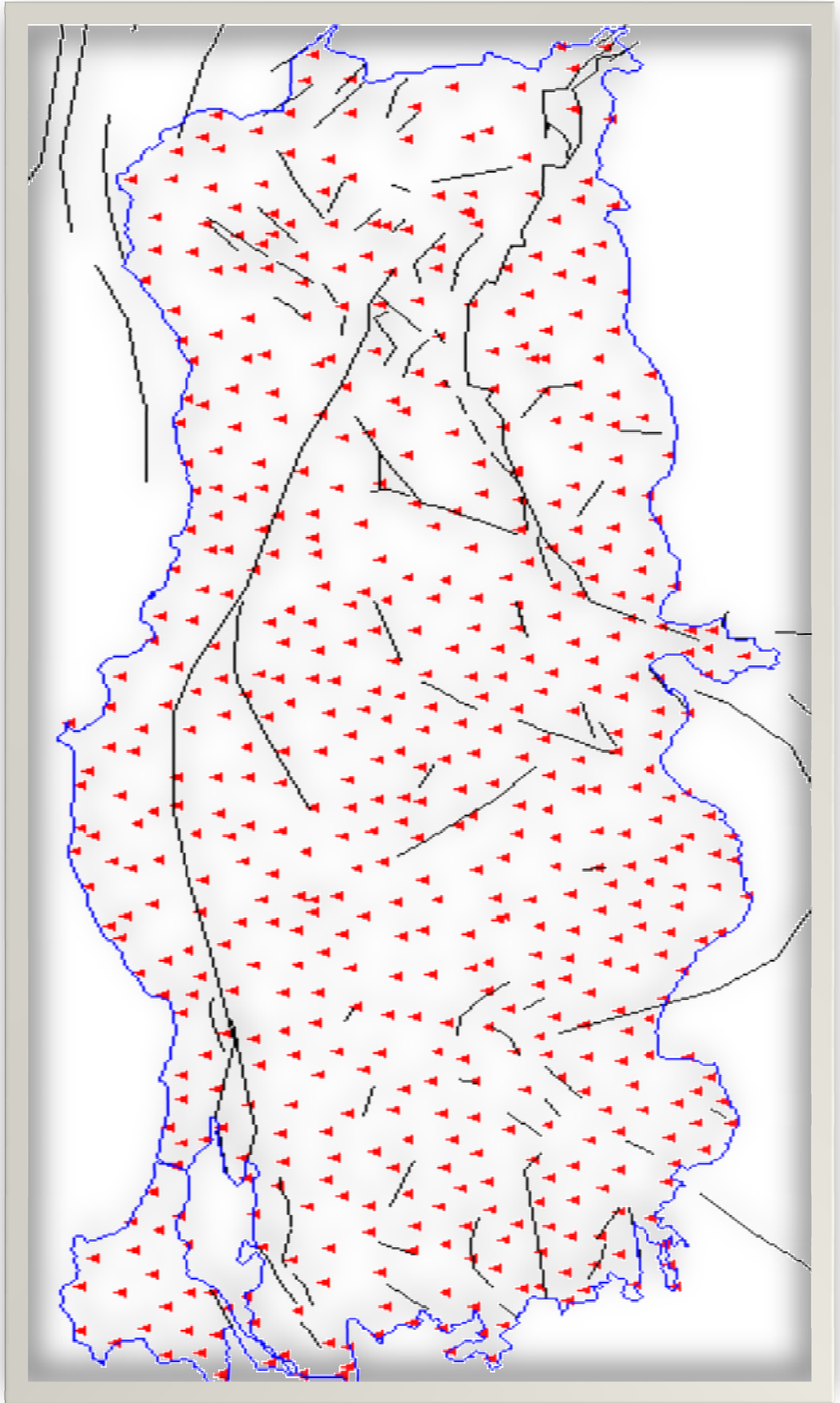
Büyük ölçekli haritalara ilişkin bilgilerin ülkenin tamamında ve Ülke Temel Ağı'na dayalı olarak tek bir sistemde üretilmesi amacıyla, ilk yüzey ağı oluşturma çalışmalarına 1990 yılında, Türkiye Yüzey Ağı Projesi (TÜRYAP) ile başlanılmıştır (Öztürk ve diğ., 1993). Buna karşın hızlı ve ekonomik konum bilgisi üretme olanağı sağlayan GPS teknolojilerinin kullanıma girmesi ile birlikte Jeodezik Ağların uluslararası yermerkezli üç boyutlu dik koordinat sistemlerinde ve ortak bir datumda değerlendirilmesi gereği gündeme gelmiştir. Öte yandan Anadolu plakasının tektonik yapısı, Türkiye Ulusal Jeodezik ağların zamana bağlı değişimlerinin dinamik yöntemlerle değerlendirilmesini ve yaşamsal alt yapı sistemlerinin üzerindeki konumsal değişimlerin izlenmesini gerektirmektedir.

1980'li yıllardan itibaren statik GPS ağları kurularak GPS gözlemlerinin jeodezik amaçlı olarak kullanımı sağlanmıştır. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) statik GPS ağlarının en önemli örneğidir. Jeodezik amaçlı olarak kurulan TUTGA statik bir ağ olduğu için gerçek zamanlı uygulamalar için kullanılmamaktadır. Gerçek zamanlı temel jeodezik ağ yapısında kurulan TUSAGA-Aktif ağların,

TÜRKİYE I. DERECE TRIYANGULASYON AĞI



Şekil 2.1: Birinci Derece Nirengi ve Zincir Poligon Noktaları (Konak, 1990).



Şekil 2.2: TUTGA Ağı (<http://www.hgk.mil.tr>, 2009).

TUTGA'nın güvenilirliğini ve bütünlüğünü denetleyebilecek bir alt yapıya sahip olması beklenmektedir (Kahveci, 2009).

Kıta hareketleri ve jeofizik kaynaklı bazı bilinmeyenler nedeniyle kullanılmakta olan jeodezik datum ve datum bilgilerinin güncellenmesi kaçınılmaz duruma gelmektedir. Buna karşın yeni bir datum seçimi ve datum dönüşümleri de karmaşık bir yapıya sahip olabilmektedir.

Günümüzde jeodezik çalışmalar için, uluslararası yer merkezli sistemlerinin dayandırıldığı GRS80 elipsoidi kullanılmaktadır. Modern ağ dönüşümlerinde klasik 7 parametrelili Helmert dönüşümünün yerini daha karmaşık yapıdaki 14 parametrelili dönüşüm modeli almaya başlamıştır. 7 parametrelili Helmert dönüşümünün zaman sapmalarıyla (yıllık hız ve artış oranlarıyla) genişletilmiş biçimi 14 parametrelili bir dönüşümdür. Zamana bağlı dönüşümler ise, GPS sıklaştırma sonuçlarını bir epoktan diğer epoka dönüştürmek için kullanılmaktadır.

2.1. Uzay ve Uydü Teknikleriyle Oluşturulan Jeodezik Ağlar

Ulusal Jeodezik Temel Yatay Kontrol Ağlarındaki olası bölgesel ve yerel bozuklukların giderilmesi ve bu ağların uluslararası yermerkezli ağlarla birleştirilmesi amacıyla tasarlanan dinamik özellikli jeodezik ağlar;

- Üç boyutlu yer merkezli (jeosentrik) koordinat sisteminde ve belirli bir zamanda (epokta) tanımlamaktadır.
- Her noktasında üç koordinat [(X,Y,Z) veya (enlem, boylam, elipsoid yüksekliği)], hız [(v_x, v_y, v_z) veya (v_ϕ, v_λ, v_H)] , ortometrik yükseklik (H) ve jeoid yüksekliği (N) bilinmektedir.
- Ülke yüzeyine olabildiğince homojen dağılmış, ulaşımı kolay ve birbirini görme zorunluluğu olmayan noktalardan oluşmaktadır.
- Jeodezik amaçlı konum belirleme, navigasyon ve jeodinamik amaçlarla kullanılabilir.

- ED-50 gibi ulusal bir datumda tanımlanmış Yatay Kontrol Ağlarıyla dönüşüm olanağı sağlanmaktadır.

Ülkemizde bu özellikleri taşıyan temel jeodezik kontrol ağı 1997-1999 yılları arasında kurulmuş ve Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı - 1999 (TUTGA-99) olarak adlandırılmıştır (<http://www.hgk.mil.tr>, Konak 2010).

TUTGA'nın koordinatları ITRF96 datumunda ve 1998.0 epogunda hesaplanmıştır. Bu çalışmalara ek olarak 1999 Marmara ve Düzce depremlerinden sonra da deprem bölgesi için 2000.45 ve 1999 yılından sonra yapılan güncelleme ölçmelerinin tamamlanmasıyla da 2005.0 epokları tanımlanmıştır.

Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı; ülke jeoidinin iyileştirilmesi, bölgesel hız alanlarının kestirilebilmesi ve buna bağlı olarak yerkabuğu hareketlerinin izlenebilmesi amacıyla üst derece ağlara dayalı C1, C2, C3 ve C4 derece olmak üzere dört farklı ağ biçiminde sıklaştırılmıştır.

C1 derece Ana GPS Ağları (AGA), TUTGA ile sıklaştırma alanındaki noktalar arasında bağlantıyı sağlamakta ve 15-20 km uzunluğundaki bağımsız bazlardan ve en fazla dört kenarlı geometrik şekillerden oluşmaktadır. C2 derece Sıklaştırma GPS Ağı (SGA), ortalama baz uzunluğu 5 km ve C3 derece Alım için Sıklaştırma Ağı Noktaları (ASN), en büyük baz uzunluğu 3 km olan noktalardır. C4 derece ağlar ise poligon ağları ile poligon bağlanabilen fotogrametrik noktalardan oluşur.

TUTGA sürekli bir ölçüme olanak vermediği için pasif (edilgen) yapıda jeodezik GPS ağları olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde ise araç takip sistemleri, navigasyon, plaka hareketlerinin duyarlı ve sürekli olarak izlenmesi gibi uygulamalar için bu ağların aktif (etkin) olmaları gerekli hale gelmiştir. Bu amaçla sürekli ve gerçek zamanlı gözlem yapabilen, konum düzeltme bilgilerinin de gerçek zamanlı olarak herhangi bir iletişim aracı ile kullanıcılara iletilmesine olanak sağlayan CORS ağları tasarlanmış ve tesis edilmiştir. CORS (Sürekli Gözlem Referans İstasyonu) ağları, yüksek doğruluklu, çok amaçlı, etkin ve gerçek zamanlı, uluslar arası sistemler ve standartlarla, ITRF uyumlu bir ağ olarak hizmet vermektedir (Kahveci,

2009). Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı (TUSAGA-Aktif) kesintisiz olarak bilgi toplayan sabit GPS ağlarından oluşmuştur. Sürekli analiz sonuçları ile elde edilen verilerle Türkiye ve çevresindeki plaka hareketlerinin izlenmesi, gerçek zamanda yer bilimleri çalışmalarına, CBS ve yerel kadastral uygulamalara veri sağlamak TUSAGA-Aktif' in amaçları arasında sayılabilir (<http://www.hgk.mil.tr>, 2009).

2.2. Değerlendirme Modelleri

Günümüze kadar süregelen uygulamalarda eski Ülke Temel Nirengi Ağı Noktaları'nın sabit oldukları varsayılmakta ve stokastik model sadece yeni gözlemlerin duyarlıklarından oluşturulmaktadır. Yeni gözlemlerin eski nokta koordinatlarından daha duyarlı olduğu durumlarda, yeni nokta koordinatları olumsuz zorlamaların etkisi altında kalır. Bu durumda; yüzey ağlarının dengelenmesine yönelik üç tip ağ modeli önerilmektedir.

Dinamik Ağ Modeli: Dinamik ağ modelinde dengeleme işlemi iki farklı şekilde yapılabilmektedir. Birincisinde ülke nirengi noktalarından oluşan dayanak noktalarının koordinatları korelasyonlu gözlemler olarak ele alınır. Eski koordinatlara bağlı olarak oluşturulan stokastik modelle birlikte yeni noktaların koordinatları da dengelenir. 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).

Birinci Dinamik Ağ Modeli:

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:

$$I + v = 0 x_1 + A_{22} x_2 + A_{23} x_3 \quad (2.1)$$

$$I_{XE} + v_{XE} = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Stokastik Model :

$$P_{II} \quad (2.3a)$$

$$P_{XE} = Q_{XE}^{-1} \quad (2.3b)$$

İkinci Dinamik Ağ Modeli:

$$I + v = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_{10} \\ X_{20} \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{X_1} \\ V_{X_{10}} \\ V_{X_{20}} \\ V_{X_2} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$B_2 V_2 + G_2 b + W_2 = 0 \quad (2.5)$$

$$Q_{22} = \begin{bmatrix} Q_{10,10} & \emptyset \\ \emptyset & Q_{20,20} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

G_2 : Ötelenmiş ve normlandırılmış ortak noktalardan oluşan dönüşüm matrisi

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

$$B_2 = [I_{10} - I_{20}] ; V_2^T = [V_{10}^T \ V_{20}^T] ; W_2 = [X_{10} - X_{20}] \quad (2.7)$$

Yarı Dinamik Ağ Modeli: 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:

$$I + v = 0 \ x_1 + A_{22} \ x_2 + A_{23} \ x_3 \quad (2.8)$$

$$0 = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Stokastik Model : (2.3a) ve (2.3b) eşitliklerinde belirtildiği şekilde oluşturulur.

Aşama Sıralı (Hiyerarşik) Ağ Modeli: 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:

$$\begin{bmatrix} L_e \\ L_y \\ L_g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_e \\ V_y \\ V_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & I \\ I & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_g \\ X_y \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Stokastik model:

$$K_{LL} = \begin{bmatrix} \sigma_0^2 [Q_{ee} & Q_{ey}] & 0 \\ [Q_{ye} & Q_{yy}] & \\ 0 & & \sigma_g^2 I \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

2.3. Jeodezik Ağ Ölçülerinin Değerlendirilmesi

TUTGA noktalarının C1 düzeyinde sıklaştırılması ile oluşan Ana GPS Ağı (AGA) noktaları, 15-20 km uzunluklu bağımsız bazlardan elde edilen en fazla dört kenarlı geometrik şekillerden oluşmaktadır. Yaşamsal Alt Yapı Sistemleri ve çevrelerinde oluşan hasarların izlenmesi gibi bilimsel ve mühendislik amaçlı önemli projeler için Ana GPS Ağı ve Sıklaştırma GPS Ağı noktaları birlikte ele alınarak Yüzey Ağları yapısında tasarlanabilir ve topluca değerlendirilebilirler. Bu durumda ağın her noktasında olabildiğince eşit düzeyde denetlenebilen duyarlık ölçütlerine ulaşılabilmektedir. Bu amaçla tesis edilen GPS teknikleriyle ölçülen yüzey ağları;

- a) t_i ölçme anına ötelenmiş koordinatlar kümesinde serbest ağ yöntemiyle değerlendirilir.
- b) Dengeleme sonucunda ağda uyuşumsuz baz olup olmadığı bir matematik istatistik yöntemle test edilir. Uyuşumsuz bazlar varsa ölçü listesinden çıkarılarak veya tekrar ölçülerek dengeleme hesabı işlemi yinelenir. Her bağımsız baz için baz bileşenleri ve bunlara ait standart sapmalar hesaplanır. Sonuçlar,

$$\sigma_{\Delta x}, \sigma_{\Delta y}, \sigma_{\Delta z} \leq \mp (10\text{mm} + 1 \text{ ppm})$$

olmalıdır (BÖHNBÜY, 2008).

- c) Üst derecede ağ noktalarının belirlediği eşlenik noktalar kümesinde eşdeğerlik testleri gerçekleştirilir. Uyuşumsuz koordinat çiftleri ayıklanır.
- d) Son adımda, yüzey ağları hatasız olan eşlenik noktalar kümesine dayalı olarak dengelenir.
- e) Yüzey ağlarına ilişkin öngörülen duyarlık ve güvenilirlik istekleri gözden geçirilir.

- f) Sıklaştırma ağına ilişkin yeni noktaların hızları enterpolasyon yöntemiyle kestirilir.
- g) Ulaşılan koordinatlar t_0 başlangıcına ötelenerek arşivlenir.

2.3.1. Ölçme epoğunda değerlendirme

TUTGA koordinatları ölçme epoğuna kaydırılır ve bu şekilde değerlendirmede kullanılır. Ölçme epoğuna kaydırılma işlemleri, depremden etkilenen bölge içerisinde olup olmamasına göre farklılık gösterir (BÖHNBÜY, 2008).

Depremden etkilenmeyen bölge için epok kaydırma;

- T_0 : TUTGA referans epoğu
 V_x, V_y, V_z : Deprem öncesi hızlar
 T : Ölçme epoğu

$$\begin{bmatrix} X(T) \\ Y(T) \\ Z(T) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X(T_0) \\ Y(T_0) \\ Z(T_0) \end{bmatrix} + (T - T_0) \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Depremden etkilenen bölge için epok kaydırma;

- V'_x, V'_y, V'_z : Deprem sonrası hızlar
 T : Ölçme epoğu
 T_d : Deprem sonrası TUTGA koordinatlarının belirlendiği epok

$$\begin{bmatrix} X(T) \\ Y(T) \\ Z(T) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X(T_d) \\ Y(T_d) \\ Z(T_d) \end{bmatrix} + (T - T_d) \begin{bmatrix} V'_x \\ V'_y \\ V'_z \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

TUTGA noktalarının koordinatları, koordinat bileşenlerinin yıllık hızlarını belirten hız vektörleri ile birlikte verilmektedir (BÖHNBÜY, 2008).

2.3.2. Ölçme anında serbest dengeleme

Matematik Model: Ölçü değerlerinin uygun bir dengeleme modeli ile toplu olarak değerlendirilebilmesi matematik modellerle sağlanmaktadır. Matematik model ise “Fonksiyonel Model” ve “Stokastik Model” olarak iki bölüme ayrılmıştır (Öztürk ve diğ. 1992, Konak 1995).

Fonksiyonel Model: Ölçülerle bilinmeyenler arasındaki sabit, geometrik ve fiziksel ilişkileri gösteren fonksiyondur. Fonksiyonel model doğrusal yapıda olmalıdır, eğer doğrusal değilse bilinmeyenler için yaklaşık değerler seçilerek fonksiyon bilinmeyenlere göre doğrusallaştırılır (Konak, 1995).

$f(x)$: Ölçülerle bilinmeyenler arasındaki fonksiyon

$X_0^T = [X_0, Y_0, Z_0, C_0, \dots]$: Bilinmeyenlerin yaklaşık değerleri

$dx^T = [dx, dy, dz, dc, \dots]$: Diferansiyel anlamda koordinat bilinmeyenleri

L_i : Ölçüler

L_i^0 : $f_i(x^0)$ Ölçülerin yaklaşık koordinatlarından hesaplanan değerleri

v_i : Düzeltme değerleri

l_i : Küçültülmüş ölçüler

c_0 : Yaklaşık ölçek bilinmeyeni

Fonksiyonel model;

$$L_i + v_i = f_i(x^0 + dx) \quad (2.14a)$$

$$l + v = Ax \quad (2.14b)$$

şeklinde oluşturulur ve GPS gözlemleri için düzeltme denklemleri

$$\left. \begin{aligned} v_{\Delta X,12} &= -dX_1 + dX_2 - l_{\Delta X,12} \\ v_{\Delta Y,12} &= -dY_1 + dY_2 - l_{\Delta Y,12} \\ v_{\Delta Z,12} &= -dZ_1 + dZ_2 - l_{\Delta Z,12} \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

ile GPS gözlemleri için küçültülmüş ölçüler

$$\left. \begin{aligned} -l_{\Delta X,12} &= (X_2^0 - X_1^0) - \Delta X \\ -l_{\Delta Y,12} &= (Y_2^0 - Y_1^0) - \Delta Y \\ -l_{\Delta Z,12} &= (Z_2^0 - Z_1^0) - \Delta Z \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

denklemleri yardımıyla elde edilir.

Stokastik Model: Dengelemeden önce elde edilen, ölçü duyarlılıkları ile aralarında öngörülen korelasyon bilgilerine stokastik model denir (Konak, 1995).

Korelasyonlu ölçüler için stokastik model;

$$K_{ll} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \rho_{12}\sigma_1\sigma_2 & \dots & \rho_{1n}\sigma_1\sigma_n \\ \vdots & \sigma_2^2 & \dots & \rho_{2n}\sigma_2\sigma_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dots & \dots & \dots & \sigma_n^2 \end{bmatrix}; \quad K_{ll} = s_0^2 Q_{ll}; \quad P_{ll} = Q_{ll}^{-1} \quad (2.17)$$

Korelasyonsuz ölçüler için stokastik model;

s_0^2 : σ_0^2 Kuramsal öncül varyansın deneysel değeri

m_0^2 : σ_0^2 Kuramsal varyansın deneysel değeri

$$P_i = \frac{s_0^2}{m_0^2} \quad (2.18)$$

Sonuç olarak;

$$E(l) = Ax, \quad K_{ll} = m_0^2 Q_{ll} \quad (2.19)$$

biçiminde tanımlanmış Gauss-Markof Modeli kısaca Matematik Model olarak adlandırılmaktadır. Bu model n ölçü, u bilinmeyen sayısı olmak üzere jeodezik amaçlı gözlemler için;

$$\hat{1} = 1 + v = Ax, \quad K_{11} = m_0^2 Q_{11} \quad (2.20)$$

olmak üzere tutarlı bir denklem sistemine dönüştürülür.

A katsayılar matrisinin rangının, u bilinmeyen sayısına eşit olduğu durumda; $v^T P v \Rightarrow \min$ koşulunu öngören en küçük kareler yöntemiyle bilinmeyenler ve düzeltmeler hesaplanır (Konak, 1995).

$$x = Q_{xx} A^T P l \quad Q_{xx} = (A^T P A)^{-1} \quad (2.21a)$$

$$v = - Q_{vv} P l \quad Q_{vv} = Q_{11} - A Q_{xx} A^T \quad (2.21b)$$

Jeodezik ağlarda gerçekleştirilen yatay doğrultu gözlemleri, düşey açı gözlemleri, eğik uzunluklar ve yükseklik farkları gibi veriler, ağ noktalarının belirli bir koordinat sistemindeki yeri, doğrultusu ve ölçeği hakkında bilgi taşımazlar. Jeodezik ağlarda, ölçülerin dışında başka bir kaynaktan elde edilmesi gereken bu bilgilere “Datum Parametreleri” denir. Datum parametrelerinin tamamı ya da bir bölümü eksik olursa datum bozukluğu (datum defekt) oluşur (Öztürk ve Şerbetçi, 1992). Sözgelimi ağ noktalarının bilinmeyenler olarak ele alınarak Serbest Ağ Yöntemiyle değerlendirildiği GPS Ağlarında öteleme yönündeki üç bilinmeyen belirsiz olur.

Ağın belirli olması için gerekli sayıda datum parametresinin sabit alınmadığı böyle durumlarda;

$$v^T P v + x^T X \Rightarrow \min \quad \text{Tüm iz minimum}$$

koşulunu öngören en küçük kareler çözümü yapılır. Bu durumda Moore Penrose inversi;

$$Q_{xx} = (A^T P A)^+ = (A^T P A + G G^T)^{-1} - G G^T \quad (2.22)$$

hesaplanmalıdır. Burada G matrisi d sayıda özdeğeri sıfıra eşit olan özdeğerlere karşılık gelen normlandırılmış özvektörlerden kurulduğu gibi, ağırlık merkezine

ötelenmiş ve normlandırılmış koordinatlardan da kurulabilir. G matrisi B=G olmak üzere tüm iz minimum, ağırlıklı belirli sayıda kurulan koordinatları için $B_i=E_iG$ şeklinde düzenlenirse Kısmi İz Minimum;

$$Q_{xx} = (A^T P A)^{-1} = (A^T P A + B_i B_i^T)^{-1} - G(G^T B_i B_i^T G)^{-1} G^T \quad (2.23)$$

koşuluna göre zorlamasız olarak değerlendirilir.

$$B_i = E_i G \quad (2.24)$$

E_i ; Datumu belirleyen noktalar için köşegen elemanları “1” diğer elemanları “0” olan bir matris. GPS gözlemleri için dönüşüm matrisi

$$G_{3,u} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \dots & \dots & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & \dots & \dots & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & \dots & \dots & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

elde edilir.

p : Ağdaki nokta sayısı

Matematik Model Testi: Aynı koşullarda, benzer türden çok sayıda ölçünün değerlendirilmesiyle elde edilen öncül değerin (s_0), kuramsal standart sapma σ_0 'ın deneysel değerini (m_0) temsil edip etmediği model hipotezinin test edilmesi ile anlaşılır (Öztürk ve Şerbetçi 1992, Konak 1995). Model hipotezi “Sıfır Hipotezi” ve “Seçenek Hipotezi” bölümlerinden oluşur. Sıfır Hipotezi:

$$H_0 : E\{s_0^2\} = E\{m_0^2\} = \sigma_0^2 \quad (2.26a)$$

ve Seçenek Hipotezi :

$$H_s : E\{s_0^2\} \neq E\{m_0^2\} \neq \sigma_0^2 \quad (2.26b)$$

$\frac{s_0^2}{m_0^2}$ oranı merkezci F dağılımına uyar.

$f_s = n - u$ Dengelemenin serbestlik derecesi

$f_m = \text{Öncül değerin serbestlik derecesi}$

$$\frac{s_0^2}{m_0^2} \leq F_{f_s, f_m, 1-\alpha/2} \quad (2.27)$$

T = Test Büyüklüğü

$$T = \frac{s_0^2}{m_0^2} \quad (2.28)$$

$T < F_{f_s, f_m, 1-\alpha/2}$ ise sıfır hipotezi geçersiz sayılamaz. Dengeleme modeli geçerlidir. Kurulan fonksiyonel model, gözlemlerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel gerçeklere uygundur. Stokastik model gözlemlerin duyarlıklarını ve aralarındaki korelasyonları yeterince yansıtmaktadır.

$T > F_{f_s, f_m, 1-\alpha/2}$ ise sıfır hipotezi geçersiz, buna karşın seçenek hipotezi geçerlidir. Başka bir deyişle dengeleme modeli geçersizdir. Kurulan fonksiyonel model, gözlemlerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel gerçeklere uygun değildir. Stokastik model gözlemlerin duyarlıklarını ve aralarındaki korelasyonları yansıtmamaktadır. Bunun nedeni olarak ölçülerin birinde ya da birkaçında uyuşumsuzluk olduğu düşünülebilir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

2.3.3. Uyuşumsuz ölçüler testi

Rasgele hatalara çok yakın kaba hatalar, dengeleme sonucunda matematik modelin test edilmesiyle anlaşılabilir. Model hipotezinin geçersiz çıkması durumunda Uyuşumsuz Ölçülerin Testi işlemleri uygulanmalıdır.

Herhangi bir l_i ölçüsü Δ_i kadar hataya sahip olsun; diğer gözlemler ise rasgele hataların etkisi altında bulunsun. Buna bağlı olarak sıfır hipotezi ile seçenek hipotezi

oluşturulur. Bu durumda herhangi bir l_i ölçüsü ile gerçek hata (ε_i) için Sıfır Hipotezi:

$$H_0 : \tilde{l}_i = l_i + \varepsilon_i \quad ; \quad \tilde{l}_i = E\{l_i + \varepsilon_i\} \quad (2.29a)$$

ve Seçenek Hipotezi:

$$H_s : \tilde{l}_i = l_i + \Delta_i + \varepsilon_i \quad ; \quad \tilde{l}_i = E\{l_i + \Delta_i + \varepsilon_i\} \quad (2.29b)$$

ayrı ayrı kurulur.

Kaba hatalı gözlemler,

$$l'_i = l_i + \Delta_i \quad (2.30)$$

Matematik model,

$$l + v = Ax \quad ; \quad P = Q_{ll}^{-1} \quad (2.31)$$

Dengeleme bilinmeyenleri,

$$x = (A^T P A)^{-1} A^T P l \quad (2.32)$$

Birim ölçünün ortalama hatası,

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{V^T P V}{n-u}} \quad (2.33)$$

Ağırlık matrisi,

$$P = Q_{ll}^{-1} \quad (2.34)$$

Bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi,

$$Q = (A^T P A)^{-1} \quad (2.35)$$

Düzeltilmelerin ters ağırlık matrisi,

$$Q_{vv} = Q_{ll} - A Q A^T \quad (2.36)$$

Düzeltilmeler,

$$v = - Q_{vv} P l \quad (2.37)$$

ve kaba hatalardan arındırılmış gözlemler,

$$l = l' - e_i \Delta_i \quad (2.38)$$

olmak üzere; i numaralı ölçüdeki kaba hata (Δ_i) için test büyüklüğü

$$T_i = \frac{|e_i^T P V|}{m_0 \sqrt{e_i^T P Q_{vv} P e_i}} \quad (2.39)$$

e_i : i . Ölçü için birim vektör

ve Tau dağılımının sınır değeri

$$\tau_{f,1-\alpha/2} = \sqrt{\frac{f.F_{(1,f-1,1-\alpha)}}{f-1+F_{(1,f-1,1-\alpha)}}} \quad (2.40)$$

hesaplanır.

$T_i > \tau_{f,1-\alpha/2}$ değerine karşılık gelen ölçüler ayrı bir kümede toplanır. Bu küme içerisinde en büyük test değerine karşılık gelen ölçünün büyük bir olasılıkla uyuşumsuz ölçü olduğuna karar verilir. Bu ölçü ele alınan serbestlik derecesi yeterli

ise ölçü kümesinden çıkarılır, aksi durumda yeniden ölçülerek ölçü kümesine dahil edilir.

En Küçük Kareler kestirimi kaba hatalara karşı duyarlı bir kestirimdir. Kaba hatalı gözlemler hatasız gözlemleri olumsuz etkilemektedir. Kaba hatalı gözlemler hatasızmış olarak görünebileceği gibi, hatasız gözlemler de hatalı gözlemlermiş gibi yorumlanabilmektedir. Robust (sağlam) kestirim kaba hatalı gözlemlere karşı daha duyarsızdır; kaba hatalardan daha az etkilenen bir kestirim yöntemidir. Robust kestirim için, L-Robust, M-Robust, R-Robust ve P-Robust gibi çözüm teknikleri ele alınabilir. Kaba hataların ayıklanması için en uygun çözüm M-Robust (Maksimum Likelihood) yöntemidir. M-Robust en büyük olasılıklı bir kestirimdir. Veri kümesinin istatistik özelliğini temsil eden, kuramsal normal dağılım özelliğine uymayan gözlemlerin dağılım parametreleri üzerindeki etkilerinin, her bir gözlemin normal dağılım değerinden sapması oranında küçültülmesi M-Robust kestirim yönteminin temel amacıdır (Dilaver ve diğ., 1998).

Robust kestirimi için düzenlenen ağırlık matrisi (\bar{P}) düzeltmelerin $W(v)$ şeklindeki bir fonksiyonudur. Bu fonksiyon düzeltmelerin büyüklüğüne göre değişen değerler alabilir.

$$\bar{P} = P W(v) \quad (2.41)$$

Bir önceki adımdaki sonuçlar ile karşılaştırılan yeni değerleri arasındaki farklar, anlamsız hale gelene kadar iterasyon işlemlerine devam edilir. İlk iterasyon için robust ağırlıkları $W(v) = 1$ alınır, diğer adımlarda ise;

$$\bar{P}_{k+1} = P W_k(v) \quad (2.41a)$$

kullanılır. Robust ağırlık fonksiyonu ölçülerin dağılımını temsil eden bir dağılımdan türetilebilir. Sağlam kestirim yöntemlerinde, test büyüklüğünü temsil eden dağılımın sınır değeri yerine $c=k \sigma_0$ gibi yaklaşık bir katsayının kullanılması ve k katsayısının da amaçlanan kaliteye göre değiştirilmesi yeterli görülmektedir. Öte yandan

uyuşumsuz ölçüler temsil eden deneysel dağılımlar için t-student dağılımının uygun bir dağılım olduğu da bilinmektedir (Dilaver ve diğ., 1998).

Deneysel varyansın genişletilmiş modelden kestirildiği durumlarda;

$$\frac{|v_i|}{m_0 \sqrt{Q_{vivi}}} \leq t_{f,1-\alpha/2} \quad (2.42)$$

olmak üzere

$$c = m_0 \sqrt{Q_{vivi}} t_{f,1-\alpha/2} \quad (2.43)$$

sınır değerini temsil eden bir parametre hesaplanabilir. Burada k yerine tek anlamlı bir katsayı da belirlenmiş olur. Uyuşumsuz ölçülerin yerelleştirilmesi sürecinde m_0 ' ın kuramsal standart sapmayı yeterince temsil etmesi beklenir. Bu durum model hipotezi testi ile denetlenebilir. Model hipotezinin testi için Sıfır hipotezi;

$$H_0 = m_0^2 = \sigma_0^2 \quad (2.44)$$

ve Seçenek hipotezi;

$$H_s = m_0^2 \neq \sigma_0^2 \quad (2.45)$$

kurulur. Hesaplanan Test büyüklüğü;

$$T = \frac{m_0^2}{s_0^2} \quad (2.46)$$

Fisher dağılımının tablo değeri $F_{fm,fs,1-\alpha/2}$ ile karşılaştırılır. T test büyüklüğünün en büyük değeri için

$$\frac{m_0^2}{s_0^2} = F_{fm,fs,1-\alpha/2} \quad (2.47)$$

eşitliği yazılabilir. Bu eşitlikten kuramsal varyansın, model hipotezi testinden kestirilebilecek en küçük deneysel değeri

$$S_0^2 = \frac{m_0^2}{F_{fm,fs,1-\alpha/2}} \quad (2.48)$$

hesaplanır. Bu değer, (2.43) eşitliğinde yerine yazılır ve

$$F = F_{fm,fs,1-\alpha/2} \quad (2.49)$$

olmak üzere ve gerekli düzeltmeler de yapılırsa Sınır değer parametresi

$$c = \frac{m_0}{\sqrt{F}} \sqrt{Q_{vivi} t_{f,1-\alpha/2}} \quad (2.50)$$

yeniden belirlenir. Böylece Robust kestirim yöntemlerinin kullanıldığı uyşumsuz ölçü belirleme sürecinde; model hipotezini de denetleyen uygun bir sınır değer parametresinin kullanılmasıyla güvenilir bir uyşumsuz ölçüler kümesine ulaşılabilir (Dilaver ve diğ., 1998).

Bu amaçla ilk adımda uyşumsuz ölçü testleri gerçekleştirilir. Test sınır değerini geçen ölçülerin ağırlıkları robust ağırlıklar ile yeniden düzenlenir. Yeniden ağırlıklandırılmalı bir çözümle ağırlıklar yakınsayıncaya kadar süreç yinelenir. Burada uyşumsuz ölçü testi için sınır değer (2.40) bağıntısıyla verilmekte olan Tau dağılımından hesaplanması yeterli olmaktadır.

Model hipotezinin de geçerli olduğu böyle bir kestirimde robust ağırlık fonksiyonu;

$$\left. \begin{aligned} W_i &= P_i && ; T_i < c \\ W_i &= e^{-\left(\frac{T_i}{t_{s,f,1-\alpha/2}} \sqrt{F}\right)^2} && ; T_i > c \end{aligned} \right\} \quad (2.51)$$

olarak düzenlenir.

2.3.4. Korelasyonlu gözlemlerin sağlam kestirim yöntemleriyle yerleştirilmesi

Korelasyonlu gözlemler için yeniden ağırlıklandırma işlemi ters ağırlıklar matrisi üzerinden yapılmalıdır. Yeniden ağırlıklandırma modeli;

$$\hat{x}^{(k)} = (A\bar{P}^{(k-1)}A^T)^{-1} A\bar{P}^{(k-1)}l \quad (2.52)$$

k : Yineleme sayısı

ve ağırlık fonksiyonu

$$\left. \begin{array}{l} W_{ii} = 1 \quad ; T_i < c \\ W_{ii} = e^{-\left(\frac{T_i}{t_{s,f,1-\alpha/2}}\sqrt{F}\right)^2} \quad ; T_i > c \end{array} \right\} (i=1,2,3) \quad (2.53)$$

olmak üzere herhangi bir baz için yeniden düzenlenmiş ters ağırlıklar matrisi;

$$\bar{Q}_{i+1} = \begin{bmatrix} \bar{q}_{1,1(i+1)} & \bar{q}_{1,2(i+1)} & \bar{q}_{1,3(i+1)} \\ \bar{q}_{1,2(i+1)} & \bar{q}_{2,2(i+1)} & \bar{q}_{2,3(i+1)} \\ \bar{q}_{1,3(i+1)} & \bar{q}_{2,3(i+1)} & \bar{q}_{3,3(i+1)} \end{bmatrix} \quad (2.54)$$

biçiminde oluşturulur. Bu yaklaşım ile uyumsuz bir bazın ters ağırlıkları büyütülerek, ağırlıkları da aynı oranda sıfıra gönderilebilmektedir (Wieser 2001, Weining 2009).

Her bir yineleme adımı için yeniden düzenlenen ağırlıklar matrisi;

$$\bar{P}_{i+1} = \bar{Q}_{i+1}^{-1} \quad (2.55)$$

için; c_{11} , c_{22} , c_{33} varyans ölçeklendirme elemanları

$$c_{11} = \frac{1}{W_{11}} \quad ; \quad c_{22} = \frac{1}{W_{22}} \quad , \quad c_{33} = \frac{1}{W_{33}} \quad (2.56)$$

hesaplanır. Yeni ters ağırlıklar

$$\bar{q}_{11} = c_{11} \cdot q_{11} ; \bar{q}_{22} = c_{22} \cdot q_{22} ; \bar{q}_{33} = c_{33} \cdot q_{33} \quad (2.57)$$

biçiminde elde edilir. Her bir baz için ters ağırlıkların köşegen dışındaki elemanları;

$$\bar{q}_{12} = \frac{\sqrt{\bar{q}_{11}}\sqrt{\bar{q}_{22}}}{\sqrt{q_{11}}\sqrt{q_{22}}} ; \bar{q}_{13} = \frac{\sqrt{\bar{q}_{11}}\sqrt{\bar{q}_{33}}}{\sqrt{q_{11}}\sqrt{q_{33}}} ; \bar{q}_{23} = \frac{\sqrt{\bar{q}_{33}}\sqrt{\bar{q}_{22}}}{\sqrt{q_{33}}\sqrt{q_{22}}} \quad (2.58a)$$

olacak biçimde normlandırılır. Ya da doğrudan

$$\bar{q}_{12} = \frac{1}{\sqrt{w_{11}}\sqrt{w_{22}}} q_{12} ; \bar{q}_{13} = \frac{1}{\sqrt{w_{11}}\sqrt{w_{33}}} q_{13} ; \bar{q}_{23} = \frac{1}{\sqrt{w_{22}}\sqrt{w_{33}}} q_{23} \quad (2.58b)$$

robust ağırlıkların bir fonksiyonu olarak da yazılabilirler (Wieser 2001, Weining 2009).

i. baz için birim vektör;

$$e_i = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 1 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 1 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.59)$$

olmak üzere; ele alınan baza ilişkin Test büyüklüğü;

$$T_i = \sqrt{\frac{v^T P e (e^T P Q_{vv} P e)^{-1} e^T P v}{h m_0^2}} \quad (2.60)$$

h : Hipotezin serbestlik derecesi

hesaplanır (Aksoy, 1987). Bu test değeri Tau dağılımının sınır değeri;

$$\tau_{f,1-\alpha/2} = \sqrt{\frac{f \cdot F(3, f-3, 1-\alpha)}{f-3 + F(3, f-3, 1-\alpha)}} \quad (2.61)$$

ile karşılaştırılır. Her bir yineleme adımında, test sınır değerini geçen ölçüler için ters ağırlıklar ölçeklendirilmekte ve ölçü ağırlıkları sıfıra gönderilmektedir.

Ağırlık dağılımı belli bir (ϵ) değerine yakınsadığında işlem durdurulur. Bir sağlam kestirim sürecinde 4 ya da 5 yineleme adımı yeterli görülmektedir.

2.3.5. Eş değerlik testleri

Üst dereceden ağ noktalarının yeni ölçme teknikleriyle sıklaştırılmış ağın belirlediği sistemle uyumlu olup olmadıkları, Matematik-İstatistiksel Yöntemlerle sınanmalıdır. Serbest dengeleme sonucu bulunan koordinatlar ile ölçme anındaki koordinatlar arasında benzerlik dönüşümü yapılır. Dengeleme sonucunda bulunan ölçek faktörü λ ,

1- $\lambda \leq \pm 3$ ppm olmalıdır (B.Ö.H.H.B.Ü.Y, 2008).

3 Boyutlu Helmert Dönüşümü: Birinci sistemdeki koordinatların ağırlık merkezi koordinatları;

$$x_s = \frac{[x_1]}{n}, \quad y_s = \frac{[y_1]}{n}, \quad z_s = \frac{[z_1]}{n} \quad (2.62a)$$

Ağırlık merkezine kaydırılmış koordinatlar;

$$x'_i = x_i - x_s, \quad y'_i = y_i - y_s, \quad z'_i = z_i - z_s \quad (2.62b)$$

Normlandırma elemanı;

$$c = \frac{1}{\sqrt{[x'^2 + y'^2 + z'^2]}} \quad (2.62c)$$

Normlandırılmış koordinatlar;

$$x''_i = cx'_i, \quad y''_i = cy'_i, \quad z''_i = cz'_i \quad (2.62d)$$

$$G_{u,7}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & z_i'' & -y_i'' & x_i'' \\ 0 & 1 & 0 & -z_i'' & 0 & x_i'' & y_i'' \\ 0 & 0 & 1 & y_i'' & -x_i'' & 0 & z_i'' \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 1 & y_u'' & -x_u'' & 0 & z_u'' \end{bmatrix} \quad (2.63)$$

Q_{11} : Ters ağırlıklar Matrisi

X_1 : Ölçme anındaki koordinatlar vektörü

X_2 : Serbest dengeleme koordinatlar vektörü

$t^T = [\bar{x} \quad \bar{y} \quad \bar{z} \quad r_x \quad r_y \quad r_z \quad k]$: Dönüşüm bilinmeyenleri vektörü

(3 öteleme, 3 dönüklük, 1 ölçek)

olmak üzere 3 boyutlu benzerlik dönüşümünün fonksiyonel modeli;

$$v = Gt - X_2 \quad (2.64)$$

oluşturulur. Dönüşüm bilinmeyenleri;

$$t = (G^T Q_{11}^{-1} G)^{-1} G^T Q_{11}^{-1} X_2 \quad (2.65)$$

ve dönüştürülmüş koordinatlar;

$$\bar{X}_2 = G.t \quad (2.66)$$

ile koordinat düzeltmeleri

$$v = \bar{X}_2 - X_2 \quad (2.67)$$

hesaplanır. Koordinat düzeltmelerinin ters ağırlıklar matrisleri; ters ağırlıkların yayılma ilkesine göre $Q_{vv} = Q_{11}^{-1} - GQ_{tt}G^T$ hesaplanır. (2.60, 2.61, 2.62) denklemlerinden yararlanılarak, p eşlenik nokta sayısı olmak üzere; her ölçü çifti için test büyüklüğü (T_i), h hipotezin serbestlik derecesi olmak üzere; test büyüklüğünün sınır değeri ($\tau_{f,1-\alpha/2}$) ve herhangi bir koordinatın ortalama hatası (m_0) hesaplanır.

$T_i > \tau_{f,1-\alpha/2}$ değerine karşılık gelen ölçüler kuşkulu gözlemler olarak ele alınır. Uyuşumsuz koordinat çiftlerinin robust ağırlıkları (2.52, 2.53, 2.54, 2.55, 2.56, 2.57, 2.58b) denklemlerinden yararlanılarak sıfıra yollanır. $P=I$ ve $W(v)=I$ olarak seçilerek (2.52) eşitliği ile yinelemeli bir çözüm yapılır.

Sağlam kestirim yöntemine dayanan uyuşumsuz koordinat çiftlerinin yerleştirilmesi sürecinde; robust ağırlıkları sıfıra yakın olarak elde edilmiş noktalar kümesinin büyük bir olasılıkla uyuşumsuz ölçü çiftlerini temsil eden dış merkezli bir dağılıma ait oldukları varsayılır. Bu koordinatlar, eşlenik noktalar kümesinden çıkarılır.

2.3.6. Dayalı dengeleme

Eşdeğerlik testi sonuçlarına göre uyuşumsuz olarak belirlenen koordinat çiftleri eşlenik noktalar kümesinden çıkarılır. Uyuşumsuz nokta çiftlerinden arındırılmış eşlenik noktalardan oluşan ölçü kümesi temel alınarak ağ kısmi iz minimum koşulu altında zorlamasız olarak dengelenir. Böyle bir zorlamasız dengeleme sonucunda hesaplanan; düzeltme değerleri, birim ölçünün ortalama hatası ve gözlemlerin fonksiyonlarının ortalama hataları gözlemler arasındaki tutarsızlıkları yansıttığı için zorlamasız ya da serbest bir datum için seçilen nokta kümesinden bağımsızdır (Öztürk ve Şerbetçi, 1992). Model hipotez testinin geçerli çıkması durumunda duyarlık ve güven ölçütleri bir kez daha gözden geçirilir.

Son adımda sıklaştırma ağı üst dereceden ağ noktalarına dayalı olarak dengelenir. Dengeleme sonucunda noktaların jeodezik koordinatları (φ, λ, h) ve standart sapmaları $(\sigma_\varphi, \sigma_\lambda, \sigma_h)$ hesaplanır;

$\sigma_\varphi, \sigma_\lambda \leq \pm 3.0$ cm, $\sigma_h \leq \pm 5.0$ cm olmalıdır (BÖHNBÜY, 2008).

3. YÜZEY AĞLARINDA GÜVENİRLİK VE SAĞLAMLIK İRDELEMELERİ

Jeodezik ağların, kullanım amaçları için yeterli olup olmadıkları duyarlık ölçütleri ile test edilmektedir. Dengeleme hesabına ilişkin matematik modelin geçerli olduğu durumlarda elde edilen varyans-kovaryans bilgilerine duyarlık ölçütleri denilmektedir ve bu bilgiler jeodezik ağların kalitesi hakkında bilgi içermektedirler. Kullanım amacına uygun olarak hazırlanan bir jeodezik ağın dengelenmesi için oluşturulan matematik modelin, ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ilişkilere uygun olup olmadığı, ölçülerin duyarlıklarını ve aralarındaki korelasyonları yeterince yansıtmayı yansıtmadığı kısaca ağda model hatasının olup olmadığı güven ölçütleri ile test edilmektedir. (Öztürk, 1987). Jeodezik ağlarda en uygun datumun, geometrik şeklin ve ölçü duyarlıklarının belirlenmesi ya da jeodezik ağların değerlendirilmesi işlemlerinde belli başlı kalite ölçütleri kullanılır. Bu kalite ölçütleri genel olarak doğruluk, duyarlık ve güvenilirlik başlıkları altında sınıflandırılmaktadır. (Konak, 1995).

3.1. Bir Kestirimin Kalitesi

Örnekleme kümesini temsil eden parametrelerin en uygun değerlerinin hesaplanması, diğer bir deyişle ümit değere yakınlığının belirlenmesi işlemlerine parametre kestirimi adı verilmektedir. Temel olarak bir kestirimin kalitesi; tutarlı (consistence), yansız (unbiased), minimum varyanslı, etkili (efficiency) ve yeterli (sufficiency) olmasıyla ölçülebilmektedir (Konak, 2008).

Bir kestirimin tutarlılığı;

μ = Parametrenin ümit değeri

\bar{X} = Parametrenin kesin değeri (kestirici)

olmak üzere ölçü sayısı (n) sonsuza giderken kestiricinin olasılığının “1” değerine yakınsama derecesi ($\lim_{n \rightarrow \infty} P(|\bar{X} - \mu| < \varepsilon) = 1$) olarak değerlendirilmektedir.

- Ölçü sayısı sonsuza ($n \rightarrow \infty$) giderken $E(\bar{X}) = \mu$ ümit değeri gerçekleşiyor ise bu örnekleme kümesi için asimtotik anlamda yansızdır (Konak, 2008).
- $s_0^2 = \frac{v^T P v}{n-1} = \frac{v^T P v}{f_s}$ varyansı, örnekleme kümesine ilişkin kuramsal varyansın (σ_0^2) yansız bir kestirimidir.
- Burada $f_s = n$ olarak ele alınırsa, küçük örnekleme kümesi için bir yanlılık söz konusu olabilmektedir.
- Kestirimin minimum varyansa sahip olması doğruluk ve duyarlık kavramları ile açıklanabilmektedir.
- Doğruluk (accuracy) bir kestirimin parametresine olan yakınlığının bir derecesidir ve doğruluk ölçütü olarak hataların kareleri toplamı;

$$m^2 = E\{ [\hat{X} - E(\bar{X})]^2 \} = \sigma_p^2 + (\text{bias})^2 \quad (3.1)$$

olarak kullanılmaktadır.

- Doğruluk hem sistematik hem de rasgele hataları kapsamaktadır. Duyarlık (precision) ise gözlemlerin ortalama değerlere olan yakınlığının bir derecesidir ve dağılımlarla ilişkilidir.
- Duyarlık, doğruluğun aksine yalnızca rasgele hataları içermektedir.
- Bir kestiricinin etkili olması, minimum varyanslı olmasıyla açıklanabilmektedir. Ortalamanın varyansı $\left(\frac{m_0}{\sqrt{n}}\right)$, herhangi bir ölçünün varyansından (m_0) daha etkilidir.
- Kestirilen parametre örnek küme hakkındaki tüm bilgilere sahip ise yeterlidir. Başka bir anlatımla bir kestirimin; tutarlı, yansız, minimum varyanslı ve etkili olması durumunda yeterli olma koşulu da sağlanmış olmaktadır (Konak, 2008).

3.2. Duyarlık Ölçütleri

Duyarlık kavramını simgeleyen ortalama hata (deneysel standart sapma) kaba ve sistematik hatalardan arındırılmış ölçülerle yapılan bir dengeleme sonucunda rasgele ölçü hataları ve ağıın geometrik şekli ile oluşan bir büyüklüktür. Jeodezik ağılar için tanımlanan duyarlık ölçütlerinin büyük bir bölümü konum, ölçek ve yöneltme gibi ağıın dış parametrelerinin seçimine bağlıdır ve bu ölçütler noktalara göre tanımlanmaktadır. Bir jeodezik ağıın duyarlığına ait bilgilerin tamamı koordinat bilinmeyenlerinin varyans-kovaryans matrislerinden elde edilmektedir (Öztürk, 1987). Duyarlık ölçütleri; noktalara göre tanımlanan lokal duyarlık ölçütleri ve global duyarlık ölçütleri olmak üzere iki ana bölümde ele alınabilir. p ağıdaki nokta sayısı olmak üzere; koordinat bilinmeyenlerinin ters ağırlık matrisi

$$Q_{xx} = \begin{bmatrix} q_{x1x1} & q_{x1y1} & q_{x1z1} & q_{x1x2} & q_{x1y2} & q_{x1z2} & \dots & q_{x1xp} & q_{x1yp} & q_{x1zp} \\ q_{y1x1} & q_{y1y1} & q_{y1z1} & q_{y1x2} & q_{y1y2} & q_{y1z2} & \dots & q_{y1xp} & q_{y1yp} & q_{y1zp} \\ q_{z1x1} & q_{z1y1} & q_{z1z1} & q_{z1x2} & q_{z1y2} & q_{z1z2} & \dots & q_{z1xp} & q_{z1yp} & q_{z1zp} \\ \dots & \dots & \dots & q_{x2x2} & q_{x2y2} & q_{x2z2} & \dots & q_{x2xp} & q_{x2yp} & q_{x2zp} \\ \dots & \dots & \dots & q_{y2x2} & q_{y2y2} & q_{y2z2} & \dots & q_{y2xp} & q_{y2yp} & q_{y2zp} \\ \dots & \dots & \dots & q_{z2x2} & q_{z2y2} & q_{z2z2} & \dots & q_{z2xp} & q_{z2yp} & q_{z2zp} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & q_{xpxp} & q_{xpyy} & q_{xpzp} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & q_{ypxp} & q_{ypyy} & q_{ypzp} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & q_{zpxp} & q_{zpyy} & q_{zpzp} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

biçiminde oluşturulmaktadır.

Noktalara göre tanımlanan lokal duyarlık ölçütleri;

Koordinat Bilinmeyenlerinin Ortalama Hataları: Kuramsal varyans σ_0^2 ' nin önceden bilindiği durumlarda koordinat bilinmeyenlerinin ortalama hataları

$$\sigma_{xi} = \sigma_0 \sqrt{q_{xixi}} \quad (3.3)$$

Güven aralığı;

$$p(a_i < \bar{X}_i < b_i) \quad (3.4)$$

ve $Z_{1-\alpha/2}$; Standartlaştırılmış normal dağılımın rasgele değişkeni olmak üzere, kuramsal güven aralığının alt sınırı;

$$a_i = \bar{X}_i - Z_{1-\alpha/2}\sigma_{xi} \quad (3.5a)$$

ve kuramsal güven aralığının üst sınırı;

$$b_i = \bar{X}_i + Z_{1-\alpha/2}\sigma_{xi} \quad (3.5b)$$

bağıntılarından hesaplanır. Karesel ortalama m_0^2 'nin dengeleme sonucunda deneysel olarak belirlendiği durumlarda koordinat bilinmeyenlerinin deneysel standart sapması;

$$m_{xi} = m_0\sqrt{q_{xixi}} \quad (3.6)$$

ile deneysel güven aralığının alt sınırı;

$$a_i = \bar{X}_i - t_{f,1-\alpha/2}m_{xi} \quad (3.7a)$$

ve deneysel güven aralığının üst sınırı;

$$b_i = \bar{X}_i + t_{f,1-\alpha/2}m_{xi} \quad (3.7b)$$

hesaplanır.

Nokta Konum Hatası: Helmert nokta konum hatası,

$$m_H = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2} = m_0\sqrt{\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C} \quad (3.8a)$$

veya Werkmeister nokta konum hatası,

$$m_w = m_0^3 \sqrt{\lambda_A \lambda_B \lambda_C} = m_x m_y m_z \quad (3.8b)$$

Helmert Ortalama Hata ve Güven Elipsoidleri; bir noktanın konum duyarlılığı hakkındaki bilgiler olarak tanımlanmaktadır. Bir noktaya ait ortalama hata özdeğerlerin (λ_i) bir fonksiyonu olarak Deneysel hata elipsoidinin yarı eksenleri;

$$\begin{aligned} A_H &= m_0 \sqrt{\lambda_1} \\ B_H &= m_0 \sqrt{\lambda_2} \\ C_H &= m_0 \sqrt{\lambda_3} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Güven elipsoidlerinin elemanları; kuramsal güven elipsoidinin yarı eksenleri,

$$\begin{aligned} A_K &= \sigma_0 \sqrt{\lambda_1 \chi_{3-1-\alpha}^2} \\ B_K &= \sigma_0 \sqrt{\lambda_2 \chi_{3-1-\alpha}^2} \\ C_K &= \sigma_0 \sqrt{\lambda_3 \chi_{3-1-\alpha}^2} \end{aligned} \quad (3.10)$$

ve deneysel güven elipsoidinin yarı eksenleri

$$\begin{aligned} A_G &= m_0 \sqrt{\lambda_1 3 \chi_{3-1-\alpha}^2} \\ B_G &= m_0 \sqrt{\lambda_2 3 \chi_{3-1-\alpha}^2} \\ C_G &= m_0 \sqrt{\lambda_3 3 \chi_{3-1-\alpha}^2} \end{aligned} \quad (3.11)$$

olmak üzere ayrı ayrı hesaplanabilir (Konak, 1995).

Bağıl Hata ya da Güven Elipsoidleri; herhangi komşu iki noktanın koordinat farkları

$$d = Fx \quad (3.12)$$

olmak üzere ters ağırlıkların yayılma ilkesine göre, koordinat bilinmeyenlerinin ters ağırlık matrisinden yararlanılarak

$$Q_{dd} = FQ_{xx}F \quad (3.13)$$

hesaplanır. Burada ele alınan komşu iki nokta için

$$F = [-I \quad I] \quad (3.14)$$

ve

$$X^T = [X_i \ Y_i \ Z_i \ X_k \ Y_k \ Z_k] \quad (3.15)$$

olmak üzere bağıl hata elipsinin elemanları,

$$Q_{dd} = Q_{ii} + Q_{kk} - Q_{ik} - Q_{ik}^T \quad (3.16)$$

elde edilir (Öztürk 1982, Konak 1995).

Global duyarlık ölçütleri;

Ağın tümünden yararlanılarak hesaplanan global duyarlık ölçütleri; Güven Hiperelipsoidi, Varyans Ölçütü, Ortalama Koordinat Duyarlılığı, Özdeğerler Ölçütü ve Ana Varyans Bileşenleri şeklinde sıralanabilmektedir. Güven ya da hata hiperelipsoidleri nokta duyarlılıkları hakkında daha çok bilgi taşırlar ve serbest dengelenen ağırlarda koordinat sisteminin dönüklük ve ötelemesinden bağımsızdırlar. Bununla birlikte kuramsal güven hiperelipsoidinin yarı eksenleri,

$$A_{KHi} = \sigma_0 \sqrt{\lambda_i \chi_{3p,1-\alpha}^2} \quad (3.17a)$$

ve deneysel güven hiperelipsoidinin yarı eksenleri,

$$A_{DHi} = m_0 \sqrt{3\lambda_i F_{3p,f,1-\alpha}^2} \quad (3.17b)$$

formülleri ile hesaplanmaktadır. Kuramsal ve deneysel güven hiperelipsoidinin hacimlerine ait

$$\det(\Sigma_{xx}) = \sigma_0^2 \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{3p} = \sigma_0^2 \prod_{i=1}^{3p} \lambda_i \quad (3.18a)$$

$$\det(K_{xx}) = m_0^2 \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{3p} = m_0^2 \prod_{i=1}^{3p} \lambda_i \quad (3.18b)$$

determinant değerlerinin her biri ağın tümü için geçerli duyarlık ölçütü olarak düşünülmektedir. Hacim ölçütünün minimum değerde olmasını amaç fonksiyonu olarak belirleyen fonksiyona D-Optimum adı verilmektedir. Kuramsal ve deneysel varyans-kovaryans matrislerinin;

$$iz(\Sigma_{xx}) = \sigma_0^2 iz(Q_{xx}) = \sigma_0^2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_{3p}) = \sigma_0^2 \sum_{i=1}^{3p} \lambda_i \quad (3.19a)$$

$$iz(K_{xx}) = m_0^2 iz(Q_{xx}) = m_0^2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_{3p}) = m_0^2 \sum_{i=1}^{3p} \lambda_i \quad (3.19b)$$

ana köşegen elemanlarının toplamı varyans ölçütü olarak ele alınır, minimum olmasını öngören amaç fonksiyonuna A-Optimum adı verilmektedir. Ortalama koordinat duyarlığı; ulaşılabilir değer,

$$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z = \sqrt{\frac{iz(\Sigma_{xx})}{3p}} = \sigma_0 \sqrt{\frac{iz(Q_{xx})}{3p}} \quad (3.20a)$$

ile gerçekleştirilen değer,

$$m_x, m_y, m_z = \sqrt{\frac{iz(K_{xx})}{3p}} = m_0 \sqrt{\frac{iz(Q_{xx})}{3p}} \quad (3.20b)$$

formüllerinden hesaplanmaktadır. Özdeğer ölçütü olarak; kurulması planlanan bir ağda;

$$m_f^2 = \mathbf{a}^T \Sigma_{xx} \mathbf{a} = m_0^2 \mathbf{a}^T Q_{xx} \mathbf{a} \quad (3.21)$$

şeklinde hesaplanan bilinmeyenlerin bir fonksiyonunun ortalama hatasının minimum olması amaçlanabilir.

Ana varyans bileşenleri; ağın duyarlık yönünden zayıf olan noktalarını ve bu zayıflığın doğrultusunu ve büyüklüğünü verir. Bu değerler ölçü planından elde edilen varyans-kovaryans matrisinden hesaplanan en büyük özdeğer (λ_i) ve bu özdeğere ilişkin normlandırılmış özvektör (s_i) yardımıyla

$$b_i = s_i \sqrt{\lambda_i} \quad (3.22)$$

hesaplanırlar (Öztürk ve Şerbetçi 1992, Konak 1995).

Model hatalarının genel testi;

Aynı türden benzer ölçülerin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen birim ölçünün ortalama hatasının öncül değeri (s_0) ya da kuramsal standart sapmasının (σ_0) bilindiği durumlarda Model Hipotezinin testi için, sıfır hipotezi

$$H_{01} : E\{s_0^2\} = E\{m_0^2\} = \sigma_0^2 \quad (3.23a)$$

kurulur ve ölçü hatalarının ümit değerinin sıfır olması öngörülerek

$$H_{01} : E\{\Delta l\} = 0 \quad (3.23b)$$

biçimine dönüştürülür. Hatalı ölçülerden

$$\bar{s}_0^2 = \frac{\bar{v}^T P \bar{v}}{n-u} = \frac{\bar{v}^T P \bar{v}}{r} \quad (3.24)$$

bağıntısı ile hesaplanan ortalama hatanın kuramsal standart sapmadan farklı olduğu da varsayılarak seçenek hipotezi

$$H_{S2} : E\{s_0^2\} \neq \sigma_0^2 \quad (3.23c)$$

kurulur. Seçenek Hipotezinin geçerli olması durumunda

$$E\left\{\frac{s_0^2}{\sigma_0^2}\right\} = E\left\{\frac{\bar{v}^T P \bar{v}}{r \sigma_0^2}\right\} = E\left\{\frac{m_0^2}{s_0^2}\right\} + E\left\{\frac{\Delta \bar{v}^T P \Delta \bar{v}}{r \sigma_0^2}\right\} \quad (3.25)$$

ümit değer bağıntısından dış merkezlik parametresi,

$$W = \frac{\Delta \bar{v}^T P \Delta \bar{v}}{r} \quad (3.26)$$

anlamli bir istatistiksel büyüklük olarak elde edilir. (3.26) bağıntısının sınır değeri $W_0 = f(\alpha_0, \beta_0, r, \infty)$ olarak dış merkezli bir dağılımdan hesaplanır.

$$\alpha = 0.05 \text{ ve } \gamma = \%80 \text{ için } W = 11.679 \quad (3.27a)$$

$$\alpha = 0.001 \text{ ve } \gamma = \%80 \text{ için } W = 17.08 \quad (3.27b)$$

$W \geq W_0$ ise kurulan Matematik Modelin hatalı olduğuna karar verilir. Model hipotezinin genel testi en önemli güvenilirlik ölçütü olarak kabul edilmektedir.

3.3. Güven Ölçütleri

Bir ağ dengelemesi için kurulan matematik modelin gerçeğe uygun olup olmadığı güven ölçütleri ile denetlenmektedir. Güven ölçütleri ayrıca iç güven ölçütü ve dış güven ölçütü olmak üzere iki bölümde ele alınabilmektedir.

İç güven ölçütü: Herhangi bir ölçüde model hipotezi ile ortaya çıkarılamayan hatanın büyüklüğüdür. Başka bir deyişle, bir ağda yapılan ölçülerden herhangi birinin diğer ölçüler yardımıyla denetlenebilirliğinin bir ölçütüdür. Bir l_j ölçüsünde Δ_j kadar kaba hatanın ortaya çıkma olasılığı; sıfır hipotezi

$$H_0 : E\{\Delta\} = 0 \quad (3.28a)$$

ve seçenek hipotezi

$$H_s : E\{\Delta\} = a.c \quad (3.28b)$$

kurularak belirlenir. Seçenek hipotezinin geçerli çıkması durumunda; dış merkezlik parametresi,

$$W = \frac{\Delta v^T P \Delta v}{\sigma_0^2} \quad (3.29)$$

ve dış merkezlik parametresinin olasılık bağıntısına ait sınır değeri,

$$W_0 = F(\alpha_0, \beta_0, n - u, \infty) \quad (3.30)$$

hesaplanır. Serbestlik ölçütü;

$$r_j = (Q_{vv})_j P_j \quad (3.31)$$

olmak üzere, iç güven ölçütü;

$$|\Delta_{0j}| = m_0 \sqrt{\frac{W_0}{P_j r_j}} \quad (3.32)$$

elde edilir. İç güven ölçütü $\Delta_{0j} \leq 8m_j$ sınır değerini aşmamalıdır.

Dış güven ölçütü: Herhangi bir ölçüde model hipotezi ile ortaya çıkarılmayan hatanın koordinat bilinmeyenlerine etkisinin olası değeridir.

$$\delta_{0i}^2 = \frac{1-r_i}{r_i} W_0 \quad (3.33)$$

formülünden hesaplanmaktadır. İyi planlanmış bir ağ için;

Gözlemlerin fazla ölçü sayısındaki payları : $r_i > 0.3$ ya da 0.5 ,

Ortaya çıkarılmayan hataların sınır değeri : $\Delta_{0i} \cong (6 \text{ ya da } 8)m_i$,

Hataların koordinatlara etkime katsayıları : $\delta_{0i} \cong 6$ ya da 10

sınırları arasında olmalıdır.

3.4. Algılayabilirlik (Sensitivity) Ölçütleri

Farklı zamanlarda ölçülen jeodezik ağların karşılaştırılması sürecinde elde edilen koordinat farkları içerisinde ortaya çıkarılmayan düzenli hatanın kestirilebilen en küçük değeri, bu ağın ayırma gücü hakkında önemli bilgiler verebilmektedir. Bu amaçla belirlenebilen en küçük konumsal yer değiştirme değeri, deformasyon modelinin güvenilirliği başka bir deyişle algılayabilirlik düzeyi (sensitivity) olarak adlandırılmaktadır (Konak, 2008).

Günümüzde farklı amaçlarla karşılaştırılan ağlarda ağın iç duyarlılığı ve güvenilirliğinin yanı sıra algılama gücü ya da algılayabilirlik (sensitivity) düzeylerinin araştırılması işlemleri giderek daha çok önemsenmektedir (Hsu ve Hsiao, 2002).

Ele alınan bir jeodezik ağda gerçekleştirilen ölçüler (l), fonksiyonel model;

$$E(l) = AE(x) \quad (3.34a)$$

stokastik model;

$$K_{ll} = m_0^2 Q_{ll} \quad (3.34b)$$

$E(\cdot)$: Ümit Değer

olmak üzere; Gauss-Markoff modelinde, En Küçük Kareler İlkesine göre Dolaylı Ölçüler olarak topluca değerlendirilir ve bilinmeyenlerin en uygun değeri

$$\hat{x} = (A^T P A)^{-1} A^T P l \quad (3.35)$$

elde edilir. t_1 ve t_2 anlarında değerlendirilen bir jeodezik ağın dengeli koordinatları arasında

$$d = \hat{x}_2 - \hat{x}_1 \quad (3.36)$$

fark vektörleri oluşturulur. Ters ağırlıkların yayılması ilkesine göre Deformasyon modelinin ters ağırlıklar matrisi;

$$Q_{dd} = (A_1^T P_1 A_1)^+ + (A_2^T P_2 A_2)^+ = Q_{x_1 x_1} + Q_{x_2 x_2} \quad (3.37)$$

olarak elde edilir. Arada geçen zaman sürecinde ağ noktalarında anlamlı bir hareket olup olmadığı sıfır hipotezi,

$$H_0 : E(d) = 0 \quad (3.38a)$$

ve seçenek hipotezi,

$$H_s : E(d) \neq 0 = d_k \quad (3.38b)$$

kurularak sınanır. Deformasyon modelinin test büyüklüğü,

$$T = \frac{d^T Q_{dd}^+ d}{s_0^2 h} \quad (3.39)$$

ve test büyüklüğünün sınır değerleri

$$F_{h,f,1-\alpha} \quad (3.40)$$

hesaplanır. $T > F_{h,f,1-\alpha}$ olması durumunda seçenek hipotezi geçerli olur. Bu durumda ele alınan ağ noktaları arasında anlamlı bir yer değiştirme olduğu kanısına varılır.

Bir jeodezik ağın herhangi bir periyotta değerlendirilmesi sonucunda elde edilen kesin değerlerin büyüklüğü (\hat{x}), ölçüler vektöründe (l) ortaya çıkan olası hatalara bağlıdır. Farklı zamanlarda değerlendirilen bu ağlarda, ağın datumunun, geometrik şeklinin ve ağırlık dağılımının değişmemesi önerilmektedir. Ağ noktaları arasında herhangi bir yer değiştirme yoksa, ölçüler vektörünün rasgele dağılımlı ölçülerden oluştuğu varsayılır. Bu durumda deformasyon modeli, rasgele dağılımlı diferansiyel ölçülerin (δl) bir fonksiyonu olarak

$$d = \delta x \quad (3.41)$$

$$d = N^{-1} A^T P \delta l \quad (3.42)$$

biçiminde yazılabilir. Yer değiştirme vektörünün ters ağırlıkları da hata yayılma ilkesine göre

$$Q_{dd} = N^{-1} \quad (3.43)$$

olarak elde edilir. (3.37) eşitliğine göre birim zamanda (Δt) ağda ortaya çıkabilecek olası yer değiştirme vektörü

$$Q_{dd} = \frac{Q_{x_1 x_1} + Q_{x_2 x_2}}{\Delta t^2} \quad (3.44)$$

zamanın bir fonksiyonu olarak elde edilebilir. Burada birim zamanın $(\Delta t)^2 = 2$ olarak ele alınması durumunda (3.43) eşitliğine ulaşılabilir (Hsu ve Hsiao 2002, Aydın ve diğ. 2004, Even-Tzur 2006). Yer değiştirme vektörü (d), ortalaması (\bar{d}), varyansı (Σ_d) ve serbestlik derecesi (u) olan $\xi^2 = \bar{d}^T \Sigma_d^{-1} \bar{d}$ parametresine sahip Chi-Kare dağılımına uymalıdır. Chi-Kare Dağılımı,

$$\xi^2 = \bar{d}^T \Sigma_d^{-1} \bar{d} = \frac{\bar{d}^T P_{dd} \bar{d}}{\sigma^2} \sim \chi_{u, \xi_0}^2 \quad (3.45)$$

$\sigma^2 =$ Birim ölçünün ortalama hatasının öncül varyansı

olmak üzere, sıfır hipotezinin geçerli olduğu durumlarda Dış Merkezlik Parametresi,

$$\xi^2 = \frac{\bar{d}^T P_{dd} \bar{d}}{\sigma^2} \leq \delta_0^2 \quad (3.46)$$

eşitliğini sağlar. Bu eşitlikte d vektörü, deformasyon belirleme sürecinde istatistiksel anlamda bilgi içermeyen aykırı (marjinal) bir hata vektörüdür. Bu eşitliğin çözümlenmesi sonucunda belirlenebilir en küçük yer değiştirme miktarı, algılayabilirlik düzeyi de elde edilir. $\bar{d}^T P_{dd} \bar{d} = \bar{d}^T S \Lambda S^T d$ özdeğerler ayrımı ile açık olarak yazılır ve ortogonalite özelliğine göre katkısı olmayan çarpanlardan arındırılırsa

$$\bar{d}^T P_{dd} \bar{d} = \|d\|^2 \sum_{i=1}^u \lambda_i \quad (3.47)$$

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

$$\|d\|^2 = \frac{\delta_0^2 \sigma^2}{\sum_{i=1}^u \lambda_i} \quad (3.48a)$$

elde edilir. Bu büyüklük en büyük özdeğer (λ_{\max}) için yazılırsa, ağın en iyi duyarlık derecesi olarak belirlenebilir en küçük yer değiştirme değeri yani algılayabilirlik düzeyi;

$$\|d\|_{\min} = \frac{\delta_0 \sigma}{\sqrt{\lambda_{\max}}} \quad (3.48b)$$

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

$$\|d\|_{\max} = \frac{\delta_0 \sigma}{\sqrt{\lambda_{\min}}} \quad (3.48c)$$

olarak hesaplanabilir. $\|d\|_{\min}$ ve $\|d\|_{\max}$ değerleri ağın genel ayırma gücü (global sensitivity) hakkında bilgi verirler. Uygulamalarda noktalara göre tanımlanan duyarlık ölçütleri oldukça kullanışlıdır. Lokal duyarlıklarından basit bir aritmetik ortalama hesaplanması durumunda ağın global duyarlıkları için dolaylı da olsa global bir değer kestirilebilmektedir (Hsu ve Hsiao, 2002).

Yer değiştirme vektörü (d), üç boyutlu GPS ağları için;

$$d = N^{-1}A^T P \delta l \quad (3.49)$$

olmak üzere

$$\begin{bmatrix} d_{x_1} \\ d_{x_2} \\ \dots \\ d_{x_u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{11} & N_{12} & \dots & N_{1u} \\ N_{21} & N_{22} & \dots & N_{2u} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ N_{u1} & N_{u2} & \dots & N_{uu} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \dots \\ n_u \end{bmatrix} \quad (3.50)$$

düzenlenirse, tek bir durak noktası için

$$d_i = [N_{11} \quad N_{12} \quad \dots \quad N_{1u}]^{-1} \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \dots \\ n_u \end{bmatrix} \quad (3.51)$$

biçiminde yazılabilir. Ters ağırlıkların yayılması ilkesine göre

$$d_i = \begin{bmatrix} \delta x_i \\ \delta y_i \\ \delta z_i \end{bmatrix} = \check{N}_i A^T P \delta l \quad (3.52)$$

$$Q_{d_i d_i} = \check{N}_i A^T P Q_{ll} P A \check{N}_i \quad (3.53a)$$

$$Q_{d_i d_i} = \check{N}_i N \check{N}_i \quad (3.53b)$$

$$P_{d_i} = Q_{d_i d_i}^{-1} \quad (3.53c)$$

oluşturulur. \ddot{N}_i matrisi, i. numaralı durak noktası için N^{-1} matrisinden elde edilen 3×3 boyutlu bir alt matrisidir.

Algılayabilirlik değeri olarak, en küçük yer değıştirme büyüklüklerinin hesaplanabilmesi için;

a) Her bir durak noktasındaki N_{ii} ağırlık matrisi hesaplanır.

$$N_{ii} = (\ddot{N}_i N \ddot{N}_i^T)^{-1} \quad (3.54a)$$

$$N_{ii} = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} \end{bmatrix}_i \quad (3.54b)$$

$$N_{ii} = P_{d_i}^{-1} \quad (3.54c)$$

b) N_{ii} matrisi özdeğerlerine ve özvektörlerine ayrılır.

c) Özvektörler matrisinden her bir koordinat bilinmeyenleri için doğrultu kosinüsleri hesaplanır. Bu değerler azimut ve başucu yönünde bilgiler taşırlar.

d) Her bir durak noktası için elde edilen doğrultu kosinüsleri yerel bir koordinat sistemine dönüştürülür. Bu amaçla

$$\begin{bmatrix} n \\ e \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (3.55)$$

eşitliğine göre, $[\Delta X \ \Delta Y \ \Delta Z]^T$ vektörü yerine N_{ii}^{-1} matrisinden λ_{\max} için asal gerilme doğrultusuna denk gelen özvektörlerden hesaplanan doğrultu kosinüsleri konulur.

e) Asal gerilme bileşeninin yerel bir sistemdeki iz düşüm doğrultuları hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} n \\ e \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \alpha \\ \cos \beta \\ \cos \gamma \end{bmatrix} \quad (3.56)$$

f) İki boyutlu izdüşüm doğrultularına denk gelen özvektörün azimutu,

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{e}{n} \quad (3.57a)$$

ve başucu açısı

$$\zeta = 90^\circ - \tan^{-1} \frac{w}{\sqrt{e^2 + n^2}} \quad (3.57b)$$

hesaplanır.

- g) Azimut ve başucu açıları yardımıyla doğu-batı ve kuzey-güney yönündeki yer değiştirme elemanları hesaplanır.

$$\tilde{e} = \|d\| \sin \zeta \sin \alpha ; \quad \tilde{n} = \|d\| \sin \zeta \cos \alpha \quad (3.58)$$

- h) $\|d\|$ yerine $\|d\|_{\min}$ ve $\|d\|_{\max}$ değerleri yazılarak doğu-batı ve kuzey-güney yönündeki yer değiştirme vektörlerinin en küçük ve en büyük elemanları elde edilir (Hsu ve Hsiao, 2002).
- i) Ağ noktaları için elde edilen algılayabilirlik ve yetersizlik düzeyleri (d_{\max} , d_{\min}) ayrı ayrı sergilenir.
- j) Sayısal ve çizgisel sonuçlar yorumlanır.

3.5. Jeodezik Ağlarda Sağlamlık Ölçütleri

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

Sağlamlık analizi gerinim ve güvenilirliğin doğal bir bileşimidir ve iç güvenilirlik analiziyle ortaya çıkarılmayan en küçük düzeltmenin neden olduğu deformasyon direncinin belirlenmesi olarak tanımlanabilmektedir. Geometrik gerinim analizleri ağın potansiyel deformasyonunu daha ayrıntılı olarak algılayabilmek için, ağın datumundan bağımsız olarak gerçekleştirilebilmektedir (Vanicek ve diğ., 2001).

Bir ağın sağlamlık derecesini belirleyebilmek, aynı zamanda da ağın deformasyon derecesini ölçebilmek yeteneğine sahip olmak anlamına gelmektedir. Jeodezik ağlarda ağın sağlamlık derecesi ölçülebildiği oranda, ağın deformasyon derecesi de belirlenmiş olmaktadır (Vanicek ve diğ. 2001, Konak 2010).

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

Herhangi bir noktada ortaya çıkan yerdeğiştirme;

$$\Delta x_i = E_i x_i + c_0 \quad (3.59)$$

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

$$E_i = \text{grad}(\Delta X_i) = \begin{bmatrix} \frac{\partial v_{xi}}{\partial x} & \frac{\partial v_{xi}}{\partial y} \\ \frac{\partial v_{yi}}{\partial x} & \frac{\partial v_{yi}}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (3.60)$$

anlamına gelmektedir. Genel anlamda gerinim matrisi (E)

$$E = S + A \quad (3.61)$$

olmak üzere simetrik ve antisimetrik olarak iki bölüme ayrılır. Simetrik bölüm;

$$S = \begin{bmatrix} \frac{\partial v_{xi}}{\partial x} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{xi}}{\partial y} + \frac{\partial v_{yi}}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{xi}}{\partial y} + \frac{\partial v_{yi}}{\partial x} \right) & \frac{\partial v_{yi}}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} \\ \epsilon_{xy} & \epsilon_{yy} \end{bmatrix} \quad (3.62)$$

ve antisimetrik bölüm

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{xi}}{\partial y} - \frac{\partial v_{yi}}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{yi}}{\partial x} - \frac{\partial v_{xi}}{\partial y} \right) & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -w \\ w & 0 \end{bmatrix} \quad (3.63)$$

formülleriyle elde edilir (Vanicek ve diğ. 2001, Konak 2010).

Üç boyutlu ağlar için herhangi bir durak noktasına ilişkin gerinim matrisi diğer anlamıyla tensor gradienti (eğimi);

$$E_i = \text{grad}(\Delta X_i) = \begin{bmatrix} \frac{\partial v_{xi}}{\partial x} & \frac{\partial v_{xi}}{\partial y} & \frac{\partial v_{xi}}{\partial z} \\ \frac{\partial v_{yi}}{\partial x} & \frac{\partial v_{yi}}{\partial y} & \frac{\partial v_{yi}}{\partial z} \\ \frac{\partial v_{zi}}{\partial x} & \frac{\partial v_{zi}}{\partial y} & \frac{\partial v_{zi}}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (3.64)$$

biçiminde elde edilir. (3.62) eşitliğine benzer şekilde E_i deformasyon matrisi

$$E = \frac{1}{2}(E + E^T) + \frac{1}{2}(E - E^T) \quad (3.65)$$

olmak üzere (3.61) eşitliğinde olduğu gibi simetrik ve antisimetrik olmak üzere iki bölüme ayrılabilir.

$$S = \begin{bmatrix} \frac{\partial v_{xi}}{\partial x} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{xi}}{\partial y} + \frac{\partial v_{yi}}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{xi}}{\partial z} + \frac{\partial v_{zi}}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{xi}}{\partial y} + \frac{\partial v_{yi}}{\partial x} \right) & \frac{\partial v_{yi}}{\partial y} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{yi}}{\partial z} + \frac{\partial v_{zi}}{\partial y} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{xi}}{\partial z} + \frac{\partial v_{zi}}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{yi}}{\partial z} + \frac{\partial v_{zi}}{\partial y} \right) & \frac{\partial v_{zi}}{\partial z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{xy} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{xz} & \epsilon_{yz} & \epsilon_{zz} \end{bmatrix} \quad (3.66)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{xi}}{\partial y} - \frac{\partial v_{yi}}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{xi}}{\partial z} - \frac{\partial v_{zi}}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{yi}}{\partial x} - \frac{\partial v_{xi}}{\partial y} \right) & 0 & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{yi}}{\partial z} - \frac{\partial v_{zi}}{\partial y} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{zi}}{\partial x} - \frac{\partial v_{xi}}{\partial z} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{zi}}{\partial y} - \frac{\partial v_{yi}}{\partial z} \right) & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & w_{xy} & w_{xz} \\ -w_{xy} & 0 & w_{yz} \\ -w_{xz} & -w_{yz} & 0 \end{bmatrix} \quad (3.67)$$

$$a_i + \frac{\partial v_{xi}}{\partial x} (x_j - x_i) + \frac{\partial v_{xi}}{\partial y} (y_j - y_i) + \frac{\partial v_{xi}}{\partial z} (z_j - z_i) = v_{xi} \quad (3.68a)$$

$$b_i + \frac{\partial v_{yi}}{\partial x} (x_j - x_i) + \frac{\partial v_{yi}}{\partial y} (y_j - y_i) + \frac{\partial v_{yi}}{\partial z} (z_j - z_i) = v_{yi} \quad (3.68b)$$

$$c_i + \frac{\partial v_{zi}}{\partial x} (x_j - x_i) + \frac{\partial v_{zi}}{\partial y} (y_j - y_i) + \frac{\partial v_{zi}}{\partial z} (z_j - z_i) = v_{zi} \quad (3.68c)$$

i: Gerinim bileşenleri hesaplanan alanın ağırlık merkezi noktası

(3.68) eşitlikleri ile gerinim vektörünün elemanları;

$$g^T = [a_i \ b_i \ c_i \ \varepsilon_{xx} \ \varepsilon_{yy} \ \varepsilon_{zz} \ \varepsilon_{xy} \ \varepsilon_{xz} \ \varepsilon_{yz} \ w_{xy} w_{xz} \ w_{yz}] \quad (3.69)$$

hesaplanabilmektedir (Berber, 2006). (3.68) denklemindeki Gerinim vektörünün elemanları, öteleme elemanları yok edilerek ayrı ayrı çözülebilmektedir (Berber, 2006). Öte yandan bu denklem takımı doğrusal bir biçimde düzenlenerek, 12 parametrelili genişletilmiş Helmert Modeliyle de çözülebilir.

On iki (12) parametrelili genişletilmiş Helmert dönüşümü (H)

$$H_{u,12}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & z_i'' & -y_i'' & x_i'' & 0 & 0 & 0 & z_i'' & y_i'' \\ 0 & 1 & 0 & -z_i'' & 0 & x_i'' & 0 & y_i'' & 0 & z_i'' & 0 & x_i'' \\ 0 & 0 & 1 & y_i'' & -x_i'' & 0 & 0 & 0 & z_i'' & y_i'' & x_i'' & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 1 & y_u'' & -x_u'' & 0 & 0 & 0 & z_u'' & y_u'' & x_u'' & 0 \end{bmatrix} \quad (3.70)$$

$$g = H^T (H Q_{xx}^{-1} H^T)^{-1} H Q_{xx}^{-1} \hat{x} \quad (3.71)$$

$$v_{x_{k+1}} = x_{k+1} - x_k = a_i + e_{yy} z_k - e_{zz} y_k + e_{xy} x_k + w_{xz} z_k + w_{yz} y_k \quad (3.72a)$$

$$v_{y_{k+1}} = y_{k+1} - y_k = b_i - e_{xx} z_k + e_{zz} x_k + e_{xz} y_k + w_{xy} z_k + w_{yz} x_k \quad (3.72b)$$

$$v_{z_{k+1}} = z_{k+1} - z_k = c_i + e_{xx} y_k - e_{yy} x_k + e_{yz} z_k + w_{xy} y_k + w_{xz} x_k \quad (3.72c)$$

şeklindeki bir denklem çözümüyle de elde edilebilmektedir.

İki boyutlu genişletilmiş Helmert dönüşümü modelinin kullanılmasıyla uygulaması kolay ve daha anlaşılabilir bir gösterim olanağı sağlanmaktadır.

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

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} \quad (3.73)$$

iki boyutlu bir yer değiştirme vektörü elde edilebilir (Acar ve diğ., 2008). Epok sayısı (k) olmak üzere her bir ağ noktası için;

$$v_{x_{k+1}} = x_{k+1} - x_k = t_x + e_{xx}x_k + e_{xy}y_k + wy_k \quad (3.74a)$$

$$v_{y_{k+1}} = y_{k+1} - y_k = t_y + e_{yx}x_k + e_{yy}y_k + wx_k \quad (3.74b)$$

eşitliği ile iki boyutlu genişletilmiş Helmert modeli kurulur.

$$d_i = A_i \cdot g \quad (3.75)$$

$$A_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_i & y_i & 0 & -x_i \\ 0 & 1 & y_i & 0 & x_i & y_i \end{bmatrix} \quad (3.76)$$

$$d_i^T = [v_{x_{k+1}} \quad v_{y_{k+1}}] \quad (3.77)$$

Strain parametreleri;

$$g^T = [t_x \quad t_y \quad e_{xx} \quad e_{xy} \quad e_{yy} \quad w]^T \quad (3.78)$$

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

$$g = (A^T A)^{-1} A^T d \quad (3.79)$$

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

$$e_1 = \frac{1}{2} (e_{xx} + e_{yy} + e) \quad (3.80a)$$

gerinim elipsinin küçük yarı eksenini,

$$e_2 = \frac{1}{2} (e_{xx} + e_{yy} - e) \quad (3.80b)$$

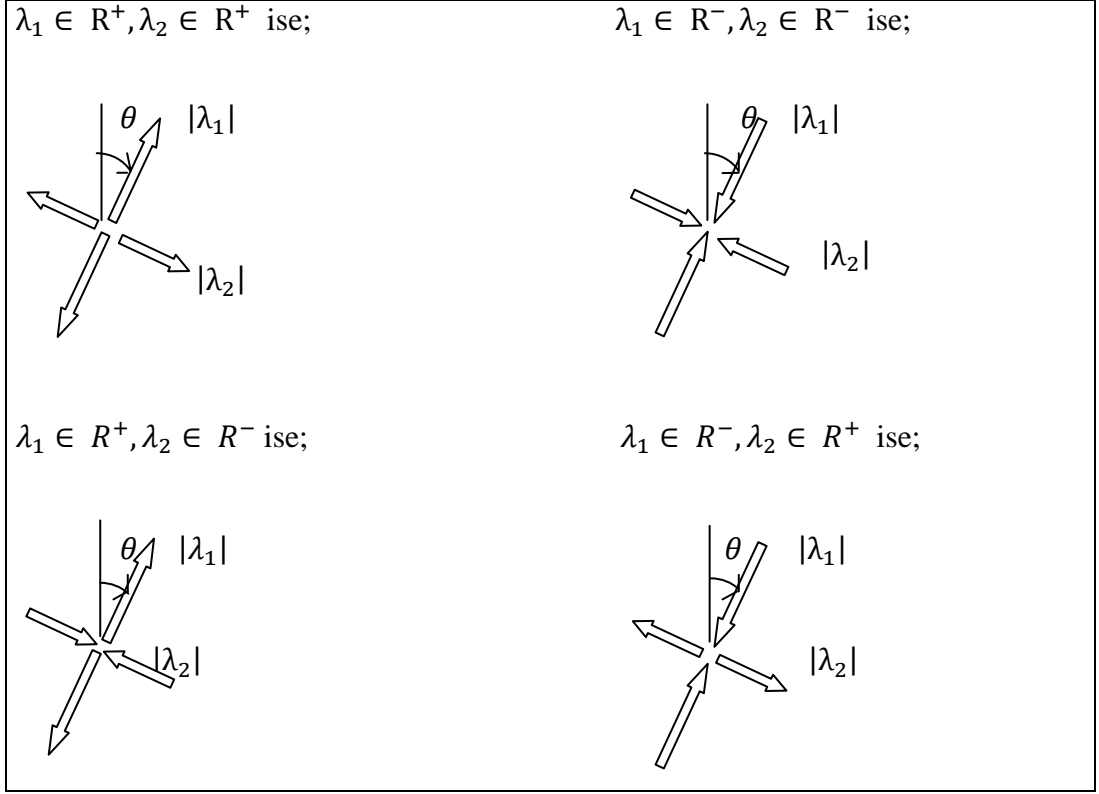
ve en büyük gerinim oranının yönünü,

$$\tan 2\theta = \frac{2e_{xy}}{e_{xx} - e_{yy}} \quad ; \theta \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right] \quad (3.80c)$$

$$e = \sqrt{(e_{xx} - e_{yy})^2 - 4e_{xy}^2} \quad (3.80d)$$

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

λ_1 ve λ_2 değerlerinin işaretlerine göre λ_1 ve λ_2 yönündeki gerinimin daralma ya da genişleme şeklinde olduğuna karar verilmektedir. Buna göre;



Şekil 3.1 : Gerinimlerin çizimi

şekillerinde bölgesel gerinimler çizilebilmektedir (Cai ve Grafarend, 2007).

3.6. Hareketli Blokların İç Duyarlıkları

Farklı epoklarda elde edilen eşlenik noktalar kümesinde gerçekleştirilen eş değerlik testleri sonucunda, uyumsuz çıkkan noktalar hareketli bloklar olarak düşünülmektedir. Bu blokların temel özelliği, hareketsiz olan referans noktalarına göre, kendi ağırlık merkezleri etrafında dönmeleri ve ayrı bir ölçeğe sahip olmalarıdır. Böyle bir yapıya sahip olan hareketli blokların üst dereceden ağ noktalarına bağlanması sırasında ayrıca dikkate alınması, davranışlarının doğrusal hipotezlerle modele eklenmesi ve sınanması bu tezin temel amaçlarından birisidir. Buna göre fonksiyonel model,

$$v = Ax - l \quad (3.81a)$$

datum koşulu,

$$G^T x_1 = 0 \quad (3.81b)$$

ve herhangi bir bloğa ait iç gerinim koşulu ya da genişletilmiş datum koşulu ($W=0$)

$$H^T x_2 = w \quad (3.81c)$$

denklemleri oluşturulabilmektedir (Konak 2010). Herhangi bir bloğa ait iç gerinim koşulunun anlamlı olup olmadığı hipotez testleri ile test edilmektedir. Bunun için sıfır hipotezi,

$$H_0 : H^T x_2 = W \quad (3.82a)$$

ve seçenek hipotezi

$$H_S : H^T x_2 \neq W \quad (3.82b)$$

olmak üzere doğrusal bir hipotez kurulur. Doğrusal hipotezin etkisi,

$$R = (Bx_2 - w)^T (B(A^T P A)^+ B^T)^+ (Bx_2 - w) \quad (3.83)$$

ve dış merkezlik parametresi,

$$\lambda = \frac{1}{\sigma_0^2} (B\hat{x} - w)^T (B(A^T P A)^+ B^T)^+ (B\hat{x} - w) \quad (3.84)$$

hesaplanır. R büyüklüğü

$$R = d^T Q_{dd}^+ d \quad (3.85)$$

olarak düzenlendiğinde dış merkezlik parametresi;

$$\lambda = \frac{d_k^T Q_{dd}^+ d_k}{\sigma_0^2} \quad (3.86)$$

olarak elde edilebilmektedir. Dış merkezlik parametresi (λ), dış merkezlik parametresinin sınır değeri (λ_0) ile karşılaştırılarak herhangi bir bloğa ait iç gerininin anlamlı olup olmadığına karar verilir (Aksoy 1987, Aydın ve diğ. 2004).

Üst dereceden ağa bağlanabilme koşulu

$$H^T_{x_2} = 0 \quad , \quad P_{x_2x_2} = Q_{x_2x_2}^{-1} \quad (3.87)$$

olarak da öngörülebilir. Bu durumda bir yandan hareketsiz bloğun datumu kısmi iz minimum koşulu altında tanımlanırken, aynı zamanda hareketli bloğun dış merkezli koordinat sistemi de ağın gerinimini temsil eden genişletilmiş datum koşuluyla iyileştirilebilmektedir. Bu amaçla ağın datumu Referans Blok ve Hareketli Blok olmak üzere bütünleşik olarak tanımlanır. Bu durumda;

1. Oluşturulan matematik modelde datum noktası olarak seçilen noktalar için, p ağdaki nokta sayısı olmak üzere, dönüşüm matrisi;

$$G_{3,u} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \dots & \dots & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & \dots & \dots & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & \dots & \dots & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} \end{bmatrix} \quad (3.88)$$

oluşturulur. Tüm İz Minimum koşulu için oluşturulan G matrisi,

E_i : Datumu belirleyen noktalar için köşegen elemanları “1” diğer elemanları “0” olan bir matris

olmak üzere

$$B_i = E_i G \quad (3.89)$$

yeniden düzenlenir. Böylece uygun bir datum koşulu altında bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi

$$Q_{xx} = (A^T P A)^{-1} = (A^T P A + B_i B_i^T)^{-1} - G (G^T B_i B_i^T G)^{-1} G^T \quad (3.90)$$

elde edilir (Eshagh, 2009).

2. İki ölçü kümesi için gerçekleştirilen eşdeğerlik testleri sonucunda hareket olduğu belirlenen noktalar kümesi hareketli blok olarak ele alınır. Hareketli Blok olarak düşünülen noktalar kümesi bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi içinden ayrı bir alt matris olarak ele alınır ve $Q_{\bar{x}\bar{x}} = Q_{x_2x_2}$ şeklinde gösterilir. Bu nokta kümesine uygulanan 12 parametrelili Helmert dönüşümü sonucunda dönüşüm parametreleri elde edilir (Papo 1999, Even-Tzur 2006). (3.69), (3.70) ve (3.71) eşitliklerinden yararlanılarak 12 parametrelili dönüşüm vektörü g^T elde edilebilmektedir (Even-Tzur, 2006).
3. Gerinim modelinin belirlediği bilinmeyenler için ters ağırlıklar hesaplanır. Gerinim parametrelerine ait ters ağırlık matrisi,

$$Q_g = (H Q_{\bar{x}\bar{x}}^{-1} H^T)^{-1} \quad (3.91)$$

gerinim koşulunda bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi,

$$Q_{\bar{x}\bar{x}} = H^T (H Q_{\bar{x}\bar{x}}^{-1} H^T)^{-1} H \quad (3.92)$$

düzeltilme vektörü,

$$v = [I - H^T (H Q_{\bar{x}\bar{x}}^{-1} H^T)^{-1} H Q_{\bar{x}\bar{x}}^{-1}] \hat{x} \quad (3.93)$$

ve dönüşüm matrisi

$$S_D = [I - H^T (H Q_{\bar{x}\bar{x}}^{-1} H^T)^{-1} H Q_{\bar{x}\bar{x}}^{-1}] \quad (3.94)$$

elde edilir.

4. Hareketli bloğa ilişkin ters ağırlıklar matrisi oluşturulur. Düzeltmelerin (Koordinat farklarının) ters ağırlıklar matrisi ($Q_{vv} \equiv Q_{dd}$),

$$Q_{vv} = S_D Q_{\bar{x}\bar{x}} S_D^T \quad (3.95)$$

bağıntısıyla hesaplanır (Papo 1999, Even-Tzur 2006, Konak 2010).

5. Hareketli blok içinde yer alan her bir nokta için hesaplanan ağırlık matrisi özdeğer ve özvektörlerine ayrılır. En büyük özdeğere (asal gerilmelere) karşılık gelen öz vektörler (doğrultman kosinüsleri) belirlenir ve doğrultman kosinüslerinin yerel koordinatları hesaplanır (Bölüm 3.5).
6. Elde edilen yerel koordinatlar yardımı ile doğrultu kosinüslerine ilişkin azimut ve zenit açıları elde edilir.
7. Zenit ve azimut değerlerinden yola çıkarak ağın ortaya çıkarabileceği en küçük ve en büyük yer değiştirme büyüklükleri (algılayabilirlik ve yetersizlik düzeyleri) elde edilir.
8. Sonuçlar çizgisel ve sayısal olarak sergilenir ve yorumlanır.

3.7. Ağ Bloklarının İç Gerinimleri

Jeodezik ağlarda hareketli bloklarının belirlenmesi amacı ile t_i epoğundaki gözlemlerin serbest dengelenmesinin ardından eş değerlik testi yapılır. Yapılan eş değerlik testinin ardından uyumsuz olarak belirlenen noktalar hareketli blok kümesine dahil edilir. Ağın tamamı için farklı davranışlarda bulunan blok sayıları belirlenir. Her bir blok için dengelemeli gerinim kestirimi yardımıyla asal gerinim elemanları hesaplanır.

- a) Eşdeğerlik testi: Ölçme anındaki koordinatlar ile serbest dengeleme sonucundan gelen koordinatlar arasında 3 boyutlu Helmert dönüşümü yapılır. Dönüştürülmüş koordinatlar ile serbest dengelemeden gelen koordinatlar arasındaki düzeltme vektörleri elde edilir. Dönüşüm modeli test edilir. Geçersiz bir model hipotezi elde ediliyorsa sağlam kestirim yöntemiyle uyumsuz ölçü çiftleri belirlenir.

Buradan ters ağırlıklarının yayılma ilkesine göre koordinat düzeltmelerinin ters ağırlık matrisi

$$Q_{vv} = Q_{ll}^{-1} - GQ_{tt}G^T \quad (3.96)$$

hesaplanır. Her ölçü çifti için (2.61) bağıntısıyla hesaplanan test büyüklüğü ile (2.62) formülüyle elde edilen test büyüklüğünün sınır değeri karşılaştırılır. $T_i > \tau_{f,1-\alpha/2}$ koşulunu sağlayan ölçü çiftlerinin uyuşumsuz ölçüler olmasından kuşulanılır.

b) Model hipotezi geçersiz çıkmasına karşın, eş değerlik testleri sonucunda uyuşumsuz ölçü görünmüyorsa; uyuşumsuz ölçülerin ölçü kümesinden ayıklanması için robust ağırlıklandırılmalı en küçük varyans araştırması yapılır.

- Buna göre, eşlenik nokta çiftlerinin her biri ölçü kümesinden çıkarılarak sağlam kestirim yöntemine göre uyuşumsuz ölçü testi yapılır ve varyans değeri hesaplanır.
- Her bir ölçünün sistemden çıkarılmasıyla elde edilen varyans değerlerinden en küçüğüne karşılık gelen nokta çifti eşlenik nokta kümesinden çıkarılır.
- Model hipotezi geçerli olana kadar işleme devam edilir, model hipotezinin geçerli olduğunda son olarak uyuşumsuz ölçü testi yinelenir ve ağırlığı sıfıra giden ölçüler uyuşumsuz ölçü kümesine dahil edilir.
- Uyuşumsuz olarak belirlenen bu ölçü çiftlerinin ağ içerisindeki yerleri dikkate alınarak ağ bloklara ayrılır.

c) İç gerinim hesapları: Eşlenik noktalar kümesinde uyuşumsuz ölçü testi sonucunda belirlenen blokların her biri için gerinim elemanları hesaplanır. Buna göre her bloğa ait koordinat çiftlerinin 3 boyutlu düzeltme vektörlerinin 2 boyutlu sistemdeki karşılığı (3.73) denklemindeki dönüşüm ile elde edilir. (3.74) ve (3.75) eşitlikleri yardımıyla her blok için gerinim parametreleri ($\mathbf{g}^T = [\mathbf{t}_x \ \mathbf{t}_y \ \mathbf{e}_{xx} \ \mathbf{e}_{xy} \ \mathbf{e}_{yy} \ \mathbf{w}]^T$) ayrı ayrı hesaplanır. (3.80) eşitlikleri yardımıyla her bir blok için gerinim elipsinin elemanları elde edilir. Gerinim elipsinin büyük yarı ekseninin ve küçük yarı ekseninin işaretlerine göre eksenlerdeki hareketlerin daralma ya da genişleme şeklinde olduğuna karar verilir. Gerinim elipslerinin büyüklüğü ve doğrultuları, blokların ağırlık merkezlerine göre çizilir. (Şekil 3.1)

4. SAYISAL UYGULAMA

4.1. İZDOGAP Kocaeli GPS Test Ağı

Bu tez çalışmasında; İZGAZ Doğal Gaz Alt Yapısının Ulusal Jeodezik Ağlar ve Arazi Bilgi Sistemleri ile İzlenmesi projesi (İZDOGAP) kapsamında oluşturulan İZDOGAP Kocaeli GPS Ağı, Test Amaçlı Sayısal Uygulama modelimiz olarak seçilmiştir.

Kuzey Anadolu Fayı (KAF) 1948 yılında İhsan Ketin tarafından keşfedilmiştir. KAF; doğuda Bingöl ili sınırları içinde yer alan Karlıova çöküntüsünün kuzeyinden başlayıp, batıda Bolu şehir merkezi civarında çatallanır ve Geyve'nin batısında üç ana kol boyunca Ege Denizi'nin kuzeyine kadar uzanır. Oluşum yaşı 11-5 milyon olan KAF, aktif ve sık aralıklarla sağ yanal doğrultu atımlı bir faydır. Yanal atımlı depremler her zaman sığ, dar ve uzun alanlar boyunca etkilerini hissettirirler (Şengör, 1996).

Kocaeli ili ve çevresi KAF Kuşağı Doğu Marmara Bölgesi üzerinde yer almaktadır. İZGAZ bu bölgenin; Hereke, Körfez, İzmit Merkez ve Kandıra ilçeleri ile Maşukiye, Derbent, Yuvacık, Bahçecik, Gölcük ve Karamürsel sınırları içerisinde hizmet vermektedir. Bu nedenle bu sınırlar arasında kurulan İZDOGAP Kocaeli GPS Ağı ile;

- Doğal gaz iletim hatları gibi yaşamsal öneme sahip önemli mühendislik yapılarında ve çevrelerinde oluşan hasarlar ile yerkabuğu hareketlerinin Jeodezik Ağlar ile izlenmesi
- Ayrıca büyük ölçekli mühendislik projelerinin uygulanması ve izlenmesi amacıyla kurulan jeodezik kontrol ağlarının Ulusal Temel Koordinat Sisteminde birleştirilmesi

- Mühendislik hizmetlerinin güvenli ve kalıcı bir biçimde yerine getirilmesi amaçlanmaktadır (İZDOGAP, 2009a). Bu amaçla geliştirilen İZDOGAP projesinden beklenen isteklerin karşılanabilmesi için;
- İZDOGAP GPS Ağında ülke sistemine bağlı (TUTGA, AGA, TUDKA vb.) jeodezik kontrol noktalarının yer alması
- Bu ağda ED50 datumu dönüşüm parametrelerini üretebilmesi için Türkiye I. ve II. Derece Temel Nirengi Ağı ile III. Derece Yüzey Ağı noktalarına yer verilmesi
- İZGAZ'ın çalışma alanındaki bölgelerde, ağ noktalarının arası ortalama 5 km. civarında olması
- İZGAZ'ın çalışma alanı dışındaki ağ noktaları için ortalama kenar uzunluklarının 10-20 km civarında olması
- İZDOGAP GPS Ağı noktalarının sağlam zeminlerde pilyeler olarak tesis edilmesi
- Ağ noktalarının GPS tekniğiyle ölçmeye olanak sağlayacak şekilde üstü ve etrafı açık noktalardan seçilmesi
- Ağ noktalarına, özellikle bahar ve yaz aylarında ulaşım olanaklarının bulunması

öncelikli proje hedefi arasında yer almıştır. Belirlenen bu istekler doğrultusunda yapılan saha çalışmaları sırasında 196 adet nokta yerinde tespit edilmiş ve durumları ayrı ayrı incelenmiştir. (Tablo 4.1)

Bu çalışmalar sonucunda İZDOGAP GPS Ağında projenin amacına uygun ve kullanılabilir noktalar belirlenmiş ve bu özellikleri sağlayan 106 noktanın İZDOGAP GPS Ağı'nı temsil edebilecek noktalar kümesi olduğuna karar verilmiştir (İZDOGAP, 2009a). (Tablo 4.2)

İZDOGAP GPS Test Ağı için tasarlanan ölçme planı üzerinde gerçekleştirilen bir duyarlık ve güvenilirlik optimizasyonu işlemi sonucunda, projeden beklenen istekleri karşılayabilecek uygun bir ölçme planı elde edilmiştir. İkinci adımda ise bu optimizasyon işleminden elde edilen ölçme planı ve ağırlık dağılımını karşılayabilen bir baz optimizasyonu işlemi daha gerçekleştirilerek, baz oturumlarının sayıları ve süreleri araştırılmıştır. Sonuç olarak gerçekleştirilen optimizasyon işlemleri sonucunda; baz oturum sürelerinin ağı duyarlığı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı

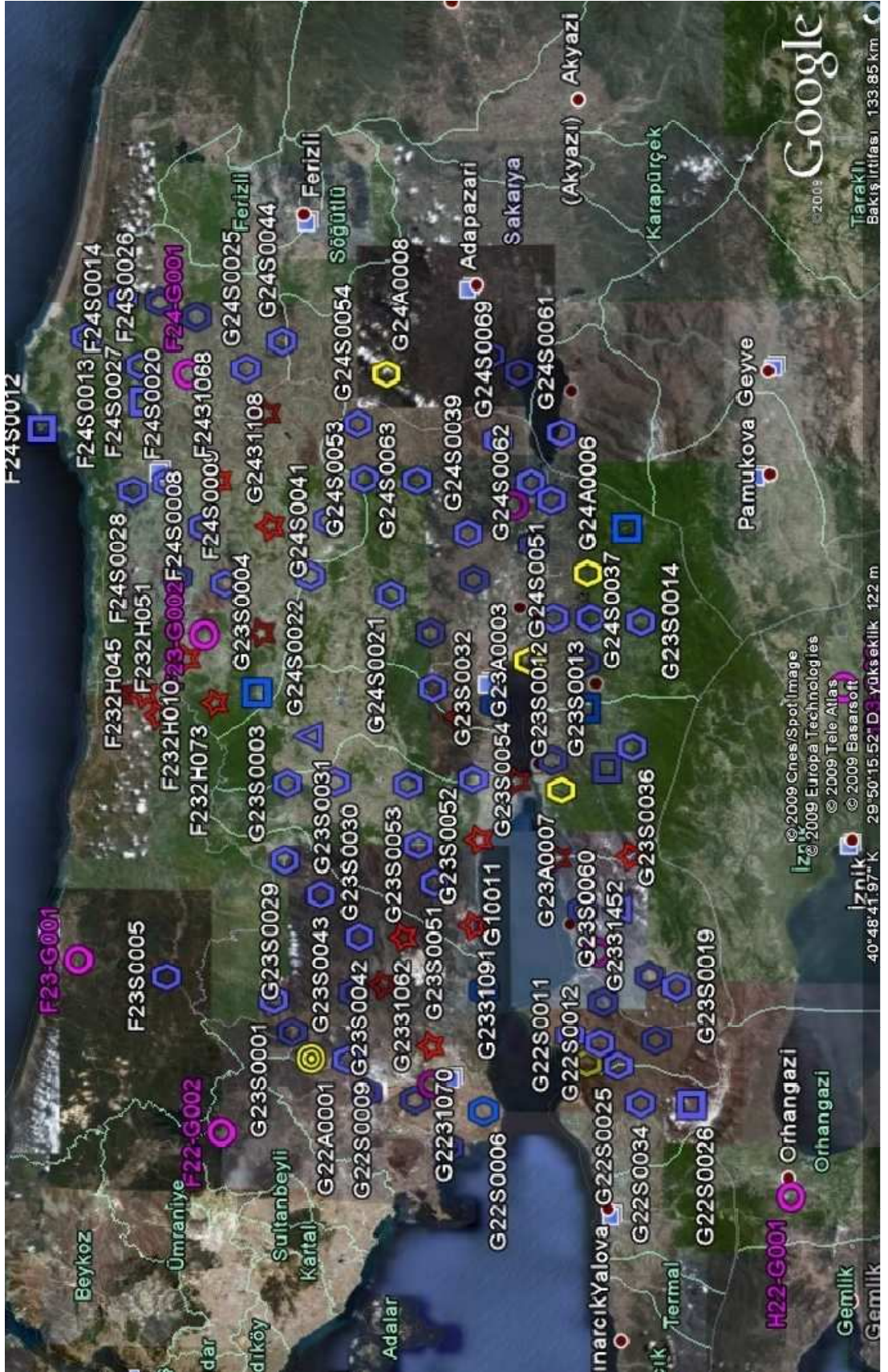
sonucuna varılmış ve ağda toplam olarak 271 baz ölçülmesinin yeterli olduğuna karar verilmiştir (İZDOGAP, 2009a). (Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3)

Tablo 4.1: İZDOGAP KOCAELİ GPS TEST AĞI Yer Seçimi Çalışmaları (İZDOGAP, 2009a).

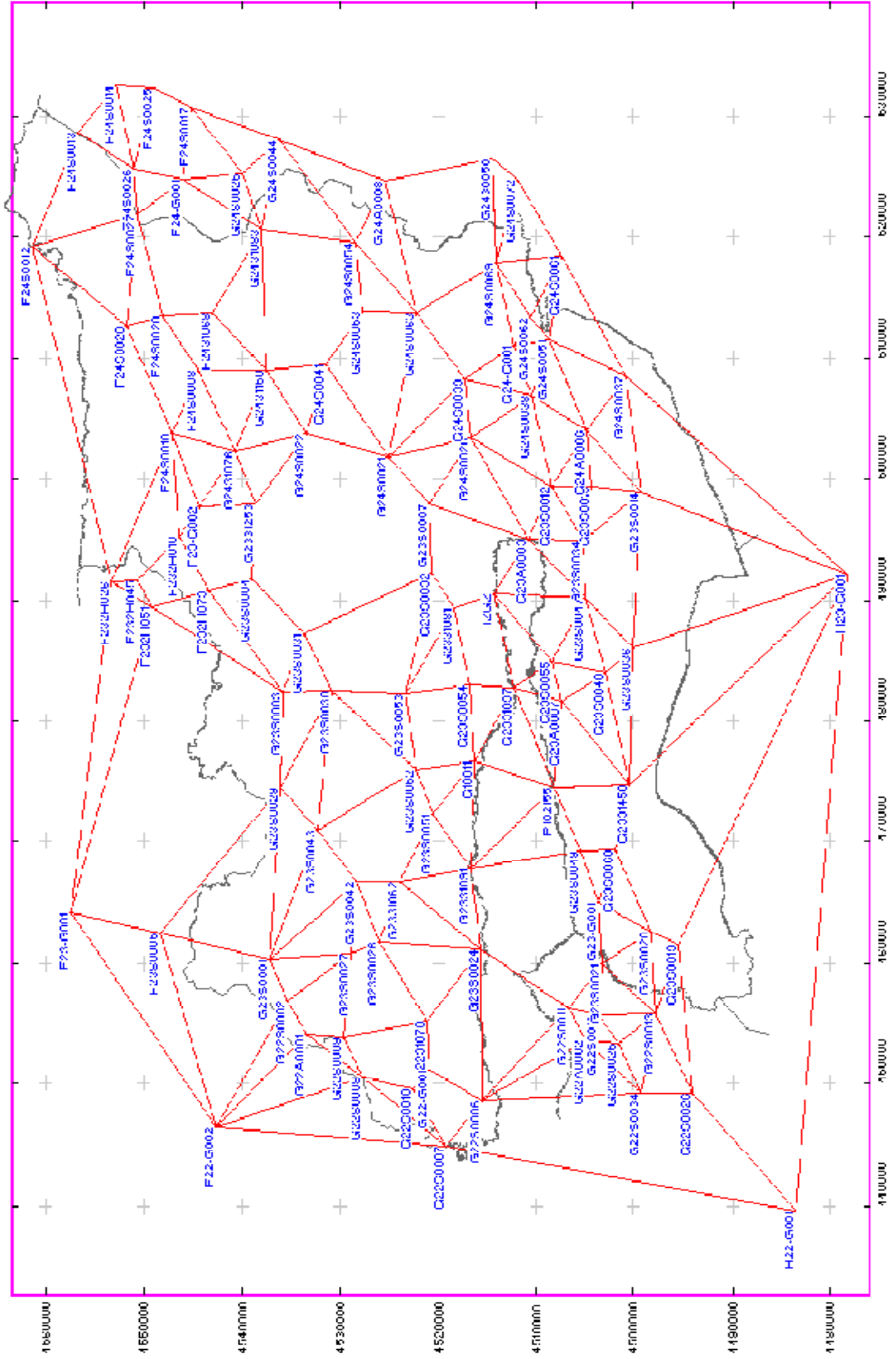
Noktanın Derecesi	Durumu	Tesis Cinsi	Adedi
TUTGA	Sağlam	Pilye	7
TUTGA	Sağlam	Çivi (Kayada)	2
AGA (C1)	Sağlam	Pilye	8
AGA (C1)	Sağlam	Yarım Pilye	1
AGA (C1)	Sağlam	Taş	5
AGA (C1)	Kayıp/Tahrip	--	4
Nivelman Yapılmış SGA (C2/İGNA)	Sağlam	Pilye	5
SGA (C2)	Sağlam	Pilye	69
SGA (C2)	Sağlam	Yarım Pilye	8
SGA (C2)	Sağlam	Çivi	22
SGA (C2)	Sağlam	Taş	20
SGA (C2)	Kayıp/Tahrip	--	30
ASN (C3)	Sağlam	Pilye	1
ASN (C3)	Sağlam	Çivi	7
ASN (C3)	Sağlam	Taş	4
Poligon (C4)	Sağlam	Çivi	2
Sabit İst. (İZGZ)	Sağlam	Çatı Tesisi	1
TOPLAM			196

Tablo 4.2: Kesinleşen İZDOGAP GPS Test Ağı Noktaları (İZDOGAP, 2009a).

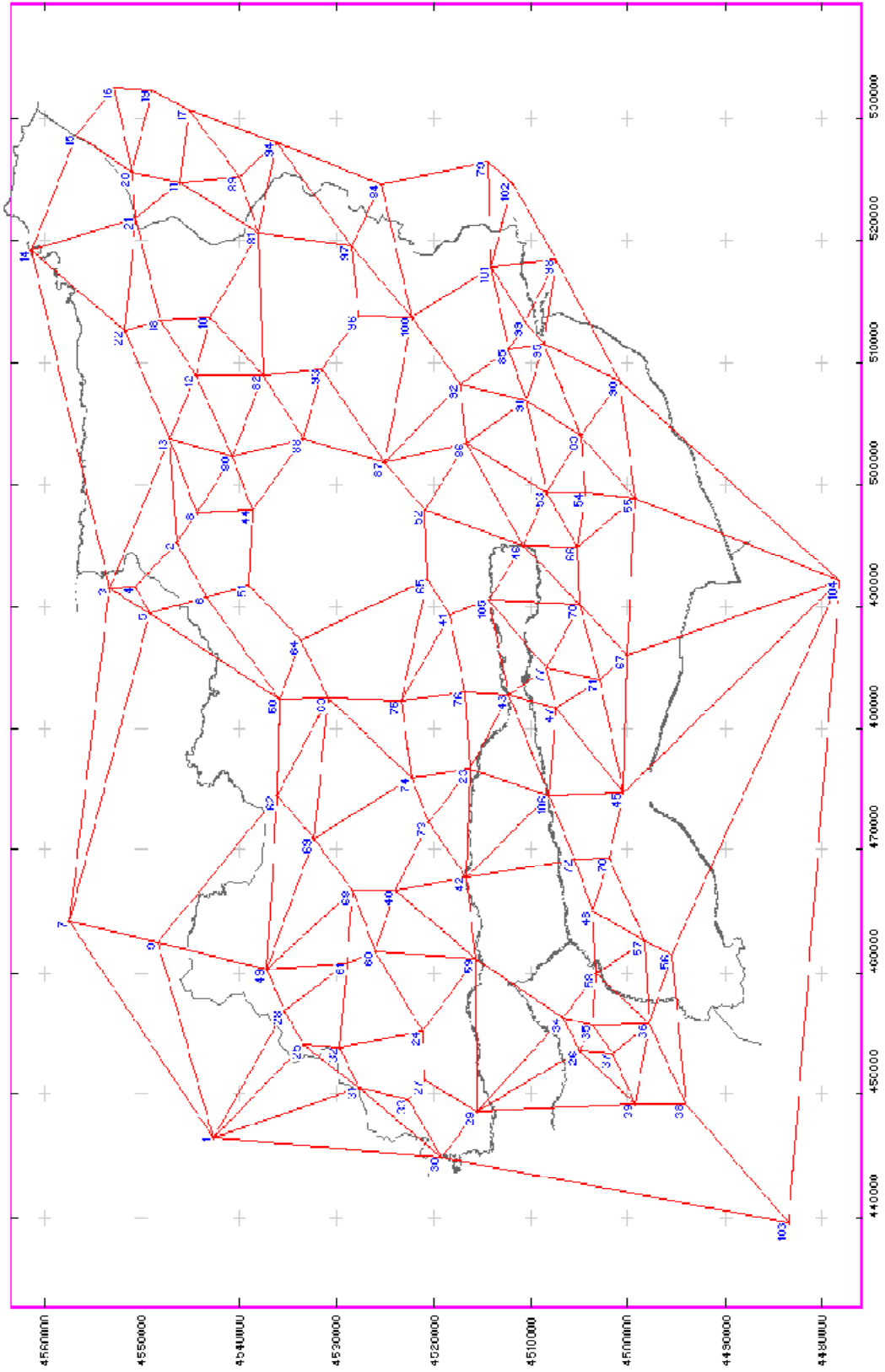
Noktanın Derecesi	Tesis Cinsi	Adedi
TUTGA	Pilye	7
TUTGA	Çivi (Kayada)	2
AGA (C1)	Pilye	5
AGA (C1)	Yarım Pilye	1
Nivelman Yapılmış SGA (C2/İGNA)	Pilye	5
SGA (C2)	Pilye	55
SGA (C2)	Yarım Pilye	8
SGA (C2)	Çivi	2
SGA (C2)	Taş	7
ASN (C3)	Pilye	1
ASN (C3)	Çivi	6
ASN (C3)	Taş	4
Poligon (C4)	Çivi	2
Sabit İst. (İZGZ)	Çatı Tesisi	1
TOPLAM		106



Şekil 4.1: İZDOGAP GPS Test Ağı Noktalarının Dağılımı (İZDOGAP, 2009a).



Şekil 4.2: İZDOĞAP GPS Test Ağ Ölçme Planı (İZDOĞAP 2009b, Kurt ve diğ. 2009).



Şekil 4.3: İZDOGAP GPS Test Ağının Numaralandırılması (İZDOGAP 2009b, Kurt ve diğ. 2009).

4.1.1. İZDOGAP GPS test ağının değerlendirilmesi

Yaklaşık Koordinatların Seçimi; İZDOGAP GPS Test ağının yaklaşık koordinatları $t_0=2000.45$ epoğunda, GRS80 elipsoidine göre tanımlanmış yer merkezli bir dik koordinat sisteminde (ITRF96) verilmektedir. Bu ağın değerlendirilmesi amacıyla;

- 83 adet eşlenik noktanın 2000.45 epoğundaki koordinatları, verilen ortalama hızları yardımıyla ölçme anı olan 2009.37 epoğuna kaydırılmıştır.
- Eşlenik nokta kümesi dışında kalan noktalara GPS baz ölçülerinden yararlanılarak koordinat taşınmıştır.
- Elde edilen noktalar kümesi, TUTGA ve AGA noktalarından oluşan eşlenik nokta kümesine dayalı olarak kısmi iz minimum koşulu altında değerlendirilmiştir.
- Dengeleme sonucunda elde edilen koordinatlar bir kez daha tüm iz minimum koşulu altında serbest dengelenerek olası tutarsızlıkların etkisinin en aza indirgenmesi amaçlanmıştır.(Ek-A)

4.1.2. Değerlendirme sonuçları

İZDOGAP GPS Test Ağı, t_i epoğu için belirlenen yaklaşık koordinatlar kümesinde ve tüm iz minimum koşulu altında serbest ağ yöntemiyle değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre model hipotezi geçerli çıkmıştır.

Tablo 4.3: Model hipotez testi

Deneysel Varyans m_0	Kuramsal Varyans s_0	$T=\frac{m_0^2}{s_0^2}$	$F_{f_s, f_s, 1-\alpha/2}$	Model Hipotezi
2.34cm	1.00cm	5.48	15.44	Geçerli

Ağda model hipotez testi ile açığa çıkarılamayan olası bir hatanın araştırılması amacıyla ayrıca korelasyonlu gözlemlere uyarlanan yeniden ağırlıklandırılmalı

uyuşumsuz ölçü testleri yapılmıştır. Yapılan uyuşumsuz ölçü testi işlemleri sonucunda ölçüler kümesinde herhangi bir uyuşumsuz ölçüye rastlanılmamıştır.

İZDOGAP GPS Test Ağı iç duyarlık ve güven ölçütleri yönünden de gözden geçirilmiş, bu ölçütlere göre GPS ölçülerinin birbirlerini yeterince denetledikleri; GPS bazlarının komşuluk ilişkilerinin iyi planlandığı ve korelasyon bilgilerinin gerçekçi olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, oldukça iyi planlanmış bir ağdan beklenen; redundanz payı, iç güvenilirlik ve dış güvenilirlik ölçütüne ilişkin sınır değerleri aşan 6 adet GPS ölçüsü belirlenmiştir. (Tablo 4.4, 4.5, 4.6) Tablolardaki 7-9,19-16, 17-19, 24-27, 27-33 ve 103-38 gözlem bağlantıları, söz konusu güvenilirlik ölçütlerini her zaman sağlayan GPS ölçüleridir. (Tablo 4.4, 4.5, 4.6) Bu gözlemlere ilişkin güvenilirlik değerlerinin, ölçme planındaki yerlerine bağlı olarak değiştikleri açıkça görülmektedir. (Ek-A)

Tablo 4.4: Serbestlik Ölçütlerine Göre Güvenirlik Dereceleri

Redundanz Payları	$0 \leq r_i < 0.01$ Denetlenemez	$0.01 \leq r_i < 0.1$ Zayıf Denetlenebilir	$0.1 \leq r_i < 0.3$ Yeterince Denet.	$0.3 \leq r_i < 1$ Oldukça iyi Denet.
Ölçüler	-	-	19-16 17-19 103-38 71-67 93-96 87-52 8-2 3-4 7-9 27-33 24-27	Geriye Kalan 260 Baz Ölçüsü

Tablo 4.5: İç Güven Ölçütlerine Göre Güvenlilik Dereceleri

İç Güven Ölçütü	Ölçüler
$30 \leq \frac{\Delta_{oi}}{m_i} < \infty$ Denetlenemez	-
$10 \leq \frac{\Delta_{oi}}{m_i} < 30$ Zayıf Denetlenebilir	-
$6 \leq \frac{\Delta_{oi}}{m_i} < 10$ Yeterince Denet.	19-16 17-19 103-38 7-9 27-33 24-27 28-49 99-95 57-56 39-38
$0 \leq \frac{\Delta_{oi}}{m_i} < 6$ Oldukça iyi Denet.	Geriye Kalan 261 Baz Ölçüsü

Tablo 4.6: Dış Güven Ölçütlerine Göre Güvenlilik Dereceleri

Dış Güven Ölçütü	Ölçüler
$25 \leq \delta_{oi} < \infty$ Denetlenemez	-
$15 \leq \delta_{oi} < 25$ Zayıf Denetlenebilir	-
$8 \leq \delta_{oi} < 15$ Yeterince Denet.	19-16 17-19 103-38 7-9 27-33 24-27 39-38 93-96 8-2
$0 \leq \delta_{oi} < 8$ Oldukça iyi Denet.	Geriye Kalan 262 Baz Ölçüsü

4.1.3. Eş değerklik testleri

İZDOGAP GPS Ağının üst dereceden güvenilir ağ noktalarına bağlanabilmesi amacıyla ortak noktalar arasında üç boyutlu Helmert Dönüşümü gerçekleştirilmiş ve dönüşüm sonuçları test edilmiştir. Bu amaçla İZDOGAP ağında 83 adet eşlenik

Tablo 4.7: t_i Ölçme Anı için Eş Değerlik Testi Sonuçları

1. Adım			2. Adım			3. Adım		
Uyuşumsuz nokta	Robust Ağırlığı	m_0 (cm)	Uyuşumsuz nokta	Robust Ağırlığı	m_0 (cm)	Uyuşumsuz nokta	Robust Ağırlığı	m_0 (cm)
1	0.16	2.94	26	0.25	2.26	85	0.26	2.19
48	0.27		84	0.25				
103	0.27		14	0.21				
104	0.23		19	0.27				
47	0.27		28	0.27				
83	0.28		33	0.25				
9	0.04		59	0.26				
16	0.27		70	0.27				
17	0.23		71	0.23				
29	0.27		78	0.27				
30	0.07		95	0.26				
31	0.26		101	0.27				
49	0.25							
55	0.26							
62	0.28							
66	0.27							
67	0.18							
72	0.22							
90	0.27							
91	0.26							
98	0.28							

nokta kullanılmış ve bu noktaların t_i epoğuna ötelenmiş değerleri ile serbest dengeleme sonuçları karşılaştırılmıştır. Yinelemeli ağırlıklandırılmalı sağlam kestirim yöntemine dayanan uyumsuz ölçü çiftlerinin yerleştirildiği bir Eş Değerlik Testi sonuçlarına göre; toplam 34 adet eşlenik nokta çiftinin uyumsuz oldukları görülmüştür. (Tablo 4.7) Bu noktalar ağırlıklı olarak Kuzey Anadolu Fay Kuşağının güneyinde kalmakta, ayrıca Kuzey-Doğu ve Kuzey-Batı bölgelerinde koruyucu kuşak görevini üstlenen noktalar da dışlanmaktadır. (Şekil 4.3)

4.1.4. Sonuç dengelemesi

İZDOGAP GPS Ağı t_i epoğunda 83 eşlenik nokta için geleneksel uyumsuz ölçü testi yapılmıştır. Bunun için her bir yineleme adımında uyumsuz olarak belirlenen nokta çiftleri arasından en büyük test değerine sahip ölçü çifti eşlenik nokta kümesinden atılmıştır. Uyumsuz ölçü kalmayınca kadar bu yineleme işlemlerine devam edilmiştir. Sonuç olarak 34 eşlenik nokta uyumsuz olarak belirlenmiş ve

Tablo 4.8: t_i Ölçme Anı için Geleneksel Eş Değerlik Testi Sonuçları

1. Adım				2. Adım				3. Adım			
İterasyon	Uyumsuz nokta	T_i	m_0 (cm)	İterasyon	Uyumsuz nokta	T_i	m_0 (cm)	İterasyon	Uyumsuz nokta	T_i	m_0 (cm)
1	9	2.68	4.14	13	91	1.79	3.29	25	14	1.80	2.64
2	30	2.45	4.01	14	66	1.85	3.23	26	84	1.82	2.58
3	1	2.32	3.89	15	83	1.90	3.17	27	29	1.87	2.52
4	67	2.14	3.80	16	72	1.91	3.10	28	78	2.52	2.47
5	17	2.03	3.72	17	62	1.79	3.05	29	101	1.69	2.43
6	98	1.85	3.66	18	47	1.81	2.99	30	28	1.71	2.38
7	32	1.80	3.61	19	103	1.77	2.94	31	59	1.68	2.34
8	104	1.80	3.55	20	16	1.75	2.89	32	33	1.72	2.29
9	49	1.77	3.50	21	95	1.68	2.84	33	26	1.75	2.24
10	48	1.77	3.44	22	70	1.75	2.79	34	85	1.69	2.20
11	90	1.70	3.40	23	71	1.78	2.74				
12	55	1.73	3.35	24	19	1.73	2.69				

eşlenik nokta kümesinden çıkarılmıştır (Tablo 4.8). Geriye kalan noktalara dayalı olarak İZDOGAP GPS Ağı dengelenmiştir (Ek-B). Yapılan dayalı dengeleme sonucuna göre deneysel standart sapma değeri 7.99 cm hesaplanmıştır.

Bu durum, GPS gözlemleri için elde edilen korelasyon bilgilerinin oldukça iyimser olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle sorun ağı kalitesinden değil, varyansın ölçüğünden kaynaklanmaktadır. Bu sorun, varyans büyüklüklerinin, model hipotezine ilişkin test sınır değer parametresi

$$c^2 = \frac{m_0^2}{\left(s_0^2 F_{f_1, f_2, 1 - \frac{\alpha}{2}} \right)} \quad (4.1)$$

yardımla

$$Q_{11} = \frac{c^2}{s_0^2} K_{11} \quad (4.2)$$

biçiminde genişletilerek giderilebilir.

Kalite ölçütleri yetersiz ise; Dayalı Ağ Dengeleme sonuçlarına göre uyuşumsuz nokta testi yapılır. En büyük düzeltme değerine sahip olan noktalar, sırasıyla dayanak noktaları kümesinden dışarı çıkarılmalıdır. Bu işlemler model hipotezi geçerli olana kadar devam ettirilmelidir. Bununla birlikte mutlak baz çözümlerinin lup kapanmaları gözden geçirilmelidir.

4.2. Ağ Noktalarının Algılayabilirlik Düzeyleri

İZDOGAP GPS Ağı t_0 ve t_i epoklarında olmak üzere tüm iz minimum ve kısmi iz minimum koşulları altında serbest ağ yöntemiyle ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre, ağda herhangi bir uyuşumsuz ölçüye rastlanmamıştır.

Bu değerlendirme işleminde; model hipotezi geçerli çıkmamış, korelasyonlu gözlemler için yeniden ağırlıklandırılmalı sağlam kestirim yöntemiyle uyumsuz ölçü araştırması yapılmış, buna karşın hiçbir uyumsuz ölçüye rastlanılmamıştır. Sonuç olarak ağda ağırlığı (1) olan bir GPS ölçüsünün ortalama hatası $m_0=2$ cm civarında kalmaktadır.

Tablo 4.9: Serbest Dengeleme Sonuçları

Epok	Dengeleme Koşulu	m_0 (cm)	$iz\{Q_{xx}\}$	$iz\{Q_{dd}\}$ Blok B	$\frac{\Sigma d_{min}}{106}$ (cm)
t_i	Tüm iz min.	2.34	24.61	3.90	5.08
t_0	Tüm iz min.	2.34	24.61	3.90	5.08
t_i	Kısmi iz min.	2.34	26.21	3.70	3.54
t_0	Kısmi iz min.	2.34	26.21	3.70	3.54

İZDOGAP ağında gerçekleştirilen GPS ölçülerinin sağladığı olanaklar ölçüsünde, ağ noktalarında belirlenebilir en küçük yer değiştirme araştırması anlamına gelen algılayabilirlik analizleri yapılmıştır. Başlangıç ve ölçü epoğu sonuçlarına göre elde edilen olası en küçük yer değiştirme büyüklükleri (d_{min}) Tablo 4.10'da sergilenmiştir. Bu amaçla test ağıımız; iki ana blok şeklinde ele alınmıştır.

- 1) Eşlenik noktalar kümesinin belirlediği datumdan elde edilen koordinat değerleri tüm iz minimum sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.
- 2) Test ağıının KAF kuşağının güney kısmı jeolojik ve jeodinamik yapısı gereği, farklı bir ağırlık merkezi etrafında ayrı bir dönüklüğe sahip olabileceği düşünülmüş ve bu nedenle ayrı bir blok (Blok B) olarak ele alınmıştır. Bu seçenek tez çalışmasında İkinci Durum olarak adlandırılmaktadır.
- 3) İkinci durumda test ağıımız, KAF kuşağının kuzeyinde kalan eşlenik noktaların (Blok A) belirlediği datumda değerlendirilmiştir. Bu koşul altında değerlendirilen B bloğuna ilişkin eşlenik noktalar kümesi, 3B Genişletilmiş Helmert Dönüşüm Modeli kullanılarak dış merkezli bir ağırlık merkezinin belirlenmiş olduğu ayrı bir datuma dönüştürülmüştür.

Tablo 4.10: Belirlenen Olası Hata Miktarlarının ve Yönlerinin Karşılaştırılması

N.N	I.Durum				II. Durum							
	Tüm iz				Tüm iz				Kısmi iz			
	dmin	dmax	azimut	zenit	dmin	dmax	azimut	zenit	dmin	dmax	azimut	zenit
101	1.66	4.69	89.890	74.894	1.00	3.02	89.849	75.816	0.99	2.94	89.839	76.745
102	2.34	6.57	89.932	83.857	1.74	5.07	89.958	270.243	1.75	5.08	89.958	270.906
103	3.51	9.71	89.983	86.822	2.86	8.09	89.978	270.243	2.87	8.11	89.974	270.527
104	2.38	6.61	89.915	64.827	1.53	4.54	89.903	55.334	1.51	4.53	89.904	55.099
26	1.83	5.02	89.980	81.299	1.23	3.38	89.988	84.770	1.26	3.46	89.997	85.836
34	1.76	5.01	89.998	83.746	1.19	3.57	90.034	89.732	1.19	3.64	90.048	272.114
35	1.84	5.07	89.984	82.548	1.32	3.66	89.992	85.274	1.35	3.74	89.998	86.048
36	1.87	5.12	89.974	83.544	1.35	3.73	89.972	85.578	1.38	3.80	89.977	85.572
37	1.95	5.27	89.947	75.038	1.40	3.77	89.918	73.178	1.43	3.84	89.922	73.195
38	2.06	5.41	89.961	81.545	1.35	3.41	89.943	85.026	1.37	3.43	89.948	86.238
39	1.92	5.11	89.965	79.596	1.22	3.14	89.952	80.133	1.24	3.18	89.960	81.614
46	1.22	3.85	89.990	71.073	0.98	3.27	90.001	70.240	0.96	3.27	89.997	68.550
47	1.32	3.89	89.937	70.963	1.13	3.42	89.925	69.714	1.12	3.43	89.923	68.983
48	1.82	5.08	89.940	74.267	1.51	4.27	89.918	73.302	1.54	4.37	89.915	73.396
53	1.42	4.07	89.977	77.553	1.18	3.43	89.992	80.716	1.18	3.39	89.988	80.585
55	1.97	5.26	89.937	74.801	1.72	4.52	89.932	75.421	1.74	4.58	89.933	75.954
56	2.38	6.23	89.922	82.980	2.06	5.37	89.900	85.060	2.10	5.48	89.904	85.495
57	2.27	5.88	89.948	78.032	1.99	5.07	89.941	77.322	2.04	5.20	89.943	77.543
58	2.12	6.09	89.983	84.356	1.78	5.21	89.992	85.864	1.82	5.32	89.995	86.230
66	1.84	5.12	90.037	85.400	1.67	4.69	90.061	86.346	1.67	4.69	90.062	85.774
67	1.66	4.48	89.938	73.179	1.50	4.01	89.941	72.643	1.50	4.03	89.943	72.577
70	1.33	3.99	90.016	75.296	1.14	3.53	90.039	75.001	1.12	3.53	90.042	73.722
71	1.46	4.04	89.952	73.721	1.27	3.53	89.957	72.782	1.26	3.53	89.959	72.450
72	1.64	4.71	89.933	76.428	1.38	4.03	89.921	75.673	1.41	4.12	89.918	75.644
77	1.20	3.65	89.972	69.785	1.02	3.19	89.975	67.912	1.00	3.19	89.976	66.371
78	1.78	5.06	89.959	72.823	1.52	4.40	89.951	71.530	1.54	4.50	89.948	71.803
83	1.65	4.35	89.952	82.296	1.34	4.47	89.961	273.331	1.34	3.44	89.951	276.898
85	1.49	4.26	89.931	73.051	1.01	3.01	89.938	70.851	1.00	2.95	89.937	73.380
90	2.01	5.65	89.927	73.926	1.29	3.80	89.932	74.927	1.30	3.86	89.937	76.906
91	1.53	4.08	89.927	75.308	1.17	3.04	89.932	78.154	1.15	2.95	89.923	84.073
95	1.52	4.14	89.933	76.857	1.01	2.74	89.943	82.972	1.00	2.69	89.938	87.978
98	1.81	4.98	89.901	78.245	1.17	3.28	89.970	81.241	1.17	3.26	89.965	82.613
99	1.57	4.43	89.916	75.087	1.05	3.04	89.903	76.061	1.05	3.00	89.896	77.934
	$\frac{\Sigma d_{min}}{33}=1.82\text{cm}$				$\frac{\Sigma d_{min}}{33}=1.40\text{cm}$				$\frac{\Sigma d_{min}}{33}=1.40\text{cm}$			

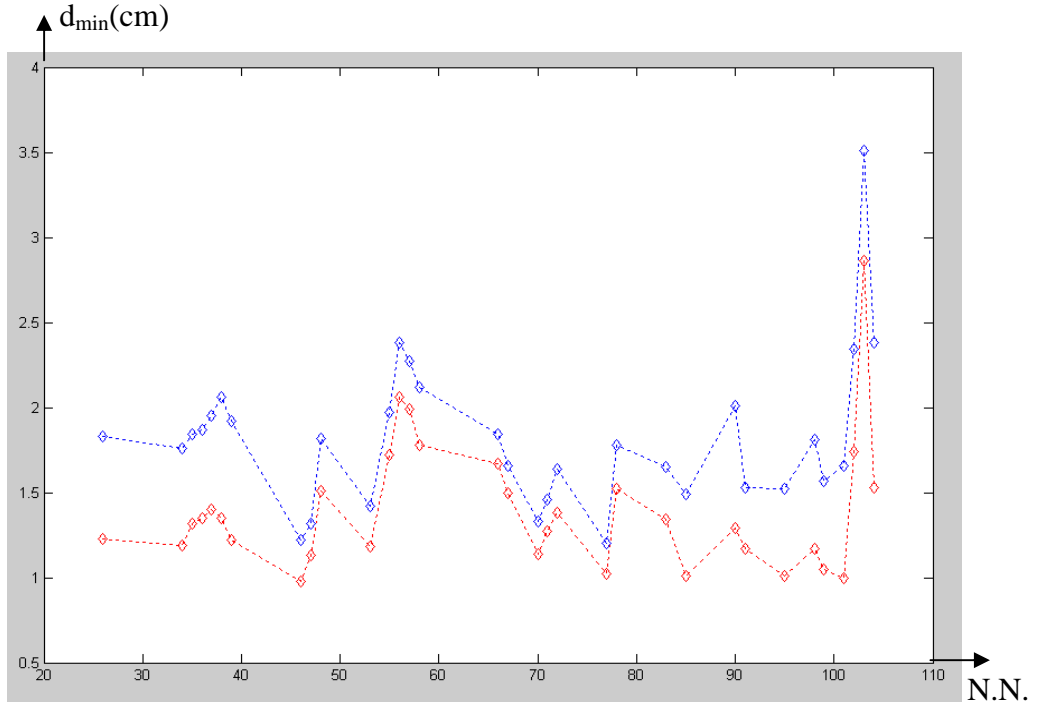
Sonuç olarak;

- Birinci durumda; İZDOGAP ağının gerek kısmi iz gerekse serbest ağ yöntemiyle değerlendirilmesi sonuçlarına göre, ağda ortaya çıkartılabilecek olası en küçük yer değiştirme büyüklüğünün (d_{min}) değişmediği görülmektedir.
- İkinci durumda ise; olası en küçük yer değiştirme büyüklükleri belli bir oranda küçülmüştür (Şekil 4.4, Tablo 4.10). Bu durum aynı zamanda, anlamlı olmaları durumunda, ek koşulların her zaman ağın kalitesini iyileştirebileceğini göstermektedir.
- Ağın ayırma gücü ya da algılayabilirlik düzeyi anlamına gelen olası yer değiştirme miktarı (d_{min}), yaklaşık koordinatlar ve datum seçiminden bağımsız bir güvenilirlik ölçütüdür. Ancak genişletilmiş helmert dönüşümü ile bu büyüklükler belli bir oranda küçülebilir.
- Ağın ayırma gücünün gerçekçi olarak belirlenebilmesi bu ağın en az iki peryotta ölçülerek karşılaştırılmasıyla olanaklıdır.
- Ağ noktalarında elde edilen ortalama algılayabilirlik düzeyi (sensitivity) 1.82 cm olarak belirlenmiştir.
- Bu değerler I. durumda 1.20cm – 3.51cm arasında; II. durumda ise 1.02cm – 2.86cm arasında değişmektedir.
- En küçük algılayabilirlik değerleri I. durumda G23S0055 nolu noktada, II. Durumda ise G23A0003 nolu noktada belirlenmiştir.
- Bu çalışmada bulunan sınırlar ancak $t = \sqrt{2} = 1.41$ 'lik bir yıla denk düşen bir kestirim değerini temsil edebilmektedir.

4.3. İZDOGAP Ağında Farklı Ölçme Anlarına Göre Eş Değerlik Testleri

4.3.1. Robust ağırlıklandırılmalı en küçük varyans araştırması

BÖHHBÜY'ne göre Ülke Temel Ağları önce Ana GPS Ağı, daha sonra bu ağa dayalı olarak Sıklaştırma GPS Ağları biçiminde sıklaştırılmaktadır. Öte yandan İZDOGAP ağı yüzey ağı yapısındadır. Bu durumda SGA noktaları ile AGA noktaları arasında olası bir yapısal davranış farklılığının belirlenebilmesi amacıyla bir duyarlık



Şekil 4.4: Algılayabilirlik analizleri (◆ İkinci durumda belirlenen algılayabilirlik (sensitivity), ◆ Birinci durumda belirlenen algılayabilirlik (sensitivity))

ve güvenilirlik irdelemesinin yapılması gerekli görülmüştür. Bu amaçla 83 adet eşlenik nokta kümesi için yapılan eş değerlik testinin yanısıra 13 noktadan oluşan TUTGA ve AGA noktaları için karşılaştırma amaçlı bir eş değerlik testi işlemi daha gerçekleştirilmiştir. Bu eş değerlik testi işlemi sonucunda, model hipotezinin geçersiz çıkmasına karşın eşlenik noktalar arasında herhangi bir uyumsuz nokta çiftine rastlanılmamıştır. Gerçekte anlamlı bir yer değiştirmenin olduğu bir jeodezik ağda herhangi bir deformasyonun olmadığı anlamına gelen ve 2. Tip Hata olarak adlandırılan bu durumun nedenlerinin araştırılması amacıyla robust ağırlıklandırılmalı bir en küçük (minimum) varyans araştırılması yapılmıştır.

Robust ağırlıklandırılmalı en küçük varyans araştırmasına göre; TUTGA ve AGA noktaları birer birer eşlenik nokta kümesinden çıkarılır. Her bir kombinasyon için varyans değerleri karşılaştırılır. En küçük varyans değerine sahip noktanın uyumsuz nokta olduğuna karar verilir. Ağda uyumsuz ölçü kalmayınca kadar aynı yöntem uygulanır. İzleyen yineleme adımlarında bir kez indirgenmiş eşlenik noktalar kümesinden yararlanılarak robust ağırlıklandırılmalı en küçük varyans araştırması işlemi sürdürülür.

t_0 epöğü için robust ağırlıklandırılmalı en küçük varyans araştırması 6 iterasyonda tamamlanmıştır. (Tablo 4.11)

Buna göre;

- TUTGA ve AGA noktalarından oluşan 13 eşlenik nokta birer birer eşlenik nokta kümesinden çıkarılmıştır.
- Eşlenik nokta kümesinden çıkarılan noktanın varyans değerine etkisi incelenmiştir.
- Bir noktanın eşlenik nokta kümesinden çıkarılması sonucunda herhangi bir uyşumsuz ölçü çiftine rastlanılmadığı durumlarda en küçük varyans değerine karşılık gelen nokta eşlenik nokta kümesinden çıkarılmıştır.
- Bununla birlikte eşlenik nokta kümesinden herhangi bir noktanın çıkarılması ile uyşumsuz noktaların ortaya çıkması durumunda, bu noktaların ağırlığı sağlam kestirim yöntemiyle sıfıra gönderilmiş ve böylece ulaşılan varyans değeri dikkate alınmıştır.
- Bu işlemler sonucunda; varyans değerini küçülten noktanın yeri kesinleştirilerek, uyşumsuz olduğuna karar verilmiş ve bu nokta eşlenik noktalar kümesinden çıkarılmıştır.
- Bu işlemler model hipotezi geçerli olana kadar sürdürülmüştür.

Aynı yaklaşım çerçevesinde t_i epöğü için de benzer işlem adımları gerçekleştirilmiştir. (Tablo 4.12, 4.13)

Tablo 4.11: t_0 Ölçme Anı için Robust Ağırlıklılandırılmalı En Küçük Varyans Araştırması Sonuçları (TUTGA ve AGA Noktaları)

	N.N	1	8	11	48	85	103	104	25	26	46	47	83	84	
1. iterasyon	m0 (cm)	5.77	6.19	6.15	6.23	6.12	6.02	5.57	5.85	6.26	6.27	6.25	5.68	5.73	Sonuç
	Uyuşumsuz nokta	-	-	-	-	-	-	83	-	-	-	-	104	-	
	Uyuşumsuz Nok. Robust Ağ.	-	-	-	-	-	-	0.22	-	-	-	-	0.19	-	
	Robust Sonunda m0 (cm)	-	-	-	-	-	-	4.85	-	-	-	-	4.86	-	
2. iterasyon	m0 (cm)	5.25	5.75	5.77	5.75	5.72	5.52		5.40	5.85	5.86	5.74	4.85	5.39	Sonuç
	Uyuşumsuz nokta	83					83		83			83			
	Uyuşumsuz Nok. Robust Ağ.	0.17							0.20						
	Robust Sonunda m0 (cm)	4.29					0.20		0.12			0.20			
3. iterasyon	m0 (cm)		5.34	5.51	5.49	4.27	5.37		4.65	5.53	5.55	5.44	4.30	5.11	Sonuç
	Uyuşumsuz nokta	83					83		83			83	25	83	
	Uyuşumsuz Nok. Robust Ağ.	0.18										0.16		0.17	
	Robust Sonunda m0 (cm)	4.35					0.17		0.11			0.17	0.15	0.14	
4. iterasyon	m0 (cm)		4.35	4.58	4.44	4.27	4.31		3.37			4.29		4.13	Sonuç
	Uyuşumsuz nokta		25	25		25				25		25		25	
	Uyuşumsuz Nok. Robust Ağ.		0.11	0.16		0.15				0.16		0.16		0.14	
	Robust Sonunda m0 (cm)		3.00	3.58		3.24				3.56		3.33		3.06	
5. iterasyon	m0 (cm)			4.65	4.56	4.42	4.41		2.96	4.69	4.70	4.39		4.24	Sonuç
	Uyuşumsuz nokta			25	25	25				25	25	25		25	
	Uyuşumsuz Nok. Robust Ağ.			0.09	0.14	0.11				0.11	0.14	0.11		0.10	
	Robust Sonunda m0 (cm)			2.88	3.26	2.89				3.08	3.31	2.90		2.69	
6. iterasyon	m0 (cm)		4.56	4.49	4.18	4.31			2.60	4.63	4.58	4.36			Sonuç
	Uyuşumsuz nokta		25		25					25		25			
	Uyuşumsuz Nok. Robust Ağ.			0.11		0.11				0.11		0.12			
	Robust Sonunda m0 (cm)			2.67		2.43				2.78		2.65			
Uyuşumsuz N. No	1	8					103						83	84	
Uyuşumsuz N. Adı	F22-G002	F23-G002				G24-G001		H22-G001					G24-A0006	G24-A0008	

Tablo 4.12: t_i Ölçme Anı için Robust Ağırlıklılandırılmalı En Küçük Varyans Araştırması

1. iterasyon	N.N	1	8	11	48	85	103	104	25	26	46	47	83	84	Sonuç
	m0 (cm)	4.69	5.06	5.14	5.10	5.23	4.95	5.12	5.29	5.03	5.39	5.24	5.21	5.19	
	Uyuşumsuz nokta	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Uyuşumsuz Nok. Robust Ağ.	-	-	-	0.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Robust Sonunda m0 (cm)	-	-	-	4.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. iterasyon	m0 (cm)	4.42	4.99	5.06		5.18	5.02	5.02	5.28	5.04	5.36	5.13	5.14	5.14	Sonuç
	Uyuşumsuz nokta	-	-	-		-	-	1	1	-	-	1	-	-	
	Uyuşumsuz Nok. Robust Ağ.	-	-	-		-	-	0.19	0.15	-	-	0.18	-	-	
	Robust Sonunda m0 (cm)	-	-	-		-	-	4.33	4.40	-	-	4.37	-	-	
3. iterasyon	m0 (cm)	4.23	4.85	4.98		5.15	4.89		5.23	5.04	5.27	4.99	4.93	5.11	Sonuç
	Uyuşumsuz nokta	-	-	-		-	-		1	-	-	1	-	-	
	Uyuşumsuz Nok. Robust Ağ.	-	-	-		-	-		0.12	-	-	0.18	-	-	
	Robust Sonunda m0 (cm)	-	-	-		-	-		4.14	-	-	4.17	-	-	
4. iterasyon	m0 (cm)	3.88	5.01	5.22		5.39	5.13			5.21	5.55	5.25	5.17	5.37	Sonuç
	Uyuşumsuz nokta	-	-	1		1	1			1	1	1	1	1	
	Uyuşumsuz Nok. Robust Ağ.	-	-	0.12		0.08	0.11			0.10	0.10	0.07	0.08	0.10	
	Robust Sonunda m0 (cm)	-	-	4.22		3.99	4.05			4.06	4.33	3.67	3.81	4.18	
5. iterasyon	m0 (cm)	3.50	5.03	4.72		5.41	5.32			5.33	5.59		5.09	5.37	Sonuç
	Uyuşumsuz nokta	-	-	1		1	1			1	1		1	1	
	Uyuşumsuz Nok. Robust Ağ.	-	-	0.10		0.08	0.10			0.08	0.09		0.07	0.09	
	Robust Sonunda m0 (cm)	-	-	3.92		3.65	3.92			3.65	4.01		3.34	3.81	
6. iterasyon	m0 (cm)	3.04	4.73	5.05		5.25	5.14			5.26	5.33			5.14	Sonuç
	Uyuşumsuz nokta	-	-	-		1	1			1	-			-	
	Uyuşumsuz Nok. Robust Ağ.	-	-	-		0.09	0.08			0.08	-			-	
	Robust Sonunda m0 (cm)	-	-	-		3.49	3.29			5.26	-			-	

Tablo 4.12(devamı): t_i Ölçme Anı için Robust Ağırlıklandırılmalı En Küçük Varyans Araştırması

7. iterasyon	m0 (cm)		3.41	2.97		2.90	2.77			2.86	3.12			3.17	Sonuç	
	Uyuşumsuz nokta		-	-		-	-			-	-			-		103
	Uyuşumsuz Nok. Robust Ağ.		-	-		-	-			-	-			-		
	Robust Sonunda m0 (cm)		-	-		-	-			-	-			-		
Uyuşumsuz N. No	1			48		103	104	25			47	83				
Uyuşumsuz N.Adı	F22-G002			G23-G001		H22-G001	H22-G001	G22A0001			G23A0007	G24A0006				

Tablo 4.13: t_i Ölçme Anı için Genişletilmiş Helmert Dönüşümü ile Robust Ağırlıklandırılmalı En Küçük Varyans Araştırması (Üst dereceden ağ noktaları; TUTGA ve AGA)

	N.N	1	8	11	48	85	103	104	25	26	46	47	83	84	Sonuç	
1. iterasyon	m0 (cm)	4.35	4.70	4.98	5.06	5.05	5.05	5.17	5.30	5.03	5.27	5.19	5.33	5.10		48
	Uyuşumsuz nokta	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Uyuşumsuz Nok. Robust Ağ.	-	-	-	0.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Robust Sonunda m0 (cm)	-	-	-	4.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. iterasyon	m0 (cm)	4.16	4.80	4.92		5.08	4.99	5.19	5.39	5.10	5.34	5.09	5.35	5.15	Sonuç	
	Uyuşumsuz nokta	-	-	-		1	-	-	1	-	-	1	-	-		
	Uyuşumsuz Nok. Robust Ağ.	-	-	-		0.13	-	-	0.12	-	-	0.13	-	-		
	Robust Sonunda m0 (cm)	-	-	-		4.04	-	-	4.27	-	-	4.07	-	-	85	
3. iterasyon	m0 (cm)	3.99	4.77	5.06			4.99	5.11	5.46	5.09	5.44	5.11	5.41	4.96	Sonuç	
	Uyuşumsuz nokta								1					1		
	Uyuşumsuz Nok. Robust Ağ.								0.12					0.12		
	Robust Sonunda m0 (cm)								4.14					3.69	84	

Tablo 4.13(devamı): t_i Ölçme Anı için Genişletilmiş Helmert Dönüşümü ile Robust Ağırlıklılandırılmalı En Küçük Varyans Araştırması (Üst dereceden ağ noktaları; TUTGA ve AGA)

4. iterasyon	m0 (cm)	3.60	4.69	5.24			4.66	5.25	5.40	4.96	5.32	4.94	5.34		Sonuç
	Uyuşumsuz nokta	-	-	-			-	-	-	-	-	-	-		
	Uyuşumsuz Nok. Robust Ağ.	-	-	-			-	-	-	-	-	-	-		
	Robust Sonunda m0 (cm)	-	-	-			-	-	-	-	-	-	-		1
Uyuşumsuz N. No	1			48	85									84	
Uyuşumsuz N.Adı	F22-G002			G23-G001	G24-G001									G24A0008	

Genişletilmiş modelin serbestlik derecesi daha küçüktür. Daha küçük bir varyansın önerilmesi durumunda 1 numaralı noktanın da uyuşumsuz olabileceği görülmektedir. Başka bir deyişle, genişletilmiş Helmert dönüşümünün ayırma gücünün bu durumda yeterli olması beklenmemelidir.

4.3.1.1 Sıklaştırma noktaları ile birlikte değerlendirme sonuçları

Yalnızca onüç noktadan oluşan üst derece ağlarının (TUTGA ve AGA) ağ içerisindeki dağılımları düzensizdir. Bu noktalar KAF kuşağı çizgisi boyunca dizilmekte, diğer noktalar ise kuzey ve güney kısımlarda dağınık olarak yer almaktadır. Eşlenik noktaların homojen olmayan bu dağılımları eş değerlik testlerinin algılama gücünü azaltabilmektedir. Bu nedenle eş değerlik işlemlerinin, SGA noktalarıyla birlikte olmak üzere, 83 noktadan yapılması yoluna gidilmiştir.

83 eşlenik nokta için yapılan eş değerlik testi sırasında; eş değerlik testinin ilk adımında uyuşumsuz olarak belirlenen noktalar eşlenik nokta kümesinden çıkarılmıştır. Geriye kalan eşlenik nokta kümesi için yeniden bir eş değerlik testi yapılmış ve uyuşumsuz ölçü kalmayınca kadar bu işlem adımları tekrarlanmıştır. (Tablo 4.14, 4.15)

Tablo 4.14: 83 Eşlenik Nokta için t_0 Ölçme Anında Eş Değerlik Testi Sonuçları
(TUTGA, AGA ve SGA)

1. Adım			2. Adım		
Uyuşumsuz nokta	Robust Ağırlığı	m_0 (cm)	Uyuşumsuz nokta	Robust Ağırlığı	m_0 (cm)
104	0.26	4.29	-	-	4.06
83	0.18		-	-	
30	0.28		-	-	
32	0.27		-	-	
39	0.27		-	-	
53	0.28		-	-	
55	0.20		-	-	
66	0.26		-	-	
67	0.25		-	-	
70	0.25		-	-	
90	0.18		-	-	
95	0.24		-	-	
98	0.21		-	-	
102	0.28		-	-	

Tablo 4.15: 83 Eşlenik Nokta için t_i Ölçme Anında Eş Değerlik Testi Sonuçları
(TUTGA, AGA ve SGA)

1. Adım			2. Adım			3. Adım		
Uyuşumsuz nokta	Robust Ağırlığı	m_0 (cm)	Uyuşumsuz nokta	Robust Ağırlığı	m_0 (cm)	Uyuşumsuz nokta	Robust Ağırlığı	m_0 (cm)
1	0.16	2.94	26	0.25	2.26	85	0.26	2.19
48	0.27		84	0.25				
103	0.27		14	0.21				
104	0.23		19	0.27				
47	0.27		28	0.27				
83	0.28		33	0.25				
9	0.04		59	0.26				
16	0.27		70	0.27				
17	0.23		71	0.23				
29	0.27		78	0.27				
30	0.07		95	0.26				
31	0.26		101	0.27				
49	0.25							
55	0.26							
62	0.28							
66	0.27							
67	0.18							
72	0.22							
90	0.27							
91	0.26							
98	0.28							

4.3.2. En küçük varyans araştırması yöntemi

Yalnızca üst dereceden ağ noktalarında ortaya çıkan tutarsızlıkları denetlemek üzere gerçekleştirilen bu çalışmada, sağlam kestirim yöntemi arama işlemine sokulmamıştır. Bu amaçla; TUTGA ve AGA eşlenik noktaları birer birer ölçü kümesinden dışarı alınmış ve en küçük varyans değerini sağlayan noktanın uyuşumsuz eşlenik nokta olduğuna karar verilmiştir. Bir kez indirgenmiş eşlenik noktalar kümesi için aynı yaklaşım sistemi uygulanmıştır. Geçerli bir model hipotezine ulaşıncaya kadar arama işlemi sürdürülmüştür. Bu işlem sonucunda t_0 epogu için 5 noktanın (F22-G002, F23-G002, H23-G001, G22A0001, G24A0006), t_1 epogu için 7 noktanın (F22-G002, G23-G001, H22-G001, H23-G001, G22A0001, G23A0007, G24A0006) uyuşumsuz nokta çifti olduğuna karar verilmiştir. Bu sonuçlar robust ağırlıklandırılmalı arama sonuçlarıyla uyuşmaktadır. Bu durumda, t_1 anında verilen koordinatların t_0 anına göre tutarlı oldukları görülmektedir.

Tablo 4.16: t_0 Ölçme Anı için En Küçük Varyans Araştırması

Atılan nokta	1. Adım		2. Adım		3. Adım		4. Adım		5. Adım		Uyuşumsuz Nokta No	Uyuşumsuz Nokta Adı
	m_0 (cm)	Uyuşumsuz nok.	m_0 (cm)	Uyuşumsuz nok.	m_0 (cm)	Uyuşumsuz nok.	m_0 (cm)	Uyuşumsuz nok.	m_0 (cm)	Uyuşumsuz nok.		
1	5.77	-	5.25	-	4.30	25					1	F22-G002
8	6.19	-	5.75	-	5.05	-	4.35	25	2.96	-	8	F23-G002
11	6.15	-	5.77	-	5.11	-	4.58	25	3.55	-		
48	6.23	-	5.75	-	4.93	-	4.44	-	3.57	-		
85	6.12	-	5.72	-	4.90	-	4.27	25	3.22	-		
103	6.02	-	5.52	83	4.67	-	4.31	-	3.56	-		
104	5.57	83									104	H23-G001
25	5.85	-	5.40	83	4.59	-	3.37	-			25	G22A0001
26	6.26	-	5.85	-	5.12	-	4.58	25	3.53	-		
46	6.27	-	5.86	-	5.11	-	4.57	-	3.63	-		
47	6.25	-	5.74	83	4.86	-	4.29	25	3.31	-		
83	5.68	104	4.85	-							83	G24A0008
84	5.73	-	5.39	-	4.66		4.13	25	3.03	-		

Tablo 4.17: t_i Ölçme Anı için En Küçük Varyans Araştırması

1.Adım			2.Adım		3.Adım		4.Adım		5.Adım		6.Adım		7.Adım	
Atılan nokta	m_0 (cm)	Uyuşumsuz nok.	m_0 (cm)	Uyuşumsuz nok.	m_0 (cm)	Uyuşumsuz nok	m_0 (cm)	Uyuşumsuz nok	m_0 (cm)	Uyuşumsuz nok	m_0 (cm)	Uyuşumsuz nok	m_0 (cm)	Uyuşumsuz nok
1	4.69	-												
8	5.06	-	4.78	-	4.53	-	4.36	-	4.21	-	3.85	-	3.41	-
11	5.14	-	4.74	-	4.42	-	4.26	-	4.03	-	3.64	-	2.97	-
48	5.10	1	4.42	-										
85	5.23	-	4.72	-	4.42	-	4.28	-	3.80	-	3.36	-	2.90	-
103	4.95	-	4.58	-	4.46	-	4.07	-	3.87	-	3.64	-	2.77	-
104	5.12	-	4.55	-	4.23	-								
25	5.29	-	4.69	-	4.24	-	3.88	-						
26	5.03	-	4.62	-	4.40	-	4.29	-	3.85	-	3.31	-	2.86	-
46	5.39	-	4.93	-	4.66	-	4.47	-	4.15	-	3.74	-	3.12	-
47	5.24	-	4.70	-	4.28	-	4.05	-	3.50	-				
83	5.21	-	4.73	-	4.41	-	4.06	-	3.61	-	3.04	-		
84	5.19	-	4.73	-	4.43	-	4.32	-	4.00	-	3.54	-	3.17	-
Uyuşumsuz Nokta No		1			48		103	104	25			47	83	
Uyuşumsuz Nokta Adı		F22-G002			G23-G001		H22-G001	H23-G001	G22A0001			G23A0007	G24A0006	

Bu yöntemin başarısı öncül varyansın seçimine bağlıdır. Bu nedenle sağlam kestirimle birlikte kullanılması durumunda daha tutarlı ve başarılı sonuçlar verebilmektedir.

4.4. İZDOGAP GPS Ağının İç Gerinimlerinin Hesaplanması

Üç boyutlu gerinim analizleri için en az dört noktadan oluşan kapalı geometrik şekillerin oluşturulması, bu geometrik şekillerin birbirleriyle olabildiğince uygun komşuluk ilişkileri ile bağlanması önerilmektedir. Öte yandan iki boyutlu gerinim analizleri için en az üç noktadan oluşan kapalı geometrik şekillerin seçilmesi yoluna

da gidilebilir. Sonuçta, tasarlanan geometrik şekillerin ağırlık merkezlerine göre hesaplanan gerinim elemanlarının ağırlıklı ortalamaları; ait oldukları alt blokların gerinimlerini de dolaylı olarak temsil edeceklerdir.

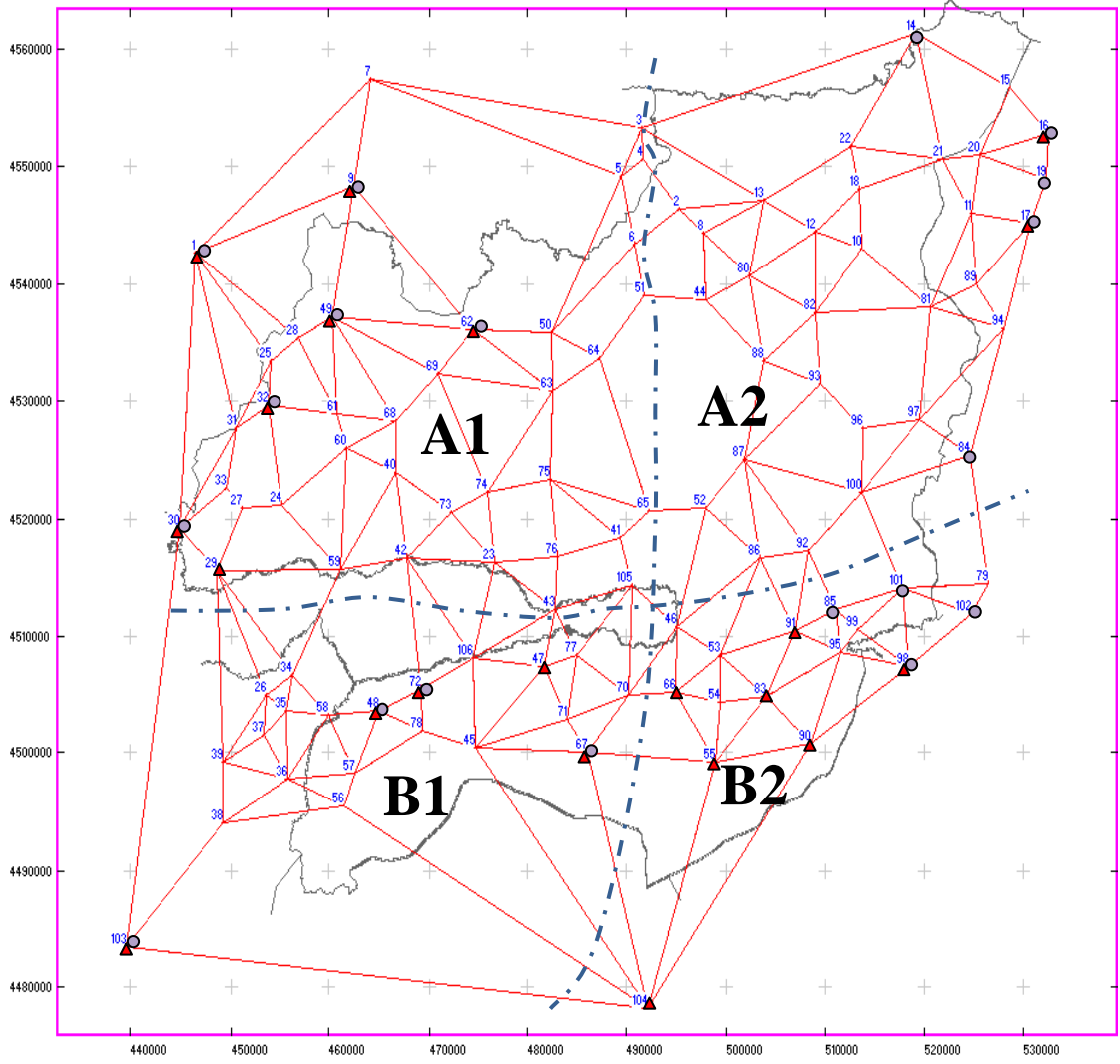
Eş değerlik testleri sonucuna göre, İZDOGAP Ağında uyuşumsuz çıkan noktaların büyük bir çoğunluğunun KAF kuşağının güney kısmında yer aldığı ve bu bölgedeki noktalar doğu ve batı olmak üzere iki farklı grupta kümelendiği görülmektedir. Öte yandan ağın Kuzey-Doğu ve Kuzey-Batı bölgesinde daha az sayıda uyuşumsuz noktaların varlığı dikkat çekmektedir.

Bu durumda İZDOGAP GPS Test Ağının;

- KAF Kuşağının kuzeyinde kalan bölgesi A Blok, güneyinde kalan bölgesi B Blok olarak adlandırılmıştır.
- Her bölgede doğu ve batı yönünde kümelenen uyuşumsuz noktaların dağılımına göre A1, A2 ve B1, B2 alt bloklar olmak üzere ayrıca iki ayrı alt blok biçiminde alt bölgelere ayrılması yoluna gidilmiştir.

Gerinim hesaplamalarında;

- Dönüşüm Modeli için iki boyutlu genişletilmiş helmert modeli kullanılmıştır.
- Her bir bloğa düşen eşlenik noktaların üç boyutlu düzeltme değerleri kullanılmıştır.
- Eşlenik noktaların üç boyutlu düzeltme değerleri, ağırlık merkezinin elipsoidal enlem ve boylam değerlerine dayalı olarak iki boyutlu yerel bir koordinat sistemine dönüştürülmüştür.
- İki boyutlu düzeltme değerlerinin elemanları kullanılarak gerinim parametreleri hesaplanmış ve bu parametreler kullanılarak gerinim elipslerinin yarı eksenleri (λ_1, λ_2) ve yarı eksen doğrultuları (θ) elde edilmiştir.
- Hesaplanan yarı eksenler işaretlerine göre, daralma ya da genişleme doğrultuları ayrı ayrı çizilmiştir. Burada yarı eksen doğrultusunun (θ) işareti pozitif (+) olursa büyük yarı eksen (λ_1) saat ibresinin yönünde, aksi durumda ise saat ibresinin tersi yönünde (θ) açısı kadar döndürülür. (Tablo 4.18, Şekil 4.6, 4.7)



Şekil 4.5: t_i ölçme anında 3B Helmert ve Genişletilmiş Helmert dönüşümlerinin karşılaştırılması (\blacktriangle 3B Helmert Dönüşümü ($m_0=2.20$ cm), \circ Genişletilmiş Helmert Dönüşümü ($m_0=2.54$ cm))

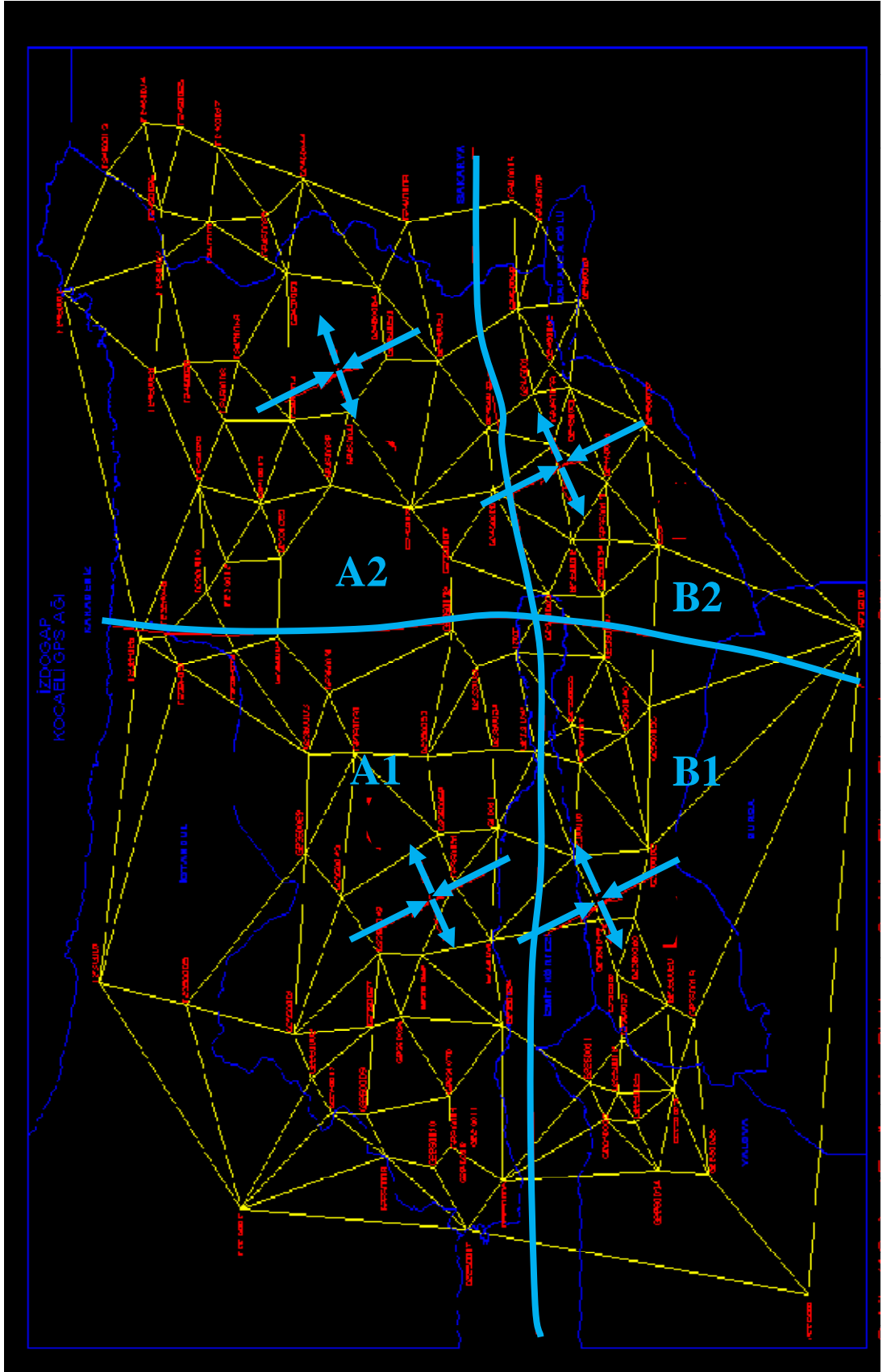
KAF kuşağının kendi ağırlık eksenini etrafında döndürülmesiyle elde edilen gerinim elemanlarının, Ağın kuzey bölgesiyle aynı olduğu görülmektedir. Bu sonuç önemli bir bulgu olarak değerlendirilmelidir. Başka bir deyişle, İZDOGAP GPS Test Ağının güney bölgesindeki plaka hareketinden kaynaklanan ayrık davranışların dönüşüm sonuçları üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle çalışma bölgemizde 3B Helmert dönüşümüne dayanan Eş Değerlik Testlerinin kullanılması yeterli olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak;

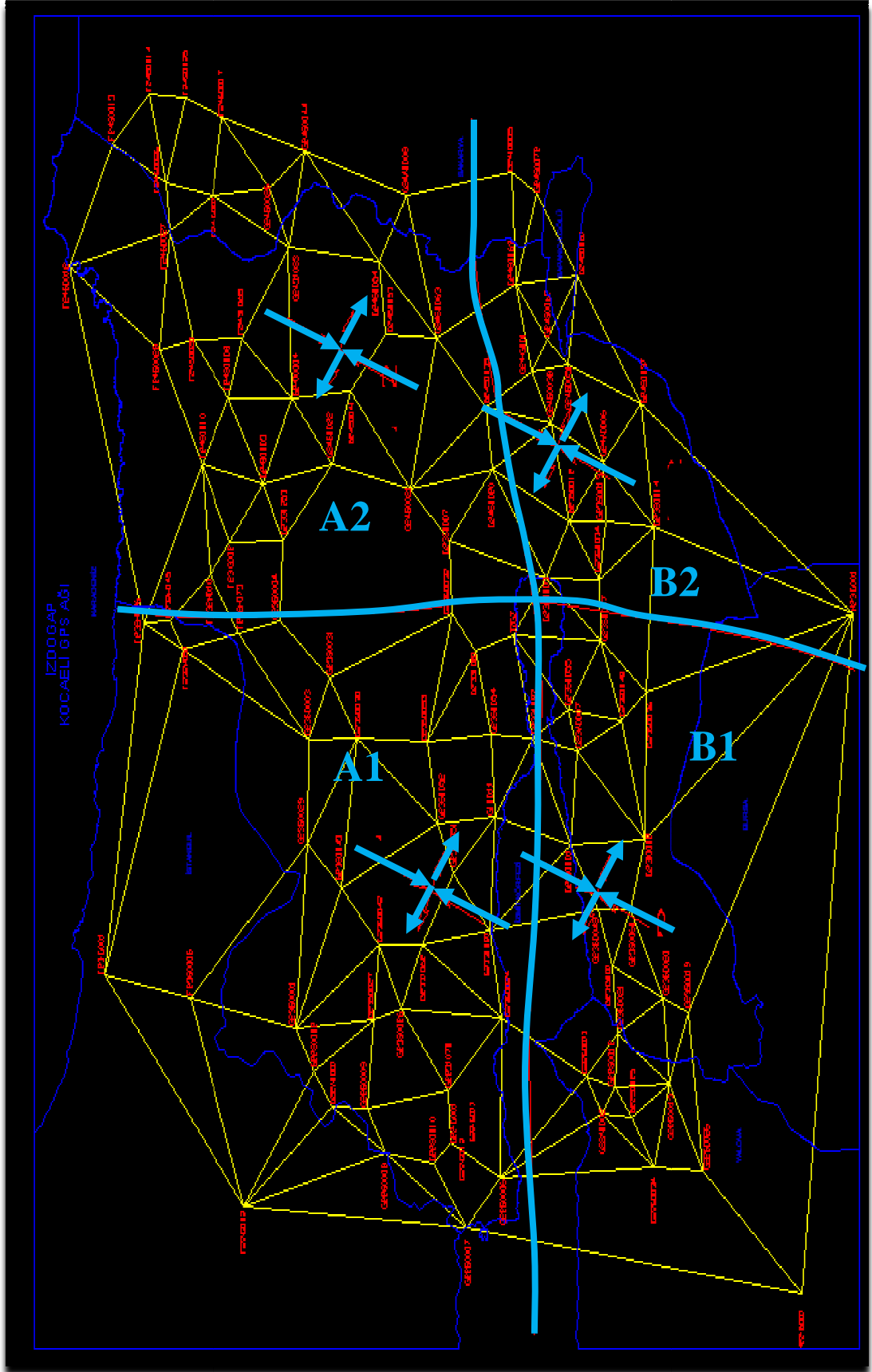
- İZDOGAP GPS Test Ağının gerinim elemanları her iki periyotta da benzer davranışlar göstermektedir.
- Ağda Kuzey-Güney doğrultusunda daralma, Doğu-Batı yönünde ise genişleme gözlenmektedir.
- Bu davranışlar KAF kuşağının güneyinde de aynı biçimde ortaya çıkmaktadır.
- Büyük yarı eksen doğrultuları birbirleriyle yakın büyüklükte fakat zıt yönlüdür.
- Özellikle sayısal bulgulara göre gerinim elemanlarının ağın datumunun seçimine bağlı olmadığı açıkça görülmektedir. (Şekil 4.6)

Tablo 4.18: t_i ve t_0 Ölçme Anları için Gerinim Elipsinin Elemanları

Blok	e_1	e_2	θ°
t_i			
A1	$5.913645838 \times 10^{-9}$	$-19.60541885 \times 10^{-9}$	75.52074
A2	$5.820622124 \times 10^{-9}$	$-19.40028666 \times 10^{-9}$	75.27312
B1	$5.899584299 \times 10^{-9}$	$-19.58683181 \times 10^{-9}$	75.45436
B2	$5.810634838 \times 10^{-9}$	$-19.32994504 \times 10^{-9}$	75.36204
t_0			
A1	$5.177646804 \times 10^{-9}$	$-15.29767877 \times 10^{-9}$	-73.24139
A2	$5.285255313 \times 10^{-9}$	$-17.0759580 \times 10^{-9}$	-73.38224
B1	$5.184833743 \times 10^{-9}$	$-15.82254692 \times 10^{-9}$	-73.29070
B2	$5.272650172 \times 10^{-9}$	$-17.08293995 \times 10^{-9}$	-73.38688



Şekil 4.6: t_1 epöğü için blokların gerinim elips elemanlarının gösterimi



Şekil 4.7: t_0 epöğü için blokların gerinim elips elemanlarının gösterimi

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

İZDOGAP GPS Test Ağı;

Önce BÖHHBÜY standartlarına göre değerlendirilmiş ve bu anlamda kendisinden beklenen işlevleri karşılayıp karşılamadıkları gözden geçirilmiştir. Eş değerlik testlerinin sonuçlarına göre İZDOGAP GPS Test Ağı, farklı hareket alanları tespit edilen dört bloğa ayrılmıştır.

İkinci adımda, ağ noktalarında beklenen olası yer değiştirmelerin algılayabilirlik düzeyleri kestirilmiştir.

Son adımda ise, ağ noktalarındaki olası yer değiştirmelerden kaynaklanan gerinim elemanlarının büyüklükleri hesaplanmıştır.

- BÖHHBÜY' ne göre serbest dengelenen İZDOGAP GPS Ağı, iç duyarlık ve güven ölçütleri yönünden irdelendiğinde; dış kuşak noktalarındaki gözlem bağlantılarından bir bölümünün “yeterince denetlenebilir” oldukları görülmüştür. Bu değerler, ağın geometrik şekline ve noktaların konumuna bağlı olarak değişmekte ve beklenen güven sınırları içerisinde kalmaktadır.
- TUTGA ve AGA noktaları kullanılarak yapılan eş değerlik testleri sonucuna göre; model hipotezi geçersiz çıkmasına karşın uyumsuz bir noktaya rastlanılmaması; TUTGA ve AGA noktalarının İZDOGAP GPS Ağı'nı yeterince temsil edemediğini göstermektedir.
- TUTGA ve AGA noktalarına ek olarak SGA noktalarının kullanılması sonucunda model hipotezinin geçersiz çıkması ve uyumsuz noktaların ayıklanabilmesi, ağın ayırma gücünün arttığını göstermektedir. Başka bir deyişle, SGA noktaları da dönüşüm modeline eklenmelidir.

- Eş değerlik testlerinin t_i ve t_0 epokları için ayrı ayrı yapılması sonucunda t_i ve t_0 epokları arasında anlamlı bir davranış farklılığının olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre $t_0= 2000.45$ epogu için verilen koordinatların bölgeyi yeterince temsil etmediği anlaşılmaktadır.
- TUTGA ve AGA noktaları için gerçekleştirilen eş değerlik testlerinde, minimum varyanslı bir arama algoritması kurulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre robust ağırlıklandırmalı minimum varyans araştırmasının uyuşumsuz ölçülere karşı daha duyarlı ve buna bağlı olarak da ayırma gücünün yeterli olduğu görülmektedir.

t_i ve t_0 epokları için gerçekleştirilen Algılayabilirlik (Sensitivity) irdelemeleri sonuçlarına göre;

- Olası yer değiştirme miktarının (d_{min}); yaklaşık koordinatlardan ve datum seçiminden bağımsız olduğu sonucuna varılmıştır.
- Ağ içerisinde farklı davranışlar göstermesi beklenen alt bölgelerde 3B Genişletilmiş Helmert Dönüşümü uygulanmıştır. Bu koşullar altında ulaşılan algılayabilirlik düzeylerinin daha da küçüldüğü, bunun sonucu olarak ağın kalitesinin arttığı görülmüştür.
- İZDOGAP GPS Ağı'nda gerçekleştirilen gerinim analizlerine göre KAF Kuşağının güney bölgesi ile kuzey bölgesi benzer özellikler göstermektedir.

Anadolu plakasının çalışma alanımıza denk düşen bölümü, KAF kuşağının batısında yer almaktadır. Bu durumda elde edilen gerinim elipsi elemanlarının ağın kuzey bölgesiyle benzer olmaları olağandır. Başka bir deyişle, daha sağlıklı ve güvenilir bir gerinim analizi yapabilmek için, çalışma alanı KAF kuşağının genel karakterini ve üzerinde bulunduğu plakanın yapısını yansıtacak büyüklükte seçilmelidir. Bu durumda jeodezik ağlar ülke temel ağı yapısında tasarlanmalıdır.

Öte yandan ani ve hızlı yerel hareketlerin beklendiği kitlelerde gerinim elemanları daha gerçekçi bilgiler verebilmektedir.

Sonuç olarak ele alınan jeodezik ağlar kitle hareketlerini yansıtacak yapıda ve sıklıkta tasarlanmalı ve değerlendirilmelidir.

Tez çalışmamızda ulaşılan bulgulara göre;

- İZDOGAP GPS Ağı; yerel alt yapı sistemlerini ortak bir datumda izleyebilecek ve denetleyebilecek yapıdadır.
- Bu noktadan hareketle; İZDOGAP Ağını Ülke Temel Ağına bağlayabilmek için, TUTGA, AGA ve SGA noktaları birlikte kullanılmalıdır.
- Bu amaçla zorunlu ve gerekli görülen eş değerlik testleri işlemlerinde üç boyutlu Helmert dönüşüm modellerinin kullanılması yeterlidir.
- İZDOGAP GPS Ağı noktalarındaki olası yer değiştirmeleri algılama gücü ya da ayırt edebilirlik düzeyinin ortalama değeri $\frac{1.82 \text{ cm}}{\sqrt{2} \text{ yıl}}$, en iyimser tahminle $\frac{1.40 \text{ cm}}{\sqrt{2} \text{ yıl}}$ olarak hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

Acar, C., Haberler-Weber, M., Ayan, T., “Bulanık Çıkarım Sistemleri ile Heyelan Bloklarının Belirlenmesi: Gürpınar Örneği”, *Jeodezi Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 38-42, (2008).

Aksoy, A., “Jeodezik Değerlerin Matematik-İstatistik Testlerle İrdelenmesi”, *Türkiye I. Harita Bilimsel Ve Teknik Kurultayı*, Ankara, 568-569, (1987).

Aksoy, A., Öztürk, E., Ayan, T., Demirel, H., Ünal, T., “Nirengi Ağları Ve Türkiye’deki Nirengi Sorunlarına Genel Bakış”, *Sivil Harita Mühendisliği Eğitim Ve Öğretiminde 40. Yı Sempozyumu*, İstanbul, 34-44, (1989).

Aydın, C., Arslan, N., Demirel, H., “Deformasyon Analizinde Duyarlık”, *Jeodezi Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 58-62, (2008).

Ayhan, M.E., Lenk, O., Demir, C., Kılıçoğlu, A., Kahveci, M., Türkezer, A., Ocak, M., Açıkgoz, M., Yıldırım, A., Aktuğ, B., Şengün, S., Kurt, İ., Fırat, O., 2001, *Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999* [online], Harita Genel Komutanlığı, http://www.hgk.msb.gov.tr/haritalar_projeler/jeodezi/tutga/default.htm, (Ziyaret Tarihi : 12 Kasım 2009).

Berber, M., “Robustness Analysis of Geodetic Networks”, *University Brunswick*, Canada, 11-27, (2006).

BÖHNBÜY, 2008: Deniz, R., Çelik, R.N., Kutoğlu, H., Özlüdemir, M.T., Demir, C., Kınık, İ., “Açıklamalı-Örnekleme Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği”, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, Ankara, 6-31, (2008).

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*, 3-12, (2006).

Dilaver, A., Konak, H., Çepni, M.S., “Jeodezik Ağlarda Uyuşumlu Ölçülerin Yerleştirilmesinde Kullanılan Yöntemlerin Davranışları”, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Dergisi*, Ankara, 17-34, (1998).

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

Eshagh, M., “Scalar Risk Functions as Criteria for Datum Definition in Geodetic Networks”, *Islamic Azad University*, İran, 3-7, (2009).

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

İZDOGAP, 2009a: Kurt, O., Konak, H., “İzgaz Doğal Gaz Alt Yapısının Ulusal Jeodezik Ağlar ve Arazi Bilgi Sistemi ile İzlenmesi Projesi (İZDOGAP)”, Teknik Rapor I, *Kocaeli*, 17-19, (2009).

İZDOGAP, 2009b: Konak, H., İnce, C. D., “İzgaz Doğal Gaz Alt Yapısının Ulusal Jeodezik Ağlar ve Arazi Bilgi Sistemi ile İzlenmesi Projesi (İZDOGAP)”, Teknik Rapor II, *Kocaeli*, 2-7, (2009).

Kahveci, M., “Konuşma Metini”, *TUSAGA-Aktif İkinci Çalıştay Paneli*, Ankara, 12-15, (2009).

Kahveci, M., “Gerçek Zamanlı Ulusal Sabit GNNS (CORS) Ağları ve Düşündürdükleri”, *Jeodezi Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 2-3, (2009).

Konak, H., “3. Derece Yüzey Ağlarının Dengelenmesi”, Kişisel Çalışma, *K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 17-30, (1990).

Konak, H., “Yüzey Ağlarının Optimizasyonu”, Doktora Tezi, *K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 35-70, (1995).

Konak, H., “Ölçme Bilgisi IV Ders Notları”, *KOÜ Mühendislik Fakültesi*, Kocaeli, 3-10, (2010).

Konak, H., “Mühendislikte Genel Amaçlı Optimizasyon Stratejileri”, Yüksek Lisans Ders Notları, *KOÜ Mühendislik Fakültesi*, Kocaeli, 6-12, (2008).

Kurt, O., “ Bilgisayar Programlama Ders Notları”, *KOÜ Mühendislik Fakültesi*, Kocaeli, 12-26, (2008).

Kurt, O., Konak, H., İnce, C. D., “The Design and Evaluation Stages of Local GNSS Networks for Monitoring Crustal Movements”, *International Earthquake Symposium*, Kocaeli, 7-9, (2009).

Öztürk, E., Şerbetçi, M., “Dengeleme Hesabı”, Cilt III, *K.T.Ü Basımevi*, Trabzon, 350-408, (1992).

Öztürk, E., “Jeodezik Ağlarda Duyarlık ve Güven Ölçütleri”, *Türkiye I. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, 641-671, (1987).

Öztürk, E., “Jeodezik Ağlarda Güven Ölçütleri ve Ölçme Planının Optimizasyonu”, *KTÜ Yayınları*, Trabzon, 87-92, (1982).

Papo, H. B., “ Datum Accuracy and its Dependence on Network Geometry”, *International Scientific And Technical Conference*, 4-9, (1999).

Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., Flannery, B. P., “Numerical Recipes in C”, *Cambridge University Press*, 371-378, (1985).

Şanlıoğlu, İ., İnal, C., “ITRF2000’nin Tanıtımı ve ITRF2000 ile Diğer Referans Ağları Arasındaki Dönüşüme Alternatif Bir Yaklaşım”, *Kocaeli Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 280-287, (2005).

Şengör, A. M. C., 1996, Kuzey Anadolu Fayı’nın Keşfi [online], TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/sandik/deprem/kaf.html>, (**Ziyaret Tarihi : 20 Mayıs 2010**).

Vanicek, P., Craymer, M. R., Krakiwsky, E. J., “Robustness Analysis of Geodetic Horizontal Networks”, *Journal Of Geodesy*, 8-10, (2001).

Weining, Q., *Robust Estimation in Adjustment of Correlative Observed Values* [online], Wuhan University, http://www1.sgg.whu.edu.cn/icct/html/icct_ppt/S9/5-Qiu_WeiNing.pdf (**Ziyaret Tarihi : 20 Ekim 2009**).

Wieser, A., “Robust and Fuzzy Techniques for Parameter Estimation and Quality Assessment in GPS”, Doktora Tezi, *TU Graz*, 35-48, (2002).

EKLER

EK-A:

Baz Sayısı :271
Nokta Sayısı :106
Serbestlik Derecesi :495
Öncül Varyans :1.00 cm

Yaklaşık Koordinatlar

NN	X0 [m]	Y0 [m]	Z0 [m]
1	4200332.4927	2363141.6788	4163958.6404
9	4189179.5932	2375365.9864	4168389.9395
85	4185375.2415	2429132.4131	4141143.2895
48	4213370.4589	2392092.3622	4134709.9035
67	4204756.9553	2411615.0199	4132091.4606
17	4156913.7735	2435352.5321	4165914.7196
30	4214351.3660	2369382.6530	4146147.9245
98	4184325.7771	2437117.2971	4137414.8406
32	4204084.0079	2374022.4056	4154185.1180
104	4214159.9547	2424031.3241	4115367.5865
49	4196669.9517	2376943.6589	4159979.6239
90	4194107.4017	2431316.5436	4133348.1198
55	4199084.1496	2423145.6617	4131627.4581
91	4188525.7547	2426265.3895	4139570.7407
66	4197744.3186	2417650.0395	4135859.6517
83	4193409.6289	2425646.0088	4135650.8371
72	4210197.3505	2395354.8903	4135897.2799
62	4190275.8768	2389841.4589	4159189.7659
47	4202878.9166	2405394.6909	4137603.5375
103	4237289.5532	2376683.3663	4119395.1685
16	4151559.2950	2434479.5692	4171654.5766
95	4187206.2717	2430834.5784	4138196.7877
70	4200068.7141	2413530.4788	4135769.8266
71	4204540.3723	2408980.2290	4134185.3549
19	4153910.4799	2435436.3890	4168753.5900
14	4153436.5649	2420062.8318	4178028.5764
84	4171154.4495	2436632.4617	4151128.8920
29	4214643.7225	2373904.1324	4143483.2110
78	4212299.5748	2396680.1033	4133394.6296
101	4181241.4364	2434588.7985	4142541.4332
28	4199368.9963	2374621.3379	4158519.2960
59	4208473.5295	2384765.6650	4143462.7242
33	4210096.9890	2372605.1931	4148885.0506
26	4218272.9904	2381727.6567	4135388.0332
8	4173951.3717	2407220.6303	4165418.7740
11	4159424.2512	2429943.8597	4166577.7238
25	4201881.3578	2372871.4948	4157007.7685
46	4194107.5008	2415763.3126	4139950.2768
12	4168227.9460	2416876.8257	4165450.9192
13	4169285.6277	2411473.1333	4167480.6896

Yaklaşık Koordinatlar

NN	X0 [m]	Y0 [m]	Z0 [m]
52	4187113.7308	2415015.5176	4147809.9710
53	4193476.7368	2420408.3150	4138055.1870
56	4219634.9393	2391616.8145	4128438.4538
57	4217508.6090	2391690.6454	4130608.4041
58	4216233.1874	2387817.5977	4134288.1172
60	4202278.8916	2381912.9145	4151594.8331
61	4201068.1167	2380284.9219	4153777.3318
63	4189204.0845	2398492.0177	4155239.0173
64	4185264.8977	2401697.7583	4157409.7407
65	4190237.4754	2410267.7077	4147767.2651
68	4198549.2077	2385474.1531	4153370.1066
69	4194155.1366	2388025.8373	4156439.1011
73	4200398.9455	2392974.0516	4147738.4852
74	4197452.1481	2395705.5907	4148875.4275
75	4193676.6634	2400757.1513	4149638.0628
76	4197069.3110	2403354.1509	4144431.6959
77	4200673.0512	2407718.8492	4138188.4230
86	4186812.4168	2421203.2268	4144282.0730
87	4182941.8039	2417171.2715	4151007.5663
88	4177128.6607	2416048.2928	4157204.7467
89	4162611.0376	2432400.8165	4162077.1542
92	4184074.0859	2425157.3805	4144742.9759
93	4175255.6949	2421577.2516	4155677.8667
94	4163285.5683	2436079.1111	4159266.5776
96	4175353.3896	2426625.4850	4152946.7056
97	4172024.4275	2431272.3857	4153409.3833
99	4185128.4021	2431765.1944	4139817.6753
100	4178535.3500	2428258.5211	4148870.3784
102	4178780.7590	2441169.7868	4140696.0372
2	4173967.3186	2404442.9739	4166894.3025
3	4171838.1608	2398889.3978	4172150.9692
4	4173226.4627	2399824.7591	4170069.6736
5	4175196.3572	2398406.7059	4169008.0159
6	4177944.8969	2401465.5798	4164675.7798
7	4183100.0060	2373837.9793	4175084.2940
10	4166712.2849	2421423.2702	4164336.5845
23	4200408.4846	2398051.6684	4143968.5755
24	4208223.8620	2377957.7673	4147775.1167
27	4210375.1441	2374621.6133	4147650.5230
40	4201061.8743	2386891.2124	4149988.5215
41	4193056.9835	2408527.9178	4145751.6027
42	4204434.3791	2390124.3855	4144327.8832
43	4199564.8590	2404561.5530	4140928.4547
44	4177108.5170	2409246.4824	4161118.4976
45	4210422.5085	2401788.6796	4132289.4754
80	4173762.9920	2412358.8621	4162655.4276
81	4166006.6174	2429066.6977	4160557.2749
82	4172146.1304	2419110.2385	4160322.4679
105	4194489.1539	2410763.5322	4142475.1164
21	4158190.5173	2425985.9708	4170090.0014
22	4162149.7853	2417645.5946	4170945.9751
31	4206891.3322	2371706.4224	4152743.0702
34	4215813.1412	2383640.7459	4136629.0036
35	4218099.9974	2383999.5403	4134514.9084
36	4221151.9257	2386132.5276	4130012.9120
106	4205913.3787	2398705.8110	4137900.9768
79	4176663.7915	2441865.3048	4142764.2537
54	4195985.4296	2421817.0748	4135525.9325
37	4220320.7168	2382616.8307	4133080.6628
38	4226817.2993	2381646.8721	4127578.9457

EK-B:

Baz Sayısı :271
Nokta Sayısı :106
Sabit Nokta Sayısı :49
Serbestlik Derecesi :642
Öncül Varyans :1.00cm

YAKLAŞIK KOORDiNATLAR

NN	X0 [m]	Y0 [m]	Z0 [m]
8	4173951.3717	2407220.6303	4165418.7740
11	4159424.2512	2429943.8597	4166577.7238
25	4201881.3578	2372871.4948	4157007.7685
46	4194107.5008	2415763.3126	4139950.2768
12	4168227.9460	2416876.8257	4165450.9192
13	4169285.6277	2411473.1333	4167480.6896
15	4151351.9869	2429848.7342	4174568.5992
18	4163765.0497	2419528.7924	4168172.5681
20	4156113.5272	2429056.9436	4170352.5462
21	4158190.5173	2425985.9708	4170090.0014
22	4162149.7853	2417645.5946	4170945.9751
31	4206891.3322	2371706.4224	4152743.0702
34	4215813.1412	2383640.7459	4136629.0036
35	4218099.9974	2383999.5403	4134514.9084
36	4221151.9257	2386132.5276	4130012.9120
37	4220320.7168	2382616.8307	4133080.6628
38	4226817.2993	2381646.8721	4127578.9457
39	4223464.5593	2379909.8694	4131227.4453
50	4186436.9006	2396759.3992	4158991.5591
51	4180079.1273	2403829.4522	4161442.1380
52	4187113.7308	2415015.5176	4147809.9710
53	4193476.7368	2420408.3150	4138055.1870
56	4219634.9393	2391616.8145	4128438.4538
57	4217508.6090	2391690.6454	4130608.4041
58	4216233.1874	2387817.5977	4134288.1172
60	4202278.8916	2381912.9145	4151594.8331
61	4201068.1167	2380284.9219	4153777.3318
63	4189204.0845	2398492.0177	4155239.0173
64	4185264.8977	2401697.7583	4157409.7407
65	4190237.4754	2410267.7077	4147767.2651
68	4198549.2077	2385474.1531	4153370.1066
69	4194155.1366	2388025.8373	4156439.1011
73	4200398.9455	2392974.0516	4147738.4852
74	4197452.1481	2395705.5907	4148875.4275
75	4193676.6634	2400757.1513	4149638.0628
76	4197069.3110	2403354.1509	4144431.6959
77	4200673.0512	2407718.8492	4138188.4230
86	4186812.4168	2421203.2268	4144282.0730
87	4182941.8039	2417171.2715	4151007.5663
88	4177128.6607	2416048.2928	4157204.7467
89	4162611.0376	2432400.8165	4162077.1542
92	4184074.0859	2425157.3805	4144742.9759
93	4175255.6949	2421577.2516	4155677.8667
94	4163285.5683	2436079.1111	4159266.5776
96	4175353.3896	2426625.4850	4152946.7056
97	4172024.4275	2431272.3857	4153409.3833
99	4185128.4021	2431765.1944	4139817.6753

Yaklaşık Koordinatlar

NN	X0 [m]	Y0 [m]	Z0 [m]
100	4178535.3500	2428258.5211	4148870.3784
102	4178780.7590	2441169.7868	4140696.0372
2	4173967.3186	2404442.9739	4166894.3025
3	4171838.1608	2398889.3978	4172150.9692
4	4173226.4627	2399824.7591	4170069.6736
5	4175196.3572	2398406.7059	4169008.0159
6	4177944.8969	2401465.5798	4164675.7798
7	4183100.0060	2373837.9793	4175084.2940
10	4166712.2849	2421423.2702	4164336.5845
23	4200408.4846	2398051.6684	4143968.5755
24	4208223.8620	2377957.7673	4147775.1167
27	4210375.1441	2374621.6133	4147650.5230
40	4201061.8743	2386891.2124	4149988.5215
41	4193056.9835	2408527.9178	4145751.6027
42	4204434.3791	2390124.3855	4144327.8832
43	4199564.8590	2404561.5530	4140928.4547
44	4177108.5170	2409246.4824	4161118.4976
45	4210422.5085	2401788.6796	4132289.4754
80	4173762.9920	2412358.8621	4162655.4276
81	4166006.6174	2429066.6977	4160557.2749
82	4172146.1304	2419110.2385	4160322.4679
105	4194489.1539	2410763.5322	4142475.1164
106	4205913.3787	2398705.8110	4137900.9768
79	4176663.7915	2441865.3048	4142764.2537
54	4195985.4296	2421817.0748	4135525.9325
1	4200332.4927	2363141.6788	4163958.6404
9	4189179.5932	2375365.9864	4168389.9395
85	4185375.2415	2429132.4131	4141143.2895
48	4213370.4589	2392092.3622	4134709.9035
67	4204756.9553	2411615.0199	4132091.4606
17	4156913.7735	2435352.5321	4165914.7196
30	4214351.3660	2369382.6530	4146147.9245
98	4184325.7771	2437117.2971	4137414.8406
32	4204084.0079	2374022.4056	4154185.1180
104	4214159.9547	2424031.3241	4115367.5865
49	4196669.9517	2376943.6589	4159979.6239
90	4194107.4017	2431316.5436	4133348.1198
55	4199084.1496	2423145.6617	4131627.4581
91	4188525.7547	2426265.3895	4139570.7407
66	4197744.3186	2417650.0395	4135859.6517
83	4193409.6289	2425646.0088	4135650.8371
72	4210197.3505	2395354.8903	4135897.2799
62	4190275.8768	2389841.4589	4159189.7659
47	4202878.9166	2405394.6909	4137603.5375
103	4237289.5532	2376683.3663	4119395.1685
16	4151559.2950	2434479.5692	4171654.5766
95	4187206.2717	2430834.5784	4138196.7877
70	4200068.7141	2413530.4788	4135769.8266
71	4204540.3723	2408980.2290	4134185.3549
19	4153910.4799	2435436.3890	4168753.5900
14	4153436.5649	2420062.8318	4178028.5764
84	4171154.4495	2436632.4617	4151128.8920
29	4214643.7225	2373904.1324	4143483.2110
78	4212299.5748	2396680.1033	4133394.6296
101	4181241.4364	2434588.7985	4142541.4332
28	4199368.9963	2374621.3379	4158519.2960
59	4208473.5295	2384765.6650	4143462.7242
33	4210096.9890	2372605.1931	4148885.0506
26	4218272.9904	2381727.6567	4135388.0332

ÖZGEÇMİŞ

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. 2004-2007 yılları arasında özel sektörde çalıştı. 2006 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2007 yılından itibaren Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Jeoinformasyon Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.