

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEODEZİ VE JEOİFORMASYON MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEODEZİK AĞLARDA DEFORMASYON SONUÇLARININ
YORUMLANMASI VE KALİTE SORGULAMASI

ASLIHAN KARAÖZ

KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEODEZİ VE JEOİNFORMASYON MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEODEZİK AĞLARDA DEFORMASYON SONUÇLARININ
YORUMLANMASI VE KALİTE SORGULAMASI

ASLIHAN KARAÖZ

Prof. Dr. Haluk KONAK
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Dr. Öğr. Üyesi Cankut Dağdal İNCE
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA
Jüri Üyesi, Karadeniz Teknik Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 28.01.2022

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☐ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☒ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (KOU- BAP) tarafından desteklenen KOU BAP 2003/62 no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Aslıhan KARAÖZ

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır. Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim. Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- ☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Aslıhan KARAÖZ

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışma yüksek lisans eğitimi çerçevesinde yüksek lisans tezi olarak sunulmak üzere gerçekleştirilmiştir. Tezimizin sayısal uygulama ve irdeleme bölümünde, Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (KOU BAP) Koordinasyon Birimince desteklenmiş olan bir araştırma kapsamında tesis edilen KOUSAGA ağı uygulama ağı olarak kullanılmıştır. İki farklı periyotta gerçekleştirilen ölçülerin topluca değerlendirildiği bu ağda kalite düzeyleri olarak adlandırılan duyarlık ve güven ölçütleri irdelenmekte, konum değişimleri ve olası deformasyonlar algılayabilirlik düzeyleri ile birlikte sorgulanmakta ve yorumlanmaktadır.

Bu süreçte benden ilgi, bilgi ve desteğini hiç esirgemeyen sevgili hocam Prof. Dr. Haluk KONAK'a, verilerin elde edilmesi ve düzenlenmesi sürecinde gerekli kolaylıkları sağlayan Araş. Gör. Dr. Pakize KÜREÇ NEHBİT hocama ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmayı yaparken çalışmalarından yararlandığım tüm bilim insanlarına teşekkür ederim. Her zaman ve her anlamda yanımda olan sevgili aileme özellikle teşekkür ederim. Bu çalışmayı biricik anneme ve biricik babama ithaf ediyorum.

Ocak - 2022

Aslıhan KARAÖZ

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. JEODEZİK AĞLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	5
2.1. Serbest Ağ Dengelemesi	5
2.2. Hipotez Testleri.....	9
2.3. Jeodezik Ağlarda Kalite Ölçütleri.....	11
2.3.1. Duyarlık Ölçütleri	11
2.3.2. Güven Ölçütleri	13
3. DEFORMASYON ANALİZİ	16
3.1. Sabit Noktaların Sorgulanması	18
3.1.1. Benzerlik Dönüşümü ve Sabit Noktaların Belirlenmesi	19
3.1.2. Parametre Anlamlılık Testleri ile Sabit Noktaların Sorgulanması.....	21
3.2. Deformasyon Modeli	22
3.2.1. Global Uyum Testi	23
3.2.2. Bağlı Güven Elipsoitleri ile Deformasyon Analizi	24
4. DEFORMASYON SONUÇLARININ YORUMLANMASI	27
4.1. Algılayabilirlik Analizi	27
4.1.1. Global Algılayabilirlik Analizi	27
4.1.2. Bağlı Algılayabilirlik Analizi.....	30
4.2. Jeodezik Ağlarda Gerinim Analizleri	31
4.2.1. Gerilim (Stress)	32
4.2.2. Gerinim (Strain)	34
4.3. Afın Dönüşüm Modeli İle Gerinim Elemanlarının Belirlenmesi	37
4.4. Farklı Kestirim Yöntemleri ile Gerinim Analizi.....	39
5. UYGULAMA.....	44
5.1. Ağ Düzeninde Toplu Değerlendirme İşlemleri.....	45
5.2. Hipotez Testleri.....	46
5.3. Kalite Ölçütleri	47
5.4. Deformasyon Analizi	48
5.5. Algılayabilirlik Analizi	52
5.6. Gerinim Analizi	54
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR.....	63
EKLER	66
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER.....	90
ÖZGEÇMİŞ.....	91

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1.	Çekme Gerilimi	33
Şekil 4.2.	Baskı Gerilimi.....	33
Şekil 4.3.	Kesme Gerilimi.....	33
Şekil 4.4.	Gerinim Modelleri	34
Şekil 5.1.	KOUSAGA Ağı (BURS Noktası Hariç)	45
Şekil 5.2.	2009 ve 2010 Periyodunda Redündan Değerleri	48
Şekil 5.3.	2009 ve 2010 Periyodunda İç Güven Ölçütü Değerleri	48
Şekil 5.4.	2009 ve 2010 Periyodunda Dış Güven Ölçütü Değerleri	48
Şekil 5.5.	KOUSAGA 2009 ve 2010 Global Algılayabilirlik Dağılımı: (d_{min} ve d_{max})	52
Şekil 5.6.	Bağıl Algılayabilirlik Analizi (d_{min} -bağıl, d_{max} -bağıl)	53
Şekil 5.7.	Kocaeli Üniversitesi Sabit GPS Test Ağı (KOUSAGA) (Kırmızı: EKT çözümü, Mavi: EKKO çözümü, Kesikli çizgi: Her iki yöntemde de dışlanan ağırlık merkezi noktası).....	56
Şekil 5.8.	Diferansiyel Dönme Gerinimi EKKO	59
Şekil 5.9.	Diferansiyel Dönme Gerinimi EKT.....	59
Şekil 5.10.	Diferansiyel Dönme Gerinimi EKK	60

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1.	Datum Parametreleri	5
Tablo 2.2.	Uyuşumsuz Ölçü Test Büyüklükleri.....	10
Tablo 2.3.	Test Büyüklüğünün Sınır Değeri	10
Tablo 5.1.	Ölçme Zamanı Bilgileri	44
Tablo 5.2.	KOUSAGA Ağı 2009 Periyodu Değerlendirme Sonuçları	45
Tablo 5.3.	KOUSAGA Ağı 2010 Periyodu Değerlendirme Sonuçları	46
Tablo 5.4.	Ağın Tamamı için 3B Benzerlik (Helmert) Dönüşümü	49
Tablo 5.5.	ISTA (1005), SLEE (2006), ZONG (2012), TEKR (2001) Eşlenik Noktalar Kümesinde 3B Benzerlik (Helmert) Dönüşümü.....	50
Tablo 5.6.	ISTA (1005), SLEE (2006), ZONG (2012) Eşlenik Noktalar Kümesinde 3B Benzerlik (Helmert) Dönüşümü.....	50
Tablo 5.7.	Algılayabilirlik ve Deformasyon Analizi	54
Tablo 5.8.	Eşlenik Nokta Grupları	57
Tablo 5.9.	En Küçük Kareler Kestirimi ve Gerinim Elemanları	57
Tablo 5.10.	En Küçük Toplam Kestirimi ve Gerinim Elemanları	58
Tablo 5.11.	En Küçük Kareler Ortanca Kestirimi ve Gerinim Elemanları.....	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Bilinmeyenlerin katsayılar matrisi
d	: Deformasyon vektörü
F	: Ölçülerin/bilinmeyenlerin herhangi bir fonksiyonu
f	: Serbestlik derecesi
G	: Dönüşüm katsayılar matrisi
h	: Jeodezik ağların boyutu
l	: Ölçüler vektörü
N	: Normal denklem katsayılar matrisi
n	: Ölçü sayısı
P	: Ağırlık matrisi
p	: Nokta sayısı
q	: Testin sınır değeri
Q_{ll}	: Ölçülerin ters ağırlık matrisi
Q_{vv}	: Düzeltmelerin ters ağırlık matrisi
Q_{xx}	: Bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi
r_i	: Redundanz payı
S	: Öz vektörler
T_i	: Test büyüklüğü
u	: Bilinmeyen sayısı
v	: Düzeltmeler vektörü
w_o	: Dış merkezlik parametresi
x	: Dengeleme bilinmeyenleri
α	: Yanılma olasılığı
Δi	: İç güven ölçütü
δ_{oi}	: Dış güven ölçütü
s_0^2	: Öncül varyans
λ	: Öz değerler
m_0^2	: Soncul varyans

Kısaltmalar

BAP	: Bilimsel Araştırma Projeleri
EKK	: En Küçük Kareler
EKKO	: En Küçük Kareler Ortanca
EKT	: En Küçük Toplam
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
İZGAZ	: İzmit Gaz Dağıtım Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
KAF	: Kuzey Anadolu Fay Hattı
KOU	: Kocaeli Üniversitesi
KOUSAGA	: Kocaeli Üniversitesi Sabit GPS Ağı

JEODEZİK AĞLARDA DEFORMASYON SONUÇLARININ YORUMLANMASI VE KALİTE SORGULAMASI

ÖZET

Jeodezik ağılar günümüzde çeşitli amaçlar için oluşturulmakta ve kullanılmaktadır. Bir jeodezik kontrol ağının başarıyla oluşturabilme sürecinde duyarlılığı ve güvenilirliği yani kısaca kalitesi de çok önemlidir. Bu çalışmanın temel amacı bu süreci vurgulamak ve kalite ölçütlerinin nasıl sağlanabileceği konusunda yol göstermektir. Bu amaçla; ilk aşamada farklı periyotlara ait ölçüler ağ düzeninde ayrı ayrı değerlendirilmiştir. İkinci aşamada duyarlılık ve güvenilirlik yönünden gözden geçirilen jeodezik ağ sonuçları, güvenilir bir eşlenik noktalar kümesinin tanımladığı ortak bir datumda topluca değerlendirilmekte ve bağıl güven elipsleri yardımıyla bir deformasyon irdeleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Son aşamada ise, olası deformasyon sonuçları ve bu deformasyonları algılayabilme düzeyleri sorgulanmaktadır. Bu aşamada ayrıca deformasyonların yol açtığı olası noktasal gerinimler, farklı kestirim yöntemleriyle irdelenmekte ve yorumlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Algılayabilirlik Analizi, Bağıl Güven Elipsi, Deformasyon Analizi, Gerinim Analizi, Kalite Sorgulaması.

INTERPRETATION OF DEFORMATION RESULTS AND QUALITY INVESTIGATION IN GEODESIC NETWORKS

ABSTRACT

Geodetic networks are being created and used for various purposes. In addition to successfully building a network, precision and reliability are also important that is quality. The purpose of this study is to draw attention to this and show how to make quality criterias. At first stage, the measurements of different epochs were evaluated. Afterwards, sensitivity and reliability criteria were reached by taking advantage of the results obtained. In the last stage, it is presented by making sensitivity and strain analysis.

Keywords: Sensitivity Analysis, Relative Reliability Ellipse, Deformation Analysis, , Strain Analysis, Quality Investigation.



1. GİRİŞ

Jeodezi, fiziksel yeryüzünün modellenmesiyle birlikte dünya üzerindeki alanların mekânsal verilerini üç boyutlu olarak belirleyebilen, ölçme, veri işleme ve değerlendirme işlemlerini konu alan bir bilim dalıdır. Buna bağlı olarak jeodezik ağlar, belirli bir amaç çerçevesinde optimize edilebilen, yönetilebilen, değerlendirilebilen noktalar bütünüdür. Jeodezik ağların oluşturulmasında amaç ne olursa olsun dikkat edilen ana unsurlar daima güvenilir ve duyarlı olmasıdır. Bu sebeple oluşturulan ağlar bazı analiz ve testlerden geçirilir. Bunlara örnek olarak duyarlılık ve güvenilirlik irdeleme ve sorgulama uygulamaları, uyşumsuz ölçü testleri, deformasyon analizi, algılayabilirlik, sağlamlık ve gerinim analizleri verilebilir.

Jeodezik çalışmaların en önemli kısımlarından birisi büyük mühendislik yapılarındaki veya yeryuvarı yüzeyindeki deformasyonları araştırmaktır. Tektonik hareketler sonucunda ortaya çıkan plaka hareketlerinin yol açtığı deformasyonlar veya büyük yapılarda (örneğin barajlar) meydana gelebilecek deformasyonlar insan yaşamıyla doğrudan ilişkilidir.

Ülkemiz kuzeyde Avrasya, güneyde Afrika, güneybatıda Arap levhaları arasındaki Anadolu levhası üzerinde yer almaktadır (Küreç Nehbit, 2018). Buna ilaveten ülkemizde bulunan Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAF), Doğu Anadolu Fay Hattı (DAF) ile Batı Anadolu Fay Hattı (BAF) oldukça hareketli yer kabuğu faaliyetlerine sebep olmaktadır. Bu sebeplerle yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi, davranışlarının araştırılması ve önlem alınması amacıyla kurulan jeodezik ağların sağlam, güvenilir ve oldukça duyarlı olması beklenir.

Günümüzde gelişen teknoloji ve bilgisayar sistemleri ile verilerin oluşturulması, depolanması, değerlendirilmesi işlemleri eskiye nazaran çok daha kolay ve etkili bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Jeodezik ağlar küresel konumlandırma araçları ve uydular sayesinde anlık olarak takip edilebilmekte, verilere ise anlık olarak erişilebilmektedir. Bu sayede herhangi bir amaç fonksiyonu doğrultusunda istenilen sıklıkta tesis edilen ağlara ilişkin gözlem ve duyarlılık bilgileri kolayca elde edilip değerlendirilebilmektedir.

Tüm bu gelişmelerden yararlanarak oluşturulan jeodezik ağların deformasyon analizi amacıyla kullanılması durumunda, ağın zaman içinde maruz kaldığı deformasyon büyüklüklerini tespit etmenin yanı sıra, deformasyona ne kadar dayanıklı olduğu, deformasyon miktarlarını ne kadar algıladığı sorularına da yanıt aranması gereklidir. Bu sorular bizi jeodezik ağlarda sağlamlık ve algılayabilirlik analizlerinin, en az ağdaki duyarlık ve güven ölçütlerinin sorgulanması kadar önemli olduğu sonucuna ulaştırır.

Sözü edilen gerekçelerden yola çıkılarak;

1. Tezimizin sayısal uygulama modeli olarak seçilen Kocaeli Üniversitesi Sabit GPS Ağı'nın (KOUSAGA) farklı iki ayrı periyotta gerçekleştirilen GPS gözlemleriyle birlikte topluca değerlendirilmesi, ağda gerçekleştirilen gözlemlerin kalite düzeylerinin araştırılması ve uyşumsuz ölçülerin belirlenmesi,
2. İki periyot arasında KOUSAGA test ağına ilişkin nokta konumlarının anlamlı bir deformasyona uğrayıp uğramadığının araştırılması,
3. KOUSAGA ağında olası global ve bağıl algılayabilirlik düzeylerinin araştırılması,
4. KOUSAGA için verilen yıllık hız alanı bilgilerini kullanarak; farklı kestirim yöntemlerine dayanan gerinim analizleri ve sonuçların karşılaştırılması işlemleri adımlar halinde sırasıyla gerçekleştirilmektedir.

İkinci bölümde, “Jeodezik Ağların Değerlendirmesi” başlığı altında, herhangi bir datum tanımından bağımsız serbest ağ dengelemesi ve yöntemleri, ağ dengelemesinde kurulan modelin test edilmesine ilişkin model hipotezi testi, dengelemeye katılan ölçülerin uygunluğunu sorgulayan uyşumsuz ölçüler testi ve son olarak da ağın güvenilirliğini ve duyarlığını sergileyen duyarlık ve güven ölçütlerinin hesaplanmasına ilişkin kuramsal temeller üzerinde açıklamalar yapılmıştır.

Üçüncü bölümde “Deformasyon Analizi” başlığı altında, jeodezik ağlarda deformasyon analizinin amacı, deformasyon analizi modelleri, farklı zamanlarda ölçülen ve değerlendirilen bir ağda herhangi bir deformasyon olup olmadığı konusunda bilgi veren global uyum testi, deformasyon analizi yöntemlerinde konumu değişmeyen noktaların doğru şekilde belirlenebilmesi amacıyla bu tezde kullanılan sabit nokta kararlılık testleri ve bağıl güven elipsi ile deformasyon analizi yöntemi hakkında temel bilgiler verilmektedir.

Dördüncü bölümde, “Deformasyon Sonuçlarının Yorumlanması” başlığı altında, gerçekleştirilen deformasyon analizi işlemleri sonucunda elde edilen sonuçların yorumlanması, bu amaçla en küçük konumsal yer değiştirme değeri, başka bir deyişle deformasyon modelinin duyarlılığı olarak tanımlanabilen global algılayabilirlik analizi ve deformasyon (obje, nesne) noktalarının duyarlılığı hakkında bilgi veren bağıl algılayabilirlik analizi yöntemleri açıklanmıştır.

Bu bölümde ayrıca, “Jeodezik Ağlarda Gerinim Analizleri” alt başlığı altında, ağın deformasyona karşı direnci hakkında önemli bilgiler taşıyan bileşenler olarak gerinim ve gerilim kavramları üzerinde durulmakta, afin dönüşüm yöntemi ile gerinim elemanlarının belirlenmesi ve farklı kestirim yöntemlerine (EKK, EKKO, EKT) dayanan gerinim analizi işlemleri açıklanmaktadır.

Beşinci bölümde sayısal uygulamaya yer verilmiştir. Bu bölümde; sayısal test modeli olarak seçilen KOUSAGA ağına ilişkin 2009 ve 2010 yıllarına ait 8 saatlik ölçüm verileri kullanılmıştır. Bu test ağı ölçüleri her bir periyotta ayrı ayrı serbest ağ dengelemesi yöntemiyle topluca değerlendirilmiş, matematik modelin geçerliliği model hipotezi testi ve uyumsuz ölçüler testi yapılarak denetlenmiştir.

İkinci aşamada, deformasyon analizinde kullanılmak üzere güvenilir sabit noktaların (eşlenik, kararlı noktaların) araştırılması işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sabit noktaların belirlenmesinde bazı öncül bilgilerden yararlanılmıştır. Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAF) çevresinde tesis edilmiş olan 12 noktalı KOUSAGA ağına ilişkin fay hattının kuzeyinde kalan ağ noktaları, aynı zamanda neredeyse hiç hareketsiz olduğu düşünülen Avrasya Plakası üzerinde yer almaktadır. Bu nedenle sabit noktalar özellikle bu bölgede araştırılmıştır. Bu işlemler üç ayrı eşlenik noktalar kümesinde gerçekleştirilmiştir: Ağa ilişkin 12 noktadan oluşan tüm eşlenik noktalar kümesi, KAF’ın kuzeyinde seçilen 1005 (ISTA)- 2006 (SLEE)- 2012 (ZONG)- 2001 (TEKR) noktalarından oluşan 4 noktalı eşlenik noktalar kümesi ve KAF’ın kuzeyinde seçilen 1005 (ISTA)- 2006 (SLEE)- 2012 (ZONG) noktalarından oluşan 3 noktalı eşlenik noktalar kümesinde 3 boyutlu Benzerlik (Helmert) Dönüşümü işlemleri ayrı ayrı uygulanmıştır. Dönüşüm işlemleri sonucunda elde edilen parametrelerin anlamlı olup olmadıkları parametre anlamlılık testi kullanılarak sınanmış ve test sonuçları karşılaştırılarak sabit noktaların yerleri kesinleştirilmiştir.

Ağdaki deformasyon varlığının ve büyüklüğünün tespiti için Bağlı Güven Elipsoitlerine dayanan bir Deformasyon Analizi Yöntemi uygulanmıştır. Kurulan modele göre periyot gözlemlerinin topluca (birlikte) dengelenmesinden elde edilen konumsal fark vektörünün kesin değeri ve varyans büyüklüklerinden (d_i, σ_{di}) yararlanarak global uyum testleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler sonucunda iki periyot arasında geçen sürede ağ nokta konumlarından herhangi birisinde anlamlı bir yer değiştirmenin olup olmadığı (deformasyona uğrayıp uğramadığı) tespit edilmiştir. Daha sonra fark vektörünün ters ağırlık matrisinden (Q_{dd}) yararlanarak güven elipsoitinin elemanları hesaplanmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Bu bölümde; 2009 ve 2010 periyotlarında ağ noktalarının tamamından oluşan datum (eşlenik) noktalarını temsil eden ve her biri için ayrı ayrı hesaplanan Global Algılayabilirlik Değerleri ile iki periyot arasında deformasyon noktalarındaki değişimi temsil eden ve Bağlı Deformasyon Elipsoitlerinden elde edilen Bağlı Algılayabilirlik Değerleri karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir. Sonuçlar grafik yorumlarıyla birlikte karşılaştırma amaçlı olarak bu bölüme eklenmiştir.

Tezin temel amacı olmamakla birlikte; son bir uygulama olarak tüm ağ noktaları için EKK, EKT ve EKKO kestirim yöntemlerine dayanan deneysel gerinim işlemleri ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmalı olarak yorumlanmıştır.

Sonuç ve öneriler bölümünde; sayısal uygulama sürecinde elde edilen sonuçlar bu alana ilgi gösteren araştırmacılara ve mühendislere yol gösterici önerilerle birlikte özetlenmektedir.

2. JEODEZİK AĞLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

2.1. Serbest Ağ Dengelemesi

Dengeleme hesabının amacı; gereğinden fazla sayıda yapılmış ölçülerden hiçbirini seçip ayıklamaksızın bilinmeyenlerin “kesin değer” ya da “dengeli değer” diye adlandırılan en uygun değerlerini belirlemek, ölçülerin kesin değerlerini bunların fonksiyonlarının duyarlıklarını (ortalama hatalarını) ve güvenilirliklerini saptamaktır. (Öztürk ve Şerbetçi, 1989)

Oluşturulan ağın türüne, ulaşılmak istenen amaca, kullanılan ölçü türlerine göre çeşitli dengeleme modelleri kullanılabilir. Serbest ağ dengelemesi yöntemi kullanılarak; dengeli ölçüler, bilinmeyenlerin bir fonksiyonundan elde edilen diğer büyüklükler ve ölçülerin güvenilirlik düzeyleri datumdan bağımsız olarak elde edilebilmektedir. Aynı şekilde ağdaki noktaların tamamının ya da bir bölümünün datumu belirleyen noktalar olarak seçildiği deformasyon analizi işlemlerinde serbest ağ dengelemesi yöntemleri kullanılır. Ağın türüne göre, başka bir kaynaktan belirlenmesi gereken ve ağın uzaydaki yeri, yönü ve ölçeği hakkında bilgi taşıyan datum parametreleri Tablo 2.1’de gösterilmiştir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

Tablo 2.1. Datum Parametreleri

Ağın Türü	Datum Parametreleri	Parametre Sayısı
Nivelman ya da Trigonometrik Yükseklik Ağları	Başlangıç Noktasının Yüksekliği	1
Dizi Yöntemiyle Gözlenen Doğrultuların Dengelenmesi	Başlangıç Doğrultusunun Değeri	1
Yalnız Doğrultuları Gözlenen Yatay Konum Ağları	Koordinat Eksenleri Yönünde 2 Öteleme, 1 Dönme ve 1 Ölçek Katsayısı	4
Doğrultu – Kenar Ağları	Koordinat Eksenleri Yönünde 2 Öteleme, 1 Dönme	3
Yalnız Yatay ve Düşey Doğrultuları Gözlenen Üç Boyutlu Ağlar	Koordinat Eksenleri Yönünde 3 Öteleme, Eksenler Etrafında 3 Dönme ve 1 Ölçek Katsayısı	7
Üç Boyutlu Doğrultu – Kenar Ağları	Koordinat Eksenleri Yönünde 3 Öteleme, Eksenler Etrafında 3 Dönme	6

Serbest ağ dengelemesinde tüm noktalar bilinmeyen olarak seçildiği için Tablo 2.1’de sözü edilen datum parametreleri belirsiz kalır ve dolayısıyla bu ağlarda datum bozukluğu (datum defekti) oluşur. Normal denklemlerin katsayılar matrisinin (N) tersi bilinen yöntemlerle doğrudan hesaplanamaz. N matrisi, tekil bir matris olma özelliği taşır, yani bu matrisin determinantı sıfırdır. Bu problem normal denklemler katsayılar matrisinin pseudo (genelleştirilmiş) inversi olarak da bilinen Moore – Penrose ters alma yöntemiyle tersi alınarak çözülür. Başka bir deyişle; serbest dengelenen ağlarda datum defektinin giderilmesi için yaklaşık koordinatlar kümesi üzerine ortogonal özellikli bir benzerlik dönüşümü işlemi gerçekleştirilmiş olur. Böyle bir dönüşüm işlemi için kullanılan ortogonal özellikli G matrisinde sütun sayısı ağın datum parametre sayısı kadardır ve bu sayılar Tablo 2.1’de gösterildiği üzere genellikle bellidir.

Serbest dengelemenin amaç fonksiyonu:

$$\Omega = v^T P v + x^T x \Rightarrow \text{minimum}$$

biçiminde kurulabilir. A bilinmeyenlere ait katsayılar matrisi, $P = Q_{ll}^{-1}$ ağırlık matrisi, Q_{ll} ölçülerin ters ağırlık matrisi, l ölçüler, v düzeltmeler, G dönüşüm matrisi ve x bilinmeyenler olmak üzere dengeleme sonuçları aşağıdaki gibi elde edilebilir. (Denklem 2.1 – 2.13) Fonksiyonel Model;

$$l + v = Ax \quad (2.1)$$

Koordinat bilinmeyenleri arasında kurulan benzerlik dönüşümü koşulu yazılarak;

$$B^T x = 0 \quad (2.2)$$

biçiminde genişletilirse datum sayısı kadar belirsizliklerin giderildiği;

$$\begin{bmatrix} x \\ k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{xx} & Q_{xk} \\ Q_{kx} & Q_{kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A^T P l \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

çözüm kümesine ulaşılır. Bu çözüm kümesine göre $Q_{xk} = Q_{kx}^T = G(B^T G)^{-1}$, $Q_{kk} = 0$ ve $Q_{xx} = (N + B B^T)^{-1} - Q_{xk} Q_{kx}$ olarak elde edilir. Bu durumda dengeleme bilinmeyenleri;

$$x = Q_{xx} A^T P l \quad (2.4)$$

$$x = \{(N + BB^T)^{-1} - G(B^T G)^{-1}(G^T B)^{-1}G^T\}A^T P l \quad (2.5)$$

olarak elde edilebilmektedir. Burada bilinmeyenlerin ters ağırlıklar matrisi (Q_{xx}), iz değeri en küçük olan bir karesel kestirim değeridir ve Normal Denklemlerin Genelleştirilmiş en uygun tersi olarak elde edilir;

$$Q_{xx} = \{(N + BB^T)^{-1} - G(B^T G)^{-1}(G^T B)^{-1}G^T\} \quad (2.6)$$

Elde edilen çözüm vektörü de ümit değere bağlı yansız bir kestirim olarak gerçekleşir (Niemeier, 2002).

Bu durumda düzeltmeler dengeleme modelini genişletmeksizin;

$$v = Ax - l \quad (2.7)$$

eşitliği kullanılarak doğrudan hesaplanır.

Burada B matrisi GPS ağırları için;

$$B_i = E_i G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{p} & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{p} & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sqrt{p} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1/\sqrt{p} & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{p} & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sqrt{p} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

biçiminde düzenlenebilmekte ve datum tanımını için eşlenik noktaların yerlerini belirlemekte kullanılmaktadır. Bu durumda serbest ağ dengelemesi işlemleri farklı amaç fonksiyonlarını sağlayacak biçimde uygulanabilir:

Zorlamasız Ağ Dengelemesi: Amaç fonksiyonu; $\Omega_d \Rightarrow v^T P v + x_d^T x_d \rightarrow \min$. olmak üzere klasik serbest ağ dengelemesi için oluşturulan A katsayılar matrisinden datum defekti sayısı kadar (d) sütunun çıkarılması veya datum defekti sayısı kadar koordinat bilinmeyeninin sabit kabul edilmesi ile oluşturulan modeldir. Bu dengeleme modelinde normal denklemler katsayılar matrisinin determinantı sıfırdan farklıdır yani tersi

doğrudan alınabilir. Sabit kabul edilen noktalar datumu belirleyen noktalardır ve dengeleme sonucunda sabit kabul edilen noktalardan uzaklaştıkça nokta konum hataları artar.

Kısmi İz Minimum Koşullu Serbest Ağ Dengelemesi: Kısmi iz minimum koşulu altında amaç fonksiyonu; $\Omega_i \Rightarrow v^T P v + x_i^T x_i \rightarrow \min.$ olmak üzere datum tanımına ağın yalnızca bir bölümü katılır ve herhangi bir jeodezik ağ için çok sayıda kısmi iz minimum çözümü üretilebilir. Datum tanımına katılan ve bilinmeyenlerin bir bölümünün kareleri toplamını minimum yapan bir koşul denklemi oluşturulur. Koşul denklemlerinin katsayılar matrisi B matrisi olarak gösterilir. B matrisi esasen klasik serbest ağ dengelemesinde ağın belirsiz olan datumunu belirleyen G matrisinin özel bir halidir. B matrisi G matrisi içerisinde datum tanımına katılmayan tüm noktaların satır ve sütun elemanları yerine “0” yazılarak elde edilir. Kısmi iz minimum çözümünde fonksiyonel model;

$$v = A x_i - l \quad (2.9)$$

$$B_i^T x_i = 0 \quad (2.10)$$

$$Q_i = (N + B_i B_i^T)^{-1} - G(G^T B_i B_i^T G)^{-1} G^T \quad (2.11)$$

$$x_i = Q_i A^T P l \quad (2.12)$$

elde edilir.

Tüm İz Minimum Koşullu Serbest Ağ Dengelemesi: Ağdaki tüm noktaların datum tanımına katıldığı, bilinmeyenlerin ağırlık katsayılar matrisinin izinin ve bilinmeyen vektörünün normunun minimum olduğu bir çözüm yöntemidir.

Bilinmeyenlerin ağırlık katsayılar matrisinin izinin ve bilinmeyen vektörünün normunun minimum olması $G^T x = 0$ koşul denklemleriyle sağlanır. Ağın datumunu G matrisi belirler ve h ağın boyutu, ($u = h * p$) bilinmeyen sayısı, p nokta sayısı, d datum parametreleri sayısı olmak üzere;

G matrisi oluşturulurken ağın tüm noktaları ağırlık merkezine ötelenir. Bunun sonucu olarak yaklaşık koordinatlar datum tanımına katılmış olur.

$$\dot{I}z(Q_{xx}) \Rightarrow \min.$$

$x^T x = \min.$ olmak üzere normal denklemler katsayılar matrisinin tersi;

$$N^+ = Q_{xx} = (A^T P A + G G^T)^{-1} - G (G^T G G^T G)^{-1} G^T \quad (2.13)$$

şeklinde elde edilir. Tüm iz minimum dengelemesi sonucunda elde edilen nokta konum hataları en küçük değerine ulaşır ve dağılımları da diğer koşullara göre daha homojen bir özellik gösterir.

2.2. Hipotez Testleri

Model Hipotezi Testi:

Kurulan matematik modelin geçerliliği, model hipotezinin testi ile kontrol edilir. Bu amaçla s_0^2 öncül varyans m_0^2 soncul varyans olmak üzere;

$$H_0 : E\{s_0^2\} = E\{m_0^2\}$$

Sıfır Hipotezi

$$H_s : E\{s_0^2\} \neq E\{m_0^2\}$$

Seçenek Hipotezi

şeklinde kurulur.

$$T = \frac{s_0^2}{m_0^2}$$

Test Büyüklüğü

(2.14)

hesaplanır.

$$q = F_{fm,fs,1-\alpha/2}$$

Sınır Değer

(2.15)

Sıfır hipotezinin sağlanması halinde yani $T < q$ ise matematik modelin geçerli olduğu sonucuna varılır (Denklem 2.14, 2.15). Yani kurulan fonksiyonel model, gözlemler ve bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkilere uygundur ve stokastik model gözlemlerin duyarlıklarını ve gözlemler arasındaki korelasyonları yeterince yansıtmaktadır. Eğer sıfır hipotezi sağlanamazsa yani $T > q$ ise matematik model geçersizdir. Bu geçersizliğin nedeni ölçülerden birinde ya da birkaçında yapılan kaba yanılgılar olabileceği gibi, ölçülerin yanlış indirgenmeleri, aletlerin ayar hataları da geçersizliği oluşturabilirler (Öztürk ve Şerbetçi, 1989) (Konak, 2021).

Uyuşumsuz Ölçüler Testi:

Model hatalarının en sık rastlanılanı ölçülerde yapılan kaba yanlışlardır. Bu yanlışlar düzeltme denklemlerinin kurulması sırasında sabit terimlerde kendini gösterirler ve gözlemler yinelenerek (yeniden ölçülerek) düzeltilirler. Buna karşın rasgele ölçü hatalarına çok yakın büyüklükte olan kaba hatalar kolaylıkla fark edilemez ve dengeleme hesabının sonucunda bulunan büyüklükleri olumsuz yönde etkilerler. Bunlar ancak dengeleme hesabı tamamlandıktan sonra uygulanan uyumsuz ölçüler testi yardımı ile belirlenebilir (Öztürk ve Şerbetçi, 1989). Uyuşumsuz ölçü belirleme işlemleri üç adımda özetlenebilmektedir (Konak, 2021);

1- Hipotez testlerinin kurulması;

$$H_0 : \ell_i = \ell_i + \varepsilon_i \quad ; \quad H_0 : \ell_i = E(\ell_i + \varepsilon_i) \quad \text{Sıfır Hipotezi}$$

$$H_{s2} : \ell_i = \ell_i + \Delta_i + \varepsilon_i \quad ; \quad H_{s2} : \ell_i = E(\ell_i + \Delta_i + \varepsilon_i) \quad \text{Çift Yönlü Seçenek Hipotezi}$$

2- Verilerden dağılımı bilinen deneysel test büyüklüğünün üretilmesi;

Tablo 2.2. Uyuşumsuz Ölçü Test Büyüklükleri

Test Yöntemleri	Baarda Testi (s_0 : Kuramsal varyans)	Poppe Testi (m_0 : Deneysel varyans.)	Student Testi (m_{0i} : Genişletilmiş modelin varyansı)
Deneysel Test	$T_{vi} = \frac{ V_i }{s_0 \sqrt{Q_{vvi}}} ; h = 1$	$T_{vi} = \frac{ V_i }{m_0 \sqrt{Q_{vvi}}} ; h = 1$	$T_{vi} = \frac{ V_i }{m_{0i} \sqrt{Q_{vvi}}} ; h = 1$
Büyüklükleri	$T_{vh} = \pm \sqrt{\frac{\Delta^T Q_{\Delta\Delta}^{-1} \Delta}{s_0^2 h}} ; h > 1$ $Q_{\Delta\Delta} = (e_i^T P Q_{vv} P e_i)^{-1}$	$T_{vh} = \pm \sqrt{\frac{\Delta^T Q_{\Delta\Delta}^{-1} \Delta}{m_0^2 h}} ; h > 1$ $\Delta = -Q_{\Delta\Delta} e_i^T P v$	$T_{vh} = \pm \sqrt{\frac{\Delta^T Q_{\Delta\Delta}^{-1} \Delta}{m_{0h}^2 h}} ; h > 1$

3- Test büyüklüğünün sınır değer hesabı;

Tablo 2.3. Test Büyüklüğünün Sınır Değeri

Dağılım Türü	$T_v \rightarrow N(0, 1)$ Normal Dağılım	$T_v \rightarrow \tau_f$ Tau Dağılımı	$T_v \rightarrow t_f$ Student Dağılımı
Dağılımın Eşik Değeri	$q = \sqrt{F_{h,\infty,1-\alpha_0}} = T_N$ $\alpha_0 \cong \alpha / n$	$q = \sqrt{\frac{f F_{h,f-h,1-\alpha_0}}{(f-h)+h F_{h,f-h,1-\alpha_0}}}$ $\alpha_0 \cong \alpha / n$	$q = t_{f-1,1-\hat{\alpha}_0/2} = T_t$ $\hat{\alpha}_0 / 2 = 1 - \sqrt[n]{1 - \frac{\alpha_0}{2}}$ $\alpha_0 \cong \alpha / n$

Bu test yöntemlerinin herhangi biri için test büyüklüğünün sınır değerden büyük olması halinde söz konusu ölçüler ayrı bir kümede toplanır. Bu küme içerisinde en büyük test büyüklüğüne sahip olan ölçünün büyük bir olasılıkla uyşumsuz ölçü olduğuna karar verilir. Bu ölçü yeniden ölçülerek ölçme planına dahil edilmelidir. Ağ serbestlik derecesinin yeterli olması durumunda söz konusu ölçü, ölçme planından çıkartılabilir. (Konak 2021). Dengeleme işlemi ve uyşumsuz ölçü testi işlemleri yinelenir. Ölçme planında uyşumsuz ölçü kalmayınca dek bu işlemler sürdürölür.

2.3. Jeodezik Ağlarda Kalite Ölçütleri

2.3.1. Duyarlık Ölçütleri

Jeodezik ağlar için kullanılan duyarlık ölçütlerinin büyük bir bölümü noktalara göre tanımlanan ölçütlerdir. Bunlar ağ noktalarının koordinatlarının gerçek değerlerinin hangi sınırlar arasında kalacağını belirlemeye yararlar. Bir jeodezik ağın duyarlığına ilişkin bilgilerin tümü koordinat bilinmeyenlerinin varyans- kovaryans matrislerinde depolanmıştır. Bu nedenle duyarlık ölçütlerinin hesaplanması için koordinat bilinmeyenlerinin varyans- kovaryans matrisinin tümünden ya da bir bölümünden yararlanılır (Öztürk ve Şerbetçi, 1989).

Bir ağda ulaşılabilir duyarlıklar tahmin edilmek istenirse varyans- kovaryans matrisinin kuramsal değerleri ($\Sigma_{xx} = \sigma_0^2 Q_{xx}$) ile, gerçekleştirilen duyarlıklar belirlenmek istenirse varyans- kovaryans matrisinin ölçülerden elde edilen deneysel değerleri ($K_{xx} = m_0^2 Q_{xx}$) ile işlem yapılır (Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

Ağ oluşturan noktaların kalitesinin bir ölçütü olan duyarlık lokal ve global olmak üzere iki ayrı ölçekte incelenir.

Lokal Duyarlık Ölçütleri: Ağ dengelemesi sonucu elden edilen koordinat bilinmeyenlerinin ters ağırlık matrisi alt matrislere ayrılabilir. Yani bir anlamda duyarlık bilgileri noktalara göre veya istenilen noktalar arasında ilişki kurularak incelenebilir (Denklem 2.16 – 2.21c) (Öztürk ve Şerbetçi, 1992), (Konak, 1995);

Koordinat bilinmeyenlerinin duyarlıkları;

$$\sigma_{xi} = \sigma_0 \sqrt{q_{xixi}} \quad (\text{Koordinat bilinmeyenlerinin kuramsal ortalama hataları}) \quad (2.16)$$

$$m_{xi} = m_0 \sqrt{q_{xixi}} \quad (\text{Koordinat bilinmeyenlerinin deneysel ortalama hataları}) \quad (2.17)$$

Helmert nokta konum hataları;

$$m_{pi} = \sqrt{m_{xi}^2 + m_{yi}^2 + m_{zi}^2} = m_0 \sqrt{q_{xixi} + q_{yiyi} + q_{zizi}} = m_0 \sqrt{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} \quad (2.18)$$

Werkmeister nokta hataları;

$$m_{wi} = m_0 \sqrt[3]{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3} = m_{xi} m_{yi} m_{zi} \quad (2.19)$$

Hata elipsinin deneysel elemanları;

$$A_H = \pm m_0 \sqrt{\lambda_1} \quad (2.20a)$$

$$B_H = \pm m_0 \sqrt{\lambda_2} \quad (2.20b)$$

$$C_H = \pm m_0 \sqrt{\lambda_3} \quad (2.20c)$$

Güven elipsinin deneysel elemanları;

$$A_G = m_0 \sqrt{\lambda_1 3F_{3,f,1-\alpha}} \quad (2.21a)$$

$$B_G = m_0 \sqrt{\lambda_2 3F_{3,f,1-\alpha}} \quad (2.21b)$$

$$C_G = m_0 \sqrt{\lambda_3 3F_{3,f,1-\alpha}} \quad (2.21c)$$

Global Duyarlık Ölçütleri: Ağın tamamının kalitesi için tanımlanan duyarlık ölçütleri koordinat bilinmeyenlerinin varyans-kovaryans matrisinin tümünden yararlanarak hesaplanırlar.

Güven hiperelipsoiti, hacim ölçütü, varyans ölçütü, özdeğerler ölçütü, ana varyans bileşenleri ve ölçüt matrisler global duyarlık ölçütleri olarak ele alınan değerlerdir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992), (Konak, 1995).

2.3.2. Güven Ölçütleri

Jeodezik ağların kalitesini gösteren duyarlık ölçütleri, dengeleme modelinin geçerli olduğu durumlarda gerçekçi bilgi verirler. Başka bir deyişle, model hipotezi testinin geçerli olması durumunda hesaplanan büyüklükler gerçeğe uygun olurlar. Bir ağ dengelemesi için kurulan matematik modelin gerçeğe uygun olup olmadığı güven ölçütleri ile denetlenir.

Literatürde, jeodezik ağlarda “güven” ağın geometrik yapısının model hatalarına karşı duyarlılığı olarak tanımlanmakta ve model hatalarının ortaya çıkarılmasına uygun yapıdaki jeodezik ağlar “güvenilir” ağlar olarak adlandırılmaktadır (Kurt, 1998).

İç Güven Ölçütü: Bir ağda oluşan model hatalarının gerçek değerleri bilinemez. Bu nedenle yapılan ölçülerin birbirini karşılıklı olarak ne ölçüde kontrol edebildikleri sorusuna iç güven ölçütü ile yanıt aranır.

Ölçülerden yalnızca birinde sözgelimi l_i ölçüsünde Δ_i kadar rasgele ölçü hataları sınırından daha büyük bir hata yapıldığı varsayılırsa;

$$\Delta_i = \pm m_0 \sqrt{\frac{w_0}{(PQ_{vv}P)_{ii}}} \quad (2.22)$$

iç güven ölçütü elde edilir (Denklem 2.22) (Öztürk ve Şerbetçi 1992), (Konak, 2021).

Burada w_0 dış merkezlik parametresini, Q_{vv} düzeltmelerin ters ağırlık matrisini temsil eder. Dış merkezlik parametresinin eşik değeri (w_0), testin gücü %80 olmak üzere 0,05 yanılma olasılığı altında, tek bir ölçü için $w_0=11.679$, tek bir GPS bazı için $w_0=10.903$ alınmalıdır.

Bulunan sınır değerler bir ağdaki herhangi bir l_i ölçüsünün diğer ölçüler yardımıyla kontrol edilebilir olmasının ölçütü olarak kullanılır ve iç güven ölçütü olarak adlandırılır. İç güven ölçütü bir ölçüdeki hatanın model hipotezinin testi ya da model hatalarının genel testi yöntemlerinden biriyle açığa çıkarılabilmesi için en az ne büyüklükte bir değere ulaşması gerektiğini gösterir. İyi kontrol edilebilir bir jeodezik ağda iç güven ölçütleri birbirine yakın ve oldukça küçük sayısal değerler olmalı ve gözlemlerden hiçbirinde;

$m_i = m_0 \sqrt{Q_{ii}}$ olmak üzere, $\Delta_i \leq 8m_i$ sınır değeri aşmamalıdır (Öztürk ve Şerbetçi, 1989, 1992), (Yalçınkaya, 1994), (Konak, 2021).

Dış Güven Ölçütü: Ortaya çıkarılamayan bir model hatasının koordinat bilinmeyenlerine etkisi dengeli ölçülere etkisinden çok daha önemlidir. Ağın iç güvenilirliği datum tanımından bağımsızken dış güvenilirlik datum tanımına bağlıdır (Tzur, 2006). Herhangi bir ölçüde yapılan sınır değer Δ_{oi} kadar bir hatanın koordinat bilinmeyenlerine etkisi;

$$x = QA^T P l \quad (2.23)$$

Denklem 2.23'ten yararlanarak a_i , A matrisinin i. satırı ve P_i , l_i ölçüsünün ağırlığı olmak üzere;

$$\Delta_x = QA^T P e_i \Delta_{oi} \quad (2.24)$$

$$\Delta_x = Q a_i^T P_i \Delta_{oi} \quad (2.25)$$

eşitliğinden elde edilir (Denklem 2.24, 2.25). Bu eşitlikten herhangi bir l_i ölçüsüne yapılan Δ_{oi} kadar bir hatanın ağıdaki koordinat bilinmeyenlerinin tümünü etkilediği açıkça görülmektedir. Koordinat bilinmeyenleri vektörü x , ağıdaki koordinatı değişmez alınan sabit noktalara (ağın datumuna) bağlıdır. Ağda başka noktaların koordinatları değişmez alınırsa bambaşka bir koordinat hataları vektörü Δx elde edilir. Ağın dış güveni için datuma bağlı olmayan bir ölçüt elde edilmek istenirse:

$$\delta_{0i}^2 = \Delta_x^T K_{xx}^{-1} \Delta_x = \frac{1}{m_0^2} \Delta_x^T Q_{xx}^{-1} \Delta_x \quad (2.26)$$

biçiminde bir tanım yapılabilir (Denklem 2.26) (Baarda, 1968). Δx eşitlikte yerine konulur ve hata yayılma kuralından yararlanarak işlemler tamamlanırsa dış güven ölçütü korelasyonlu gözlemler için;

$$\delta_{0i}^2 = \frac{(PQ_{\bar{ii}}P)_{ii}}{(PQ_{vv}P)_{ii}} w_0 \quad (2.27)$$

Korelasyonsuz gözlemler için $r_i = (Q_{vv})_i P_i$ redündan z artıkları olmak üzere;

$$\delta_{0i}^2 = \frac{1 - r_i}{r_i} w_0 \quad (2.28)$$

olarak elde edilir (Denklem 2.27, 2.28) (Öztürk ve Şerbetçi 1992), (Küreç Nehbit, 2018), (Konak, 2021). İyi planlanmış ve dengelemenin matematik modeli doğru kurulmuş bir jeodezik ağda;

Gözlemlerin fazla ölçü sayısındaki payları $r_i > 0,3$ veya $0,5$,

Ortaya çıkarılamayan hataların sınır değerleri $\Delta_{oi} \cong (6 \text{ ya da } 8) \text{ m}_i$,

Hataların koordinatlara etkime katsayıları $\delta_{0i} \cong 6$ ya da 10 sınırları arasında kalmalıdır (Öztürk ve Şerbetçi, 1992).



3. DEFORMASYON ANALİZİ

Deformasyon kelime anlamı olarak herhangi bir nesnenin geometrik şeklinin/ biçiminin bozulması olarak tanımlanabilir. Mühendislik yapılarında oluşan deformasyonların analiz edilmesi jeodezi anabilim dalının ele aldığı başlıca konulardan biridir. Mühendislik yapılarında (baraj, köprü, viyadük vs.) deformasyonlar, deprem gibi tektonik hareketler, heyelanlar gibi doğal afetler ve bunların dışında insan eliyle gerçekleştirilen bazı faaliyetler sonucunda oluşabilir.

Deformasyon gerçekleştiğinde plastik ve elastik deformasyon olmak üzere deformasyona uğrayan nesne/yüzey üzerinde iki tür etki bırakır. Plastik deformasyon gerçekleşmesi durumunda deformasyonun etkisi kırılma, çökme, kayma, dönme gibi hareketlerle sonuçlanırken, elastik deformasyon deformasyona uğrayan nesne/yüzeyin bütünlüğü bozulmaksızın burkulma, eğrilme gibi hareketlerle sonuçlanır. Elastik deformasyona sebep olan kuvvet ortadan kalktığı zaman deformasyona uğrayan nesne/yüzey eski haline dönebilir fakat plastik deformasyonda böyle bir durum söz konusu değildir (muhendishane.org, 2016), (Konak, 2015).

Jeodezik ağlarda deformasyon analizi ise jeodezik ağ noktalarının konumsal olarak deforme olması sonucunda ağın bir bütün olarak öteleme, dönüklük ve ölçek parametreleri üzerinden uğramış olduğu deformasyonu tespit etme ve yorumlama işlerini kapsar. En az iki farklı periyotta ölçülmüş konum vektörleri arasındaki fark ile deformasyon vektörü elde edilir.

Deformasyon analizinde kullanılacak olan kontrol ağları deformasyon ağı olarak adlandırılır ve ağın tasarımı deformasyon analizinin amacına göre yapılır. Ağ tasarımı genellikle lokal olup deformasyon ağını oluşturan üç tip nokta vardır:

1. Deformasyon (Obje) Noktaları: Deformasyon olması beklenen ağ noktalarını temsil eder.
2. Sabit Noktalar: Deformasyon olması beklenmeyen, deformasyon noktalarının kontrol edilmesini sağlayan ağ noktalarını temsil eder. Referans noktaları veya kontrol noktaları olarak da bilinir.

3. Yöneltilme Noktaları: Hem deformasyon (obje) noktalarını hem de sabit noktaları kontrol etmek amacıyla sağlam zemine tesis edilen ve tüm deformasyon ağını yöneten noktaları temsil eder.

Jeodezik ağlarda deformasyon analizinde kontrol ağı oluşturulurken dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır:

1. Deformasyon analizinin amacına göre, ağı oluşturan noktalar ve ağın ölçme planı ağdan beklenen duyarlılık hedefleri doğrultusunda seçilmeli ağ buna göre optimize edilmelidir.
2. Ölçme aletleri yüksek hassasiyetli veri sağlamalı ve mutlaka ölçüm işleminden önce kontrol edilmelidir.
3. Ölçü periyotları ağı oluşturma amacı çerçevesinde yeterli sıklıkta oluşturulmalı ve ölçüm zamanları mümkün olduğunca ölçme işlemleri açısından eşit şartların sağlanabildiği tarihlere denk getirilmelidir.
4. Her bir periyot ölçümünde ölçme planı mümkün olduğunca aynı kalmalı ve ağ noktalarında değişiklik olmamalıdır (Kurt, 2004), (Pelzer, 1971), (Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

Eğer elde olmayan sebeplerle periyotlar arasında ağ noktaları sayısı açısından bir fark varsa bu deformasyon ağı “1. Derece Multivaryat Deformasyon Ağı”, periyotlar arasında ağ noktaları sayısı açısından bir fark olmaksızın ölçme planı açısından farklar varsa bu deformasyon ağı “2. Derece Multivaryat Deformasyon Ağı” olarak adlandırılır. Ağdaki nokta sayısında ve ölçme planında herhangi bir değişiklik yoksa bu deformasyon ağı da “Univaryat Deformasyon Ağı” olarak adlandırılır (Kurt, 2004), (Niemeier, 1985), (Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

Deformasyon modelleri statik, kinematik ve dinamik olmak üzere üçe ayrılır:

Statik Deformasyon Modeli: En basit deformasyon modeli olup deformasyon analizine konu ağ noktaları ve deformasyon vektörü zamana ve deformasyona sebep olan kuvvetlere bağlı olmaksızın ele alınır. Jeodezik ağlarda deformasyon analizinde en çok kullanılan modeldir.

Dinamik Deformasyon Modeli: Deformasyona uğrayan ağ noktalarına etkiyen kuvvetlerle beraber, kuvvetlerin zaman içindeki değişimi ve kuvvetlere etkiyen diğer parametreler göz önünde bulundurulur. Modelin doğru bir şekilde kurulmasını sağlamak için etkiyen kuvvetleri ve bunların zamana bağlı değişimini doğru belirlemek çok önemlidir.

Kinematik Deformasyon Modeli: Deformasyon analizine konu ağ noktalarının konumları ölçme anından itibaren zamanın bir fonksiyonu olarak sürekli değişir. Bu sebeple kurulan deformasyon modelinde zaman önemli bir etkidir.

Bu çalışmada faydalanan model statik deformasyon analizi modeli olup statik deformasyon analizinde kullanılan bazı yöntemler şunlardır:

1. Bağıl güven elipsleri ile deformasyon analizi
2. S dönüşüm modeli yardımıyla deformasyon analizi
3. Teta kare (θ^2) ölçütü ile deformasyon analizi
4. Cholesky çarpanlara ayırma yöntemiyle deformasyon analizi

Bu çalışmada bağıl güven elipsoidleri ile deformasyon analizi yöntem olarak seçilmiş olup bir sonraki bölümde bu yöntem ayrıca ele alınacaktır.

Deformasyon analizinde kullanılan kontrol ağının olabildiğince dış etkenlerden bağımsız, duyarlılığı yüksek olması beklenir. Üç boyutlu bir jeodezik deformasyon ağının datumu (koordinat eksenleri yönünde 3 öteleme, koordinat eksenleri etrafında 3 dönme ve 1 ölçek katsayısı) ağın seçilen bir koordinat sistemi içerisindeki yerini, yönünü ve ölçeğini belirler (Öztürk ve Şerbetçi, 1992). Bu nedenle deformasyon ağları, ilk adımda ağın datumu üzerindeki varsayımlara olanak vermeyen ve tüm ağ noktalarının ağın datumunu belirleyen noktalar olarak seçildiği serbest ağ dengelemesi yöntemi kullanılarak dengelenebilir (Öztürk ve diğ., 2005).

3.1. Sabit Noktaların Sorgulanması

Bu yöntemde her bir periyoda ait ölçüler ayrı ayrı serbest dengeleme yöntemiyle dengelenir. Daha sonra periyotlar arasında deformasyon varlığını belirleyebilmek amacıyla ortak, konumu değişmeyen noktalar tespit edilir. Konumu değişmeyen ortak

noktalar belirlenirken ya önceden edinilen öncül bilgilerden faydalanılır ya da istatistik testlerle bu noktalar belirlenir.

3.1.1. Benzerlik Dönüşümü ve Sabit Noktaların Belirlenmesi

Serbest ağ dengelemesi yöntemiyle dengelenen periyot ölçülerinden koordinat bilinmeyenleri dx , dy , dz yardımıyla kesin koordinatlar belirlenir. Daha sonra periyotlar Benzerlik (Helmert) Dönüşüm Modeli ile çakıştırılır. Benzerlik dönüşümü afin dönüşümünün özel bir halidir, bu dönüşümde paralellikler ve diklikler korunur (Kurt, 2007).

x, y, z : Dönüştürülen Sistemin Koordinatları (1. Periyot Ölçüleri)

X, Y, Z : Dönüşen Sistemin Koordinatları (2. Periyot Ölçüleri)

p : Eşlenik nokta sayısı

$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$: Dönüklük açıları

t_x, t_y, t_z : Öteleme elemanları

k : Ölçek faktörü

olmak üzere 7 parametrelili Benzerlik (Helmert) Dönüşümünün çözümüne ilişkin bağıntılar söz gelimi:

$x_m = [x]/p, y_m = [y]/p, z_m = [z]/p$ Dönüştürülen sistemin ağırlık merkezi olmak üzere ağırlık merkezine ötelenmiş koordinatlar;

$$\Delta x_i = x_i - x_m, \Delta y_i = y_i - y_m, \Delta z_i = z_i - z_m,$$

$$\Delta X_i = X_i - X_m; \Delta Y_i = Y_i - Y_m; \Delta Z_i = Z_i - Z_m$$

olmak üzere dönüşümün modeli ağırlık merkezine ötelenmiş koordinatlarla;

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -\Delta z & \Delta y & \Delta x \\ 0 & 1 & 0 & \Delta z & 0 & -\Delta x & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 & -\Delta y & \Delta x & 0 & \Delta z \end{bmatrix}_i \cdot \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \\ \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ k \end{bmatrix} \quad \text{biçiminde kurulur.}$$

Çözümü sağlayacak yeterli sayıdan daha fazla sayıda eşlenik nokta belirlenerek dönüşüm EKK yöntemine göre gerçekleştirilir. Dönüşüm neticesinde bulunan herhangi bir koordinat düzeltme değeri (v_i) ile ters ağırlık katsayısı ($q_{vi} = Q_{vivi}$) ya da bir koordinat çiftine ilişkin değerlerinden yararlanılarak uyumsuz ölçü testi yapılır.

$$\begin{aligned} H_0: v_i &= v_i + \varepsilon_i & : \text{Sıfır Hipotezi} \\ H_{s2}: v_i &= v_i + \Delta_i + \varepsilon_i & : \text{Çift Yönlü Seçenek Hipotezi} \\ T_i &= \frac{|v_i|}{hm_0 \sqrt{q_{vi}}} \leq q & : \text{Deneysel Test Büyüklüğü} \\ q &= \sqrt{\frac{f F_{h, f-h, 1-\alpha_0}}{(f-h)+h F_{h, f-h, 1-\alpha_0}}} & : \text{Tau Dağılımını Eşik Değeri} \\ h & & : \text{Hipotez Testinin Boyutu} \end{aligned}$$

Bölüm 2.2’de açıklandığı üzere deneysel test büyüklüğü Tau dağılımının eşik değeri ile karşılaştırılarak test edilir. $T \leq q$ eşitsizliği sağlanıyorsa sıfır hipotezi geçersiz sayılamaz. $T > q$ eşitsizliğinin sağlanması durumunda sıfır hipotezi geçersiz buna karşın seçenek hipotezi geçerlidir (Öztürk ve Şerbetçi, 1989), (Konak, 2021). Eşik değeri geçen Deneysel Test Büyüklüğüne denk gelen eşlenik noktalar ayrı bir kümede toplanır. Bu kümede en büyük deneysel test büyüklüğüne sahip eşlenik noktanın $s = 1 - \alpha = 0,95$ istatistik güvenle uyumsuz bir eşlenik nokta olduğu sonucuna varılır. Bu nokta eşlenik nokta kümesinden çıkartılır, benzerlik dönüşümü uyumsuz eşlenik nokta çifti kalmayınca kadar yinelenir.

Bu aşamadan sonra dönüşüm sonucunda bulduğumuz öteleme, dönüklük ve ölçek parametrelerinin anlamlı olup olmadığını belirleyebilmek için parametre anlamlılık testi gerçekleştirilir. Bu testin yapılmasındaki temel amaç eşlenik noktaların seçim sürecini denetlemektir. Bu tez çalışmasında, eşlenik noktaların seçiminde öncül bir bilgi olmadığı durumlar için kullanılan bir yöntem olarak önerilmektedir.

3.1.2. Parametre Anlamlılık Testleri ile Sabit Noktaların Sorgulanması

Deformasyon analizinde zaman içerisinde gerçekleşen değişimin varlığının tespit edilebilmesi için öncelikle konumunun değişmemesi açısından güvenilir nokta olarak tanımlayabileceğimiz yeri değişmemiş- sabit kabul edilen noktalara ihtiyaç duyulur. Bu aşamada eşlenik noktaların seçimine dair bir öncül bilgi var ise doğrudan bu noktalar kullanılabilir.

Öncelikle birinci ve ikinci periyot ölçüleri benzerlik dönüşümü yöntemiyle üst üste çakıştırılır (Yalçinkaya ve Tanır, 2001), (İnal ve Bülbül, 2013). Benzerlik dönüşümü ağırlık tüm noktalarından veya bir kısmı seçilerek de yapılabilir. Dönüşüm işlemi tamamlandıktan sonra sabit noktanın kararlılığından emin olmak için farklı yöntemler kullanılabilir. Bu çalışmada eşlenik noktaların kararlılığının tespiti için dönüşüm sonucunda elde edilen öteleme, dönüklük ve ölçek parametre değerlerinde anlamlı bir değişim olup olmadığı test edilmiştir.

Deformasyon analizi için seçilen t_1 ve t_2 periyotlarında elde edilen yaklaşık koordinatlar kümesinde anlamlı bir dönüklük ya da ölçek sorunu varlığı sorgulanmak istenirse dönüşüm parametreleri için bir anlamlılık testi uygulanabilir. İlk adımda ölçek ve dönüklük yönündeki bilinmeyenler grubu için Global bir Anlamlılık testi uygulanır. Global testinin anlamlı çıkması durumunda, hangi parametrelerin anlamlı olup olmadığı her bir parametre için kurulacak olan hipotez testleriyle sınanır (Konak 2021);

$$T = \frac{t^T Q_{tt}^{-1} t}{r \cdot m_0^2} \sim F_{f,r,1-\alpha} \quad (3.1)$$

Burada T test büyüklüğü, F Fisher dağılımının sınır değeri, t parametre değeri, Q_{tt} parametre değerinin ters ağırlık matrisi, r test edilen parametrenin boyutu, m_0 kullanılan dönüşüm yönteminin standart sapma değeridir (Denklem 3.1) (Kurt, 2011).

Tek boyutlu parametrelerin testi için student testi kullanılabilir (Denklem 3.2);

$$T = \frac{|t|}{m_t} \sim t_{f,1-\alpha/2} = \sqrt{F_{f,r,1-\alpha}} \quad (3.2)$$

Bu tezimizde önerdiğimiz sabit (eşlenik) nokta kararlılık testi yardımıyla, bir yandan dönüşüm artıklarının %95'lik bir istatistik güvenle belirli bir sınır değer içerisinde

kalması sağlanırken, öte yandan yaklaşık koordinatlar kümesi içerisinde anlamlı bir ölçek ya da dönüklüğe neden olan noktalar da dışlanabilmektedir.

3.2. Deformasyon Modeli

Sabit (eşlenik) noktaların sayısı ve dağılımı belirlendikten sonra; deformasyon (obje) noktalarında deformasyon varlığı araştırılır. Buna göre;

x_e	:Her iki periyottaki eşlenik noktalar kümesi
x_1	:Birinci periyottaki obje noktaları
x_2	:İkinci periyottaki obje noktaları
A_{e1}, A_{e2}	:1. ve 2. Periyot için eşlenik noktaların ölçme planı
A_1, A_2	:1. ve 2. Periyot ölçülerinin ölçme planı
L_1, L_2	: 1. ve 2. Periyot ölçüleri
P_1, P_2	:1. ve 2. Periyot ölçülerinin ağırlıkları

Her iki periyot için birleştirilmiş matematik model;

$$\begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{e1} & A_1 & 0 \\ A_{e2} & 0 & A_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_e \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad \text{Fonksiyonel Model}$$

$$P = \begin{bmatrix} P_1 & 0 \\ 0 & P_2 \end{bmatrix} \quad \text{Stokastik Model}$$

$$\Omega = v^T P v + x_e^T x_e \rightarrow \text{minimum amaç fonksiyonudur.}$$

Bu modelde normal denklem katsayılar matrisinin tersi doğrudan alınamaz bu nedenle kısmi iz minimum çözümünden faydalanılarak bilinmeyenler;

$$x = [(A^T P A + B_e B_e^T)^{-1} - G(G^T B_e B_e^T G)^{-1} G^T] A^T P L \quad (3.3)$$

çözümü yapılarak elde edilir;

$$\begin{bmatrix} x_e \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{ee} & Q_{e1} & Q_{e2} \\ Q_{1e} & Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{2e} & Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_e^T PL \\ A_1^T PL \\ A_2^T PL \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Deformasyon vektörü;

$$d = x_2 - x_1 \quad (3.5)$$

Deformasyon vektörünün ters ağırlık matrisi;

$$Q_{dd} = Q_{11} + Q_{22} - Q_{12} - Q_{21} \quad (3.6)$$

elde edilir (Denklem 3.3 – 3.6) (Konak, 2021). Bu aşamadan sonra ilk olarak global uyum testi gerçekleştirilir.

3.2.1. Global Uyum Testi

Deformasyon varlığına karar verilmesi amacıyla global uyum testi uygulanır. (Denklem 3.7 – 3.12) Periyotların birlikte dengelenmesi sonucunda elde edilen düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamı;

$$\Omega_H = v_H^T P v_H \quad (3.7)$$

hesaplanır. Her periyota ilişkin dengeleme sonucunda elde edilen düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamının toplam değeri;

$$\Omega = v_1^T P_1 v_1 + v_2^T P_2 v_2 \quad (3.8)$$

$$s_0^2 = \Omega / f \quad (3.9)$$

$f = f_1 + f_2$ Periyotların toplam serbestlik derecesidir.

olmak üzere global uyum testinin test büyüklüğü;

$$R_H = \Omega_H - \Omega \quad (3.10)$$

$$T_H = \frac{R_H}{s_0^2 h} \quad (3.11)$$

$h = f_H - f$ Deformasyon Modelinin Serbestlik Derecesi

Sınır değeri;

$$F = F_{h,f,1-\alpha} \quad (3.12)$$

ile karşılaştırılır. Test büyüklüğü sınır değerin altında kalırsa genelleşmiş deformasyon modelinin global uyum testi geçerlidir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

Eşdeğerlik testi (Global Uyum Testi) sonucunda hesaplanan deneysel test büyüklüğü T_H Fisher Dağılımının eşik değerinin aşarsa, $s = 1 - \alpha = 0,95$ kadar bir istatistik güvenle ölçme periyotları arasında ortak olan datum (eşlenik) noktaların birinde ya da birkaçında deformasyon olduğuna karar verilir. Deformasyon noktalarını belirleyebilmek için;

- a) Her nokta sırasıyla datum (eşlenik) noktalar kümesi dışına çıkarılır ve her defasında yeni aykırılılar R_{Hi} yeniden hesaplanır. Bu değerlerden en küçük değere sahip olan nokta çiftinin uyuşumsuz nokta olduğuna karar verilir.
- b) Geriye kalan (s-1) sayıda eşlenik noktalar kümesi için jeodezik ağ kısmi iz min. koşuluna göre tekrar değerlendirilir.
- c) Ağda hiçbir eşlenik nokta (uyuşumsuz nokta) çifti kalmayıncaya kadar Global Uyum Testi yinelenir (Öztürk ve Şerbetçi 1992), (Konak 2021).

3.2.2. Bağlı Güven Elipsoitleri ile Deformasyon Analizi

Deformasyon analizi sonuçlarını bağlı güven elipsleri ile test etme ve yorumlama aşamasına geçilir (Denklem 3.13 – 3.21). Deformasyon vektörü;

$$d = x_2 - x_1 \quad (3.13)$$

ve deformasyon vektörünün ters ağırlık matrisi;

$$Q_{dd} = Q_{11} + Q_{22} - Q_{12} - Q_{21} \quad (3.14)$$

elde edilir (Konak, 2021).

Q_{dd} deformasyon vektörüne ilişkin ters ağırlık matrisinin her bir obje noktasına karşılık gelen alt matrislerinin öz değerleri bulunur. 3 boyutlu ağlarda deneysel güven elipsoitinin her bir eksen yönündeki elemanları Denklem (2.21)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

Deformasyon vektörünün büyüklüğü;

$$||d|| = \sqrt{d_x^2 + d_y^2 + d_z^2} \quad (3.15)$$

hesaplanır. Deformasyon vektörü, eşik değer olarak belirlenen hata elipsoitinin en büyük yarı eksenini $c_H = m_0 \sqrt{3\lambda_{\max} F_{3,f,1-\alpha}}$ ile ayrı ayrı karşılaştırılır.

Karşılaştırma işleminde;

1. Adım: Deformasyon vektörü eşik değeri aşıyorsa bu nokta deformasyon olduğundan kuşku duyulan nokta olarak değerlendirilir.

2. Adım: Kuşkulu noktalar için ayrı ayrı birer doğrusal hipotez kurulur ve test edilir.

$$H_0: d_i = [-I \quad +I] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}_i = 0 \quad \text{Sıfır Hipotezi}$$

$$H_{s2}: d_i = [-I \quad +I] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}_i \neq 0 \quad \text{Çift Yönlü Seçenek Hipotez}$$

Hipotezin deneysel test büyüklüğü;

$$R_i = (d^T Q_{dd}^{-1} d)_i \quad (3.16)$$

olmak üzere;

$$T_i = \frac{R_i}{rs_0^2} \quad (3.17)$$

hesaplanır ve F - dağılımının eşik değeri $c = F_{r,n-u+d,1-\alpha}$ ile karşılaştırılır. Hipotezin deneysel değeri eşik değeri aşıyorsa, geçen zaman dilimi içerisinde ağ noktaları arasında anlamlı bir yer değiştirme olduğu kararı kesinleştirilir (Konak, 2021).

3. Adım: Doğrusal hipotez testleri sonucunda verilen kararlar, bağıl güven elipsoitlerinin çizgisel (grafik) gösterimleriyle birlikte yorumlanır.

Hata elipsoitleri, matematik modelin değerlendirildiği yer merkezli bir koordinat sisteminde (X, Y, Z) ya da yerel bir koordinat sistemine göre kuzey-güney (x) ve yerel doğu batı bileşenleri (y) sisteminde çizilebilir;

$$\begin{bmatrix} dx \\ dy \\ dz \end{bmatrix}_p = \begin{bmatrix} -\sin\phi\cos\lambda & -\sin\phi\sin\lambda & \cos\phi \\ -\sin\lambda & \cos\lambda & 0 \\ \cos\phi\cos\lambda & \cos\phi\sin\lambda & \sin\phi \end{bmatrix}_p \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix}_p \quad (3.18)$$

Üç boyutlu yerel deformasyon vektörü;

$$||d||_p = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}_p \quad (3.19)$$

İki boyutlu yerel deformasyon vektörü;

$$ds_p = \sqrt{dx^2 + dy^2}_p \quad (3.20)$$

Deformasyon vektörünün açıklık açısı;

$$\theta_p = \arctan \frac{dy}{dx} \mp 200^{\text{grad}} \quad (3.21)$$

Ağ üzerindeki herhangi bir P deformasyon (obje) noktasının 1. veya 2. periyottaki yerine bağlı güven elipsoiti ya da iki boyutlu iz düşümü çizilir. Eğer 1. ve 2. periyot noktaları elipsin içinde kalıyorsa bu P noktasında anlamlı bir yer değiştirme olmadığına karar verilir. Buna karşın P noktası elipsin dışında kalıyorsa bu noktada α yanılma olasılığı altında ve $s=1-\alpha$ istatistik güvenle deformasyon olduğu yorumu yapılabilir (Yalçınkaya ve Tanır, 2001), (İnal ve Bülbül, 2013). Sonuç olarak hem doğrusal hipotez testi hem de bağlı güven elipsi yöntemi sonucunda; eşik değeri geçen obje noktalarında anlamlı bir deformasyonun oluştuğuna kesin bir dille karar verilir (Konak, 2021).

4. DEFORMASYON SONUÇLARININ YORUMLANMASI

4.1. Algılayabilirlik Analizi

Yerkabuğu (dünya) üzerinde temel mühendislik yatırımlarına ve bilimsel amaçlı araştırmalara hizmet eden birçok nirengi ağı bulunmaktadır. Fakat bilindiği üzere yer kabuğu hareketli bir yüzeydir ve bu hareketler sonucunda levha sınırları boyunca sıkışmalar, yükselmeler ve çökmeler gibi yeryüzünün fiziksel yapısını değiştiren olaylar gerçekleşir. Bu durumda oluşturulan jeodezik ağların amaca hizmet etmesinin yanı sıra ağ yapısındaki bu farklılıkları da sağlıklı (duyarlı ve güvenilir) bir şekilde belirlemesi beklenir. Bu amaçla ağı oluşturan noktaların konumlarında zamanla oluşan sözü edilen değişimleri sorgulayabilen algılayabilirlik değerleri kullanılabilir.

Belirlenebilen en küçük konumsal yer değiştirme değeri, deformasyon modelinin duyarlılığı ya da algılayabilirlik düzeyi (sensitivity) olarak adlandırılır (Konak, 1995).

Algılayabilirlik analizi aşamasında jeodezik ağlar univaryat ve multivaryat düzeninde ağlar olarak ele alınabilir. Bu durumda analiz işlemleri de iki farklı yaklaşımla gerçekleştirilebilir;

- a) Tüm eşlenik noktalara göre kurulan ve iki periyot arasındaki konumsal değişimi temsil eden Global Algılayabilirlik Analizi,
- b) Bağlı Deformasyon Elipsoitlerine dayanan ve deformasyon noktalarını temsil eden Bağlı Algılayabilirlik Analizi.

4.1.1. Global Algılayabilirlik Analizi

Global algılayabilirlik analizi yaklaşımında herhangi iki periyotta karşılaştırılan jeodezik ağlarda kuramsal yer değiştirme vektörü tüm ağ noktaları için düzenlenir. Kuramsal yer değiştirme vektörünün büyüklüğü (Denklem 4.1) (Küreç ve Konak, 2011), (Küreç ve Konak, 2014), (Küreç Nehbit, 2018);

$$d = x_2 - x_1 = Q A^T P (l_2 - l_1) \quad (4.1)$$

biçiminde her iki periyotta gerçekleştirilen ölçüler kümesindeki rastgele hataların bir fonksiyonu olarak düzenlenebilir (Denklem 4.2);

$$\delta d = QA^T P \delta l \quad (4.2)$$

Bu durumda yer değiştirme vektörünün ters ağırlıklar matrisi (Denklem 4.3);

$$Q_{dd} = (A^T P A)^+ \quad (4.3)$$

olarak elde edilir. Bu son eşitlik;

$$V = \frac{d}{\Delta t} \quad (4.4)$$

olmak üzere iki ayrı periyotta değerlendirilen jeodezik ağlarda $\Delta t = \sqrt{2}$ birim zamandaki konumsal değişiminin ters ağırlıkları olarak elde edilir (Denklem 4.4). Bu özelliğin bir sonucu olarak jeodezik ağların algılayabilirlik değerleri her iki periyotta ayrı ayrı olmak üzere $\Delta t = \sqrt{2}$ birim zamandaki global ağırlık değerleri olarak değerlendirilir (Hsu ve Hsiao, 2002), (Küreç, 2010), (Küreç Nehbit, 2018).

Bir algılayabilirlik analizi sürecine ilişkin işlemler aşağıda sıralanmakta olan adımlar halinde özetlenebilir (Denklem 4.5 – 4.18).

1. Her bir durak noktasındaki konum vektörünün (öncül deformasyon vektörünün) ağırlık matrisi N_{ii} normal denklem katsayılar matrisi N ve bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi Q_{xx} yardımıyla hesaplanır;

$$\delta d = N^+ A^T P \delta l \quad (4.5)$$

$$N = A^T P A \quad (4.6)$$

$$Q_{xx} = (N + G G^T)^{-1} - G G^T \quad (4.7)$$

Herhangi bir ağ noktasına ilişkin ters ağırlık matrisi;

$$\delta d_i = \dot{N}_i A^T P \delta l \quad (4.8)$$

$$\dot{N}_i = \begin{bmatrix} N_{11} & N_{12} & \cdots & N_{1p} \\ N_{21} & N_{22} & \cdots & N_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ N_{p1} & N_{p2} & \cdots & N_{pp} \end{bmatrix}^+ = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \cdots & Q_{1p} \\ Q_{21} & Q_{22} & \cdots & Q_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{p1} & Q_{p2} & \cdots & Q_{pp} \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

$i = 1, 2, 3 \dots p$ = nokta sayısı olmak üzere;

$$N_{ii} = (\dot{N}_i N \dot{N}_i^T)^{-1} \equiv (Q_{didi})^{-1} \quad (4.10)$$

$$N_{ii} = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

biçiminde düzenlenir.

2. Her bir durak noktası için oluşturulan ağırlık matrisi N_{ii} , öz değer ve öz vektörlerine ayrılır.

3. En büyük öz değere ($\lambda_{\max}$) karşılık gelen öz vektörler ($s_{\max}$) yardımıyla her bir koordinat bilinmeyen için doğrultu kosinüsleri hesaplanır. Bu değerler azimut ve başucu yönünde bilgiler taşırlar.

4. Her durak noktası için elde edilen doğrultu kosinüsleri noktanın enlem ve boylam değerlerinden yararlanılarak oluşturulan bir R^T dönüşüm matrisi yardımıyla yerel bir koordinat sistemine dönüştürülür. Bu amaçla;

$$\begin{bmatrix} n \\ e \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\varphi\cos\lambda & -\sin\varphi\sin\lambda & \cos\varphi \\ -\sin\lambda & \cos\lambda & 0 \\ \cos\varphi\cos\lambda & \cos\varphi\sin\lambda & \sin\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

eşitliğine göre, $[\Delta X \ \Delta Y \ \Delta Z]^T$ vektörü yerine doğrultu kosinüsleri vektörü ($s_{\max}$) konulur. Asal gerinim bileşeninin yerel bir sistemdeki iz düşüm doğrultuları hesaplanır;

$$\begin{bmatrix} n \\ e \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\varphi\cos\lambda & -\sin\varphi\sin\lambda & \cos\varphi \\ -\sin\lambda & \cos\lambda & 0 \\ \cos\varphi\cos\lambda & \cos\varphi\sin\lambda & \sin\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\varphi \\ \cos\beta \\ \cos\gamma \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

5. İki boyutlu iz düşüm doğrultularına denk gelen öz vektörün azimutu;

$$\alpha = \tan^{-1}(e/n) \quad (4.14)$$

ve Başucu açısı;

$$\zeta = 90^\circ - \tan^{-1} \frac{w}{\sqrt{e^2 + n^2}} \quad (4.15)$$

hesaplanır.

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

$$|d| = m_0 \sqrt{\frac{w_0}{\lambda}} \quad (4.16)$$

$$\check{e} = |d| \sin \zeta \sin \alpha \quad (\text{doğu-batı}) \quad (4.17)$$

$$\check{n} = |d| \sin \zeta \cos \alpha \quad (\text{kuzey-güney}) \quad (4.18)$$

7. $|d|$ yerine $|d|_{\min}$ ve $|d|_{\max}$ değerleri yazılarak doğu-batı ve kuzey-güney yönündeki yer değiştirme elemanlarının en küçük ve en büyük değerleri hesaplanabilir (Hsu ve diğ., 2002), (Küreç ve Konak, 2011), (Konak ve diğ., 2017).

8. Ağ noktaları için elde edilen algılayabilirlik ve yetersizlik düzeyleri olan $d_{\min}$ ve $d_{\max}$ her noktanın en büyük ve en küçük öz değerleri yardımıyla yukarıda verilen formüle göre hesaplanır (Küreç ve Konak, 2011), (Konak ve diğ., 2017).

9. Sonuçlar incelenir ve yorumlanır (Küreç, 2010), (Küreç ve Konak, 2011), (Konak ve Küreç, 2013), (Küreç Nehbit, 2018), (Konak ve diğ., 2017).

4.1.2. Bağlı Algılayabilirlik Analizi

Jeodezik ağlar multivaryat düzende ele alınarak değerlendirilebilir ve karşılaştırılabilirler. Bu durumda Bölüm 3.2. Denklem (3.3), Denklem (3.4), Denklem (3.5) ve Denklem (3.6)'da açıklanmakta olan genelleştirilmiş deformasyon modeli önerilmektedir. Bu model aynı zamanda bağlı güven elipslerine dayanan bir deformasyon analizi için oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Genelleştirilmiş model kullanılarak elde edilen algılayabilirlik değerleri de deformasyon noktalarındaki değişimleri temsil eder.

Bağıl deformasyon vektörünün ters ağırlık matrisi Denklem (3.13)'e göre herhangi bir deformasyon noktası için;

$$Q_{dd} = Q_{11} + Q_{22} - Q_{12} - Q_{21} \quad (4.19)$$

olarak ayrı ayrı elde edilir (Denklem 4.19). Bu son eşitlik Denklem (4.19), global algılayabilirlik analizi işlemlerinde Denklem (4.9) ve Denklem (4.10) yerine kullanılan ve genelleştirilmiş deformasyon modeliyle elde edilen ağırlık matrisidir (Denklem 4.20);

$$N_{ii} = (Q_{didi})^{-1} \quad (4.20)$$

Bağıl algılayabilirlik analizleri Bölüm 4.1.1.'de özetlenen adımlara göre gerçekleştirilir (Konak, 2021).

4.2. Jeodezik Ağlarda Gerinim Analizleri

Herhangi bir ölçüde model hipotezi testi ile belirlenemeyen rastgele özellikli bir kaba hata, gözlem planındaki yerine ve ağırlığına bağlı olarak koordinat bilinmeyenleri üzerinde belli bir oranda etkili olurlar. Deformasyon olarak adlandırılabilen bu etkiler ağ noktaları üzerinde farklı büyüklükte ve oranda gerinime neden olurlar. Söz edilen gerinimler afinlik parametrelerinin birer fonksiyonu olarak ele alınırlar ve koordinat bilinmeyenleri üzerine uygulanan bir afin dönüşüm modeliyle elde edilirler (Vanicek ve diğ., 1990), (Küreç Nehbit, 2018), (Konak, 2021). Herhangi bir ağ noktasının belirlediği çok noktalı bir yüzey alanı (çok yüzlü, polihedron) için gerinim bileşenleri hesaplanır ve koordinat bilinmeyenleriyle birlikte yorumlanır. Kuramsal anlamda gerçekleştirilen böyle bir işlem jeodezik ağlarda sağlamlık analizi olarak adlandırılmaktadır (Berber, 2006). Farklı periyotlarda değerlendirilen jeodezik ağların karşılaştırılması aşamasında afin dönüşümü işlemi koordinat farkları ya da hız vektörleri üzerine uygulanır, elde edilen deneysel gerinim bileşenlerinin anlamlı olup olmadığı doğrusal hipotez testleri ile sınanır ve deformasyon sonuçlarıyla birlikte yorumlanır (Konak, 2021).

Gerinim, gerilim kavramıyla birlikte yalın bir şekilde açıklanabilir.

Gerilim (Stress) ve Gerinim (Strain) Kavramları: Kuvvet uygulanan bir cismin kuvvete verdiği tepki iki farklı biçimde ele alınır ve değerlendirilir:

- a) Mekanik değerlendirmede malzemenin mikro yapısı, atomlardan oluştuğu varsayılır ve malzeme hataları göz ardı edilip mekanik tepkisi incelenir.
- b) Malzeme perspektifinden bakılırsa bu olguların hepsi göz önünde tutulur.

Mekanik değerlendirme yapılırken ele alınan malzeme, homojen ve sürekli bir yapıdaymış gibi düşünülür. Bir tepkinin mekanik davranışı matematiksel ifadelerle açıklanabilir ve geometrik değişimler de bir koordinat sisteminde tanımlanabilir. (muhendishane.org, 2016) Bu durumda malzemelerin mekanik davranışları gerinim ve gerilim kavramlarıyla açıklanabilmektedir.

Yeryuvarı, doğal yapısının aksine homojen ve sürekli bir yapıya sahip bir cisim olarak ele alınırsa; üzerine bir miktar yük ya da kuvvet uygulandığında nasıl bir tepki verdiği afin dönüşüm modelleriyle belirlenebilir ve ortaya çıkan geometrik değişimler de bir koordinat sistemine göre tanımlanabilir (Konak, 2021).

4.2.1. Gerilim (Stress)

Birim alana etki eden kuvvet olarak tanımlanabilir. Bir cisim bir kuvvete maruz kalmışsa dikkate alınması gereken nokta yalnızca uygulanan kuvvet değil, kuvvetin etki ettiği yüzeydir (Denklem 4.21).

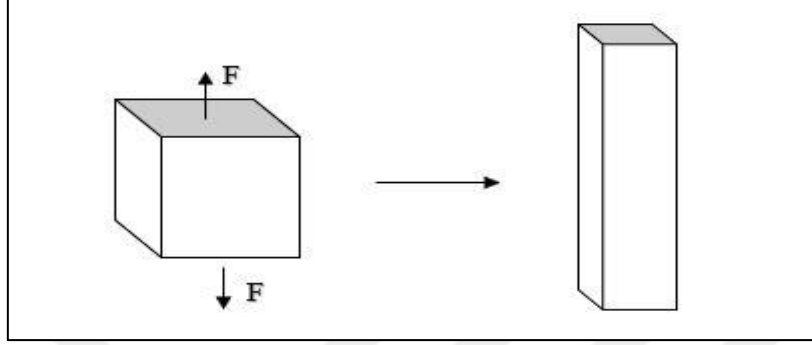
$$L = \frac{F}{A} = \frac{\text{Newton}}{\text{m}^2} = \text{Pascal} \quad (4.21)$$

A: Yüzey Alanı

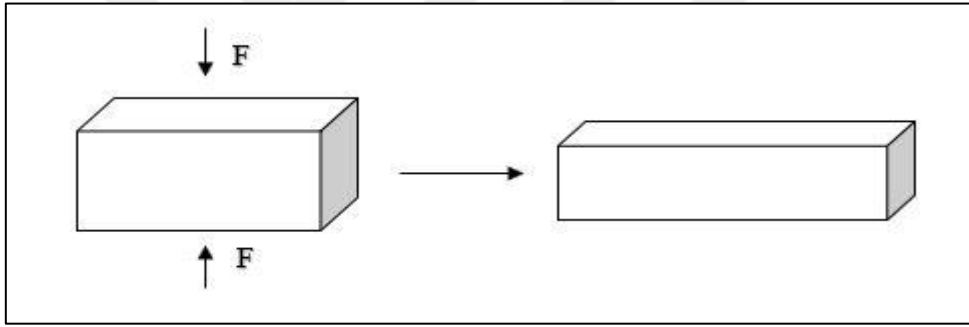
Gerilim modelleri farklı alanlardaki çalışmalar için kullanılabilir: Sözelimi elektrik gerilimi için voltaj bir gerilim örneğidir. Jeodezik anlamda düşünüldüğünde; bir çekim potansiyeli de jeoid yüzeyini tanımlanırken bir gerilim gibi ele alınabilir.

Gerilim kuvvetin uygulandığı yüzeye göre çekme gerilimi (tensile stress), baskı gerilimi (compressive stress) ve kesme gerilimi (shear stress) olmak üzere üç gruba ayrılır. Herhangi bir malzemeyi kuvvet yönünde uzatacak biçimde, yüzey alanına dik yönde uygulanan bir kuvvet sonucunda ortaya çıkan gerilime çekme gerilimi denir (Şekil 4.1). Eğer kuvvet birim yüzey alanına dik yönde fakat malzemeyi sıkıştırarak şekilde ise bunun sonucunda baskı gerilimi oluşur (Şekil 4.2). Çekme ve baskı gerilimleri uygulandıkları

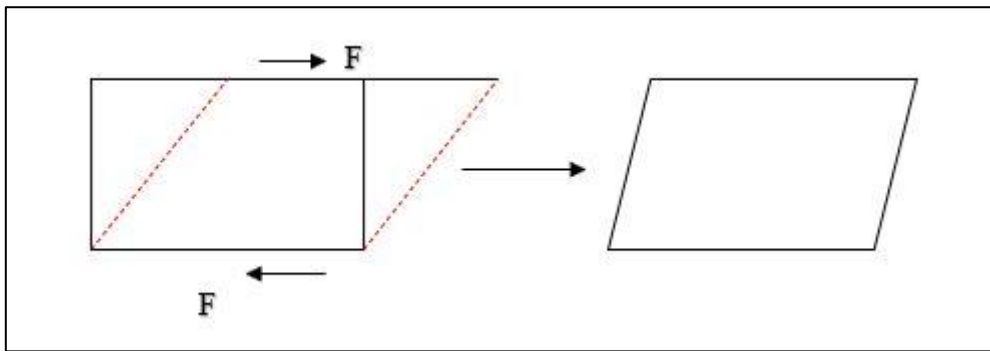
yüzeye dik yönde etki ettikleri için bunlar normal gerilim olarak adlandırılır. Malzemenin iki zıt yüzeyinin birbirine paralel ve ters yönde kaymalarını sağlayacak şekilde kuvvet uygulanmasıyla ortaya çıkan gerilim türüne kesme gerilimi denir (Şekil 4.3), (Konak, 2015), (muhendishane.org, 2016).



Şekil 4.1. Çekme Gerilimi



Şekil 4.2. Baskı Gerilimi



Şekil 4.3. Kesme Gerilimi

Bir gerilim, normal gerilim (çekme ve baskı gerilimleri) ile kesme gerilimi bileşenlerini içeren bir tensör anlatımıyla ele alınır. Sözelimi tanım gereği tensör, bir deformasyon

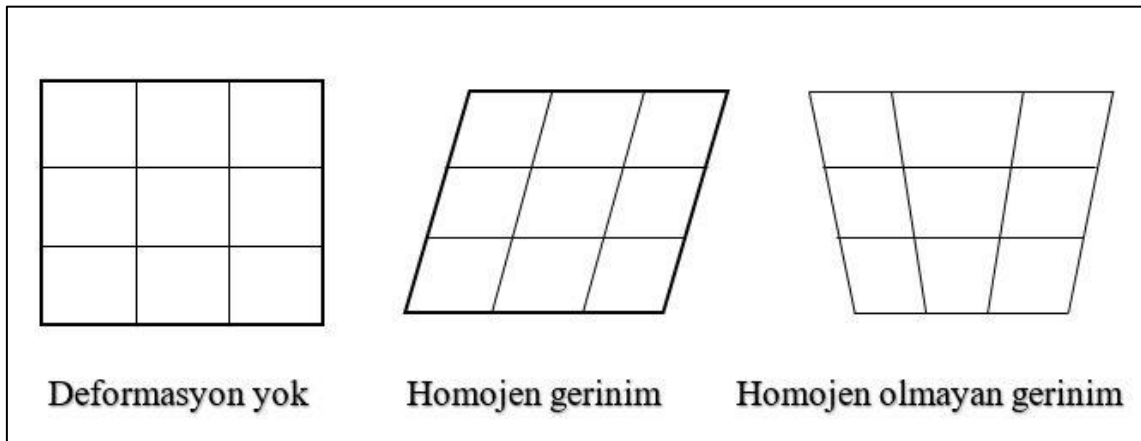
vektörüne benzeyen ve belirli bir fiziksel özelliği açıklayan sayılardan oluşan özel bir matris gösterimidir (muhendishane.org, 2016).

4.2.2. Gerinim (Strain)

Yük altında kalan ya da kuvvet uygulanan bir malzemenin özgün (asıl, başlangıç) durumuna göre ölçülebilen nicel bir değişim oranı gerinim olarak adlandırılır. Sözgelimi noktacıklardan oluşan bir cismi 2B olarak düşünelim. Bir kuvvete maruz kalarak şekil değişimine uğrayan cismin her noktasında belli bir miktar yer değiştirme gerçekleşir. İşte bu anlamda gerinim üzerine düşünürken noktaların önceki konumlarına göre ne kadar yer değiştirdiklerine bakarız (Konak ve Küreç, 2013).

Normal gerinim, normal gerilim sonucunda oluşurken; kesme gerinimi de kesme gerilimi sonucunda oluşur. Bir malzeme üzerine kesme gerilimi etki ederse malzemede açısall bir değişim olur (Konak ve Küreç, 2013).

Bir deformasyonu homojen ve homojen olmayan olarak sınıflandırabiliriz. Homojen deformasyonda geometrik yapılanma eşit şekilde deforme olacaktır. Yani düz ve paralel kenarlar deformasyondan sonra yine düz ve paralel olarak kalacaktır. Homojen olmayan deformasyonda ise paralel olan çizgiler deformasyon sonrasında paralel olmayabilir (Şekil 4.4), (Vanicek ve diğ., 1990).



Şekil 4.4. Gerinim Modelleri

Jeodezide gerinim analizi bir ağıta ait iki periyot arasındaki deformasyon hareketleri olarak incelenir. Gerinim tanım olarak yer değiştirmenin başlangıç durumuna oranı olduğundan

jeodezik ağılarda ise dengeli koordinat farklarının başlangıçtaki koordinata oranı şeklinde tasvir edilebilir. Jeodezik ağı herhangi bir noktasında gerçekleşen yer değiştirme;

$$\Delta x_i = E_i x_i + c_0 \quad (4.22)$$

olarak yazılır (Denklem 4.22). Burada E_i gerinim matrisi ya da tensör gradienti (eğimi) c_0 ise sabiti temsil eder;

$$E_i = \text{grad} (\Delta x_i) = \begin{bmatrix} \frac{\partial V_{xi}}{\partial x} & \frac{\partial V_{xi}}{\partial y} \\ \frac{\partial V_{yi}}{\partial x} & \frac{\partial V_{yi}}{\partial y} \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} e_{xx} & e_{xy} \\ e_{yx} & e_{yy} \end{bmatrix}_i \quad (4.23)$$

E matrisi simetrik ve antisimetrik iki matristen oluşur (Küreç Nehbit, 2018);

$$E = S + A \quad (4.24)$$

Simetrik bölüm;

$$S = \begin{bmatrix} \frac{\partial V_{xi}}{\partial x} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_{xi}}{\partial y} + \frac{\partial V_{yi}}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_{yi}}{\partial x} + \frac{\partial V_{xi}}{\partial y} \right) & \frac{\partial V_{yi}}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} \end{bmatrix} \quad (4.25)$$

Antisimetrik bölüm;

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_{xi}}{\partial y} - \frac{\partial V_{yi}}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_{yi}}{\partial x} - \frac{\partial V_{xi}}{\partial y} \right) & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -w_z \\ w_z & 0 \end{bmatrix} \quad (4.26)$$

formülleriyle elde edilir (Denklem 4.23 – 4.26).

Üç boyutlu ağlar için tensör gradiyenti (Küreç Nehbit, 2018);

$$E = \begin{bmatrix} \frac{\partial V_{xi}}{\partial x} & \frac{\partial V_{xi}}{\partial y} & \frac{\partial V_{xi}}{\partial z} \\ \frac{\partial V_{yi}}{\partial x} & \frac{\partial V_{yi}}{\partial y} & \frac{\partial V_{yi}}{\partial z} \\ \frac{\partial V_{zi}}{\partial x} & \frac{\partial V_{zi}}{\partial y} & \frac{\partial V_{zi}}{\partial z} \end{bmatrix} \quad \text{biçiminde elde edilir.} \quad (4.27)$$

E matrisini simetrik ve antisimetrik matrisleriyle şu şekilde gösteririz;

$$S = \begin{bmatrix} \frac{\partial V_{xi}}{\partial x} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_{xi}}{\partial y} + \frac{\partial V_{yi}}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_{xi}}{\partial z} + \frac{\partial V_{zi}}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_{yi}}{\partial x} + \frac{\partial V_{xi}}{\partial y} \right) & \frac{\partial V_{yi}}{\partial y} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_{yi}}{\partial z} + \frac{\partial V_{zi}}{\partial y} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_{zi}}{\partial x} + \frac{\partial V_{xi}}{\partial z} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_{zi}}{\partial y} + \frac{\partial V_{yi}}{\partial z} \right) & \frac{\partial V_{zi}}{\partial z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} & \epsilon_{zy} & \epsilon_{zz} \end{bmatrix} \quad (4.28)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_{xi}}{\partial y} - \frac{\partial V_{yi}}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_{xi}}{\partial z} - \frac{\partial V_{zi}}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_{yi}}{\partial x} - \frac{\partial V_{xi}}{\partial y} \right) & 0 & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_{yi}}{\partial z} - \frac{\partial V_{zi}}{\partial y} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_{zi}}{\partial x} - \frac{\partial V_{xi}}{\partial z} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_{zi}}{\partial y} - \frac{\partial V_{yi}}{\partial z} \right) & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -w_z & -w_y \\ w_z & 0 & -w_x \\ w_y & w_x & 0 \end{bmatrix} \quad (4.29)$$

Dönüşüm sonucundan yararlanarak istenilen gerinim elemanlarına ulaşırız (Denklem 4.30 – 4.39) (Küreç Nehbit, 2018);

*Saf kesme (τ);

$$\tau^2 = \frac{1}{4} (\epsilon_{xx} - \epsilon_{yy})^2 \quad (4.30)$$

*Basit kesme (v);

$$v^2 = \frac{1}{4} (\epsilon_{xy} + \epsilon_{yx})^2 \quad (4.31)$$

* Genişleme (Dilation) (σ);

$$\sigma = \frac{1}{2} (\epsilon_{xx} + \epsilon_{yy}) \quad (4.32)$$

3B Ağlarda gerinim elemanları;

*Saf kesme (τ);

$$\tau_{xy}^2 = \frac{1}{4} (\epsilon_{xx} - \epsilon_{yy})^2 \quad (4.33)$$

$$\tau_{xz}^2 = \frac{1}{4} (\epsilon_{xx} - \epsilon_{zz})^2 \quad (4.34)$$

$$\tau_{yz}^2 = \frac{1}{4} (\epsilon_{yy} - \epsilon_{zz})^2 \quad (4.35)$$

*Basit kesme (v);

$$v_{xy}^2 = \frac{1}{4} (e_{xy} + e_{yx})^2 \quad (4.36)$$

$$v_{xz}^2 = \frac{1}{4} (e_{xz} + e_{zx})^2 \quad (4.37)$$

$$v_{yz}^2 = \frac{1}{4} (e_{yz} + e_{zy})^2 \quad (4.38)$$

*Genişleme (Dilation) (σ);

$$\sigma = \frac{1}{3}(e_{xx} + e_{yy} + e_{zz}) \quad (4.39)$$

Genişleme – dilatasyonunun geometrik anlamı bir objenin belirli bir ölçek faktörü kullanılarak küçülmesi – çekmesi veya genişlemesidir. Dilatasyon sonucunda objenin şekli değişmeksizin büyüklüğü değişir.

Saf kesme sonucunda objenin kenar uzunlukları ve şeklinde değişiklik olurken basit kesme sonucunda objenin hem şekli hem de kenarlar arasındaki açılar değişir (Küreç Nehbit, 2018).

4.3. Afin Dönüşüm Modeli İle Gerinim Elemanlarının Belirlenmesi

Jeodezide düzlem koordinatlarının dönüştürülmesinde kullanılan yöntemlerden biri afin dönüşüm yöntemidir. Afin dönüşüm modeli paralelliği korur. Dönüşen ve dönüştürülen sistemler arasında x ve y yönünde farklı ölçekler vardır.

İki boyutlu bir Afin dönüşüm modelinde bilinmeyenler x ve y yönlerinde 2 öteleme 2 dönüklük ve 2 ölçek faktörüdür. Bu parametrelerin çözümü için en az 3 eşlenik noktaya ihtiyaç vardır. İki boyutlu bir gerinim analizi işleminde, gözlem vektörü (l) olarak üç boyutlu yerel bir sisteme dönüştürülmüş yer değiştirme vektörü (d), koordinat bilinmeyenleri vektörü (x) ya da hız bileşenleri vektörüne ($V_{x,y,z}$) ilişkin elemanlar arasından kuzey-güney ve doğu-batı bileşenlerinin kullanılması yeterlidir (Konak ve diğ., 2018).

Afin dönüşümünde matematik model duyarlılıkları eşit gözlemler kümesinde bir Dolaylı Ölçüler Dengelemesi Modeli olarak ele alınabilir (Denklem 4.40 – 4.48);

$$l + v = At$$

Afin dönüşüm katsayılar matrisi (A)

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta x_i & \Delta y_i & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta x_i & \Delta y_i \end{bmatrix} \quad (4.40)$$

dönüşüm bilinmeyenleri vektörü, $t^T = [t_x, t_y, e_{xx}, e_{yx}, e_{xy}, e_{yy}]$ olmak üzere EKK amaç fonksiyonunu sağlayan Normal denklemler;

$$A^T A t - A^T l = 0 \quad (4.41)$$

biçiminde oluşturulur ve dönüşüm bilinmeyenlerine ilişkin çözüm kümesi;

$$t = (A^T A)^{-1} (A^T l) \quad (4.42)$$

elde edilir. Dönüşüm bilinmeyi elemanları, Simetrik ve Anti Simetrik elemanları biçiminde düzenlenirse ve gerinimi temsil eden temel bileşenler hesaplanır.

Gerinim elipsinin büyük yarı eksen – en büyük asal gerinim bileşeni (Konak ve diğ., 2017);

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} (\epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} + e) \quad (4.43)$$

Gerinim elipsinin küçük yarı eksen – en küçük asal gerinim bileşeni (Konak ve diğ., 2017);

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} (\epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} - e) \quad (4.44)$$

En büyük gerinim oranının yönü (Konak ve diğ., 2017);

$$\tan 2\theta = \frac{2\epsilon_{xy}}{\epsilon_{xx} - \epsilon_{yy}}; \theta \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right] \quad (4.45)$$

θ : Asal Gerinim Bileşeninin Doğrultusu (Konak ve diğ., 2017);

$$e = \sqrt{(\epsilon_{xx} - \epsilon_{yy})^2 - 4\epsilon_{xy}^2} \quad (4.46)$$

En büyük kesme gerinimi;

$$\mu = \lambda_1 - \lambda_2 \quad (4.47)$$

Diferansiyel dönme gerinimi;

$$\Omega = w \quad (4.48)$$

formülleri ile hesaplanır (Hsu ve diğ., 2008), (Konak ve diğ., 2020), (Konak ve diğ., 2017).

4.4. Farklı Kestirim Yöntemleri ile Gerinim Analizi

Herhangi bir yüzeyde oluşan deformasyonların neden olduğu gerinimler, yüzey üzerine düzgün dağılmış noktalar yardımıyla, farklı kestirim yöntemleri kullanılarak kestirilebilir. Yüzeye ilişkin gerinim bileşenleri, yüzey hareketlerinin yapısına bağlı olarak geometrik, jeodezik ve/veya jeofizik verilerle modellenebilir ve yorumlanırlar. Gerinim modelleri için minimum varyanslı, tutarlı, etkili, yeterli ve en azından asimptotik anlamda yansız kestirimler kullanılmalıdır. (Konak ve diğ., 2020) En Büyük Olabilirlik Kestirimi (EBOK) ve En Küçük Kareler Kestirimi (EKK) yüzeyde oluşan deformasyonların yorumlanmasında kullanılan belli başlı yöntemlerdendir. Bir gerinim modeli afin dönüşüm modeli olarak ele alınır (Konak ve diğ. 2020).

En Küçük Toplam Kestiriminin (EKT) Matematik Modeli (Denklem 4.49 – 4.52):

$$\Omega = \sum |v| \rightarrow \text{minimum. EKT Amaç Fonksiyonu;}$$

$$At - v \leq 1 \quad (4.49)$$

$$A(t^+ + t^-) - (v^+ - v^-) \leq 1 \quad (4.50)$$

$$t^+ \geq 0; t^- \geq 0; v^+ \geq 0; v^- \geq 0$$

Özel Durum: Bir EKT kestiriminde en uygun çözüm, EKT amaç fonksiyonunu sağlayan ve eşlenik nokta çifti sayısı p=3 olan kombinasyonlardan birisine denk gelmektedir.

$$n = 2*p = 6; u = 6; n = u$$

$$A_i^{-1} = (A^T A)^{-1} A_{(u,u)}^T \quad (4.51)$$

$$t_i = A_i^{-1}1 \quad (4.52)$$

En Küçük Kareler Ortanca Kestiriminin (EKKO) Matematik Modeli: Bir EKKO kestiriminde en uygun çözüm, EKKO amaç fonksiyonunu sağlayan ve eşlenik nokta çifti sayısı $p=4$ olan kombinasyonlardan birisine denk gelmektedir (Denklem 4.53 – 4.56). Kombinasyonlar arasına EKT kombinasyonları da dahil edilebilir (Niemeier, 2002), (Konak ve diğ., 2020).

$\Omega = \text{ortanca } |v_i^2| \rightarrow \text{minimum EKT Amaç Fonksiyonu;}$

Eşlenik nokta çifti sayısı $p = 4$

$$n = 2*p = 8; u = 6; m > u$$

$$A_i^{-1} = (A^T A)^{-1} A_{(u,m)}^T \quad (4.53)$$

$$t_i = A_i^{-1}1 \quad (4.54)$$

En Küçük Kareler Kestirimi (EKK) Matematik Modeli: Bir EKK kestirimi diğer yöntemlere göre en küçük varyansa sahip, yansız ve etkin bir çözüm yöntemidir (Niemeier, 2002), (Konak ve diğ., 2020)

$\Omega = v^T v \rightarrow \text{minimum EKT Amaç Fonksiyonu;}$

$$n = 2*p ; u = 6; n > u$$

$$A_i^{-1} = (A^T A)^{-1} A_{(u,n)}^T \quad (4.55)$$

$$t_i = A_i^{-1}1 \quad (4.56)$$

EBOK yönteminin temel düşüncesi, “gerçekleşme olasılığı yüksek olan rastlantısal bir olayın olabilirlik düzeyi de o kadar yüksektir ilkesine” dayanır. EBOK yöntemleri ölçülerin dağılımının çok iyi bilinmesi durumunda başarılı sonuçlar verirler. EKK diğer bir deyişle L2-Norm yönteminin temel mantığı ise normal dağılımda olup olmadıkları kesin olarak bilinmeyen ölçü kümeleri için minimum varyanslı ve yansız sonuçlar vermesine dayanır. EKK hataların yayılma yasası esasına göre çalıştığından herhangi bir

ölçüde var olabilecek kaba hatayı veya ağırlığı yüksek bir ölçüdeki hatayı yayar ve diğer ölçüleri de olumsuz etkileyebilir (Konak ve diğ. 2020).

En Küçük Toplam (EKT) kestirim yöntemi diğer bir deyişle L1-Norm düzeltmelerin mutlak değerleri toplamını minimum yapan bir EBOK kestirim türüdür. Robust bir kestirim türü olan bu kestirim yönteminde amaç ölçü kümelerindeki aykırı gözlemlerin etkisinin azaltılmasıdır.

En Küçük Kareler Ortanca (EKKO) kestirimi EKT yöntemini denetleyen diğer bir EBOK yöntemidir. Bir bilinmeyene ilişkin yapılan tüm ölçüler içerisinde çoğunluğa göre daha uzakta bulunan ölçü değerlerine kaldıraç noktası denir (Hekimoğlu, 2005). Kaldıraç noktası olarak adlandırılan ölçüler parametreler üzerinde oldukça etkilidirler ve bu sebeple zayıf denetlenebilir ölçülerdeki uyuşumsuzlukların diğer ölçülere yayılma etkisi olarak da açıklanabilir. EKKO kestirim yöntemi işte bu kaldıraç noktalarının belirlenmesinde çok etkili bir yöntemdir (Niemeier, 2002), (Konak ve diğ. 2020).

Gerinim analizi işlemleri için bu yöntemler birbirlerini tamamlayan birer yöntem olarak kullanılabilir. Bu durumda uygun bir kestirim yöntemi seçilebilir ya da uygun bir algoritma geliştirilebilir. Diğer seçenek olarak; her bir kestirim yöntemi ayrı ayrı uygulanarak jeodezik ağın davranışları değerlendirilir ve sonuçlar karşılaştırılabilir.

Bu amaçla ağ noktalarını temsil eden ve komşu noktalarından oluşan en uygun çok yüzlünün belirlenmesine yönelik bütünleşik bir çözüm algoritması önerilmektedir. EKT ve EKKO kestirimi ile bütünleşik olarak yürütülen ve EKK çözümlüne dayanan bu çözüm algoritması üç temel adımda özetlenebilir (Konak ve diğ., 2020).

Birinci adımında, “düzeltmelerin mutlak değerlerini en küçük yapan” EKT kestirim yöntemi kullanılır ve bilinmeyen sayısı kadar elde edilen eşlenik nokta çifti birinci grup eşlenik noktalar kümesi belirlenir (Niemeier, 2002).

İkinci adımda, “düzeltmelerin karesel ortanca değerini en küçük yapan” EKKO kestirim yöntemi yardımıyla, EKT kestirim yönteminde çözüme dahil edilemeyen ikinci grup eşlenik noktalar sorgulanır.

Üçüncü adımda, her bir durak noktası için belirlenen çokyüzlü için, eşlenik noktaların tamamından yararlanılarak “düzeltmelerin karelerini minimum yapan” EKK kestirimi kullanılır. Bu aşamada EKT ve EKKO kestirimine alınmayan noktalar üçüncü eşlenik noktalar kümesi olarak adlandırılır.

Aynı zamanda sağlam (robust) bir kestirimle eşdeğer olan böyle bir çözüm algoritmasında, eşlenik noktaların yıllık hız bilgileri (gözlemleri) birer ağırlıklandırma fonksiyonu ile ağırlıklandırılır. Bu işlem için EKK kestirimi sonucunda elde edilen düzeltmeler ve ters ağırlıkları kullanılır. Böylece EKKO ve EKT yöntemi sonucunda belirlenen eşlenik noktaları yıllık hız bilgileri olabildiğince korunabilmektedir.

Amaç fonksiyonu $\Omega = \mathbf{v}^T \mathbf{W} \mathbf{v} \Rightarrow \min.$ olmak üzere;

$$n = 2 * p; u = 6; n > u$$

$$\mathbf{v}_k = (\mathbf{H}_t - \mathbf{l})_k \quad (4.57)$$

$$\mathbf{H}^{-1} = (\mathbf{H}^T \mathbf{W}_k \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{W}_k \quad (4.58)$$

$$\mathbf{t}_{k+1} = \mathbf{H}^{-1} \mathbf{l} \quad (4.59)$$

$$\mathbf{v}_{k+1} = (\mathbf{H}_t^{-1})_{k+1} \quad (4.60)$$

$$|\mathbf{t}_{k+1} - \mathbf{t}_k| \leq \Delta \quad (4.61)$$

$$\mathbf{W}_k = \begin{cases} w_i = 1 & ; \quad (\mathbf{x}; \mathbf{y}) \in \text{EKT} \\ w_i = e^{\left(-\frac{v_x^2 + v_y^2}{z^2 2 m_v^2}\right)_i} & ; \quad (\mathbf{x}; \mathbf{y}) \in \text{EKKO} \\ w_i = e^{\left(-\frac{v_x^2 + v_y^2}{c^2 2 m_v^2}\right)_i} & ; \quad (\mathbf{x}; \mathbf{y}) \in \text{EKK} \end{cases} \quad (4.62)$$

$$c = \tau_{f, 1-\alpha_0} = \sqrt{\frac{f F_{h, f-h, 1-\alpha/n}}{f-h+h F_{h, f-h, 1-\alpha/n}}}; h = 2 \quad : \text{Tau Dağılımının Eşik Değeri}$$

$$F_{h, f-h, 1-\alpha/n} : \text{Fisher Dağılımının Eşik Değeri}$$

$$\mathbf{Q}_{vv} = \mathbf{W}_{ll}^{-1} - \mathbf{H}(\mathbf{H}^T \mathbf{W} \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \quad : \text{Düzeltmelerin Ters Ağırlık Matrisi}$$

$$Z = \sqrt{F_{h,\infty,1-\infty/n}}$$

: Normal Dağılımın Eşik Değeri;

$$m_{vi} = \pm m_0 \sqrt{(Q_{vv})_i}$$

: Düzeltmelerin Ortalama Hatası

Bu algoritma üçüncü ve son adımda yinelemeli ağırlıklandırılmalı bir çözümle tamamlanır (Denklem 4.57 – 4.62). Doğrusal gerinim (dilatasyon), kesme ve dönme değişmezleri hesaplanır (Konak ve diğ., 2020).



5. UYGULAMA

Bu çalışmada sayısal uygulama verileri olarak; Kocaeli Üniversitesi Sabit GPS Ağı (KOUSAGA) noktalarına ilişkin 2009 ve 2010 yıllarında iki periyot halinde gerçekleştirilmiş GPS gözlemleri, ağ noktalarına ait yaklaşık koordinat değerleri ve hız bilgileri kullanılmıştır. KOUSAGA ağı, KOU tarafından desteklenen ve bilimsel bir araştırma olarak tamamlanmış olan, “İZGAZ Doğal Gaz Alt Yapısının Jeodezik Ağlar ve Bilgi Sistemi ile İzlenmesi Projesi (İZDOGAP)” sürecinde kurulan yerel bir Sıklaştırma GPS Ağı’na düzgün bir hız alanı taşımak amacı ile tasarlanmıştır (Küreç Nehbit, 2018), (Konak ve diğ., 2020). Başka bir deyişle; KOUSAGA Ağı’nın delaunay üçgenlemesi yöntemine göre tasarlanması İZDOGAP Projesi kapsamında yeterli görülmüştür. Bu nedenle tezimizin sayısal uygulama aşamasında KOUSAGA Ağı’nın güçlü ve zayıf yönleri de ayrıca deneysel olarak sorgulanmaktadır.

Aynı zamanda İZDOGAP proje alanı kontrol ağını kapsayan ve bu ağın hız alanını temsil edecek biçimde kurulan KOUSAGA ağı; 2 IGS (TUBI (1006) ve ISTA (1005)) ve 11 TUSAGA-Aktif (HEND (2009), IZMT (2007), ISTN (2004), ZONG (2012), BOLU (2011), NAHA (2010), BILE (2008), BURS (2003), BAND (2002), TEKR (2001) ve SLEE (2006)) istasyonundan oluşmaktadır.

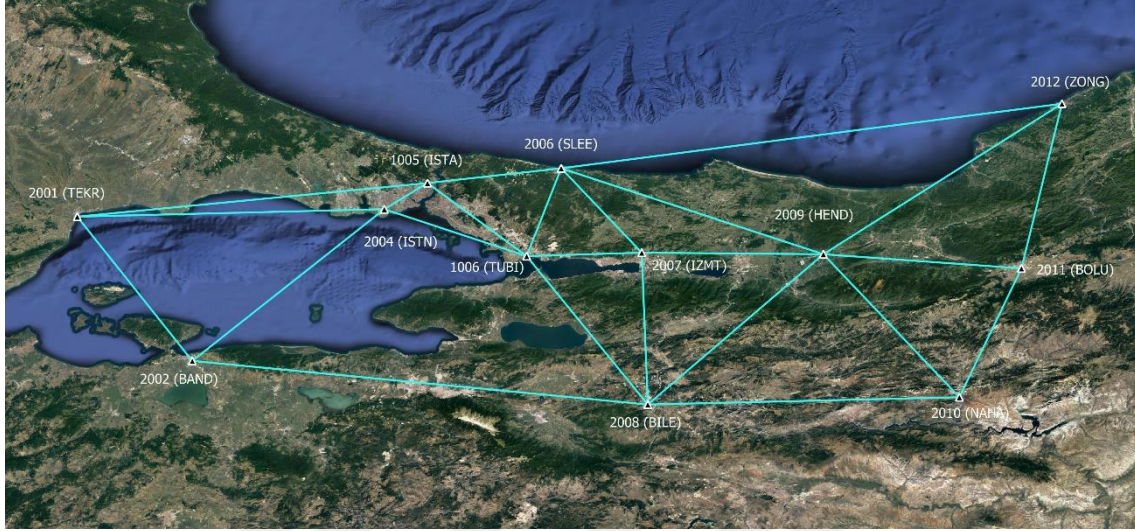
Bu çalışmada KOUSAGA ağının 2009 ve 2010 yıllarına ait 8 saatlik oturum verilerinden elde edilen GPS gözlemleri ağ düzeninde ayrı ayrı Serbest Ağ Yöntemiyle topluca değerlendirilmiş, elde edilen konum bilgileri genelleştirilmiş bir deformasyon modeli kullanılarak karşılaştırılmıştır. Sabit noktalar (eşlenik, datum noktaları) ile deformasyon noktalarının algılayabilirlik düzeyleri Bağıl Güven Elipsoitleri yaklaşımıyla irdelenen KOUSAGA ağında, ayrıca EKT, EKKO ve EKK kestirimine dayanan deneysel gerinim irdemesi işlemleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. Bu sayısal uygulama aşamasında BURS (2003) adlı ağ noktasına ait 2009 yılı verisi bulunmadığından bu nokta değerlendirmeye alınmamış ve irdeme işlemleri 12 noktadan yararlanarak gerçekleştirilmiştir. Ölçülere ilişkin bazı bilgiler Tablo 5.1’de sergilenmiştir.

Tablo 5.1. Ölçme Zamanı Bilgileri

Periyot	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Başlangıç Saati	Bitiş Saati
2009	25.04.2009	03.06.2009	00:00	08:00
2010	26.05.2010	06.07.2010	00:00	08:00

5.1. Ağ Düzeninde Toplu Değerlendirme İşlemleri

KOUSAGA ağına ilişkin GPS gözlemleri, t_1 ve t_2 periyotlarında ayrı ayrı olmak üzere, serbest ağ yöntemiyle değerlendirilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. KOUSAGA Ağı (BURS Noktası Hariç)

Tablo 5.2. KOUSAGA Ağı 2009 Periyodu Değerlendirme Sonuçları

N.N.	X (m)	Y (m)	Z (m)	m_x (cm)	m_y (cm)	m_z (cm)	m_p (cm)	N.N.
2002	4299255,5126	2285639,0218	4106154,1794	0,6587	0,5243	0,6941	1,0617	2002
2008	4229802,2452	2439853,4474	4090382,4247	0,5187	0,4346	0,5159	0,9118	2008
2011	4122736,9404	2536527,2172	4140560,9335	0,7044	0,5883	0,6996	1,0731	2011
2009	4156191,3183	2471766,3469	4145350,7833	0,4935	0,4069	0,4837	0,8927	2009
1005	4208830,0978	2334851,1281	4171267,4241	0,4714	0,3783	0,4621	0,8830	1005
2004	4223660,8120	2325015,7889	4161716,3787	0,4889	0,3929	0,4773	0,8932	2004
2007	4189506,1395	2414032,0986	4146014,9804	0,4541	0,3810	0,4446	0,8635	2007
2010	4169068,9708	2538033,5658	4093163,1591	0,6985	0,5962	0,6914	1,0630	2010
2006	4180827,4536	2375107,3093	4176631,4166	0,4407	0,3552	0,4304	0,8625	2006
2001	4278776,6341	2227058,5208	4158962,1791	0,7588	0,6024	0,7904	1,1584	2001
1006	4211317,1461	2377866,7149	4144663,4474	0,3981	0,3353	0,3976	0,8351	1006
2012	4070091,1968	2521418,1184	4200083,6007	0,7691	0,6454	0,7844	1,1524	2012
$n = 75$ $u = 36$ $d = 3$ $f = 42$								
$V^T P V = 7,1189 \text{ cm}^2$ $V^T P L = -7,1189 \text{ cm}^2$ $\ell^T P \ell - x^T A^T P \ell = 7,1189 \text{ cm}^2$ $m_0 = 0,41 \text{ cm}$								

Tablo 5.3. KOUSAGA Ağı 2010 Periyodu Değerlendirme Sonuçları

N.N.	X (m)	Y (m)	Z (m)	m _x (cm)	m _y (cm)	m _z (cm)	m _p (cm)	N.N.
2002	4299255,5376	2285639,0248	4106154,1918	1,0910	0,8712	0,9760	1,4548	2002
2008	4229802,2258	2439853,4225	4090382,3976	0,8474	0,7062	0,7417	1,1583	2008
2011	4122736,9779	2536527,2324	4140560,9692	1,1289	0,9427	1,0344	1,5254	2011
2009	4156191,3114	2471766,3442	4145350,7769	0,7982	0,6511	0,7125	1,1195	2009
1005	4208830,0920	2334851,1374	4171267,4257	0,7675	0,5948	0,6868	1,0962	1005
2004	4223660,8141	2325015,8009	4161716,3857	0,7960	0,6212	0,7112	1,1220	2004
2007	4189506,1267	2414032,0950	4146014,9718	0,7380	0,5923	0,6765	1,0749	2007
2010	4169068,9910	2538033,5535	4093163,1696	1,1308	0,9741	1,0019	1,5081	2010
2006	4180827,4170	2375107,2992	4176631,3874	0,7074	0,5505	0,6533	1,0535	2006
2001	4278776,6529	2227058,5402	4158962,1996	1,2786	0,9613	1,1373	1,7021	2001
1006	4211317,1338	2377866,7112	4144663,4387	0,6511	0,5216	0,5959	0,9971	1006
2012	4070091,1870	2521418,1168	4200083,5929	1,2343	1,0209	1,1683	1,7034	2012
n = 75 u = 36 d = 3 f = 42								
$V^T PV = 17,4163 \text{ cm}^2$ $V^T PL = -17,4163 \text{ cm}^2$ $\ell^T P \ell - x^T A^T P \ell = 17,4163 \text{ cm}^2$ $m_0 = 0,64 \text{ cm}$								

2009 ve 2010 yıllarına ait verilerin serbest ağı dengelemesi yöntemiyle dengelenmesi sonucunda elde edilen kesin koordinat değerleri Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'te özetlenmektedir. Ayrıca değerlendirilme sonuçlarına ilişkin ayrıntılı bilgiler Ek-A ve Ek-B'de verilmektedir.

5.2. Hipotez Testleri

2009 periyodunda matematik model $\alpha/2 = 0,025$ yanılma olasılığı ve $s = 1 - \alpha/2 = 0,975$ istatistik güvenle geçerli çıkmıştır. Model hipotezi testine ilişkin deneysel test büyüklüğü ($T = 0,17$) ve Fisher dağılımının eşik (sınır) değeri ($c = 1,85$) olarak elde edilmiştir. Bu durumda model hipotezi testi geçerli sayılmıştır. 2009 periyodu için gerçekleştirilen serbest ağı dengelemesinin fonksiyonel modeli, gözlemler arasındaki fiziksel ve geometrik ilişkilere uygundur. Model hipotezi testi geçerli olmasına rağmen bir kez daha gözlemler kümesi için Poppe testine dayanan bir uyuşumsuz ölçü araştırma işlemi gerçekleştirilmiş ve herhangi bir uyuşumsuz ölçüye rastlanmamıştır.

Benzer işlemler 2010 periyodunda da gerçekleştirilmiştir. Serbest ağ dengelemesi sonucunda matematik model $\alpha/2 = 0,025$ yanılma olasılığı ve $s = 1-\alpha/2 = 0,975$ istatistik güvenle geçerli çıkmıştır. Model hipotezi testine ilişkin deneysel test büyüklüğü ($T=0,41$) ve Fisher dağılımının eşik (sınır) değeri ($q=1,85$) olarak elde edilmiştir. Bu durumda model hipotezi geçerli sayılmıştır.

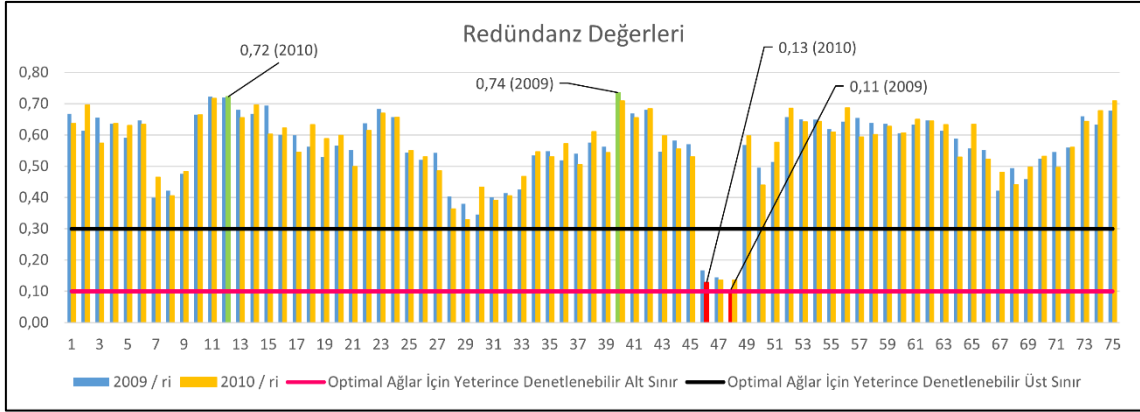
Sonuç olarak her iki periyotta gözlemler kümesinde herhangi bir uyuşumsuz ölçüye rastlanmamış, serbest ağ yöntemi ile elde edilen dengeleme sonuçlarının yeterince güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır. (Ek-C, D)

5.3. Kalite Ölçütleri

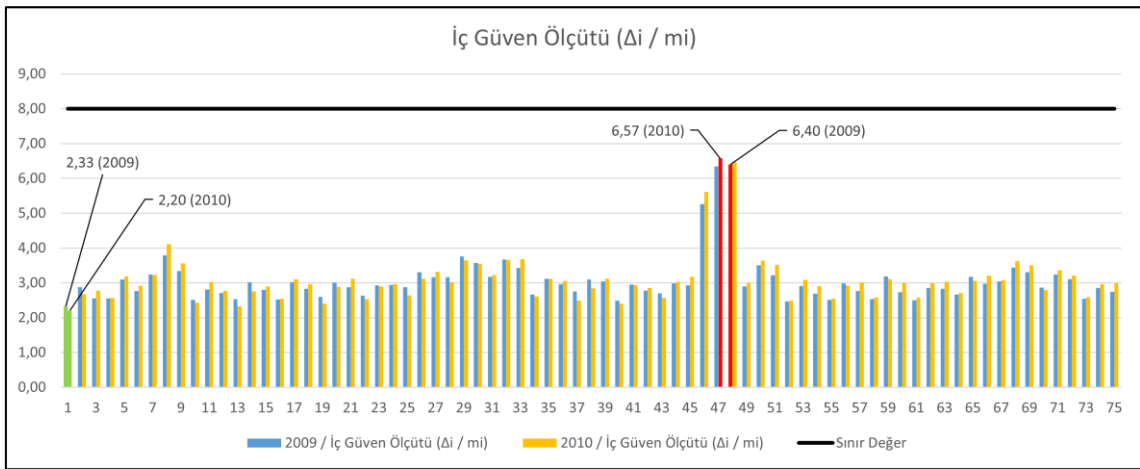
2009 ve 2010 periyodu duyarlık ve güven ölçütleri düzeyleri yönünden gözden geçirilmiş ve redundanz değerlerinin, (Ralf, 1984)'e göre yeterince denetlenebilir bir ağ için beklenen $r_{min}= 0,10$ alt sınırını sağladığı görülmüştür (Ek-E, F). Serbestlik derecesi $r = 0,10$ civarında olan söz konusu ISTA (1005) – ISTN (2004) bazının iç güven ve dış güven değerleri iyi planlanmış ağlar için beklenen üst sınır değerinin altında kalmaktadır (Öztürk ve Şerbetçi, 1992). Her iki periyotta da redundanz değeri ağın en kısa mesafeli baz ölçüsü ISTA (1005) – ISTN (2004) en küçük değerine ulaşsa da bu değer ağın denetlenebilirliği açısından kabul edilebilir bir düzeydedir.

Bu değerlere göre 2009 periyodunda redundanz değerleri $[0,11- 0,74]$, iç güven değerleri $[2,33 – 6,40]$, dış güven değerleri de $[2,13- 9,20]$ arasında değişmektedir. 2010 periyodu sonuçlarına göre ise redundanz değerleri $[0,13- 0,72]$, iç güven değerleri $[2,20– 6,57]$ ve dış güven değerleri de $[2,14– 8,97]$ aralığında kalmaktadır. Hem iç güven hem de dış güven değerleri her iki periyotta da birbirlerine benzer yapıda bir dağılım sergilemekte ve beklenen değerleri yeterince sağlamaktadır.

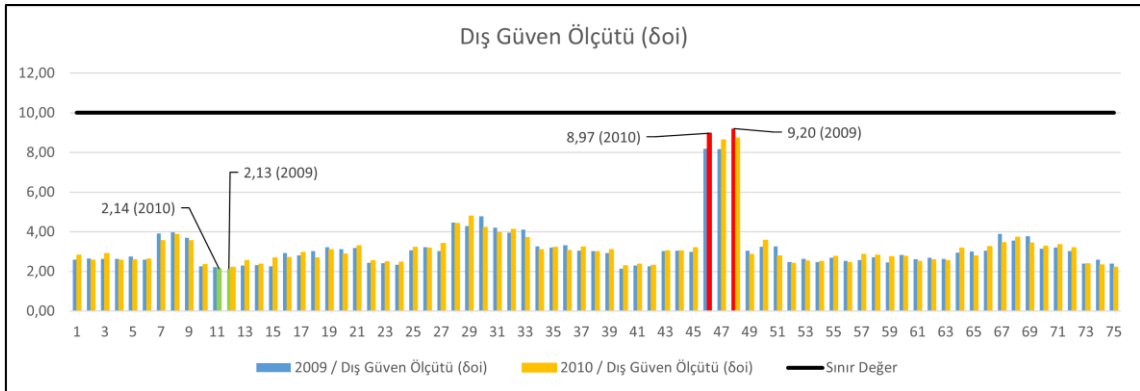
İç güven ve dış güven değerleri de ISTA (1005) – ISTN (2004) bazında üst sınır değere yakın (2009 periyodunda $\Delta_i / m_i = 6,40$ $\delta_{oi} = 9,20$, 2010 periyodunda $\Delta_i / m_i = 6,57$ $\delta_{oi} = 8,97$) olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.2. 2009 ve 2010 Periyodunda Redundanz Değerleri



Şekil 5.3. 2009 ve 2010 Periyodunda İç Güven Ölçütü Değerleri



Şekil 5.4. 2009 ve 2010 Periyodunda Dış Güven Ölçütü Değerleri

5.4. Deformasyon Analizi

2009 ve 2010 periyodunda değerlendirilen KOUSAGA Ağı, Genelleştirmiş Deformasyon Modeli ile karşılaştırılmış, deformasyon noktalarının davranışları bağlı güven elipsoiti

yaklaşımı kullanılarak sorgulanmıştır. Başlangıçta sabit (eşlenik) nokta araştırması yapılmıştır. Bu işlem için önce ağın tüm noktaları, daha sonra Avrasya plakasının sabit Anadolu levhasının hareketli olması kabulü üzerine KAF'ın kuzeyinde kalan dört nokta (ISTA (1005), SLEE (2006), ZONG (2012), TEKR (2001)) eşlenik nokta olarak ele alınmış, iki durumda da 3B dengelemeli bir benzerlik dönüşümü uygulanmıştır. Bu işlemler sonucunda TEKR (2001) noktasının, özellikle eşlenik noktalar kümesindeki geometrik yerine bağlı olarak farklı bir davranış göstermekte olduğu istatistiksel olarak kanıtlanmıştır. Daha sonra geri kalan üç noktadan (ISTA (1005), SLEE (2006), ZONG (2012)) yararlanılarak bir dönüşüm işlemi daha gerçekleştirilmiştir. Her bir dönüşüm sonunda dönüşüm parametrelerinin anlamlılığı da araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; eşlenik noktaların yani deformasyon analizinde sabit kabul edilecek noktaların belirlenmesi sürecinde sözü edilen parametre anlamlılık testlerinin belirleyici ölçüt olarak göz önünde bulundurulması gerektiğine karar verilmiştir. Bu aşamada eşlenik noktalar kümesinin özellikle ölçek ve dönüklük hakkında bilgi taşıyan parametreler yönünden, istatistiksel anlamda birbirlerinden farklı olmamaları beklenmelidir. Dönüşüm işlemleri sonucunda öteleme, dönüklük ve ölçek parametrelerinin anlamlılıkları bu üç dönüşüm için karşılaştırılmış, sözü edilen beklentiye yeterince karşılayan eşlenik noktaların sabit nokta kümesi olarak seçilebileceğine karar verilmiştir (Tablo 5.4, Tablo 5.5, Tablo 5.6)

Ağın tamamı için yaklaşık koordinatlar kümesinde Z eksen yönünde dönüklük hakkında bilgi taşıyan parametre anlamlı bulunmuştur. Ancak herhangi bir koordinat bileşeninin ortalama hatasının soncul değeri diğerlerinden daha büyüktür (Tablo 5.4).

Tablo 5.4. Ağın Tamamı için 3B Benzerlik (Helmert) Dönüşümü

d_x	Birim	x	m_x (cm)	$R = (x^T Q_{xx}^{-1} x)$	$T = \sqrt{R/m_0^2}$	t (student)	Karar
t_x	cm	0,000000	0,6975	0,000000	0,00	2,04	Anlamsız
t_y		0,000000	0,6975	0,000000	0,00		Anlamsız
t_z		0,000000	0,6975	0,000000	0,00		Anlamsız
ϵ_x	cc	0,022313	0,0617	0,762741	0,36		Anlamsız
ϵ_y		0,051550	0,0923	1,819862	0,56		Anlamsız
ϵ_z		-0,084384	0,0389	27,411938	2,17		Anlamlı
k	ppm	-5,928669	5,8750	5,945752	1,01		Anlamsız
m_0 (cm)=	2,4163	Dönüşüm modelinin bilinmeyenleri : $t_x, t_y, t_z, \epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z, k$					

Dört noktalı dönüşüm işleminde dönüklük yönündeki parametrelerin anlamlı olarak belirlenmesi dikkat çekmektedir (Tablo 5.5). Bu durumda TEKR (2001) noktasının dönüşüm sonuçlarını olumsuz yönde etkilemekte olduğu açıkça görülmektedir (Tablo 5.6).

Tablo 5.5. ISTA (1005), SLEE (2006), ZONG (2012), TEKR (2001) Eşlenik Noktalar Kümesinde 3B Benzerlik (Helmert) Dönüşümü

d_x	Birim	x	m_x (cm)	$R = (x^T Q_{xx}^{-1} x)$	$T = \sqrt{R/m_0^2}$	t (student)	Karar
t_x	cm	-1,357423	0,6933	7,370389	1,96	2,57	Anlamsız
t_y		0,195621	0,6933	0,153070	0,28		Anlamsız
t_z		-0,676017	0,6933	1,827994	0,98		Anlamsız
ϵ_x	cc	2,962118	0,8498	23,362444	3,49		Anlamlı
ϵ_y		-4,067889	1,1928	22,362380	3,41		Anlamlı
ϵ_z		-0,700773	0,1715	32,084280	4,08		Anlamlı
k	ppm	-2,578567	5,3182	0,451991	0,48		Anlamsız
m_0 (cm)=	1,3866	Dönüşüm modelinin bilinmeyenleri : $t_x, t_y, t_z, \epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z, k$					

Tablo 5.6. ISTA (1005), SLEE (2006), ZONG (2012) Eşlenik Noktalar Kümesinde 3B Benzerlik (Helmert) Dönüşümü

d _x	Birim	x	m _x (cm)	R = (x ^T Q _{xx} ⁻¹ x)	T= √R/m ₀ ²	t (student)	Karar
t _x	cm	-2,960785	0,7188	26,298744	4,12	4,30	Anlamsız
t _y		-0,711355	0,7188	1,518076	0,99		Anlamsız
t _z		-1,753792	0,7188	9,227360	2,44		Anlamsız
ε _x	cc	4,364251	3,5675	2,319992	1,22		Anlamsız
ε _y		-5,897994	4,7740	2,366110	1,24		Anlamsız
ε _z		-0,932349	0,7463	2,419375	1,25		Anlamsız
k	ppm	-6,667306	7,1277	1,356393	0,94		Anlamsız
m ₀ (cm)=	1,2451	Dönüşüm modelinin bilinmeyenleri : t _x , t _y , t _z , ε _x , ε _y , ε _z , k					

Bu karşılaştırma işlemi sonucunda ISTA (1005), SLEE (2006), ZONG (2012), noktaları dönüşümün sabit noktaları – eşlenik noktalar olarak seçilmiştir.

Sabit Noktaların güvenilir olup olmadığı, bir kez de Genelleştirilmiş Deformasyon Modelinde Global Uyum Testi işlemiyle denetlenmiştir. Sabit noktalar için gerçekleştirilen Global uyum testinin deneysel test büyüklüğü ($T=0,78$) olarak elde edilmiştir. Bu değer ve $\alpha=0,05$ yanlışma olasılığı ve $s= 1-0,05=0,95$ istatistik güvenle

Fisher dağılımının sınır değerini ($c=1,48$) aşmamaktadır. Bu nedenle genelleştirilmiş deformasyon modelinin global uyum testi geçerlidir.

Sabit noktaların belirlediği datuma göre, genelleştirilmiş deformasyon modelinde deformasyon (obje) noktaları grubundaki her bir nokta için ayrı ayrı doğrusal hipotez testleri kurularak bu noktalarda anlamlı bir deformasyon/yer değiştirme olup olmadığı araştırılmış ve sonuçlar birer tablo biçiminde sergilenmiştir (Ek-G).

Deformasyon sonuçlarını desteklemek ve elde edilen sonuçları bir kez daha gözden geçirmek amacıyla ayrıca Bağlı Güven Elipsoitleri yöntemine dayanan tamamlayıcı bir deformasyon sorgulaması işlemi gerçekleştirilmiştir. Bağlı Güven Elipsleri yaklaşımı, matematik modeli gereği, datum seçiminden bağımsız bir yaklaşımdır.

Sözü edilen her iki yaklaşıma göre kurulan doğrusal hipotez testinde de istatistiksel olarak anlamlı bir yer değiştirme olduğuna karar verilen noktalarda kesinlikle deformasyon olduğuna karar verilmiştir. Burada vurgulamak gerekirse; yalnızca bir yaklaşıma göre anlamlı bir yer değiştirme olduğuna karar verilen noktalar, en azından kuşkulu noktalar grubuna dahil edilmeli ve izlenmelidir.

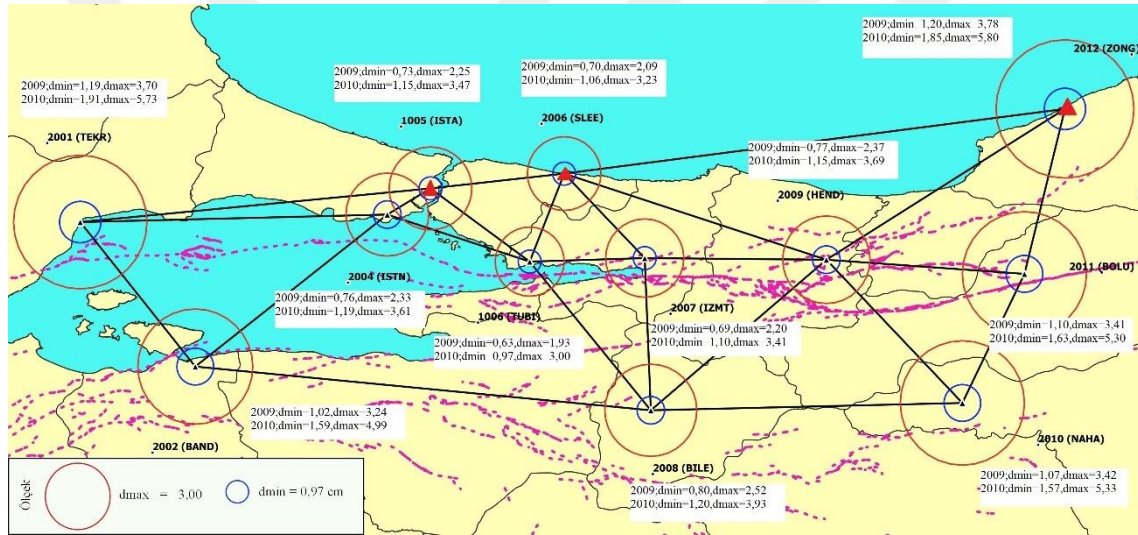
KOUSAGA Ağının dış kuşak noktalarında bulunan BOLU (2011), NAHA (2010), BILE (2008), BAND (2002) noktalarında anlamlı deformasyonlar olduğu tespit edilmiştir. Bu noktalarda yanılma olasılığı $\alpha = 0,05$ olmak üzere $s = 1 - \alpha = 0,95$ güven aralığında, tek bir koordinat bileşeni için $q = 3,92$, koordinat üçlüsü için $q = 2,68$ olarak hesaplanan genelleştirilmiş deformasyon modeline ilişkin hipotezin sınır değeri aşılmıştır.

Bağlı güven elipsi ile deformasyon sonuçlarının grafik yorumuna göre; yalnızca BOLU (2011) noktasında anlamlı bir deformasyonun algılanabildiği diğer noktalardaki deformasyonların güven elipsi sınırı içerisinde kaldığı belirlenmiştir. Bu yöntemde bağlı güven elipsinin büyük yarı eksen eşiği olarak seçilmiştir. Bu sonuçlar irdelendiğinde; BOLU (2011) noktasında deformasyon varlığı ile ilgili kesin bir karara varılabilmekte öte yandan NAHA (2010), BILE (2008), BAND (2002) noktalarının kuşkulu ve izlenmesi gereken noktalar olarak değerlendirilmektedir. Bu noktalar KOUSAGA ağının dış kuşak noktalarıdır ve KOU BAP İZDOGAP projesi için tesis edilmiş olan bir kontrol ağına hız taşımak amacıyla tesis edilmiş koruyucu kuşak

özelliğine sahip noktalardır. Bu nedenle işlevleri gereği bu noktalarda deformasyon olup olmadığı bu tez kapsamında önemsenmemeli, ancak izleyen periyotlarda göz önünde bulundurulmalıdır (Şekil 5.1).

5.5. Algılayabilirlik Analizi

KOUSAGA ağının 2009 ve 2010 periyotları serbest ağ değerlendirme işlemleri sonucunda elde edilen normal denklemler matrisi (N) ile bilinmeyenlerin ters ağırlık matrislerinden (Q_{xx}) yararlanarak her bir periyot için, ağın tüm noktalarını temsil eden global bir algılayabilirlik analizi yapılmış ağın algılayabilirlik düzeyleri ve sonuçları ayrı ayrı sergilenmiştir (Ek-H, Ek-I).



Şekil 5.5. KOUSAGA 2009 ve 2010 Global Algılayabilirlik Dağılımı: (d_{min} ve d_{max})

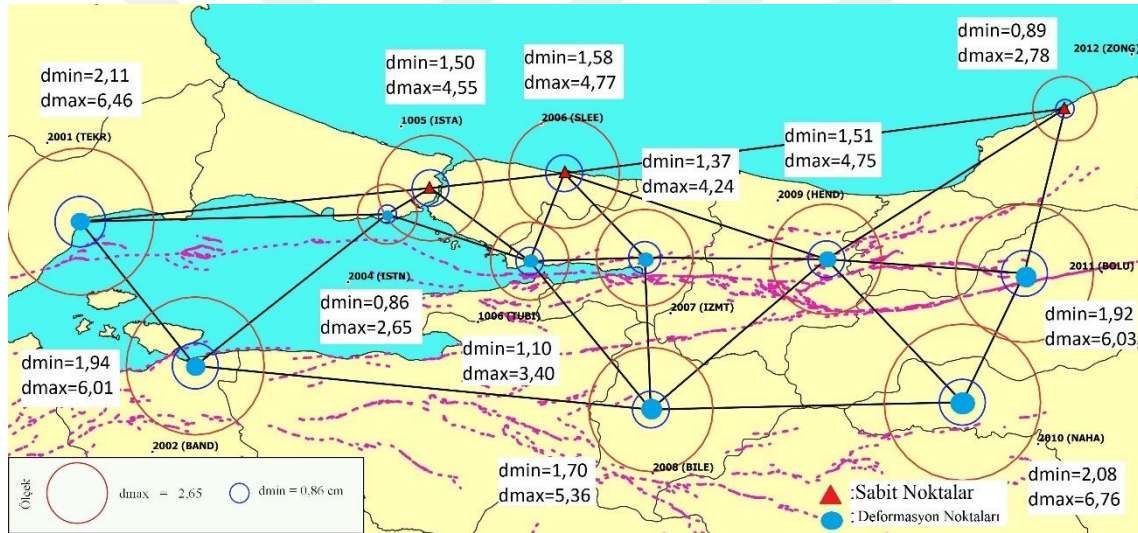
Şekil 5.5'te de görüleceği üzere mavi daireler global algılayabilirlik (d_{min}) ve kırmızı daireler yetersizlik (d_{max}) düzeyleri olarak gösterilmektedir. Bu noktada dikkate alınması gereken değerler global algılayabilirlik düzeyleridir. Her iki değer de ağın dış kuşak noktalarında en büyük, iç kuşak noktalarında da en küçük değerlerine ulaşmaktadır.

Özetlemek gerekirse global algılayabilirlik değerleri, 2009 periyodundaki ortalanca değeri $d_{min_ort} = 0,77$ cm olmak üzere $[0,63 - 1,20]$ cm aralığında, 2010 periyodundaki ortalanca değeri de $d_{min_ort} = 1,19$ olmak üzere $[0,97 - 1,91]$ cm aralığında değişmektedir.

Sonuç olarak; ZONG (2012), BOLU (2011), NAHA (2010), BILE (2008), BAND (2002), TEKR (2001), ISTA (1005), SLEE (2006) dış kuşak noktaları kendilerinden beklenen işlevleri yeterince yerine getirmektedir. Ağın iç kuşak noktalarında global algılayabilirlik düzeyleri (d_{min}) 2009 periyodunda [0,63 – 0,77] cm aralığında, 2010 periyodunda [0,97- 1,19] cm aralığında kalmaktadır (Ek-H, Ek-I).

Bağıl algılayabilirlik analizleri, genelleştirilmiş deformasyon modeline dayanan bağıl güven elipsoidleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bağıl algılayabilirlik değerleri ve sonuçları da ayrıca sergilenmiştir (Ek-J).

Bağıl algılayabilirlik değeri $d_{min-ort} = 1,51$ cm olmak üzere [0,86- 2,11] cm aralığında değişmektedir.



Şekil 5.6. Bağıl Algılayabilirlik Analizi (d_{min} -bağıl, d_{max} -bağıl)

Şekil 5.6'da görüleceği üzere KOUSAGA Ağı'nda bağıl algılayabilirlik düzeylerinin dağılımları global algılayabilirlik düzeyleri dağılımıyla benzerlik göstermektedir. Bağıl algılayabilirlik düzeylerinin dağılımları; eşlenik– datum noktalarında ve ağın iç kuşak noktalarında en küçük değerlerine, ağın dış kuşak noktalarında ise datum noktalarından uzaklaştıkça en büyük değerlerine ulaşmaktadır. Özet olarak:

2009 periyodunda elde edilen global algılayabilirlik (d_{min}) değerlerinde üst sınır değerinin ağın dış kuşak noktasında bulunan ZONG (2012) noktasında, alt sınır değerinin ise ağın iç kuşak noktasında bulunan TUBI (1006) noktasında olduğu görülmüştür.

2010 periyodunda ise sözü edilen global algılayabilirlik değerleri üst sınır değerine ağın dış kuşak noktasında bulunan TEKR (2001) noktasında, alt sınır değerine ise ağın iç kuşak noktasında bulunan TUBI (1006) noktasında ulaşmaktadır. Bu noktada elde edilen sonuçlar ağın geometrik yapısının doğal bir sonucu olarak değerlendirilmelidir.

Bağıl algılayabilirlik analizi sonucunda elde edilen algılayabilirlik düzeyleri Tablo 5.7’de sergilenmektedir. Buna göre bu yöntem sonucunda bağıl algılayabilirlik değeri üst sınır değerine ağın dış kuşak noktasında bulunan TEKR (2001) noktasında en alt değerine ise ağın iç kuşak noktasında bulunan ISTN (2004) noktasında ulaşmaktadır.

Her bir periyotta elde edilen global algılayabilirlik değerleri (d_{min}), t1 ve t2 periyotları arasında elde edilen bağıl algılayabilirlik değerleri ($d_{min-bağıl}$), bağıl güven elipsoitleriyle deformasyon analizi bilgileri Tablo 5.7’de ayrıntılı bir biçimde sergilenmiştir.

Tablo 5.7. Algılayabilirlik ve Deformasyon Analizi

N.N.	d_{min} (2009) (cm)	d_{min} (2010) (cm)	d_{min} (bağıl) (cm)	Bağıl Deformasyon Modeli			Genelleştirilmiş Deformasyon Modeli		
				$ d $ (cm)	A_G (cm)	Karar	$d^T Q_{dd}^{-1} d$	T	Karar
2009 (HEND)	0,77	1,15	1,51	1,72	4,35	-	0,9150	1,08	-
2011 (BOLU)	1,10	1,63	1,92	7,52	5,52	+	6,3045	7,45	+
2004 (ISTN)	0,76	1,19	0,86	1,37	2,42	-	0,8645	1,02	-
2007 (IZMT)	0,69	1,10	1,37	1,53	3,88	-	0,8845	1,04	-
2010 (NAHA)	1,07	1,57	2,08	4,76	6,19	-	6,3447	7,49	+
2008 (BILE)	0,80	1,20	1,70	2,61	4,90	-	3,6917	4,36	+
2001 (TEKR)	1,19	1,91	2,11	3,91	5,91	-	1,1126	1,31	-
1006 (TUBI)	0,63	0,97	1,10	0,96	3,11	-	1,1910	1,41	-
2002 (BAND)	1,02	1,59	1,94	4,28	5,50	-	4,6349	5,47	+
*2012 (ZONG)	1,20	1,85	0,89						
*2006 (SLEE)	0,70	1,06	1,58						
*1005 (ISTA)	0,73	1,15	1,50						
<i>* Eşlenik noktalar, + deformasyon var,- deformasyon yok, $c=F_{h,f,1-\alpha}$</i>									

Algılayabilirlik değerleri, ölçekleri farklı da olsa aynı zamanda güven elipsoitleri hakkında doğrudan bilgi taşırlar. Bu noktadan hareketle; öz değerlerden elde edilen $\lambda_{max}/\lambda_{min}$ oranı ağın her noktasında aynı büyüklükte kalmaktadır. Başka bir deyişle hem lokal hem de bağıl güven elipsoitleri benzer görünümlü bir yapı sergilemektedir (Şekil 5.5 ve Şekil 5.6), (Ek-H, Ek-I ve Ek-J).

Söz edilen oranlar:

1. Global Algılayabilirlik değerlerine göre 2009 periyodunda [3,39- 3,10- 3,00] cm, 2010 periyodunda [3,20- 3,12- 3,01] cm aralığında (Ek- H, Ek-I),
2. Bağlı Algılayabilirlik değerlerine göre [3,25- 3,10- 3,02] cm aralığında kalmaktadır (Ek -10c).
3. [0,89 – 1,58] aralığındaki bağlı algılayabilirlik kapasitesine sahip sabit noktalar kümesi ile [1,70 – 2,08] aralığında bağlı algılayabilirlik kapasiteli obje noktalarında anlamlı deformasyon belirlenebilmektedir (Şekil 5.3). Ancak Bölüm 5.4’te vurgulandığı üzere söz konusu obje (deformasyon) noktaları bu tez kapsamında önemsenmemeli ancak izleyen periyotlarda dikkate alınmalıdır.

5.6. Gerinim Analizi

KOUSAGA ağı, KOU tarafından desteklenen ve bilimsel bir araştırma olarak tamamlanmış olan, “İZGAZ Doğal Gaz Alt Yapısının Jeodezik Ağlar ve Bilgi Sistemi ile İzlenmesi Projesi (İZDOGAP)” sürecinde kurulan yerel bir Sıklaştırma GPS Ağı’na düzgün bir hız alanı taşımak amacı ile tasarlanmıştır. Bu proje kapsamında KOUSAGA ağı 2009 ve 2010 yılında İZGAZ Sıklaştırma Ağının yapıldığı ölçme aralığında 8 saatlik sürekli GPS gözlemleriyle değerlendirilerek KOUSAGA ağıyla birleştirilmiştir. Söz edilen iki periyotta değerlendirilen KOUSAGA ağının koordinat farklarına dayanan bir gerinim analizi yapılsa da bu değerlendirme işlemi güvenilir sonuçlar veremeyecektir. Bu nedenle, tezimizin temel amacı olmamakla birlikte, bu bölümde KOUSAGA ağının 2009 ve 2010 yıllarının da hız alanını temsil eden yıllık düzgün hız verilerini kullanarak, özellikle deformasyon (obje) noktalarının belirlediği yerel yüzey alanlarındaki gerinimlerin davranışlarının irdelenmesine ayrı bir yer açılmıştır. Elde edilen deneysel bulgular, tezimizin tamamlanması sürecinde tezin yazarı ve danışmanı ile birlikte gerçekleştirilmiş ve uluslararası bir dergide yayımlanmış bir bilimsel araştırmanın ürünüdür (Konak ve diğ., 2020). Ayrıntılı bilgiler (Konak ve diğ., 2020) kaynağından edinilebilir.

Söz edilen bilimsel araştırmada araştırma konusu olarak KOUSAGA ağının yıllık hız bilgilerinden yararlanılarak farklı kestirim yöntemleriyle (EKK, EKT, EKKO) gerinim

Tablo 5.8. Eşlenik Nokta Grupları

İÇ KUŞAK NOKTALARI						
Ağırlık Merkezi	p	EKT 1. Grup Gözlemler	EKKO 2. Grup Gözlemler	3. Grup Gözlemler	Çokyüzlü	Dışlanan Üçgenler
HEND: 2009	7	SLEE, ZONG, NAHA	HEND: IZMT, SLEE, ZONG	BOLU, BILE (G)	En Geniş Açılı Alan	12 -13
IZMT: 2007	6	SLEE, HEND, BILE	IZMT: HEND, BURS, TUBI	----	Tüm Alan	--
TUBI: 1006	6	ISTA, IZMT, BURS	TUBI: ISTA, SLEE, IZMT	ISTN (K)	En Geniş Açılı Alan	4
ISTN: 2004	6	ISTN: BURS, BAND	ISTN: BURS, BAND, TEKR	ISTA, TUBI (K)	En Geniş Açılı Alan	1 - 5
DIŞ KUŞAK NOKTALARI						
Ağırlık Merkezi	p	EKT 1. Grup Gözlemler	EKKO 2. Grup Gözlemler	3. Grup Gözlemler	Çokyüzlü	Dışlanan Üçgenler
ZONG: 2012	4	ZONG: BOLU, SLEE	ZONG: BOLU, HEND, SLEE	---	Tüm Alan	--
BOLU: 2011	4	NAHA, HEND, ZONG	BOLU: NAHA, HEND, ZONG	----	Tüm Alan	---
NAHA: 2010	4	NAHA: BILE, HEND	NAHA: BILE, HEND, BOLU	----	Tüm Alan	---
BILE: 2008	5	BURS, HEND, NAHA	BILE: BURS, HEND, NAHA	IZMT (K)	Tüm Alan	---
BURS: 2003	6	BAND, TUBI, BILE	BAND, ISTN, TUBI, BILE	BURS	Tüm Alan	---
BAND: 2002	4	TEKR, ISTN, BURS	BAND: TEKR, ISTN, BURS	----	Tüm Alan	---
TEKR: 2001	4	TEKR – ISTN – BAND	TEKR – ISTA – ISTN – BAND	----	Tüm Alan	---
ISTA: 1005	5	SLEE, TUBI, TEKR	ISTA: SLEE, TUBI, TEKR	ISTN (G)	Tüm Alan	---
SLEE: 2006	6	ZONG, HEND, TUBI	SLEE: ZONG, HEND, TUBI	IZMT, ISTA (G)	En Geniş Açılı Alan	6
(K): Ağırlık Merkezinin Kuzeyinde				(G): Ağırlık Merkezinin Güneyinde		

Tablo 5.9. En Küçük Kareler Kestirimi ve Gerinim Elemanları

Nokta r	p	Yansız Ortalama hata (cm) $m_0 = \pm \sqrt{\frac{\sum p_v}{2p-6}}$	EKK $\Omega = \sqrt{T} P_v \Rightarrow \min$ (cm ²)	Gerinim Bileşenleri			Temel Gerinim Değişmezleri		
				λ_1 (En büyük asal gerinim bileşeni)	λ_2 (En küçük asal gerinim bileşeni)	θ (Asal gerinim bileşeninin doğrultusu)	σ (Dilatasyon)	μ (En büyük kesme gerinimi)	Ω (Diferansiyel dönme gerinimi)
HEND	7	0,00193	2,99E-05	8,19E-08	-1,02E-07	6,62E-01	-9,82E-09	1,83E-07	8,25E-08
IZMT	6	0,00156	1,47E-05	1,32E-07	-9,70E-08	7,37E-01	1,75E-08	2,29E-07	1,10E-07
TUBI	6	0,00180	1,95E-05	1,38E-07	-8,78E-08	7,46E-01	2,51E-08	2,26E-07	1,11E-07
ISTN	6	0,00154	1,42E-05	1,53E-07	-1,07E-07	6,94E-01	2,27E-08	2,60E-07	1,13E-07
ZONG	4	0,00222	9,83E-06	4,98E-08	-1,00E-07	7,27E-01	-2,52E-08	1,50E-07	6,87E-08
BOLU	4	0,00193	7,48E-06	6,52E-08	-1,27E-07	5,86E-01	-3,10E-08	1,92E-07	6,51E-08
NAHA	4	0,00235	1,11E-05	1,15E-07	-1,10E-07	6,69E-01	2,73E-09	2,25E-07	8,82E-08
BILE	5	0,00109	4,77E-06	1,39E-07	-1,15E-07	7,41E-01	1,17E-08	2,54E-07	1,17E-07
BURS	6	0,00072	3,12E-06	1,68E-07	-1,07E-07	7,17E-01	3,07E-08	2,75E-07	1,21E-07
BAND	4	0,00016	4,99E-08	1,76E-07	-1,12E-07	6,73E-01	3,19E-08	2,89E-07	1,16E-07
TEKR	4	0,00199	7,90E-06	1,48E-07	-1,15E-07	6,58E-01	1,68E-08	2,63E-07	1,15E-07
ISTA	5	0,00102	4,13E-06	6,74E-08	-6,52E-08	7,19E-01	1,11E-09	1,33E-07	5,55E-08
SLEE	6	0,00059	2,11E-06	4,88E-08	-6,01E-08	6,71E-01	-5,65E-09	1,09E-07	5,47E-08

EKT ve EKKO kestirim sonuçlarına göre; her bir noktadaki çok yüzlü için üç ayrı gruba ayrılan eşlenik noktalar kümesi belirlenmiş ve yıllık hız bilgileri de gerinim analizi bölümünde açıklanmakta olan ağırlık fonksiyonlarıyla ağırlıklandırılmıştır.

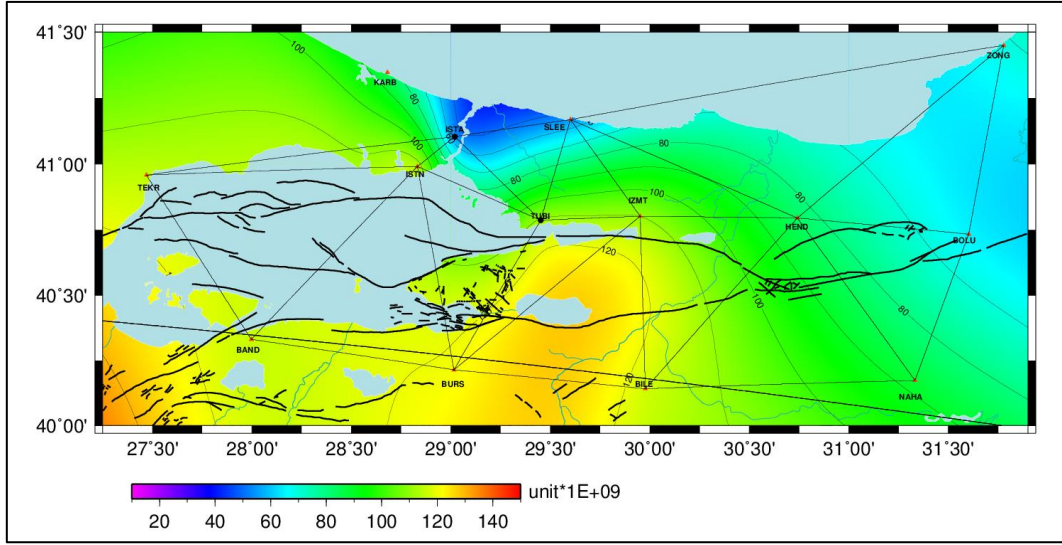
Temel gerinim değişmezlerin en uygun değerleri yansız ve minimum varyanslı bir kestirim türü olan yinelemeli ağırlıklandırmalı bir EKK kestirimi uygulanarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyonları gereği yansız varyanslar için EKK, yanlı varyanslar için EKT kestirim sonuçları en küçük değerlerine ulaşmaktadır.

Tablo 5.10. En Küçük Toplam Kestirimi ve Gerinim Elemanları

Noktalar	p	Yanlı Mutlak hata (cm) $s_0 = \pm \frac{\sum v }{2p}$	EKT $\Omega = \sum v \Rightarrow \min$ (cm)	Gerinim Bileşenleri			Temel Gerinim Değişmezleri		
				λ_1 (En büyük asal gerinim bileşeni)	λ_2 (En küçük asal gerinim bileşeni)	θ (Asal gerinim bileşeninin doğrultusu)	σ (Dilatasyon)	μ (En büyük kesme gerinimi)	Ω (Diferansiyel dönme gerinimi)
HEND	7	0,00102	0,0143	6,58E-08	-9,15E-08	6,68E-01	-1,28E-08	1,57E-07	8,08E-08
IZMT	6	0,00076	0,0091	1,19E-07	-8,89E-08	7,70E-01	1,50E-08	2,08E-07	1,08E-07
TUBI	6	0,00093	0,0111	1,64E-07	-8,76E-08	-7,62E-01	3,84E-08	2,52E-07	1,10E-07
ISTN	6	0,00078	0,0094	1,77E-07	-1,10E-07	6,77E-01	3,33E-08	2,87E-07	1,16E-07
ZONG	4	0,00074	0,0059	4,78E-08	-1,17E-07	-7,69E-01	-3,47E-08	1,65E-07	7,90E-08
BOLU	4	0,00045	0,0036	5,59E-08	-1,17E-07	5,65E-01	-3,07E-08	1,73E-07	7,54E-08
NAHA	4	0,00094	0,0075	1,18E-07	-1,12E-07	7,49E-01	3,22E-09	2,30E-07	1,07E-07
BILE	5	0,00055	0,0055	1,32E-07	-1,12E-07	7,63E-01	1,00E-08	2,44E-07	1,10E-07
BURS	6	0,00040	0,0048	1,69E-07	-1,14E-07	7,29E-01	2,77E-08	2,83E-07	1,20E-07
BAND	4	0,00005	0,0004	1,74E-07	-1,12E-07	6,69E-01	3,13E-08	2,86E-07	1,15E-07
TEKR	4	0,00065	0,0052	1,34E-07	-1,16E-07	6,42E-01	9,09E-09	2,50E-07	1,16E-07
ISTA	5	0,00038	0,0038	7,47E-08	-6,64E-08	7,04E-01	4,12E-09	1,41E-07	5,90E-08
SLEE	6	0,00060	0,0036	5,33E-08	-5,97E-08	6,38E-01	-3,19E-09	1,13E-07	5,94E-08

Tablo 5.11. En Küçük Kareler Ortanca Kestirimi ve Gerinim Elemanları

Noktalar	n	Ortanca (cm)	EKKO $\Omega = med v^2 \Rightarrow \min$ (cm ²)	Gerinim Bileşenleri			Temel Gerinim Değişmezleri		
				λ_1 (En büyük asal gerinim bileşeni)	λ_2 (En küçük asal gerinim bileşeni)	θ (Asal gerinim bileşeninin doğrultusu)	σ (Dilatasyon)	μ (En büyük kesme gerinimi)	Ω (Diferansiyel dönme gerinimi)
HEND	7	0,0004	1,50E-07	5,01E-08	-6,24E-08	6,19E-01	-6,18E-09	1,12E-07	5,92E-08
IZMT	6	0,0004	1,84E-07	1,59E-07	-1,31E-07	6,59E-01	1,39E-08	2,90E-07	1,46E-07
TUBI	6	0,0002	4,73E-08	4,35E-08	-2,88E-08	7,62E-01	1,40E-08	7,23E-08	1,23E-07
ISTN	6	0,0001	1,64E-08	1,76E-07	-1,12E-07	6,73E-01	3,19E-08	2,89E-07	1,16E-07
ZONG	4	0,0014	2,05E-06	4,98E-08	-1,00E-07	7,27E-01	-2,52E-08	1,50E-07	6,87E-08
BOLU	4	0,0012	1,41E-06	6,52E-08	-1,27E-07	5,86E-01	-3,10E-08	1,92E-07	6,51E-08
NAHA	4	0,0016	2,69E-06	1,15E-07	-1,10E-07	6,69E-01	2,73E-09	2,25E-07	8,82E-08
BILE	5	0,0005	2,16E-07	1,27E-07	-1,10E-07	7,66E-01	8,55E-09	2,37E-07	1,07E-07
BURS	6	0,0003	1,04E-07	1,76E-07	-8,47E-08	6,60E-01	4,56E-08	2,61E-07	1,23E-07
BAND	4	0,0001	1,20E-08	1,76E-07	-1,12E-07	6,73E-01	3,19E-08	2,89E-07	1,16E-07
TEKR	4	0,0013	1,64E-06	1,48E-07	-1,15E-07	6,58E-01	1,68E-08	2,63E-07	1,15E-07
ISTA	5	0,0003	9,56E-08	6,94E-08	-6,50E-08	7,14E-01	2,20E-09	1,34E-07	5,60E-08
SLEE	6	0,0002	3,35E-08	5,53E-08	-6,43E-08	6,29E-01	-4,49E-09	1,20E-07	6,26E-08



Şekil 5.10. Diferansiyel Dönme Gerinimi EKK

EKKO kestirmine göre önemli değişimler ağın iç kuşak noktalarında gözlenmiştir. Bu durum ağın dış kuşağındaki dayanak nokta sayısı nedeniyle üç kestirimde de benzer sonuç vermesinden kaynaklanmaktadır. Ağın iç kuşak noktalarında (TUBİ (1006) ve İZMT (2007)) EKKO kestiriminin davranışı belirgin olarak ayırtedilebilmektedir. (Konak ve diğ., 2020)

Deformasyon sonuçlarının gerinim analizlerinin yorumlanması aşamasında her ne kadar EKK kestirimi yeterli görülüyorsa da elde edilen gerinim bilgileri EKT ya da EKKO gibi destekleyici farklı kestirim yöntemleriyle birlikte değerlendirilmelidir

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

KOUSAGA ağının serbest ağ dengelemesi yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda her iki periyotta da redundanz değerinin ağın en kısa mesafeli baz ölçülerinde en küçük değerine ulaşsa da bu değer yeterince denetlenebilir bir ağ için kabul edilebilir alt aralık değerini sağlamaktadır. Buna bağlı olarak bu noktalardaki ölçülere ait iç güven ve dış güven değerleri de her iki periyotta benzer bir dağılım göstermiş ve sınır değere oldukça yakın değerler olarak elde edilmiştir.

Deformasyon (Obje) noktalarında olası bir deformasyon varlığını araştırılması neticesinde ağın dış kuşak noktalarında bulunan BOLU (2011), NAHA (2010), BILE (2008), BAND (2002) noktalarında anlamlı deformasyonlar olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan Bağlı güven elipsi ile deformasyon sonuçlarının grafik yorumu yapılmış, bu yöntem ile yalnızca BOLU (2011) noktasındaki deformasyon varlığının algılanabildiği diğer noktalardaki deformasyonların güven elipsi içerisinde kaldığı tespit edilmiştir. Başka bir deyişle NAHA (2010), BILE (2008), BAND (2002) noktalarının kuşkulu ve izlenmesi gereken noktalar olarak değerlendirilmelidir.

2009 ve 2010 periyotlarında ayrı ayrı global algılayabilirlik analizi gerçekleştirilmiş buna göre; 2009 periyodunda elde edilen algılayabilirlik (d_{min}) değerlerinde üst sınır değerinin ağın dış kuşak noktasında bulunan ZONG (2012) noktasında, alt sınır değerinin ise ağın iç kuşak noktasında bulunan TUBI (1006) noktasında olduğu görülmüştür. 2010 periyodunda ise sözü edilen global algılayabilirlik değerleri üst sınır değerine ağın dış kuşak noktasında bulunan TEKR (2001) noktasında, alt sınır değerine ise ağın iç kuşak noktasında bulunan TUBI (1006) noktasında ulaşmaktadır. Bu durum KOUSAGA ağının geometrik yapısının doğal bir sonucu olarak değerlendirilmelidir.

Özetlersek;

ZONG (2012), BOLU (2011), NAHA (2010), BILE (2008), BAND (2002), TEKR (2001), ISTA (1005), SLEE (2006) dış kuşak noktaları kendilerinden beklenen işlevleri yeterince yerine getirmektedir.

KOUSAGA Ağı'nda bağlı algılayabilirlik düzeylerinin dağılımları global algılayabilirlik düzeyleri dağılımıyla benzerlik göstermektedir. Bağlı algılayabilirlik düzeylerinin

dağılımları; eşlenik – datum noktalarında en küçük değerlerine, ağın dış kuşak noktalarında ise datum noktalarından uzaklaştıkça en büyük değerlerine ulaşmaktadır.

Ağın iç kuşak noktalarından dış kuşak noktalarına doğru gidildikçe algılayabilirlik düzeyinin azaldığı, ağın davranışları hakkında tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Öz değerlerin dağılımı irdelendiğinde $\lambda_{max}/\lambda_{min}$ oranı ağın her noktasında aynı büyüklükte kalmaktadır. Başka bir deyişle hem lokal hem de bağıl güven elipsoitleri benzer görünümlü bir yapı sergilemektedir.

Farklı kestirim yöntemleriyle gerinim analizi neticesinde elde edilen sonuçlara göre EKKO kestiriminin kaldıraç noktası etkisinin giderilmesinde oldukça etkili olduğu, EKKO kestiriminin EKT kestirim yöntemini destekleyici ve iyileştirici bir etkisinin olduğu görülmüştür. Ağın iç kuşak noktalarında EKKO kestiriminin davranışı belirgin olarak ayırt edilebilmektedir. KOUSAGA ağının geometrik yapısının bir sonucu olarak EKT ve EKK kestirimlerinin davranışları birbirine benzemektedir. Deformasyon sonuçlarının gerinim analizlerinin yorumlanması aşamasında her ne kadar EKK kestirimi yeterli görülüyorsa da elde edilen gerinim bilgileri EKT ya da EKKO gibi destekleyici farklı kestirim yöntemleriyle birlikte değerlendirilmelidir.

Deformasyon sonuçlarının yorumlanmasında bağıl güven elipsi yönteminin tek başına kullanılmasının deformasyon varlığının tespitinde yetersiz kaldığı, yalnızca görsel yorumlama için etkili sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle daha güvenilir bir karara varabilmek için tezimizde önermekte olduğumuz ve bu yaklaşımın yapısına uygun olan Global Deformasyon Modeli kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Ayan, T. (1983). Bağıl Güven Elipsleri İle Deformasyon Analizi. *Harita Dergisi*, (91), 1-11.
- Baarda, W. (1968). *A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks*. Netherlands Geodetic Commission, 5(2), 5-59.
- Berber, M. (2006). Robustness Analysis of Geodetic Networks. Ph. D. Thesis, University of Brunswick, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, Canada.
- Bill, R. (1984). *Eine Strategie zur Ausgleichung und Analyse von Verdichtungsnetzen*. DGK Reihe C., (295), 7-91.
- Hekimoğlu, Ş. (2005). Increasing Reliability of the Tests for Outliers Whose Magnitude is Small. *Survey Review*, 38(298), 274-285.
- Hsu R., Hsiao K. (2002). Pre-Computing The Sensitivity of a GPS Station for Crustal Deformation Monitoring, *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 25(6), 715-722.
- Hsu R., Lee H. C., Kao S. P. (2008). Statistical Tests for Discerning Differences of Robustness of Horizontal Geodetic Networks due to Different Approaches, *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 31(1), 71-80.
- İnal, C., Bülbül, S. (2013). Bağıl Güven Elipsleri Yöntemiyle Deformasyon Analizi: Ermenek Barajı Örneği. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(3), 9-20.
- Konak, H. (1995). Yüzey Ağlarının Optimizasyonu. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 33787.
- Konak, H. (2015). JJM506 *Jeodezik Ağlarda Sağlamlık Analizi*, 2014-2015 BYY Ders Notları. Kocaeli Üniversitesi FBE, Jeodezi ve Jeoinfirmasyon Müh. Ana Bilim Dalı, Kocaeli.
- Konak, H., Küreç Nehbit P., İnce C. D., (2017). Yaşamsal Altyapı Sistemlerinin GPS Ağlarıyla İzlenmesi ve Deformasyon Sonuçlarının Yorumlanması: Kocaeli İZDOGAP GPS Ağı Uygulaması, *Geomatik Dergisi*, 2(1), 40-52.
- Konak, H. (2020). JJM511 *Jeodezik Ağların Analizi*, 2020-2021 GYY Ders Notları. Kocaeli Üniversitesi FBE, Jeodezi ve Jeoinfirmasyon Müh. Ana Bilim Dalı, Kocaeli.
- Konak, H. (2021). *Jeodezik Ağların Analizi*, 2020-2021 GYY Ders Notları. Kocaeli Üniversitesi FBE, Jeodezi ve Jeoinfirmasyon Müh. Ana Bilim Dalı, Kocaeli.

- Konak, H., Küreç, P. (2013). Yerkabuğu Hareketleri için Multivaryat Düzenli GPS Ağlarında Deneysel Algılayabilirlik Analizleri: Kocaeli İZDOĞAP GPS Ağı. *Prof. Dr. Ergün Öztürk Jeodezi Kolokiyumu*. Kocaeli.
- Konak, H., Nehbit Küreç, P., Karaöz, A., Cerit, F. (2020). Interpreting Deformation Results Of Geodetic Network Points Using The Strain Models Based On Different Estimation Methods. *International Journal Of Engineering and Geosicences*, 5(1), 49-59. DOI:10.26833
- Kurt, O. (1998). *Dengeleme Sonuçlarının Test Edilmesi Ders Notları (Yayımlanmadı)*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Kurt, O. (2004). *Deformasyon Analizi Ders Notları (Yayımlanmadı)*. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- Kurt, O. (2007). *Temel Koordinat Sistemleri Ders Notları (Yayımlanmadı)*. Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Kurt, O. (2011). *Jeodezik Verilerin İrdelenmesi Ders Notları (Yayımlanmadı)*. Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Küreç, P. (2010). Yüzey Ağlarının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 275768.
- Küreç, P., Konak, H. (2011). Sıklaştırma Ağlarının Yer Kabuğu Hareketlerine Karşı Duyarlılıkları ve Olası Algılayabilirlik Düzeyleri, *Hkm Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, Özel Sayı 104(2), 84-90.
- Küreç, P., Konak, H. (2014). A Priori Sensitivity Analysis For Densification GPS Networks And Their Capacities Of Crustal Deformation Monitoring: A Real GPS Network Application, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14(5), 1299-1308.
- Nehbit Küreç, P. (2018). GPS/GNSS Ağları İçin Sürekli Bir Gerinim İzleme ve Kalite Değerlendirme Stratejisi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 526668.
- Niemeier, W. (2002). *Ausgleichsrechnung*. De Gruyter Lehrbuch, New York, Berlin
- Öztürk, E., Şerbetçi, M. (1989). *Dengeleme Hesabı Cilt II (Cilt 2)*. Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Trabzon
- Öztürk, E., Şerbetçi, M. (1992). *Dengeleme Hesabı Cilt III (Cilt 3)*. Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Trabzon.
- Öztürk, E., Atasoy, V., Konak, H. (2006) Deprem Bölgelerinde Yer Kabuğu Hareketlerinin İzlenmesi. *Harita Dergisi*, 73(135) 52-65.
- Pelzer, H. (1971). *Zur Analyse Geodatischer Deformationsmessungen*. DGK Reihe C 164. München

Tzur, G. E. (2006). Datum Definition and Its Influence On The Reliability of Geodetic Networks. *Zeitschrift fur Geodasie*, 2(131), 87-95.

URL-1: <https://muhendishane.org/>, (Ziyaret Tarihi: 16 Kasım 2016)

Vanicek, P., Krakiwsky, E. J., Craymer, M. R., Gao, Y., Ong, P. S. (1990). *Robustness Analysis*. Fredericton, University of New Brunswick, Canada.

Yalçınkaya, M., (1994). Düşey Yöndeki Yerkabuğu Deformasyonlarının Kinematik Model ile Belirlenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 33782.

Yalçınkaya, M., Tanır, E. (2001). Cholesky Çarpanlarına Ayırma ve Bağlı Güven Elipsi Yöntemleriyle Yatay Hareketlerin Belirlenmesi. *Harita Dergisi*, 68(126), 17-34.





EKLER

EK-A

Tablo A.1. KOUSAGA Ağı 2009 Periyodu Değerlendirme Sonuçları

DN	BN	v [m]	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z(m)$	ℓ_i+v_i [m]	x_j-x_i [m]	Fark(cm)
2002	2008	-0,0332	-69453,2670	-69453,2673	-69453,2673	0,0000
2002	2008	-0,0427	154214,4260	154214,4256	154214,4256	0,0000
2002	2008	0,1251	-15771,7560	-15771,7547	-15771,7547	0,0000
2002	2004	0,8408	-75594,7090	-75594,7006	-75594,7006	0,0000
2002	2004	0,4114	39376,7630	39376,7671	39376,7671	0,0000
2002	2004	0,9322	55562,1900	55562,1993	55562,1993	0,0000
2002	2001	-0,6488	-20478,8720	-20478,8785	-20478,8785	0,0000
2002	2001	-0,3031	-58580,4980	-58580,5010	-58580,5010	0,0000
2002	2001	-0,8280	52808,0080	52807,9997	52807,9997	0,0000
2002	1006	0,0533	-87938,3670	-87938,3665	-87938,3665	0,0000
2002	1006	0,0110	92227,6930	92227,6931	92227,6931	0,0000
2002	1006	0,0020	38509,2680	38509,2680	38509,2680	0,0000
2008	2009	4,9059	-73610,9760	-73610,9269	-73610,9269	0,0000
2008	2009	2,4574	31912,8750	31912,8996	31912,8996	0,0000
2008	2009	4,6646	54968,3120	54968,3586	54968,3586	0,0000
2008	2007	-1,1688	-40296,0940	-40296,1057	-40296,1057	0,0000
2008	2007	-0,7771	-25821,3410	-25821,3488	-25821,3488	0,0000
2008	2007	-1,0202	55632,5660	55632,5558	55632,5558	0,0000
2008	2010	-1,6445	-60733,2580	-60733,2744	-60733,2744	0,0000
2008	2010	-0,8606	98180,1270	98180,1184	98180,1184	0,0000
2008	2010	-1,6572	2780,7510	2780,7344	2780,7344	0,0000
2008	1006	-1,5135	-18485,0840	-18485,0991	-18485,0991	0,0000
2008	1006	-0,8463	-61986,7240	-61986,7325	-61986,7325	0,0000
2008	1006	-1,3231	54281,0360	54281,0228	54281,0228	0,0000
2011	2009	-1,1073	33454,3890	33454,3779	33454,3779	0,0000
2011	2009	-0,5221	-64760,8650	-64760,8702	-64760,8702	0,0000
2011	2009	-0,9217	4789,8590	4789,8498	4789,8498	0,0000
2011	2010	0,2423	46332,0280	46332,0304	46332,0304	0,0000
2011	2010	0,0600	1506,3480	1506,3486	1506,3486	0,0000
2011	2010	0,1565	-47397,7760	-47397,7744	-47397,7744	0,0000
2011	2012	0,9404	-52645,7530	-52645,7436	-52645,7436	0,0000
2011	2012	0,5271	-15109,1040	-15109,0987	-15109,0987	0,0000
2011	2012	0,9165	59522,6580	59522,6672	59522,6672	0,0000
2009	2007	1,0253	33314,8110	33314,8213	33314,8213	0,0000
2009	2007	0,4655	-57734,2530	-57734,2483	-57734,2483	0,0000
2009	2007	0,7151	664,1900	664,1972	664,1972	0,0000

Tablo A.1. (Devam) KOUSAGA Ağı 2009 Periyodu Değerlendirme Sonuçları

DN	BN	v [m]	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z(m)$	$\ell_i + v_i$ [m]	$x_j - x_i$ [m]	Fark(cm)
2009	2010	0,8496	12877,6440	12877,6525	12877,6525	0,0000
2009	2010	0,4820	66267,2140	66267,2188	66267,2188	0,0000
2009	2010	0,9781	-52187,6340	-52187,6242	-52187,6242	0,0000
2009	2006	0,7344	24636,1280	24636,1353	24636,1353	0,0000
2009	2006	0,5394	-96659,0430	-96659,0376	-96659,0376	0,0000
2009	2006	0,7294	31280,6260	31280,6333	31280,6333	0,0000
2009	2012	0,1477	-86100,1230	-86100,1215	-86100,1215	0,0000
2009	2012	0,2491	49651,7690	49651,7715	49651,7715	0,0000
2009	2012	0,4382	54732,8130	54732,8174	54732,8174	0,0000
1005	2004	-0,2821	14830,7170	14830,7142	14830,7142	0,0000
1005	2004	-0,1250	-9835,3380	-9835,3393	-9835,3393	0,0000
1005	2004	-0,2350	-9551,0430	-9551,0454	-9551,0454	0,0000
1005	2006	0,1841	-28002,6460	-28002,6442	-28002,6442	0,0000
1005	2006	0,0177	40256,1810	40256,1812	40256,1812	0,0000
1005	2006	0,2520	5363,9900	5363,9925	5363,9925	0,0000
1005	2001	0,4283	69946,5320	69946,5363	69946,5363	0,0000
1005	2001	0,1605	-107792,6090	-107792,6074	-107792,6074	0,0000
1005	2001	0,3048	-12305,2480	-12305,2450	-12305,2450	0,0000
1005	1006	1,2304	2487,0360	2487,0483	2487,0483	0,0000
1005	1006	0,6745	43015,5800	43015,5867	43015,5867	0,0000
1005	1006	1,1349	-26603,9880	-26603,9767	-26603,9767	0,0000
2004	2001	0,6104	55115,8160	55115,8221	55115,8221	0,0000
2004	2001	0,2855	-97957,2710	-97957,2681	-97957,2681	0,0000
2004	2001	0,8398	-2754,2080	-2754,1996	-2754,1996	0,0000
2004	1006	-1,4875	-12343,6510	-12343,6659	-12343,6659	0,0000
2004	1006	-0,8004	52850,9340	52850,9260	52850,9260	0,0000
2004	1006	-1,4301	-17052,9170	-17052,9313	-17052,9313	0,0000
2007	2006	-0,2910	-8678,6830	-8678,6859	-8678,6859	0,0000
2007	2006	-0,1261	-38924,7880	-38924,7893	-38924,7893	0,0000
2007	2006	-0,1857	30616,4380	30616,4361	30616,4361	0,0000
2007	1006	0,1553	21811,0050	21811,0066	21811,0066	0,0000
2007	1006	-0,0692	-36165,3830	-36165,3837	-36165,3837	0,0000
2007	1006	-0,0029	-1351,5330	-1351,5330	-1351,5330	0,0000
2006	1006	0,6463	30489,6860	30489,6925	30489,6925	0,0000
2006	1006	0,4569	2759,4010	2759,4056	2759,4056	0,0000
2006	1006	0,8829	-31967,9780	-31967,9692	-31967,9692	0,0000
2006	2012	-2,2867	-110736,2340	-110736,2569	-110736,2569	0,0000
2006	2012	-1,5903	146310,8250	146310,8091	146310,8091	0,0000
2006	2012	-2,6912	23452,2110	23452,1841	23452,1841	0,0000

EK-B**Tablo B.1. KOUSAGA Ağı 2010 Periyodu Değerlendirme Sonuçları**

DN	BN	v [cm]	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z(m)$	ℓ_i+v_i [m]	x_j-x_i [m]	Fark(cm)
2002	2008	5,1185	-69453,3630	-69453,3118	-69453,3118	0,0000
2002	2008	4,0667	154214,3570	154214,3977	154214,3977	0,0000
2002	2008	4,3835	-15771,8380	-15771,7942	-15771,7942	0,0000
2002	2004	1,7477	-75594,7410	-75594,7235	-75594,7235	0,0000
2002	2004	0,9119	39376,7670	39376,7761	39376,7761	0,0000
2002	2004	1,4960	55562,1790	55562,1940	55562,1940	0,0000
2002	2001	-1,5652	-20478,8690	-20478,8847	-20478,8847	0,0000
2002	2001	-0,8568	-58580,4760	-58580,4846	-58580,4846	0,0000
2002	2001	-1,6170	52808,0240	52808,0078	52808,0078	0,0000
2002	1006	-3,2844	-87938,3710	-87938,4038	-87938,4038	0,0000
2002	1006	-2,1666	92227,7080	92227,6863	92227,6863	0,0000
2002	1006	-3,1053	38509,2780	38509,2469	38509,2469	0,0000
2008	2009	1,9614	-73610,9340	-73610,9144	-73610,9144	0,0000
2008	2009	1,9671	31912,9020	31912,9217	31912,9217	0,0000
2008	2009	1,8326	54968,3610	54968,3793	54968,3793	0,0000
2008	2007	1,3923	-40296,1130	-40296,0991	-40296,0991	0,0000
2008	2007	0,9481	-25821,3370	-25821,3275	-25821,3275	0,0000
2008	2007	1,4138	55632,5600	55632,5741	55632,5741	0,0000
2008	2010	-0,7801	-60733,2270	-60733,2348	-60733,2348	0,0000
2008	2010	-0,1949	98180,1330	98180,1311	98180,1311	0,0000
2008	2010	-0,9052	2780,7810	2780,7719	2780,7719	0,0000
2008	1006	-0,2028	-18485,0900	-18485,0920	-18485,0920	0,0000
2008	1006	-0,7333	-61986,7040	-61986,7113	-61986,7113	0,0000
2008	1006	-0,1888	54281,0430	54281,0411	54281,0411	0,0000
2011	2009	2,3542	33454,3100	33454,3335	33454,3335	0,0000
2011	2009	1,6751	-64760,9050	-64760,8882	-64760,8882	0,0000
2011	2009	2,1748	4789,7860	4789,8077	4789,8077	0,0000
2011	2010	-0,8874	46332,0220	46332,0131	46332,0131	0,0000
2011	2010	-0,6869	1506,3280	1506,3211	1506,3211	0,0000
2011	2010	-0,7630	-47397,7920	-47397,7996	-47397,7996	0,0000
2011	2012	-1,3873	-52645,7770	-52645,7909	-52645,7909	0,0000
2011	2012	-0,9640	-15109,1060	-15109,1156	-15109,1156	0,0000
2011	2012	-1,7291	59522,6410	59522,6237	59522,6237	0,0000
2009	2007	0,4309	33314,8110	33314,8153	33314,8153	0,0000
2009	2007	0,9810	-57734,2590	-57734,2492	-57734,2492	0,0000
2009	2007	0,6812	664,1880	664,1948	664,1948	0,0000

Tablo B.1. (Devam) KOUSAGA Ağı 2010 Periyodu Değerlendirme Sonuçları

DN	BN	v [cm]	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z(m)$	ℓ_i+v_i [m]	x_j-x_i [m]	Fark(cm)
2009	2010	1,6585	12877,6630	12877,6796	12877,6796	0,0000
2009	2010	1,1380	66267,1980	66267,2094	66267,2094	0,0000
2009	2010	1,5622	-52187,6230	-52187,6074	-52187,6074	0,0000
2009	2006	-0,9384	24636,1150	24636,1056	24636,1056	0,0000
2009	2006	-0,6977	-96659,0380	-96659,0450	-96659,0450	0,0000
2009	2006	-1,0530	31280,6210	31280,6105	31280,6105	0,0000
2009	2012	3,7585	-86100,1620	-86100,1244	-86100,1244	0,0000
2009	2012	2,3610	49651,7490	49651,7726	49651,7726	0,0000
2009	2012	3,5961	54732,7800	54732,8160	54732,8160	0,0000
1005	2004	0,1114	14830,7210	14830,7221	14830,7221	0,0000
1005	2004	0,0582	-9835,3370	-9835,3364	-9835,3364	0,0000
1005	2004	0,1010	-9551,0410	-9551,0400	-9551,0400	0,0000
1005	2006	-0,1949	-28002,6730	-28002,6749	-28002,6749	0,0000
1005	2006	-0,2176	40256,1640	40256,1618	40256,1618	0,0000
1005	2006	0,0682	5363,9610	5363,9617	5363,9617	0,0000
1005	2001	-4,3015	69946,6040	69946,5610	69946,5610	0,0000
1005	2001	-2,1105	-107792,5760	-107792,5971	-107792,5971	0,0000
1005	2001	-4,1120	-12305,1850	-12305,2261	-12305,2261	0,0000
1005	1006	1,1793	2487,0300	2487,0418	2487,0418	0,0000
1005	1006	0,8797	43015,5650	43015,5738	43015,5738	0,0000
1005	1006	0,9997	-26603,9970	-26603,9870	-26603,9870	0,0000
2004	2001	5,8871	55115,7800	55115,8389	55115,8389	0,0000
2004	2001	3,3312	-97957,2940	-97957,2607	-97957,2607	0,0000
2004	2001	5,6870	-2754,2430	-2754,1861	-2754,1861	0,0000
2004	1006	-1,1321	-12343,6690	-12343,6803	-12343,6803	0,0000
2004	1006	-0,7785	52850,9180	52850,9102	52850,9102	0,0000
2004	1006	-1,3013	-17052,9340	-17052,9470	-17052,9470	0,0000
2007	2006	0,1307	-8678,7110	-8678,7097	-8678,7097	0,0000
2007	2006	0,2212	-38924,7980	-38924,7958	-38924,7958	0,0000
2007	2006	-0,0342	30616,4160	30616,4157	30616,4157	0,0000
2007	1006	0,7049	21811,0000	21811,0070	21811,0070	0,0000
2007	1006	0,8186	-36165,3920	-36165,3838	-36165,3838	0,0000
2007	1006	1,0973	-1351,5440	-1351,5330	-1351,5330	0,0000
2006	1006	0,1742	30489,7150	30489,7167	30489,7167	0,0000
2006	1006	-0,0027	2759,4120	2759,4120	2759,4120	0,0000
2006	1006	0,0315	-31967,9490	-31967,9487	-31967,9487	0,0000
2006	2012	-2,5030	-110736,2050	-110736,2300	-110736,2300	0,0000
2006	2012	-1,4413	146310,8320	146310,8176	146310,8176	0,0000
2006	2012	-2,2510	23452,2280	23452,2055	23452,2055	0,0000

EK-C

Tablo C.1. KOUSAGA Ağı 2009 Periyodu Uyuşumsuz Ölçü Testleri

HİPOTEZ TESTLERİ (Tau Dağılım, Pope Testi, “Düzeltilmeler cm birimindedir.”)									
ℓ_i	$\Delta_i^T Q_{\Delta\Delta i}^{-1} \Delta_i = A$	$T_i = \sqrt{A/(3*s_0^2)}$	T_f	Sonuç	v	q_{vv}	T_i	T_f	Sonuç
1	0,01	0,05	2,47	Uyuşumlu	0,03	9,88	0,01	3,23	Uyuşumlu
2					0,04	5,47	0,02		Uyuşumlu
3					0,13	10,38	0,04		Uyuşumlu
4	0,16	0,23	2,47	Uyuşumlu	0,84	5,32	0,36		Uyuşumlu
5					0,41	2,93	0,24		Uyuşumlu
6					0,93	6,15	0,38		Uyuşumlu
7	0,22	0,27	2,47	Uyuşumlu	0,65	2,53	0,41		Uyuşumlu
8					0,30	1,66	0,23		Uyuşumlu
9					0,83	3,47	0,44		Uyuşumlu
10	0,00	0,02	2,47	Uyuşumlu	0,05	6,94	0,02		Uyuşumlu
11					0,01	5,17	0,00		Uyuşumlu
12					0,00	8,59	0,00		Uyuşumlu
13	4,84	1,27	2,47	Uyuşumlu	4,91	5,57	2,08		Uyuşumlu
14					2,46	3,77	1,27		Uyuşumlu
15					4,66	5,66	1,96		Uyuşumlu
16	0,38	0,35	2,47	Uyuşumlu	1,17	3,80	0,60		Uyuşumlu
17					0,78	2,67	0,48		Uyuşumlu
18					1,02	3,41	0,55		Uyuşumlu
19	0,62	0,45	2,47	Uyuşumlu	1,64	5,44	0,71		Uyuşumlu
20					0,86	4,22	0,42		Uyuşumlu
21					1,66	5,49	0,71		Uyuşumlu
22	0,60	0,45	2,47	Uyuşumlu	1,51	4,26	0,73		Uyuşumlu
23					0,85	3,50	0,45		Uyuşumlu
24					1,32	4,29	0,64		Uyuşumlu
25	0,41	0,37	2,47	Uyuşumlu	1,11	3,25	0,61		Uyuşumlu
26					0,52	2,26	0,35		Uyuşumlu
27					0,92	3,25	0,51		Uyuşumlu
28	0,03	0,11	2,47	Uyuşumlu	0,24	2,33	0,16		Uyuşumlu
29					0,06	1,55	0,05		Uyuşumlu
30					0,16	2,03	0,11		Uyuşumlu
31	0,34	0,34	2,47	Uyuşumlu	0,94	2,77	0,56		Uyuşumlu
32					0,53	1,97	0,38		Uyuşumlu
33					0,92	3,08	0,52		Uyuşumlu
34	0,36	0,35	2,47	Uyuşumlu	1,03	3,18	0,57		Uyuşumlu
35					0,47	2,23	0,31		Uyuşumlu
36					0,72	2,88	0,42		Uyuşumlu

Tablo C.1. (Devam) KOUSAGA Ağı 2009 Periyodu Uyuşumsuz Ölçü Testleri

HİPOTEZ TESTLERİ (Tau Dağılım, Pope Testi, “Düzeltilmeler cm birimindedir.”)									
ℓ_i	$\Delta_i^T Q_{\Delta\Delta i}^{-1} \Delta_i = A$	$T_i = \sqrt{A/(3*s_0^2)}$	T_f	Sonuç	v	q_{vv}	T_i	T_f	Sonuç
37	0,29	0,31	2,47	Uyuşumlu	0,85	3,65	0,44		Uyuşumlu
38					0,48	2,97	0,28		Uyuşumlu
39					0,98	3,70	0,51		Uyuşumlu
40	0,11	0,19	2,47	Uyuşumlu	0,73	6,75	0,28		Uyuşumlu
41					0,54	3,87	0,27		Uyuşumlu
42					0,73	5,72	0,30		Uyuşumlu
43	0,05	0,13	2,47	Uyuşumlu	0,15	5,11	0,07		Uyuşumlu
44					0,25	3,96	0,13		Uyuşumlu
45					0,44	5,53	0,19		Uyuşumlu
46	0,80	0,52	2,47	Uyuşumlu	0,28	0,12	0,81		Uyuşumlu
47					0,13	0,07	0,48		Uyuşumlu
48					0,24	0,08	0,84		Uyuşumlu
49	0,04	0,12	2,47	Uyuşumlu	0,18	2,33	0,12		Uyuşumlu
50					0,02	1,26	0,02		Uyuşumlu
51					0,25	2,04	0,18		Uyuşumlu
52	0,03	0,10	2,47	Uyuşumlu	0,43	7,26	0,16		Uyuşumlu
53					0,16	4,52	0,08		Uyuşumlu
54					0,30	7,63	0,11		Uyuşumlu
55	0,57	0,44	2,47	Uyuşumlu	1,23	2,81	0,73		Uyuşumlu
56					0,67	1,86	0,50		Uyuşumlu
57					1,13	2,88	0,67		Uyuşumlu
58	0,11	0,19	2,47	Uyuşumlu	0,61	6,08	0,25		Uyuşumlu
59					0,29	3,59	0,15		Uyuşumlu
60					0,84	6,38	0,33		Uyuşumlu
61	0,88	0,54	2,47	Uyuşumlu	1,49	3,12	0,84		Uyuşumlu
62					0,80	2,12	0,55		Uyuşumlu
63					1,43	2,78	0,86		Uyuşumlu
64	0,04	0,11	2,47	Uyuşumlu	0,29	2,55	0,18		Uyuşumlu
65					0,13	1,63	0,10		Uyuşumlu
66					0,19	2,26	0,12		Uyuşumlu
67	0,09	0,17	2,47	Uyuşumlu	0,16	1,29	0,14		Uyuşumlu
68					0,07	1,08	0,07		Uyuşumlu
69					0,00	1,32	0,00		Uyuşumlu
70	0,44	0,38	2,47	Uyuşumlu	0,65	1,73	0,49		Uyuşumlu
71					0,46	1,23	0,41		Uyuşumlu
72					0,88	1,78	0,66		Uyuşumlu
73	0,71	0,49	2,47	Uyuşumlu	2,29	9,99	0,72		Uyuşumlu
74					1,59	6,63	0,62		Uyuşumlu
75					2,69	10,68	0,82		Uyuşumlu

EK-D

Tablo D.1. KOUSAGA Ağı 2010 Periyodu Uyuşumsuz Ölçü Testleri

HİPOTEZ TESTLERİ (Tau Dağılım, Pope Testi, “Düzeltilmeler cm birimindedir.”)									
ℓ_i	$\Delta_i^T Q_{\Delta\Delta i}^{-1} \Delta_i = A$	$T_i = \sqrt{A/(3 \cdot m_0^2)}$	T_f	Sonuç	v	q_{vv}	T_i	T_f	Sonuç
1	2,95	0,99	2,47	Uyuşumlu	5,12	10,97	1,55	3,23	Uyuşumlu
2					4,07	8,22	1,42		Uyuşumlu
3					4,38	6,98	1,66		Uyuşumlu
4	0,55	0,43	2,47	Uyuşumlu	1,75	6,09	0,71		Uyuşumlu
5					0,91	3,62	0,48		Uyuşumlu
6					1,50	4,99	0,67		Uyuşumlu
7	1,00	0,58	2,47	Uyuşumlu	1,57	3,39	0,85		Uyuşumlu
8					0,86	1,57	0,68		Uyuşumlu
9					1,62	3,08	0,92		Uyuşumlu
10	1,61	0,73	2,47	Uyuşumlu	3,28	7,86	1,17		Uyuşumlu
11					2,17	5,49	0,93		Uyuşumlu
12					3,11	7,24	1,15		Uyuşumlu
13	1,08	0,60	2,47	Uyuşumlu	1,96	5,95	0,80		Uyuşumlu
14					1,97	4,63	0,91		Uyuşumlu
15					1,83	3,93	0,92		Uyuşumlu
16	0,62	0,46	2,47	Uyuşumlu	1,39	4,11	0,69		Uyuşumlu
17					0,95	2,27	0,63		Uyuşumlu
18					1,41	3,58	0,75		Uyuşumlu
19	0,27	0,30	2,47	Uyuşumlu	0,78	6,35	0,31		Uyuşumlu
20					0,19	5,00	0,09		Uyuşumlu
21					0,91	3,92	0,46		Uyuşumlu
22	0,23	0,28	2,47	Uyuşumlu	0,20	4,57	0,09		Uyuşumlu
23					0,73	3,46	0,39		Uyuşumlu
24					0,19	4,02	0,09		Uyuşumlu
25	1,97	0,81	2,47	Uyuşumlu	2,35	3,58	1,24		Uyuşumlu
26					1,68	2,55	1,05		Uyuşumlu
27					2,17	2,65	1,34		Uyuşumlu
28	0,38	0,36	2,47	Uyuşumlu	0,89	2,23	0,59		Uyuşumlu
29					0,69	1,47	0,57		Uyuşumlu
30					0,76	2,23	0,51		Uyuşumlu
31	1,09	0,60	2,47	Uyuşumlu	1,39	2,64	0,85		Uyuşumlu
32					0,96	1,93	0,69		Uyuşumlu
33					1,73	2,94	1,01		Uyuşumlu
34	0,65	0,46	2,47	Uyuşumlu	0,43	3,50	0,23		Uyuşumlu
35					0,98	2,20	0,66		Uyuşumlu
36					0,68	3,03	0,39		Uyuşumlu

Tablo D.1. (Devam) KOUSAGA Ağı 2010 Periyodu Uyuşumsuz Ölçü Testleri

HİPOTEZ TESTLERİ (Tau Dağılım, Pope Testi, “Düzeltilmeler cm birimindedir.”)									
ℓ_i	$\Delta_i^T Q_{\Delta\Delta i}^{-1} \Delta_i = A$	$T_i = \sqrt{A/(3 \cdot m_0^2)}$	T_f	Sonuç	v	q_{vv}	T_i	T_f	Sonuç
37	0,87	0,54	2,47	Uyuşumlu	1,66	3,98	0,83		Uyuşumlu
38					1,14	3,68	0,59		Uyuşumlu
39					1,56	3,14	0,88		Uyuşumlu
40	0,22	0,27	2,47	Uyuşumlu	0,94	6,62	0,36		Uyuşumlu
41					0,70	3,81	0,36		Uyuşumlu
42					1,05	5,37	0,45		Uyuşumlu
43	2,91	0,99	2,47	Uyuşumlu	3,76	6,09	1,52		Uyuşumlu
44					2,36	3,89	1,20		Uyuşumlu
45					3,60	4,74	1,65		Uyuşumlu
46	0,13	0,21	2,47	Uyuşumlu	0,11	0,11	0,34		Uyuşumlu
47					0,06	0,07	0,23		Uyuşumlu
48					0,10	0,09	0,34		Uyuşumlu
49	0,07	0,15	2,47	Uyuşumlu	0,19	2,59	0,12		Uyuşumlu
50					0,22	1,03	0,21		Uyuşumlu
51					0,07	2,15	0,05		Uyuşumlu
52	2,84	0,97	2,47	Uyuşumlu	4,30	8,73	1,46		Uyuşumlu
53					2,11	4,42	1,00		Uyuşumlu
54					4,11	6,30	1,64		Uyuşumlu
55	0,53	0,42	2,47	Uyuşumlu	1,18	3,10	0,67		Uyuşumlu
56					0,88	2,19	0,59		Uyuşumlu
57					1,00	2,25	0,67		Uyuşumlu
58	6,65	1,49	2,47	Uyuşumlu	5,89	6,77	2,26		Uyuşumlu
59					3,33	3,96	1,67		Uyuşumlu
60					5,69	5,18	2,50		Uyuşumlu
61	0,67	0,47	2,47	Uyuşumlu	1,13	3,42	0,61		Uyuşumlu
62					0,78	2,10	0,54		Uyuşumlu
63					1,30	2,54	0,82		Uyuşumlu
64	0,05	0,13	2,47	Uyuşumlu	0,13	2,47	0,08		Uyuşumlu
65					0,22	1,98	0,16		Uyuşumlu
66					0,03	1,97	0,02		Uyuşumlu
67	1,16	0,62	2,47	Uyuşumlu	0,70	1,49	0,58		Uyuşumlu
68					0,82	0,87	0,88		Uyuşumlu
69					1,10	1,37	0,94		Uyuşumlu
70	0,04	0,12	2,47	Uyuşumlu	0,17	1,97	0,12		Uyuşumlu
71					0,00	1,02	0,00		Uyuşumlu
72					0,03	1,83	0,02		Uyuşumlu
73	0,70	0,48	2,47	Uyuşumlu	2,50	9,77	0,80		Uyuşumlu
74					1,44	7,16	0,54		Uyuşumlu
75					2,25	10,35	1,09		Uyuşumlu

EK-E

Tablo E.1. KOUSAGA Ağı 2009 Periyodu Güvenirlilik Düzeyleri

Ölçü No	P*R (PQ _{vvp})	m _i = m ₀ *√Q _{ii} (cm)	Δ _i / m _i	Karar	δ _{oi}	Karar
1	0,1488	1,5645	2,3317	Yeterli	2,5885	Yeterli
2	0,1679	1,1939	2,8758	Yeterli	2,6501	Yeterli
3	0,1179	1,6056	2,5519	Yeterli	2,6358	Yeterli
4	0,2130	1,1939	2,5536	Yeterli	2,6366	Yeterli
5	0,2513	0,9057	3,0988	Yeterli	2,7449	Yeterli
6	0,1592	1,2763	2,7632	Yeterli	2,5873	Yeterli
7	0,1784	1,0293	3,2361	Yeterli	3,9201	Yeterli
8	0,2036	0,8234	3,7872	Yeterli	3,9653	Yeterli
9	0,1332	1,1528	3,3439	Yeterli	3,6881	Yeterli
10	0,1804	1,3174	2,5145	Yeterli	2,2576	Yeterli
11	0,2034	1,1116	2,8065	Yeterli	2,2164	Yeterli
12	0,1303	1,4410	2,7050	Yeterli	2,1280	Yeterli
13	0,2163	1,1939	2,5336	Yeterli	2,3056	Yeterli
14	0,2229	0,9881	3,0161	Yeterli	2,3109	Yeterli
15	0,1780	1,1939	2,7932	Yeterli	2,2503	Yeterli
16	0,2936	1,0293	2,5226	Yeterli	2,9215	Yeterli
17	0,2904	0,8646	3,0200	Yeterli	2,8110	Yeterli
18	0,2526	0,9881	2,8335	Yeterli	3,0345	Yeterli
19	0,1793	1,2763	2,6035	Yeterli	3,2295	Yeterli
20	0,1777	1,1116	3,0025	Yeterli	3,1314	Yeterli
21	0,1474	1,2763	2,8719	Yeterli	3,1843	Yeterli
22	0,2494	1,0704	2,6321	Yeterli	2,4370	Yeterli
23	0,2564	0,9469	2,9346	Yeterli	2,4156	Yeterli
24	0,1994	1,0704	2,9438	Yeterli	2,3432	Yeterli
25	0,2263	1,0293	2,8738	Yeterli	3,0656	Yeterli
26	0,2416	0,8646	3,3110	Yeterli	3,2234	Yeterli
27	0,1866	1,0293	3,1643	Yeterli	3,0336	Yeterli
28	0,2033	0,9881	3,1579	Yeterli	4,4616	Yeterli
29	0,2068	0,8234	3,7575	Yeterli	4,2912	Yeterli
30	0,1730	0,9469	3,5728	Yeterli	4,7871	Yeterli
31	0,1717	1,0704	3,1720	Yeterli	4,2137	Yeterli
32	0,1796	0,9057	3,6654	Yeterli	3,9604	Yeterli
33	0,1367	1,1116	3,4231	Yeterli	4,1077	Yeterli
34	0,2853	0,9881	2,6661	Yeterli	3,2622	Yeterli
35	0,3005	0,8234	3,1173	Yeterli	3,2010	Yeterli
36	0,2508	0,9469	2,9667	Yeterli	3,3268	Yeterli

Tablo E.1. (Devam) KOUSAGA Ağı 2009 Periyodu Güvenirlilik Düzeyleri

Ölçü No	P*R (PQ _{vv} P)	m _i = m _o *√Q _{ll} (cm)	Δ _i / m _i	Karar	δ _{oi}	Karar
37	0,2282	1,0704	2,7516	Yeterli	3,0383	Yeterli
38	0,2296	0,9469	3,1011	Yeterli	3,0221	Yeterli
39	0,1867	1,0704	3,0422	Yeterli	2,9300	Yeterli
40	0,1970	1,2763	2,4838	Yeterli	2,1446	Yeterli
41	0,2331	0,9881	2,9492	Yeterli	2,2945	Yeterli
42	0,1806	1,1939	2,7731	Yeterli	2,2562	Yeterli
43	0,1785	1,2351	2,6966	Yeterli	3,0325	Yeterli
44	0,1932	1,0704	2,9907	Yeterli	3,0382	Yeterli
45	0,1419	1,2763	2,9265	Yeterli	2,9901	Yeterli
46	0,5201	0,3705	5,2652	Yeterli	8,2005	Yeterli
47	0,5920	0,2882	6,3450	Yeterli	8,1673	Yeterli
48	0,4458	0,3294	6,3980	Yeterli	9,2023	Yeterli
49	0,3160	0,8646	2,8951	Yeterli	3,0504	Yeterli
50	0,3709	0,6587	3,5072	Yeterli	3,2527	Yeterli
51	0,2830	0,8234	3,2118	Yeterli	3,2551	Yeterli
52	0,1762	1,3586	2,4672	Yeterli	2,4710	Yeterli
53	0,2046	1,0704	2,9060	Yeterli	2,6293	Yeterli
54	0,1398	1,3998	2,6878	Yeterli	2,4703	Yeterli
55	0,4200	0,8646	2,5110	Yeterli	2,6940	Yeterli
56	0,4548	0,6999	2,9807	Yeterli	2,5358	Yeterli
57	0,3467	0,8646	2,7639	Yeterli	2,5763	Yeterli
58	0,1898	1,2763	2,5304	Yeterli	2,7208	Yeterli
59	0,2005	0,9881	3,1804	Yeterli	2,4649	Yeterli
60	0,1531	1,3174	2,7291	Yeterli	2,8204	Yeterli
61	0,3859	0,9057	2,5006	Yeterli	2,6146	Yeterli
62	0,4427	0,7411	2,8534	Yeterli	2,6971	Yeterli
63	0,3315	0,8646	2,8265	Yeterli	2,6351	Yeterli
64	0,3717	0,8646	2,6691	Yeterli	2,9544	Yeterli
65	0,4023	0,6999	3,1695	Yeterli	3,0105	Yeterli
66	0,3297	0,8234	2,9757	Yeterli	3,0538	Yeterli
67	0,4387	0,6999	3,0351	Yeterli	3,8887	Yeterli
68	0,4380	0,6176	3,4424	Yeterli	3,5509	Yeterli
69	0,3687	0,6999	3,3106	Yeterli	3,7782	Yeterli
70	0,4408	0,7411	2,8595	Yeterli	3,1486	Yeterli
71	0,4941	0,6176	3,2413	Yeterli	3,1946	Yeterli
72	0,3735	0,7411	3,1066	Yeterli	3,0301	Yeterli
73	0,1183	1,6056	2,5475	Yeterli	2,4048	Yeterli
74	0,1400	1,3174	2,8546	Yeterli	2,5965	Yeterli
75	0,0971	1,6468	2,7414	Yeterli	2,3928	Yeterli

EK-F

Tablo F.1. KOUSAGA Ağı 2010 Periyodu Güvenirlilik Düzeyleri

Ölçü No	P*R (PQ _v P)	m _i = m ₀ *√Q _{II} (cm)	Δ _i / m _i	Karar	δ _{oi}	Karar
1	0,1501	2,5758	2,2049	Yeterli	2,8201	Yeterli
2	0,1414	2,1894	2,6729	Yeterli	2,5628	Yeterli
3	0,1389	2,1250	2,7790	Yeterli	2,9037	Yeterli
4	0,1842	1,9963	2,5689	Yeterli	2,5668	Yeterli
5	0,1995	1,5455	3,1878	Yeterli	2,5750	Yeterli
6	0,1743	1,8031	2,9235	Yeterli	2,6282	Yeterli
7	0,1430	1,8031	3,2279	Yeterli	3,5467	Yeterli
8	0,1723	1,2879	4,1169	Yeterli	3,8649	Yeterli
9	0,1366	1,6743	3,5567	Yeterli	3,5526	Yeterli
10	0,1712	2,1894	2,4293	Yeterli	2,3412	Yeterli
11	0,1638	1,8031	3,0157	Yeterli	2,1371	Yeterli
12	0,1490	2,0606	2,7665	Yeterli	2,2064	Yeterli
13	0,2414	1,9319	2,3186	Yeterli	2,5457	Yeterli
14	0,2284	1,6743	2,7501	Yeterli	2,3720	Yeterli
15	0,2230	1,6099	2,8945	Yeterli	2,6813	Yeterli
16	0,2667	1,6743	2,5453	Yeterli	2,7008	Yeterli
17	0,3026	1,2879	3,1060	Yeterli	2,9667	Yeterli
18	0,2306	1,5455	2,9655	Yeterli	2,6746	Yeterli
19	0,1856	2,1250	2,4039	Yeterli	3,0898	Yeterli
20	0,1668	1,8675	2,8853	Yeterli	2,8777	Yeterli
21	0,1653	1,7387	3,1132	Yeterli	3,2946	Yeterli
22	0,2493	1,7387	2,5350	Yeterli	2,5510	Yeterli
23	0,2631	1,4811	2,8970	Yeterli	2,4848	Yeterli
24	0,2123	1,6099	2,9668	Yeterli	2,4691	Yeterli
25	0,2472	1,6743	2,6437	Yeterli	3,2221	Yeterli
26	0,2491	1,4167	3,1124	Yeterli	3,1704	Yeterli
27	0,2010	1,4811	3,3139	Yeterli	3,4071	Yeterli
28	0,2224	1,5455	3,0192	Yeterli	4,4237	Yeterli
29	0,2191	1,2879	3,6503	Yeterli	4,7999	Yeterli
30	0,1754	1,4811	3,5473	Yeterli	4,2257	Yeterli
31	0,1662	1,6743	3,2237	Yeterli	3,9629	Yeterli
32	0,1804	1,4167	3,6571	Yeterli	4,1212	Yeterli
33	0,1273	1,6743	3,6844	Yeterli	3,6991	Yeterli
34	0,2755	1,6099	2,6046	Yeterli	3,0979	Yeterli
35	0,3014	1,2879	3,1126	Yeterli	3,2193	Yeterli
36	0,2366	1,4811	3,0546	Yeterli	3,0596	Yeterli

Tablo F.1. (Devam) KOUSAGA Ağı 2010 Periyodu Güvenirlik Düzeyleri

Ölçü No	P*R (PQ _{vv} P)	m _i = m _o *√Q _{ll} (cm)	Δ _i / m _i	Karar	δ _{oi}	Karar
37	0,2583	1,7387	2,4903	Yeterli	3,2434	Yeterli
38	0,2311	1,6099	2,8436	Yeterli	2,9886	Yeterli
39	0,2088	1,5455	3,1161	Yeterli	3,1016	Yeterli
40	0,2115	1,9963	2,3968	Yeterli	2,2863	Yeterli
41	0,2362	1,5455	2,9300	Yeterli	2,3749	Yeterli
42	0,1833	1,8031	2,8510	Yeterli	2,3170	Yeterli
43	0,1731	2,0606	2,5669	Yeterli	3,0303	Yeterli
44	0,1884	1,6743	3,0284	Yeterli	3,0454	Yeterli
45	0,1376	1,8675	3,1767	Yeterli	3,2018	Yeterli
46	0,4580	0,5796	5,6106	Yeterli	8,9696	Yeterli
47	0,5518	0,4508	6,5725	Yeterli	8,6441	Yeterli
48	0,4363	0,5152	6,4673	Yeterli	8,7347	Yeterli
49	0,2680	1,4167	3,0008	Yeterli	2,8595	Yeterli
50	0,3926	0,9659	3,6361	Yeterli	3,5757	Yeterli
51	0,2365	1,2879	3,5137	Yeterli	2,7826	Yeterli
52	0,1452	2,3182	2,4915	Yeterli	2,4145	Yeterli
53	0,1812	1,6743	3,0874	Yeterli	2,5177	Yeterli
54	0,1437	1,9963	2,9081	Yeterli	2,5102	Yeterli
55	0,3728	1,4167	2,5442	Yeterli	2,7579	Yeterli
56	0,4224	1,1591	2,9213	Yeterli	2,4441	Yeterli
57	0,3570	1,2235	3,0105	Yeterli	2,8596	Yeterli
58	0,1615	2,1250	2,5768	Yeterli	2,8131	Yeterli
59	0,1935	1,6099	3,1073	Yeterli	2,7492	Yeterli
60	0,1542	1,8675	3,0012	Yeterli	2,7534	Yeterli
61	0,3332	1,4811	2,5743	Yeterli	2,4960	Yeterli
62	0,4059	1,1591	2,9800	Yeterli	2,5818	Yeterli
63	0,3174	1,2879	3,0330	Yeterli	2,5502	Yeterli
64	0,3605	1,3523	2,7104	Yeterli	3,1804	Yeterli
65	0,3850	1,1591	3,0598	Yeterli	2,7810	Yeterli
66	0,3137	1,2235	3,2114	Yeterli	3,2507	Yeterli
67	0,3814	1,1591	3,0744	Yeterli	3,4441	Yeterli
68	0,4540	0,9015	3,6227	Yeterli	3,7257	Yeterli
69	0,3281	1,0947	3,5098	Yeterli	3,4295	Yeterli
70	0,4134	1,2235	2,7974	Yeterli	3,2806	Yeterli
71	0,5285	0,9015	3,3576	Yeterli	3,3582	Yeterli
72	0,3503	1,1591	3,2080	Yeterli	3,1898	Yeterli
73	0,1148	2,5114	2,5858	Yeterli	2,3868	Yeterli
74	0,1225	2,1250	2,9591	Yeterli	2,3301	Yeterli
75	0,0856	2,5114	2,9956	Yeterli	2,2084	Yeterli

EK-G

Tablo G.1. Genelleştirilmiş Deformasyon İrdelemesi Test Sonuçları-1

N.N.	d (cm)	$d^T(Q_{dd})^{-1}d$	T	F	Karar
2009 HEND	1,4282	0,5030	1,78	3,92	deformasyon yok
	0,1126	0,0046	0,02		deformasyon yok
	0,9559	0,2514	0,89		deformasyon yok
2011 BOLU	5,4533	4,6799	16,58		deformasyon var
	1,8077	0,7260	2,57		deformasyon yok
	4,8579	3,9122	13,86		deformasyon var
2004 ISTN	1,0417	0,8028	2,84		deformasyon yok
	0,4422	0,2376	0,84		deformasyon yok
	0,7777	0,5574	1,97		deformasyon yok
2007 IZMT	1,1974	0,4411	1,56		deformasyon yok
	0,0388	0,0007	0,00		deformasyon yok
	0,9464	0,3085	1,09		deformasyon yok
2010 NAHA	3,9603	1,9657	6,96		deformasyon var
	-0,9167	0,1440	0,51		deformasyon yok
	2,4820	0,8589	3,04		deformasyon yok
2008 BILE	0,1265	0,0031	0,01		deformasyon yok
	-2,2851	1,4689	5,20		deformasyon var
	-1,2606	0,3475	1,23		deformasyon yok
2001 TEKR	2,8805	1,0711	3,80		deformasyon yok
	1,3054	0,3766	1,33		deformasyon yok
	2,2920	0,7345	2,60		deformasyon yok
1006 TUBI	0,8004	0,3032	1,07		deformasyon yok
	-0,3232	0,0763	0,27		deformasyon yok
	0,4254	0,0957	0,34		deformasyon yok
2002 BAND	3,8473	2,2671	8,03		deformasyon var
	-0,1046	0,0027	0,01		deformasyon yok
	1,8740	0,5653	2,00		deformasyon yok

Tablo G.2. Genelleştirmiş Deformasyon İrdelemesi Test Sonuçları-2

N.N.	d (cm)	$d^T(Q_{dd})^{-1}d$	T	F	Karar
2009 HEND	1,4282	0,9150	1,08	2,68	deformasyon yok
	0,1126				
	0,9559				
2011 BOLU	5,4533	6,3045	7,45		deformasyon var
	1,8077				
	4,8579				
2004 ISTN	1,0417	0,8645	1,02		deformasyon yok
	0,4422				
	0,7777				
2007 IZMT	1,1974	0,8845	1,04		deformasyon yok
	0,0388				
	0,9464				
2010 NAHA	3,9603	6,3447	7,49		deformasyon var
	-0,9167				
	2,4820				
2008 BILE	0,1265	3,6917	4,36		deformasyon var
	-2,2851				
	-1,2606				
2001 TEKR	2,8805	1,1126	1,31		deformasyon yok
	1,3054				
	2,2920				
1006 TUBI	0,8004	1,1910	1,41		deformasyon yok
	-0,3232				
	0,4254				
2002 BAND	3,8473	4,6349	5,47		deformasyon var
	-0,1046				
	1,8740				

EK-H

Tablo H.1. KOUSAGA Ağı 2009 Periyodu Global Algılayabilirlik Düzeyleri- 1

Durak No	Q _{dd}			λ_1	λ_2	λ_3
2002	1,1181	-0,5332	-0,5427	1,7867	0,1760	1,2813
	-0,5332	1,2781	-0,2290			
	-0,5427	-0,2290	0,8477			
2008	1,8370	-0,8703	-0,9250	2,8999	0,2909	2,0428
	-0,8703	1,8855	-0,3375			
	-0,9250	-0,3375	1,5111			
2011	0,9694	-0,4549	-0,4865	1,5280	0,1585	1,1217
	-0,4549	1,0226	-0,1990			
	-0,4865	-0,1990	0,8162			
2009	1,9559	-0,9450	-0,9816	3,1289	0,3291	2,2934
	-0,9450	2,1234	-0,3968			
	-0,9816	-0,3968	1,6722			
1005	2,1183	-1,0205	-1,0859	3,4296	0,3664	2,5359
	-1,0205	2,3869	-0,4270			
	-1,0859	-0,4270	1,8268			
2004	1,9892	-0,9666	-1,0191	3,2270	0,3405	2,3868
	-0,9666	2,2421	-0,4047			
	-1,0191	-0,4047	1,7231			
2007	2,4293	-1,1319	-1,2599	3,8420	0,3821	2,7608
	-1,1319	2,4730	-0,4675			
	-1,2599	-0,4675	2,0826			
2010	1,0334	-0,4872	-0,5173	1,6180	0,1583	1,1630
	-0,4872	1,0425	-0,2068			
	-0,5173	-0,2068	0,8634			
2006	2,3434	-1,1465	-1,1672	3,8052	0,4213	2,8855
	-1,1465	2,7180	-0,5222			
	-1,1672	-0,5222	2,0506			
2001	0,8301	-0,3756	-0,4223	1,3120	0,1347	0,9637
	-0,3756	0,9262	-0,1654			
	-0,4223	-0,1654	0,6542			
1006	2,9909	-1,4578	-1,4340	4,7293	0,4943	3,3738
	-1,4578	3,1701	-0,5912			
	-1,4340	-0,5912	2,4363			
2012	0,8099	-0,3899	-0,3819	1,2734	0,1292	0,9503
	-0,3899	0,8885	-0,1896			
	-0,3819	-0,1896	0,6545			

Tablo H.2. KOUSAGA Ağı 2009 Periyodu Global Algılayabilirlik Düzeyleri- 2

Durak No	cosα	cosβ	cosγ	n, e, w	α	Z
2002	-0,7226	0,6398	0,2616	0,4180	1,1378	1,6590
				0,9042		
				-0,0881		
2008	-0,7609	0,5268	0,3788	0,5448	0,9935	1,6293
				0,8365		
				-0,0585		
2011	-0,7585	0,5378	0,3680	0,5165	1,0276	1,6066
				0,8555		
				-0,0358		
2009	-0,7476	0,5644	0,3500	0,4963	1,0510	1,6101
				0,8673		
				-0,0393		
1005	-0,7375	0,5806	0,3450	0,4988	1,0480	1,6177
				0,8655		
				-0,0469		
2004	-0,7371	0,5825	0,3427	0,4979	1,0488	1,6214
				0,8657		
				-0,0506		
2007	-0,7651	0,4900	0,4177	0,5896	0,9396	1,6145
				0,8065		
				-0,0437		
2010	-0,7678	0,5112	0,3863	0,5467	0,9916	1,6196
				0,8359		
				-0,0488		
2006	-0,7248	0,6216	0,2971	0,4364	1,1187	1,6185
				0,8985		
				-0,0477		
2001	-0,7432	0,5816	0,3309	0,5060	1,0384	1,6490
				0,8590		
				-0,0782		
1006	-0,7496	0,5798	0,3193	0,4819	1,0666	1,6407
				0,8734		
				-0,0698		
2012	-0,7397	0,6176	0,2673	0,4013	1,1573	1,6214
				0,9145		
				-0,0506		
Açılar radyan, uzunluklar cm birimindedir.						

Tablo H.3. KOUSAGA Ağı 2009 Periyodu Global Algılayabilirlik Düzeyleri- 3

Durak No	$d_{\min}$	$d_{\max}$	$d_{\max} / d_{\min}$	$e_{\min}$	$n_{\min}$	$e_{\max}$	$n_{\max}$
2002	1,02	3,24	3,19	2,41	1,03	7,12	3,29
2008	0,80	2,52	3,16	1,85	1,06	5,12	3,34
2011	1,10	3,41	3,11	2,58	1,38	7,10	4,28
2009	0,77	2,37	3,08	1,81	0,93	4,99	2,86
1005	0,73	2,25	3,06	1,73	0,89	4,72	2,72
2004	0,76	2,33	3,08	1,78	0,92	4,90	2,82
2007	0,69	2,20	3,17	1,59	0,99	4,31	3,15
2010	1,07	3,42	3,20	2,48	1,42	6,94	4,54
2006	0,70	2,09	3,01	1,66	0,74	4,57	2,22
2001	1,19	3,70	3,12	2,77	1,46	7,73	4,55
1006	0,63	1,93	3,09	1,47	0,73	4,10	2,26
2012	1,20	3,78	3,14	2,88	1,17	8,40	3,69
<i>Sonuçlar (cm) birimindedir.</i>							

EK-I

Tablo I.1. KOUSAGA Ağı 2010 Periyodu Global Algılayabilirlik Düzeyleri- 1

Durak No	Qdd			λ_1	λ_2	λ_3
2002	1,0341	-0,5427	-0,5864	1,7858	0,1816	1,0733
	-0,5427	1,0580	-0,0661			
	-0,5864	-0,0661	0,9486			
2008	1,8413	-1,0378	-0,9706	3,1523	0,2927	1,8970
	-1,0378	1,8458	-0,1537			
	-0,9706	-0,1537	1,6548			
2011	0,9988	-0,5800	-0,4766	1,6923	0,1609	1,0082
	-0,5800	1,0461	-0,1014			
	-0,4766	-0,1014	0,8166			
2009	1,9996	-1,1482	-1,0224	3,4434	0,3316	2,0985
	-1,1482	2,1261	-0,1865			
	-1,0224	-0,1865	1,7478			
1005	1,9046	-1,1221	-0,9508	3,3963	0,3761	2,1854
	-1,1221	2,3280	-0,2266			
	-0,9508	-0,2266	1,7251			
2004	1,8012	-1,0492	-0,9106	3,1873	0,3474	2,0549
	-1,0492	2,1522	-0,2102			
	-0,9106	-0,2102	1,6363			
2007	2,1707	-1,2303	-1,0736	3,7275	0,3879	2,3979
	-1,2303	2,4602	-0,2776			
	-1,0736	-0,2776	1,8824			
2010	1,0851	-0,6216	-0,5442	1,8273	0,1591	1,0405
	-0,6216	1,0310	-0,0779			
	-0,5442	-0,0779	0,9108			
2006	2,2600	-1,3259	-1,0989	3,9924	0,4326	2,4708
	-1,3259	2,7217	-0,2464			
	-1,0989	-0,2464	1,9142			
2001	0,6934	-0,3852	-0,3832	1,2405	0,1379	0,8121
	-0,3852	0,8389	-0,0675			
	-0,3832	-0,0675	0,6582			
1006	2,7679	-1,5622	-1,3837	4,7594	0,5017	3,0183
	-1,5622	3,1114	-0,3169			
	-1,3837	-0,3169	2,4001			
2012	0,7752	-0,4520	-0,3501	1,3158	0,1345	0,7800
	-0,4520	0,8495	-0,0860			
	-0,3501	-0,0860	0,6055			

Tablo I.2. KOUSAGA Ağı 2010 Periyodu Global Algılayabilirlik Düzeyleri- 2

Durak No	$\cos\alpha$	$\cos\beta$	$\cos\gamma$	n, e, w	α	Z
2002	-0,7275	0,4998	0,4701	0,6222	0,8992	1,5774
				0,7828		
				-0,0066		
2008	-0,7338	0,5333	0,4208	0,5597	55,9640	1,5817
				0,8286		
				-0,0109		
2011	-0,7283	0,6025	0,3266	0,4462	63,4936	1,5885
				0,8947		
				-0,0177		
2009	-0,7248	0,5790	0,3734	0,4964	60,2409	1,5744
				0,8681		
				-0,0036		
1005	-0,6886	0,6591	0,3024	0,4135	65,5736	1,5848
				0,9104		
				-0,0140		
2004	-0,6968	0,6408	0,3222	0,4409	63,8342	1,5869
				0,8974		
				-0,0161		
2007	-0,7136	0,6224	0,3216	0,4444	63,6051	1,5935
				0,8955		
				-0,0227		
2010	-0,7426	0,5409	0,3949	0,5295	58,0256	1,5857
				0,8482		
				-0,0149		
2006	-0,6902	0,6647	0,2861	0,3943	66,7729	1,5870
				0,9188		
				-0,0162		
2001	-0,6967	0,6030	0,3886	0,5161	58,9304	1,5725
				0,8565		
				-0,0017		
1006	-0,7148	0,6128	0,3369	0,4649	62,2893	1,5939
				0,8851		
				-0,0231		
2012	-0,7152	0,6426	0,2747	0,3844	67,3893	1,5910
				0,9230		
				-0,0202		
Açılar radyan, uzunluklar cm birimindedir.						

Tablo I.3. KOUSAGA Ağı 2010 Periyodu Global Algılayabilirlik Düzeyleri- 3

Durak No	d_{min}	d_{max}	d_{max} / d_{min}	e_{min}	n_{min}	e_{max}	n_{max}
2002	1,59	4,99	3,14	2,33	1,54	6,07	4,82
2008	1,20	3,93	3,28	1,80	1,04	5,06	3,42
2011	1,63	5,30	3,24	2,51	1,13	7,36	3,67
2009	1,15	3,69	3,22	1,74	0,88	4,98	2,85
1005	1,15	3,47	3,01	1,78	0,74	4,90	2,23
2004	1,19	3,61	3,03	1,83	0,82	5,03	2,47
2007	1,10	3,41	3,10	1,69	0,76	4,75	2,36
2010	1,57	5,33	3,39	2,38	1,29	7,02	4,38
2006	1,06	3,23	3,04	1,64	0,65	4,61	1,98
2001	1,91	5,73	3,00	2,89	1,53	7,62	4,59
1006	0,97	3,00	3,08	1,49	0,70	4,13	2,17
2012	1,85	5,80	3,13	2,86	1,11	8,31	3,46
Sonuçlar (cm) birimindedir.							

EK-J

Tablo J.1. KOUSAGA Ağı Bağıl Algılayabilirlik Düzeyleri- 1

Durak No	Qdd			λ_1	λ_2	λ_3
2009	0,8445	-0,4495	-0,4164	1,3965	0,1413	0,9354
	-0,4495	0,9141	-0,1322			
	-0,4164	-0,1322	0,7146			
2011	0,5326	-0,2803	-0,2511	0,8641	0,0876	0,5630
	-0,2803	0,5576	-0,0810			
	-0,2511	-0,0810	0,4244			
2004	2,5014	-1,3157	-1,3892	4,3114	0,4545	2,9710
	-1,3157	2,8371	-0,3475			
	-1,3892	-0,3475	2,3984			
2007	1,0377	-0,5334	-0,5263	1,7047	0,1770	1,1676
	-0,5334	1,1115	-0,1661			
	-0,5263	-0,1661	0,9002			
2010	0,4545	-0,2396	-0,2221	0,7369	0,0697	0,4725
	-0,2396	0,4514	-0,0637			
	-0,2221	-0,0637	0,3732			
2008	0,6734	-0,3524	-0,3397	1,1078	0,1109	0,7300
	-0,3524	0,7017	-0,0959			
	-0,3397	-0,0959	0,5735			
2001	0,4230	-0,2130	-0,2265	0,7136	0,0764	0,4970
	-0,2130	0,4965	-0,0643			
	-0,2265	-0,0643	0,3675			
1006	1,5687	-0,8322	-0,7832	2,6211	0,2758	1,7946
	-0,8322	1,7705	-0,2558			
	-0,7832	-0,2558	1,3523			
2002	0,5124	-0,2560	-0,2678	0,8471	0,0883	0,5664
	-0,2560	0,5641	-0,0705			
	-0,2678	-0,0705	0,4252			
2012	1,9016	1,1362	1,3532	4,0280	0,4122	0,6177
	1,1362	1,3148	0,9477			
	1,3532	0,9477	1,8415			
2006	0,6428	0,3542	0,4363	1,2798	0,1402	0,2043
	0,3542	0,4023	0,2802			
	0,4363	0,2802	0,5793			
1005	0,7155	0,3931	0,4831	1,4133	0,1541	0,2232
	0,3931	0,4456	0,3070			
	0,4831	0,3070	0,6294			

Tablo J.2. KOUSAGA Ağı Bağlı Algılayabilirlik Düzeyleri- 2

Durak No	$\cos\alpha$	$\cos\beta$	$\cos\gamma$	n, e, w	α	Z
2009	0,7336	-0,5923	-0,3331	-0,4663	1,0854	1,5403
				-0,8841		
				0,0305		
2011	0,7404	-0,5946	-0,3133	-0,4456	1,1086	1,5335
				-0,8944		
				0,0373		
2004	0,7226	-0,5445	-0,4258	-0,5644	0,9710	1,5705
				-0,8255		
				0,0003		
2007	0,7403	-0,5625	-0,3681	-0,5143	1,0303	1,5384
				-0,8570		
				0,0324		
2010	0,7521	-0,5502	-0,3629	-0,5072	1,0385	1,5327
				-0,8610		
				0,0381		
2008	0,7427	-0,5565	-0,3724	-0,5201	1,0233	1,5235
				-0,8532		
				0,0473		
2001	0,7173	-0,5974	-0,3586	-0,5071	1,0386	1,5336
				-0,8611		
				0,0372		
1006	0,7232	-0,6103	-0,3233	-0,4602	1,0922	1,5324
				-0,8870		
				0,0384		
2002	0,7329	-0,5710	-0,3698	-0,5215	1,0196	1,5210
				-0,8482		
				0,0496		
*2012	-0,6389	-0,4781	-0,6026	0,0611	-1,1287	2,9983
				-0,1291		
				-0,9898		
*2006	-0,6614	-0,4569	-0,5948	0,0794	-0,7265	3,0351
				-0,0706		
				-0,9943		
*1005	-0,6658	-0,4575	-0,5894	0,0845	-0,7392	3,0270
				-0,0770		
				-0,9934		
Açılar radyan, uzunluklar cm birimindedir.						

Tablo J.3. KOUSAGA Ağı Bağlı Algılayabilirlik Düzeyleri- 3

Durak No	d_{min}	d_{max}	d_{max} / d_{min}	e_{min}	n_{min}	e_{max}	n_{max}
2009	1,51	4,75	3,14	1,34	0,70	4,20	2,21
2011	1,92	6,03	3,14	1,72	0,86	5,39	2,69
2004	0,86	2,65	3,08	0,71	0,49	2,19	1,49
2007	1,37	4,24	3,10	1,17	0,70	3,64	2,18
2010	2,08	6,76	3,25	1,79	1,05	5,82	3,43
2008	1,70	5,36	3,16	1,45	0,88	4,57	2,79
2001	2,11	6,46	3,06	1,82	1,07	5,56	3,27
1006	1,10	3,40	3,08	0,98	0,51	3,01	1,56
2002	1,94	6,01	3,10	1,65	1,01	5,11	3,14
*2012	0,89	2,78	3,13	-0,11	0,05	-0,36	0,17
*2006	1,58	4,77	3,02	-0,11	0,13	-0,34	0,38
*1005	1,50	4,55	3,03	-0,12	0,13	-0,35	0,38
<i>* Eşlenik Noktalar, Sonuçlar (cm) birimindedir.</i>							

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Konak, H., Nehbit Küreç, P., **Karaöz, A.**, Cerit, F. (2020). Interpreting Deformation Results Of Geodetic Network Points Using The Strain Models Based On Different Estimation Methods. *International Journal Of Engineering and Geosciences*, 5(1), 49-59. DOI:10.26833



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Mersin, İstanbul ve Malatya olmak üzere farklı illerde tamamladı. 2011 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2015 yılında mezun oldu ve aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Jeoinformasyon Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2018 yılından beri Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş. (BOTAŞ)' de görev yapmaktadır.

