

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEFORMASYON ANALİZİ GÜVENİLİRLİĞİNİN FARKLI YÖNTEMLER İÇİN
ARAŞTIRILMASI**

BAHATTİN ERDOĞAN

**DOKTORA TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEOMATİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. ŞERİF HEKİMOĞLU**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEFORMASYON ANALİZİ GÜVENİLİRLİĞİNİN FARKLI YÖNTEMLER İÇİN
ARAŞTIRILMASI**

Bahattin ERDOĞAN tarafından hazırlanan tez çalışması 23.09.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Şerif HEKİMOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Şerif HEKİMOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin DEMİREL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Tevfik AYAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Rasim DENİZ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. D. Uğur ŞANLI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu alışma, TUBİTAK-BİDEB Yurt İçi Doktora Burs Programı ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde değerli bilgi ve görüşlerinden yararlandığım, bana yol gösteren, araştırmanın geliştirilmesinde ve tezin yönlendirilmesinde büyük katkıları bulunan tez danışmanım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Şerif HEKİMOĞLU' na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince tez jurimde bulunan, fikirlerini benimle paylaşan ve önerileri ile beni yönlendiren Prof. Dr. Hüseyin DEMİREL ve Prof. Dr. Tevfik AYAN' a teşekkürü bir borç bilirim.

Doktora çalışmam sırasında GPS ile ilgili konularda fikirlerini benimle paylaşan Doç. Dr. D. Uğur ŞANLI' ya teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca sıkıntılarımda yanımda olan, GPS aletlerinin kullanılmasında bana yardımcı olan değerli arkadaşım Uzman Taylan ÖCALAN' a teşekkür ederim.

GPS verilerinin değerlendirilmesinde fikirlerini benimle paylaşan, Doç. Dr. Uğur DOĞAN, Yrd. Doç. Dr. Niyazi ARSLAN, Yrd. Doç. Dr. Cüneyt AYDIN ve Arş. Gör. Deniz ÖZ' e teşekkür ederim.

Davutpaşa yerleşkesi inşaat fakültesi binası üzerindeki pil yeleri kullanma olanağı tanıdığı için kalibrasyon laboratuvarı sorumlularına teşekkür ederim.

Doktora eğitimim süresince bana burs sağlayan, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığına (TUBİTAK-BİDEB) teşekkür ederim.

Bazı GPS verileri Scripps Orbit and Permanent Center (SOPAC)' dan ve TUSAGA-AKTİF' den temin edilmiştir. Bu ismi geçen kuruluşlara teşekkür ederim.

Tez çalışmasının her aşamasında manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme, bana destek veren sevgili eşim Dilek ERDOĞAN' a, teşekkür eder, bu tez çalışmamı eşime ithaf ederim.

Ağustos, 2011

Bahattin ERDOĞAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez	6
BÖLÜM 2	
JEODEZİK AĞLARDA DEFORMASYON ANALİZİ	7
2.1 Jeodezik Deformasyon Ölçülerinin Analizi.....	8
2.1.1 Dengelemenin Matematiksel Modeli.....	8
2.1.2 Jeodezik Ağlarda Uyuşumsuz Ölçü Testi.....	9
2.2 Deformasyon Analizi	11
2.2.1 Ölçme Periyotları İçin Varyans Testi.....	11
2.2.2 Klasik Deformasyon Analizi.....	12
2.2.2.1 Bağıl Modelde Konum Değişimi Anlamalı Olan Noktaların Belirlenmesi	15
S – Dönüşümü Yöntemi ile Yerelleştirme	16
2.2.2.2 Mutlak Modelde Konum Değişimi Anlamalı Olan Noktaların Belirlenmesi	18
Bağıl Güven Elipsi Yöntemi	19
2.2.3 Koch Yöntemi.....	20
2.2.4 Caspary ve Borutta Yöntemi.....	22

2.2.5	En Küçük Kareler Kestiriminin Yayma Etkisi	26
BÖLÜM 3		
GÜVENİLİRLİK VE KARŞILAŞTIRMA KRİTERİ		29
3.1	Karşılaştırma Kriteri	29
3.2	Ortalama Başarı Oranı	32
BÖLÜM 4		
DEFORMASYON ANALİZİ GÜVENİLİRLİĞİNİN SİMÜLE EDİLEN AĞLARDA ARAŞTIRILMASI		34
4.1	Yapay Ölçülerin Elde Edilmesi	35
4.1.1	Yatay Kontrol Ağında Ölçülerin Elde Edilmesi	35
4.1.2	GPS Ağında Ölçülerin Elde Edilmesi	39
4.2	Yatay Kontrol Ağında Analizler	44
4.2.1	Yatay Kontrol Ağında Tüm Ağın Birlikte Analiz Edilmesi	47
4.2.2	Yatay Kontrol Ağında Alt Ağların Analiz Edilmesi	50
4.3	GPS Ağında Analizler	53
4.3.1	GPS Ağında Tüm Ağın Birlikte Analiz Edilmesi	55
4.3.1.1	Baz Bileşenleri Arasında Varyansların Dikkate Alındığı Durum	56
4.3.1.2	Baz Bileşenleri Arasındaki Deneysel Varyans Kovaryansların Dikkate Alındığı Durum	59
4.3.2	GPS Ağında Alt Ağların Analiz Edilmesi	62
4.3.2.1	Baz Bileşenleri Arasında Varyansların Dikkate Alındığı Durum	62
4.3.2.2	Baz Bileşenleri Arasında Varyans Kovaryansların Dikkate Alındığı Durum	65
BÖLÜM 5		
DEFORMASYON ANALİZİ GÜVENİLİRLİĞİNİN GPS AĞINDA ARAŞTIRILMASI		69
5.1	GPS Ölçülerinin Gerçekleştirilmesi ve Farklı Senaryoların Oluşturulması	70
5.2	GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesi	73
5.3	Deformasyon Analizi	74
5.3.1	Yazılımdan Koordinatlar ve Koordinatlara ait Kofaktör Matrisinin Alındığı Yaklaşım	74
5.3.2	Yazılımdan Baz Bileşenleri ve Varyans-Kovaryans Matrislerinin Alınarak Analizin Gerçekleştirilmesi	78
5.3.3	Yazılımdan Baz Bileşenleri ve Varyans-Kovaryans Matrisleri Alınarak Alt Ağların Uygulanması	81
BÖLÜM 6		
SONUÇ VE ÖNERİLER		85
KAYNAKLAR		89
ÖZGEÇMİŞ		94

SİMGE LİSTESİ

A	Katsayılar matrisi
B_i	Datum noktalarını tanımlayıcı koşul denklemi katsayılar matrisi
C_{ll}	Ölçülerin kovaryans matrisi
C_t	Benzerlik dönüşümünde bilinmeyenlerin varyans kovaryans matrisi
C_δ	Benzerlik dönüşümünde düzeltmelerin varyans kovaryans matrisi
d	Defekt sayısı
d	Koordinat fark vektörü
d_{si}	Yer değiştirme büyüklüğü
E()	Beklenen değer
e₁	1. periyot ölçülerinin rasgele hata vektörü
e₂	2. periyot ölçülerinin rasgele hata vektörü
f	Serbestlik derecesi
G	Koşul denklemleri katsayılar matrisi
H	Benzerlik dönüşümünde tasarım matrisi
H₀	Sıfır hipotezi
H₁	Alternatif hipotez
h	Artık büyüklüğün serbestlik derecesi
k	e ₁ rasgele hatasının oluşturulma sayısı
k_s	ölçek parametresi
L	Yerelleştirme yöntemi
I	Küçültülmüş ölçüler vektörü
$\bar{I}$	Hatasız ölçüler vektörü
n_d	Yer değiştiren nokta sayısı
N	Normal denklem katsayılar matrisi
N	Toplam örnek küme sayısı
m	Ölçü sayısı
P	Ağırlık matrisi
p	Nokta sayısı
Q_{dd}	Koordinat fark vektörünün ağırlık katsayıları matrisi
Q_{ll}	Ölçülerin ağırlık katsayıları matrisi
Q_{xx}	Bilinmeyenlerin ağırlık katsayıları matrisi
Q_{vv}	Düzeltilmelerin ağırlık katsayıları matrisi
q	A katsayılar matrisinin rangı

q_{ij}	Başarılı örnek küme sayısı
R	Artık büyüklük
r	Kıyaslama çemberinin yarıçapı
S_{dsi}	Normlandırılmış yer değiştirme
S_i	Dönüşüm matrisi
S_e	Doğu yönündeki standart sapma
S_n	Kuzey yönündeki standart sapma
s_0	Birim ağırlıklı ölçünün standart sapması
S_u	Yukarı yönündeki standart sapma
T	Test büyüklüğü
t	Deformasyon model parametreleri
t_x	x eksenini doğrultusundaki öteleme
t_y	y eksenini doğrultusundaki öteleme
u	Bilinmeyenlerin sayısı
v	Düzeltilme vektörü
w	Normlandırılmış düzeltme
x	Küçültülmüş bilinmeyenler vektörü
z	Yatay deformasyon vektörü
α	Yanılma olasılığı
β	Test gücü
δ	Benzerlik dönüşümünde düzeltmeler vektörü
Δ	Benzerlik dönüşümünde yer değiştirme vektörü
λ_0	Dış merkezlik parametresi
θ	x, y eksenleri yönündeki dönüklük
σ_0^2	Önsel varyans
σ_d^2	Doğrultu ölçümlerine ait varyans değeri
σ_k^2	Mesafe ölçümlerine ait varyans değeri
Ω	Ölçme periyotlarında elde edilen düzeltmelerin karesel toplamı
Ω_H	Hipotezli modelden elde edilen düzeltmelerin karesel toplamı

KISALTMA LİSTESİ

BO	Başarı Oranı
CDA	Conventional Deformation Analysis
EKK	En Küçük Kareler
GPS	Global Positioning System
IGS	International Global Navigation Satellite System Service
KDA	Klasik Deformasyon Analizi
LSE	Least Square Estimation
MSR	Mean Success Rate
OBO	Ortalama Başarı Oranı
QIF	Quasi Ionosphere Free
SOPAC	Scripps Orbit and Permanent Array Center

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 jeodezik deformasyon ağı [33]	8
Şekil 2. 2 Yatay kontrol ağı	27
Şekil 3. 1 P noktasındaki ortalama yer değıştirme elipsi ve yer değıştirme çemberi ...	30
Şekil 4. 1 Analizlerde kullanılan yatay kontrol ağı.....	35
Şekil 4. 2 A noktasında teorik ve deneysel minimum yakalanabilir yer değıştirme büyüklüğü ile yer değıştirme çemberleri	37
Şekil 4. 3 B noktasında teorik ve deneysel minimum yakalanabilir yer değıştirme büyüklüğü ile yer değıştirme çemberleri	38
Şekil 4. 4 C noktasında teorik ve deneysel minimum yakalanabilir yer değıştirme büyüklüğü ile yer değıştirme çemberleri	38
Şekil 4. 5 Analizlerde kullanılan GPS ağı.....	39
Şekil 4. 6 OBC1 noktasında teorik ve deneysel minimum yakalanabilir yer değıştirme büyüklüğü ile yer değıştirme çemberleri	43
Şekil 4. 7 OBC2 noktasında teorik ve deneysel minimum yakalanabilir yer değıştirme büyüklüğü ile yer değıştirme çemberleri	43
Şekil 4. 8 OBC3 noktasında teorik ve deneysel minimum yakalanabilir yer değıştirme büyüklüğü ile yer değıştirme çemberleri	44
Şekil 5. 1 GPS ağındaki noktaların dağılımı	69
Şekil 5. 2 Yer değıştirmeleri sağlayan alet - 1.....	71
Şekil 5. 3 Yer değıştirmeleri sağlayan alet - 2.....	71
Şekil 5. 4 OBC1 noktası.....	72
Şekil 5. 5 OBC2 noktası.....	72
Şekil 5. 6 OBC3 noktası.....	73

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4. 1	ISTA noktasına göre yaklaşık baz uzunlukları..... 40
Çizelge 4. 2	S – Dönüşümü yönteminin OBO 45
Çizelge 4. 3	Koch yönteminin OBO..... 45
Çizelge 4. 4	Bağıl Güven Elipsi yönteminin OBO 45
Çizelge 4. 5	Danimarka Yönteminin OBO 46
Çizelge 4. 6	S - Dönüşümü için OBO ve standart sapma değerleri..... 48
Çizelge 4. 7	Koch yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri 48
Çizelge 4. 8	Bağıl güven elipsi yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri 48
Çizelge 4. 9	Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r, 2r) 49
Çizelge 4. 10	Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r, 3r) 49
Çizelge 4. 11	Alt ağlarda S - Dönüşümü için OBO ve standart sapma değerleri 51
Çizelge 4. 12	Alt ağlarda Koch yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri 51
Çizelge 4. 13	Alt ağlarda Bağıl Güven Elipsi yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri 51
Çizelge 4. 14	Alt ağlarda Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r, 2r) 52
Çizelge 4. 15	Alt ağlarda Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r, 3r) 52
Çizelge 4. 16	S – Dönüşümü yönteminin OBO (GPS ağı)..... 53
Çizelge 4. 17	Koch yönteminin OBO (GPS ağı) 54
Çizelge 4. 18	Bağıl Güven Elipsi Yönteminin OBO (GPS ağı) 54
Çizelge 4. 19	Danimarka Yönteminin OBO (GPS ağı) 54
Çizelge 4. 20	S - Dönüşümü için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyansların dikkate alındığı durum) 56
Çizelge 4. 21	Koch yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyansların dikkate alındığı durum) 56
Çizelge 4. 22	Bağıl güven elipsi yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı- varyansların dikkate alındığı durum)..... 57
Çizelge 4. 23	Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r, 2r) (GPS ağı- varyansların dikkate alındığı durum)..... 57
Çizelge 4. 24	Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r, 3r) (GPS ağı- varyansların dikkate alındığı durum)..... 58
Çizelge 4. 25	S - Dönüşümü için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum)..... 59

Çizelge 4. 26	Koch yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum).....	59
Çizelge 4. 27	Bağıl Güven Elipsi yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum)	60
Çizelge 4. 28	Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r, 2r) (GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum)	60
Çizelge 4. 29	Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r, 3r) (GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum)	61
Çizelge 4. 30	Alt ağlarda S - Dönüşümü için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyans dikkate alındığı durum).....	62
Çizelge 4. 31	Alt ağlarda Koch yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyans dikkate alındığı durum).....	63
Çizelge 4. 32	Alt ağlarda Bağıl Güven Elipsi yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyans dikkate alındığı durum).....	63
Çizelge 4. 33	Alt ağlarda Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r, 2r) (GPS ağı-varyans dikkate alındığı durum)	63
Çizelge 4. 34	Alt ağlarda Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r, 3r) (GPS ağı-varyans dikkate alındığı durum)	64
Çizelge 4. 35	Alt ağlarda S - Dönüşümü için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum)	65
Çizelge 4. 36	Alt ağlarda Koch yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum)	65
Çizelge 4. 37	Alt ağlarda Bağıl Güven Elipsi yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum)	66
Çizelge 4. 38	Alt ağlarda Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r, 2r) (GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum).....	66
Çizelge 4. 39	Alt ağlarda Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r, 3r) (GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum).....	67
Çizelge 5. 1	S – Dönüşümü ve Koch yöntemi için Bernese sonuçları (Addneq).....	75
Çizelge 5. 2	Robust yöntemler için Bernese sonuçları (Addneq)	76
Çizelge 5. 3	S – Dönüşümü ve Koch yöntemi için Bernese sonuçları (Compar).....	76
Çizelge 5. 4	Robust yöntemler için Bernese sonuçları (Compar)	77
Çizelge 5. 5	S – Dönüşümü ve Koch yöntemi için Bernese sonuçları (Addneqx22)	77
Çizelge 5. 6	S – Dönüşümü, Koch yöntemi ve Bağıl Güven Elipsi yöntemi için varyans ve kovaryansların dikkate alındığı durum	79
Çizelge 5. 7	Robust yöntemler için varyans ve kovaryansların dikkate alındığı durum.....	79
Çizelge 5. 8	S – Dönüşümü, Koch yöntemi ve Bağıl Güven Elipsi yöntemi için varyansların dikkate alındığı durum	80
Çizelge 5. 9	Robust yöntemler için varyansların dikkate alındığı durum	80
Çizelge 5. 10	S – Dönüşümü, Koch yöntemi ve Bağıl Güven Elipsi yöntemi için varyans ve kovaryansların dikkate alındığı alt ağlar	82
Çizelge 5. 11	Robust yöntemler için varyans ve kovaryansların dikkate alındığı alt ağlar	82
Çizelge 5. 12	S – Dönüşümü, Koch yöntemi ve Bağıl Güven Elipsi yöntemi için varyansların dikkate alındığı alt ağlar.....	83
Çizelge 5. 13	Robust yöntemler için varyansların dikkate alındığı alt ağlar.....	83

DEFORMASYON ANALİZİ GÜVENİLİRLİĞİNİN FARKLI YÖNTEMLER İÇİN ARAŞTIRILMASI

Bahattin ERDOĞAN

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şerif HEKİMOĞLU

Deformasyon analizi istatistiğin en çok kullanıldığı alanlardan birisidir. Dolayısıyla elde edilen sonuçların güvenilirliklerinin araştırılması fevkalade önemlidir. Deformasyon analizinde global uyumluluk testi sonucunda H_0 hipotezi reddedilirse, bu aşda bir veya birden fazla noktanın yer değiştirmiş olduğuna karar verilip hangi noktada yer değiştirmenin olduğunu belirlemek için yerelleştirmeye geçilir. Yerelleştirme için çok sayıda yöntem vardır ve bunlar her durumda doğru ve aynı sonuçları vermez. Başarıları örnek kümeden örnek kümeye, aşdaki yer değiştirmiş nokta sayısına ve yer değiştirmenin büyüklüğüne göre değişir. Analiz yöntemlerinin güvenilirliğini ölçmek için Ortalama Başarı Oranı (OBO) kavramı kullanılır. Geleneksel analiz yöntemlerinin bazı durumlarda başarısız olmasının iki önemli nedeni vardır: 1° En Küçük Kareler (EKK) yönteminin bozucu etkileri yayması; 2° F-testinin yetersizliği. EKK yöntemi ölçüler normal dağılımda olduğunda, yani hiçbir uyşumsuz ölçü bulunmadığında en iyi, en optimal sonuçları verir. Fakat ölçüler normal dağılımdan saparsa, örneğin uyşumsuz ölçüler varsa, deformasyon analizinde yer değiştirmiş nokta varsa, aranan parametrelerin ve diğer tüm istenenlerin sonuçları yanlış olur. EKK yöntemi, modelden sapmaların yarattığı bozucu etkiyi diğer iyi ölçülerin düzeltmelerine; deformasyon analizinde yer değiştirmiş noktanın bozucu etkisini, noktaların belirlenen koordinatları üzerine yayar. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar olması gerekenden saparlar. Bu tez çalışmasında, EKK kestirimine ve robust yöntemlere dayalı analiz sonuçlarının

güvenilirliği yatay kontrol ağında ve GPS ağında araştırılmıştır. Zayıf yönleri ortaya konularak, bu zayıflıkların bir kısmını giderecek yeni bir yaklaşım ortaya konmuştur. Bu yaklaşımda deformasyon izleme ağı alt ağlara ayrılır. Her bir alt ağda bir obje noktası bulunur. Yapılan analizlerde daha güvenilir sonuçlar elde edilmiştir. Analizde kullanılan veriler yapay olarak üretilmiş ve doğrultu kenar ağı ve GPS ağında çok sayıda denemeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda OBO' ların arttığı görülmüştür. Ayrıca, 8 farklı senaryo oluşturularak, GPS ölçüleri gerçekleştirilmiş ve tez çalışmasında, önerilen yaklaşım oluşturulan ağda denenmiştir. Yeni yaklaşımın geleneksel deformasyon analizine göre daha güvenilir sonuçlar ortaya koyduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deformasyon analizi, en küçük kareler, robust yöntemler, güvenilirlik, ortalama başarı oranı, alt ağ

**INVESTIGATION OF THE RELIABILITY OF DEFORMATION ANALYSIS FOR
DIFFERENT METHODS**

Bahattin ERDOĞAN

Geomatic Engineering

PhD. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Şerif HEKİMOĞLU

Deformation analysis uses statistics most widely, so that investigating the reliability of the obtained results from deformation analysis is extraordinary important. If H_0 hypothesis is rejected in applying of the global congruency test, the localization process is performed to detect one or more than displaced points. There are a lot of methods for localization and they do not have the same and correct results for the all cases. Their success changes according to samples, the number of displaced points in the network and the magnitudes of the displacements. Mean success rate (MSR) is used to measure the reliabilities of the methods. There are two reasons for the unsuccessful results of the Conventional Deformation Analysis (CDA) method: 1^o the spreading effect of Least Squares Estimation (LSE), 2^o the failure of F-test. LSE is an optimal estimator when observations come from normal distribution, i.e. there is not any outlier in data set. But if the observations deflect from normal distribution, i.e. if there are outliers or displaced points in deformation analysis, the results obtained from LSE are not true. LSE spreads the spoiling effects of deflecting from the assumed model on the residuals of good observations; also it spreads the effects of displaced points on the other estimated points coordinates that they are not displaced. Thus, obtained results diverge from their optimum values. In this study, the results depending on the LSE and the robust estimators have been investigated at the

horizontal control network and Global Positioning System (GPS) network. A new approach that eliminates some reasons of the wrong results has been introduced. In this approach, the whole network was divided sub networks where each sub network contains only one object point. After performing the deformation analysis, the new results were obtained more reliable than the ones of CDA. The observations of the horizontal control network and the GPS network were simulated and then CDA and new approach were applied to these simulated networks. The MSRs of the new approach are increased according to the ones of CDA. Also, GPS observations were subjected to 8 different scenarios and the new approach applied to them. The obtained results show the new approach more reliable than the CDA.

Key words: Deformation analysis, least square estimation, robust methods, reliability, Mean success rate, subnetwork

1.1 Literatür Özeti

Deformasyon analizi istatistiğin en yoğun kullanıldığı ve jeodezinin en önemli konularından biridir. Sürekli değişim halinde olan yerkabuğu hareketlerinin, mühendislik yapılarındaki deformasyonların, toprak kaymaları (heyelanların), madencilik kazı bölgelerindeki yer kaymalarının izlenmesi için jeodezik kontrol ağları (düşey kontrol ağları, yatay kontrol ağları, 3 boyutlu ağlar ve GPS ağları) oluşturulur. Ayrıca, bu ağlarda belirli periyotlarla kontrol ölçümleri yapılır. Jeodezik kontrol ölçmeleri ile kontrol noktalarındaki yer değiştirmeleri ortaya çıkarılarak, obje noktalarındaki deformasyonlar modellenmeye çalışılır.

Literatürde deformasyon analizini işleyen sayısız çalışma mevcuttur. [1] de farklı deformasyon modelleri için klasik En Küçük Kareler (EKK) ve robust kestirim yöntemleri uygulanmıştır. Çalışma bölgesi için, tek nokta (single-point-displacement) yer değiştirme modeli, blok hareketi modeli ve gerinim modelleri oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, modelden sapmalar olmadığı durumda EKK yönteminin en optimal olduğu, fakat robust yöntemlerin daha az etkili olduğu, daha büyük varyans ve güven elipsi değerlerine sahip oldukları ortaya konmaktadır. Buna karşın, modelden sapmalar olduğu durumda robust yöntemlerin, EKK yöntemine göre daha etkin olduğu vurgulanmıştır.

[2] de nokta kümeleri ile temsil edilen objelerin farklı periyotlarda yapılan ölçümler ve analizler sonucunda yer değiştirip değiştirmediği üzerinde durulmuştur. İki periyot sonuçları karşılaştırılırken elde edilen koordinat farklarının ölçülerdeki rasgele

hatalardan kaynaklanabileceği gibi, ayrıca noktalara ait yer değiştirmelerin de bir sonucu olabileceği, bu ayırımın yapılabilmesi için de istatistiksel testlerin uygulanması gerekliliği üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada koordinat farkları koordinat dönüşümü yapılarak modellenmiştir. Yer değiştirmeler uyşumsuz ölçüler olarak düşünülmektedir. Klasik EKK yöntemi yanında, birkaç robust yöntem de uygulanmıştır. Örnek olarak bir baraj gövdesindeki deformasyonların izlenmesi amaçlanmıştır. Analiz sonuçlarında modifiye edilmiş Huber kestiriminin daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konmuştur.

[3] de deformasyon analizi, düzeltmelerin mutlak değerlerinin toplamının en küçük yapıldığı L_1 norm (robust kestirici) yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Robust yöntemlerin kullanılması için koordinat dönüşümü yapılarak deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. L_1 norm kestiriminden elde edilen düzeltmeler gruplandırılarak bir test istatistiği ortaya konmuştur. Bu yöntem kullanılarak simule edilen deformasyonların klasik EKK kestirimine göre noktaların yer değiştirme büyüklüklerini daha iyi ortaya çıkardığı ifade edilmektedir.

[4] de deformasyon izleme amacı ile kurulan jeodezik ağlarda farklı deformasyon modellerinin ayrılabilirliği üzerinde durulmuştur. Çoğu zaman bölgedeki deformasyonların oluşmaları hakkında önsel bilgilere sahip olmadığımız için, oluşturulan deformasyon modelinin değişik karakterdeki nokta hareketlerini etkili bir biçimde ayırabilmesi gerekir. Bu çalışmada farklı modellerin ayrılabilirliği ortaya konurken Baarda'nın teorisinden yararlanılmıştır. Deformasyon analizinde sıklıkla karşılaşılan konu, farklı modeller arasında çalışılacak bölgeye veya objeye en iyi uyan modeli bulmaktır. Bu durum tasarım aşamasında optimum ölçme planının oluşturulması ile mümkün olur. Ağlarda optimizasyon yapılırken doğruluk (accuracy), güvenilirlik (reliability), duyarlık (sensitivity) ve maliyet üzerinde durulmakta, farklı modeller arasındaki ayrılabilirlik pek dikkate alınmamaktadır. Bu çalışmada ayrılabilirlik ile duyarlık kavramları verilmiştir. Örnek ağlarda denemeler yapılmış ve ağların modeller arasında ayrılabilirliğe göre tasarlandığı durumlarda duyarlığı da sağladığı gösterilmiştir.

[5] de önerilen yöntemde datumun iteratif olarak tanımlanması sonucunda oluşturulan hipotezin test edilmesi amaçlanmaktadır. Deformasyon analizinin başlangıcında

herhangi bir ön bilgi yoksa hangi noktaların yer değiştirdiği, hangilerinin sabit kaldığı kolaylıkla kestirilemez. Bu nedenle her iki periyotta da tüm eşlenik noktalar datuma katkıda bulunacak şekilde ağ dengelemesi yapılır. Her iki periyot arasındaki koordinat farkları ve standart sapmaları hesaplanır. Minimum standartlaştırılmış koordinat farklarına sahip datum noktalarıyla deformasyon analizi geręekleřtirilmektedir.

[6] tarafından uyuşumsuz ölçü araştırmasında, yöntemlerin etkinliklerinin karşılaştırılması için Ortalama Başarı Oranı (OBO) kavramı kullanılmıştır. Bu kavram ilk kez nivelman ağlarının deformasyon analizinde uygulanmıştır [7].

[8] de GPS' in deformasyon analizindeki duyarlığı ve doğruluğu araştırılmıştır. Oluşturulan ağlar ve önceden verilen yer değiştirmeler sayesinde GPS' in deformasyon analizinde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

[9] da yüksek güvenilirlik ve geometrik doğrulukta ağ tasarımı geręekleřtirilmesi üzerinde durulmuştur. Çalışmada 2 boyutlu bir ağ kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ağın kenar noktalarında güvenilirliğin daha düşük olduğunu göstermekte, maksimum bozulmalar ve büyük gerinim (strain) parametreleri bu noktalarda çıkmaktadır. Bu problemin üstesinden gelebilmek için bir strateji geliştirilmiştir. Ayrıca, öteleme, dönme ve ölçek parametrelerinin fazla ölçü payı ile ilişkisi ortaya konmuştur.

[10] da L_1 norm yöntemi jeodezik ağlarda uyuşumsuz ölçülerin yakalanması amacı ile kullanılmıştır. Bu çalışmada Gauss-Markov modelindeki rank defekti göz önüne alınarak L_1 norm formülleri ortaya konmuştur. Bu yöntem simule edilmiş yükseklik ve kenar ağlarında, ayrıca geręek bir kenar ağında uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlarda, L_1 norm yönteminin, EKK yöntemine göre uyuşumsuz ölçü analizinde daha etkili olduğu ifade edilmektedir. L_1 norm yönteminin jeodezik ağlara uygulanması, EKK yöntemine göre daha karmaşık bir yapı içermektedir, fakat günümüzdeki hesaplayıcılar için bu durum sorun teşkil etmemektedir.

[11] de jeodezik ağların 1. derece optimizasyonu için global optimizasyon teknikleri uygulanmıştır. Optimizasyonda, yerel ve global optimizasyon kavramları üzerinde durulmuştur. Termodinamikte kullanılan benzetimli tavlama yöntemi klasik jeodezik problemlere uygulanmıştır. İki farklı örnek üzerinde bu yeni yöntemler jeodezik ağlara uygulanmıştır.

[12] de deformasyon analizinde duyarlık (sensitivity) üzerinde durulmuştur. Baarda'nın güvenilirlik teorisine dayanan duyarlık kavramı için, öncelikle doğrusal hipotez testleri ve hata türleri açıklanmıştır. Test gücü, anlamlılık düzeyi ve serbestlik derecelerinin bir fonksiyonu olan dış merkezlilik parametresi sınır değerinin belirlenmesi açıklanmıştır. Öngörülen deformasyonların belirlenebilmesi için jeodezik kontrol ağlarının optimizasyonunda duyarlılığın bir ölçüt olarak kullanılabilirliği irdelenmiştir.

[13] de benzerlik dönüşümünde toplam en küçük kareler (Total Least Square) yöntemi uygulanmıştır. Dönüşüm işlemi yapılırken her iki sistemdeki koordinatların hatalı olduğu düşünülerek hesaplamalar yapılmıştır. Gerçekleştirilen bir uygulamada EKK ile toplam en küçük kareler yöntemi karşılaştırılmış ve toplam en küçük kareler yöntemi ile elde edilen sonuçların EKK yöntemine göre daha gerçekçi olduğu ortaya konmuştur.

[14] de toplam en küçük kareler yöntemi deformasyon analizine uygulanmıştır. Benzerlik dönüşümü kullanılarak yer değiştirmeler ortaya konmaya çalışılmıştır. Klasik EKK ve toplam en küçük kareler yöntemi analizde kullanılmıştır. Çalışılan bölgede GPS ile elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu iki yönetime ait sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda, dönüşümde her iki sistemdeki hataları göz önünde bulunduran toplam en küçük kareler yönteminin daha gerçekçi sonuçlara sahip olduğu ifade edilmiştir.

Global optimizasyon tekniklerinin uyuşumsuz ölçü analizine uygulanması, koordinat dönüşümü yardımıyla gerinimler hesaplanarak deformasyonların belirlenmesi örnek gösterilebilir. Bu yöntemler hem deformasyon analizinde hem de uyuşumsuz ölçü analizinde kullanılmıştır [15], [16].

Tezde yararlanılan yayınların diğer bir kısmı 3. ve 4. Bölümde anlatılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Klasik jeodezik deformasyon ölçmeleri, ilgilenilen objeyi ve çevresini en uygun şekilde geometrik olarak modelleyerek, çalışma bölgesinde meydana gelen deformasyonu ortaya çıkarmayı amaçlar [17]. Başka bir deyişle, klasik jeodezik deformasyon ölçmelerinin amacı, araştırma bölgesinin davranışlarını modellemek, araştırma konusunu temsil eden bir geometrik model oluşturmak, modelin çevresine göre yatay

konum ve yükseklik değişimlerini belirlemek ve oluşan şekil değişikliklerini zamanın bir fonksiyonu olarak elde etmektir [18].

Jeodezik deformasyon analizi, jeodezik ağların tasarımı, kurulması, ölçülmesi, farklı zamanlarda elde edilen ölçülerin EKK yöntemine göre dengelenmesi ve sonuçların analiz edilmesi adımlarından oluşur. Yeni teknolojilerin ve ölçüm tekniklerinin geliştirilmesi ile birçok deformasyon modeli; statik, kinematik, dinamik ve gerinim modelleri vb. ortaya konmuştur.

Deformasyon amaçlı jeodezik ağlar oluşturulurken, doğruluk, güvenilirlik ve duyarlılık kavramları dikkate alınması gereken çok önemli kriterlerdir [19]. Doğruluk, ağın kalitesini, kullanılan ölçme yöntemlerinin doğruluklarını içerir. Güvenilirlik, ağın uyuşumsuz ölçülere karşı güvenilir olup olmadığını ve belirlenemeyen uyuşumsuz ölçülerin deformasyon analizine etkisini ifade eder [20]. Duyarlılık, beklenen yer değiştirme ve deformasyonların oluşturulan ağ ile belirlenebilirliğidir [21]. Ağ tasarımı bu kriterler yerine getirilse dahi, analiz aşamasında bazı durumlarda yer değiştirmeler ortaya çıkarılamamaktadır. EKK kestiriminin yayıcı etkisi ve test istatistiğinin yetersizliği nedeniyle her durumda doğru sonuçlar elde edilememektedir [22].

Jeodezik ölçülerin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan EKK yöntemi, ölçüler normal dağılımlı olduğunda, ölçü kümesinde uyuşumsuz ölçü bulunmadığında en iyi, en optimal kestiricidir. Ancak ölçülerde uyuşumsuz ölçüler varsa, bunlar EKK yönteminden elde edilecek parametreleri olumsuz etkilemektedir. Özellikle EKK kestiriminin yayıcı etkisi ve test istatistiğinin yetersizliği nedeniyle her durumda doğru sonuçlar elde edilememektedir. Bu nedenle EKK yöntemine dayalı uyuşumsuz ölçü testleri [23], [24] yanında robust yöntemler de geliştirilmiştir [25], [26], [27], [28], [29], [30]. Baarda testinde düzeltmelerin normlandırılması sırasında önsel standart sapma σ_0 , Pope testinde ise deneysel (sonsal) standart sapma kullanılır. Deformasyon analizinde de benzer sorunlarla karşılaşılmaktadır. EKK yönteminin bozucu etkiyi yayması sonucunda periyotlar arasındaki yer değiştirmeler dengeleme sonuçlarına tam olarak yansıtmamakta ve analiz sonuçlarının güvenilirliği beklenenden düşük çıkmaktadır [22], [31]. Bu nedenle kestirici olarak robust yöntemler kullanılarak daha güvenilir sonuçlar

elde edilmek istenmektedir. Son zamanlarda farklı disiplinlerdeki hesaplama teknikleri de kullanılarak daha güvenilir sonuçlar elde edilmeye çalışılmaktadır.

Bu tezin amacı, yüksek doğruluk gerektiren jeodezik deformasyon analizinden elde edilen sonuçların güvenilirliğini araştırmaktır. Simülasyonla elde edilen ağlarda deformasyon analiz sonuçları ortaya konmakta, analizlerin zayıf yönleri belirlenerek, çözümler üretilmektedir. EKK yerine robust kestirim yöntemleri ve farklı deformasyon analiz yöntemleri kullanılarak, deformasyon analiz sonuçlarının güvenilirliği irdelenmektedir. [22] de verilen doğrultu kenar ağına ilişkin deformasyon analizinde, ağ alt ağlara bölündüğünde OBO' larının arttığı saptanmıştır. Bu tezde aynı yaklaşım önce simülasyonla elde edilen ve daha sonra da gerçek bir GPS ağında denenmektedir.

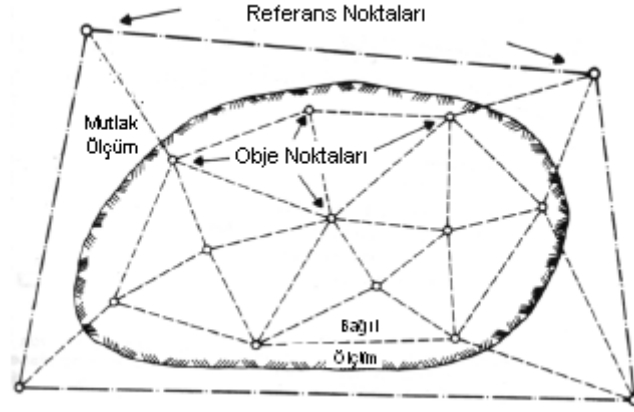
1.3 Hipotez

Jeodezik deformasyon ölçmeleri ve analizler gerçekleştirildikten sonra analiz sonuçlarına göre önemli kararlar verilmektedir. Bu kararların güvenilirliği bakımından, analiz yöntemlerinin sonuçlarının etkinliği araştırılmalıdır. Yapılmış olan simülasyon deformasyon analiz sonuçlarına göre; eğer bir jeodezik deformasyon ağında tek bir noktada yer değiştirme varsa, bu nokta yüksek bir başarı ile yakalanabilmektedir. Eğer ağda birden fazla nokta yer değiştirmişse bu noktalar başarılı olarak belirlenememektedir. O halde deformasyon ağı öyle tasarlanabilir ve ağ alt ağlara öyle ayrılabilir ki, her bir alt ağda bir obje noktası bulunsun. Bu tür bir yaklaşım, her türlü jeodezik ağda, bir veya birden fazla yer değiştirmiş noktayı belirleme başarısını arttıracaktır.

JEODEZİK AĞLARDA DEFORMASYON ANALİZİ

Hareketli bölgelerde meydana gelen deformasyonları belirleyebilmek için bölgeyi temsil edecek şekilde jeodezik deformasyon ağlarının kurulması gerekir. Jeodezik deformasyon ağları mutlak ve bağıl deformasyon ağları olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir (Şekil 2.1). Bağıl deformasyon ağlarında, bölgeyi temsil eden noktaların hepsi deformasyonun meydana geldiği bölge içerisinde tesis edilir ve bu noktalar obje noktası olarak adlandırılır. Mutlak modelde ise, ağ noktalarından bir kısmı obje noktası olarak tasarlanır, bir kısmı da obje noktalarını kontrol edebilmek için hareketsiz kabul edilen yerlerde tesis edilir ve dayanak noktası olarak adlandırılır. Güvenilir bir karar verebilmek için dayanak noktalarının ve obje noktalarının toplam sayısı, deformasyon ağının boyutunun (2D, 3D) en az üç katı olmalıdır [18].

Deformasyon ağı, belirlenmek istenen deformasyon büyüklüğü için duyarlık ve güvenilirlik açısından yeterli olmalıdır. Bu nedenle bir jeodezik kontrol ağında yüksek koordinat doğruluğu ve ölçü güvenilirliği sağlanmalı, tasarlanan ağ ile hangi büyüklükteki deformasyonların belli bir güven düzeyi ile karşılaştırılacağı saptanmalıdır [32]. Deformasyon ağının şekli, araştırmacının amacına ve deformasyonu araştırılan cismin şekline bağlıdır. Arazinin topografik durumu ve özel yerel koşullar da ağın şeklini doğrudan etkiler [18]. Bu nedenle üzerinde çalışılan deformasyon alanına ait, hareketlerin zamana bağlı değişimi, hareketin doğrultusu ve büyüklüğüne ilişkin önsel bilgiler deformasyon analiz sonuçlarının güvenilirliği açısından çok önemlidir.



Şekil 2. 1 jeodezik deformasyon ağı [33]

2.1 Jeodezik Deformasyon Ölçülerinin Analizi

Deformasyon analizinde farklı zamanlarda nokta hareketlerini izleyebilmek için, klasik ölçüler; yatay ve düşey doğrultular, eğik uzunluklar, yükseklik farkları veya GPS gözlemleri yapılır. Nokta koordinatları bilinmeyenler olarak seçilerek bu gözlemler EKK kestirimine göre dengelenir. Dengeleme sonucunda uyumsuz ölçü testleri yapılarak, ölçülerin güvenilirlikleri test edilir.

2.1.1 Dengelemenin Matematiksel Modeli

Deformasyon analizinde her periyot kendi içerisinde tüm noktaların koordinatları bilinmeyen kabul edilerek serbest dengelenir. Bu dengelemede periyotlar arasında stokastik ve fonksiyonel bağımlılık olmadığı kabul edilir. Her periyot için noktaların yaklaşık koordinatları aynı alınır (datum birliği). Dengelemenin doğrusallaştırılmış fonksiyonel ve stokastik modeli;

$$\mathbf{v} = \mathbf{Ax} - \mathbf{l} \quad (2.1)$$

$$\mathbf{C}_{ll} = \sigma_0^2 \mathbf{Q}_{ll} = \sigma_0^2 \mathbf{P}^{-1} \quad (2.2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, $\mathbf{A}$ katsayılar matrisini, $\mathbf{x}$ küçültülmüş bilinmeyenler vektörünü, $\mathbf{l}$ küçültülmüş ölçüler vektörünü, $\mathbf{v}$ ölçülere getirilecek düzeltmeler

vektörünü, $\mathbf{P}$ ölçülerin ağırlık matrisini, $\mathbf{Q}_{II}$ ölçülerin ağırlık katsayıları matrisini, σ_0^2 önsel varyans değerini, $\mathbf{C}_{II}$ ölçülerin varyans-kovaryans matrisini ifade etmektedir.

Fonksiyonel modelden GAUSS' un EKK ilkesi uyarınca normal denklemler,

$$\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l} = \mathbf{0} \quad (2.3)$$

kurulur. $\det(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A}) \neq 0$ kabul edilirse bilinmeyenler vektörü,

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

ile bulunur. Burada $\mathbf{Q}_{xx} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1}$ bilinmeyenlerin ağırlık katsayıları matrisidir. Dengeleme sonucunda,

$$\mathbf{Q}_{vv} = \mathbf{P}^{-1} - (\mathbf{A} \mathbf{Q}_{xx} \mathbf{A}^T)^{-1} \quad (2.5)$$

$$s_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{f}} \quad (2.6)$$

elde edilir. $\mathbf{Q}_{vv}$ düzeltmelerin ağırlık katsayıları matrisi, s_0 birim ağırlıklı ölçünün standart sapması ve f serbestlik derecesini ifade etmektedir [34].

2.1.2 Jeodezik Ağlarda Uyuşumsuz Ölçü Testi

Ölçülerin genellikle normal dağılımda oldukları kabul edilmektedir. Ölçü kümesinde uyuşumsuz ölçülerin bulunması durumunda, bu ölçülerin normal dağılımdan sapmaları beklenir. Uyuşumsuz ölçüler, özellikle deformasyon analizinde sonuçların yanlış yorumlanmasına, deformasyonların ağıdaki yanlış noktalarda belirlenmesine yol açmaktadır. Bu nedenle uyuşumsuz ölçülerin, ölçü kümesinden ayıklanması ve kirlenmemiş ölçülerin elde edilmesi gerekmektedir.

Bir ölçüdeki kaba hatayı belirleyebilmek için onun tüm dengeleme sonuçlarına, özellikle düzeltmelerin kareleri toplamına ($\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}$) olan etkisini araştırmak gerekir. Uyuşumsuz ölçülerin belirlenebilmesi için çeşitli test yöntemleri kullanılmaktadır. Kaba hatalı ölçüyü kontrol için geliştirilen test yöntemleri kullanılan varyans faktörüne ve buna

göre değişen dağılım fonksiyonuna bağlıdır. Baarda test yönteminde önsel varyans σ_0^2 , t testinde ilgili ölçünün dışında kalan ölçülerin dengelenmesi ile elde edilen sonsal varyans s_{0i}^2 ve Pope testinde sonsal varyans s_0^2 kullanılmaktadır. Ayrıca, son yıllarda robust kestirim yöntemleri de kaba hata araştırmalarında kullanılmaktadır.

Baarda testinde, kaba hatalı ölçüleri belirlemek amacıyla, tüm noktalar için ölçülerin korelasyonsuz olduğu varsayılarak normal dağılımlı ve normlandırılmış düzeltmeler (2.7) eşitliğinden hesaplanır. Eğer test büyüklüğü, α anlamlılık düzeyi için geçerli olan normal dağılım sınır değerinden büyükse ölçü kaba hatalı olarak kabul edilir:

$$w_i = \frac{|v_i|}{\sigma_0 \sqrt{q_{vivi}}} \quad (2.7)$$

Burada $q_{vivi} = (\mathbf{Q}_{vv})_i'$ dir.

σ_0^2 önsel varyansı için güvenilir bir değer alınamıyorsa, Pope testinde test büyüklüğü için kaba hatalardan muhtemelen etkilenmiş s_0^2 sonsal varyans değeri kullanılır:

$$T_i = \frac{|v_i|}{s_0 \sqrt{q_{vivi}}} \quad (2.8)$$

Test büyüklüğü τ dağılımlıdır [24]. Test büyüklüklerinden en büyüğü α yanılma olasılığı, f serbestlik derecesi ve m ölçü sayısı olmak üzere hesaplanan $\tau_{f,1-\alpha_0/2}$ sınır değerinden büyükse ilgili ölçü uyuşumsuz ölçü olarak kabul edilir [35]. Burada, $\alpha_0 = \alpha/m$ alınır.

Pope testinde kaba hatalı ölçü sonsal varyansa etki ettiği için, ilgili ölçünün düzeltmelerin kareleri toplamındaki etkisi çıkarılırsa, bu ölçünün kaba hatasından arınmış sonsal varyans,

$$s_{0i}^2 = (\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} - \frac{v_i^2}{q_{vivi}}) / (f - 1) \quad (2.9)$$

şeklinde ifade edilir. Ayrıca, her ölçü için test büyüklüğü

$$t_i = \frac{|v_i|}{s_{0i} \sqrt{q_{vivi}}} \quad (2.10)$$

olarak hesaplanır. Bu test büyüklüğü $t_{f-1,1-\alpha_0/2}$ sınır değerinden büyükse ilgili ölçü uyuşumsuz ölçü olarak değerlendirilir.

Ayrıca, robust yöntemler de uyuşumsuz ölçü belirlemede kullanılmaktadır. Özellikle güvenilirlikleri daha yüksek olması nedeniyle tercih edilmektedirler [29]. Jeodezik amaçlar için uygulanabilir olan ve iyi bilinen yöntemler:

- Huber' in M-Kestirimi yöntemi
- Huber' in düzenlemiş M-Kestirimi yöntemi
- Andrews' in Sinüs Kestirimi yöntemi
- Hampel' in M-Kestirimi yöntemi
- Hampel' in düzenlenmiş M-Kestirimi yöntemi
- Danimarka yöntemi

olarak sıralanabilir. Uyuşumsuz ölçü olarak belirlenen ölçüler, eğer hata kaynakları belirlenebiliyorsa gerekli düzeltmeler yapılır, aksi takdirde ölçü kümesinden çıkartılır.

2.2 Deformasyon Analizi

Klasik olarak deformasyon analizi, zamana bağlı olarak obje şeklinin ve yer değiştirmelerinin incelenmesidir. Ölçme ve analiz yöntemlerindeki gelişmeler ve çözümlerin diğer mühendislik dalları ile ortak noktalar içermesinden dolayı, günümüzde deformasyon analizi sadece koordinat değişimlerinin izlenmesi şeklinde değil, ayrıca bu değişimlere sebep olan kuvvetlerin de ortaya konmasını içermektedir. Yer yuvarı üzerinde deformasyonlara neden olan kabuk hareketlerinin ve depremlerin modellenmeleri, bu etkilerin mühendislik yapıları üzerindeki etkilerinin ortaya konması, bu etkilere sebep olan büyüklüklerin modellenmesi büyük uğraşlar gerektirmektedir. Bu çalışmada objedeki geometrik değişimlerin incelendiği klasik deformasyon analiz yöntemi uygulanmıştır.

2.2.1 Ölçme Periyotları İçin Varyans Testi

Deformasyon analizinde t_1 ve t_2 zamanlarında gerçekleştirilen iki periyodun ayrı ayrı serbest dengelenmesi sonucunda, her periyot için sonsal varyans değerleri

hesaplanmaktadır. Bu sonsal varyans değerleri aynı önsel varyans değerinin kestirim değerleridir. Bu nedenle her iki sonsal varyans değerinin de aynı kümeden çıkmış olması beklenir. Buna göre her iki periyot için,

$$H_0: E(s_{01}^2) = E(s_{02}^2) \quad (2.11a)$$

$$H_1: E(s_{01}^2) \neq E(s_{02}^2) \quad (2.11b)$$

sıfır hipotezinin test edilmesi gerekir. s_{01}^2/s_{02}^2 oranı merkezsiz F – dağılımına uymaktadır, böylece test büyüklüğü,

$$T = \frac{s_{01}^2}{s_{02}^2} \sim F_{f_1, f_2, 1-\alpha}, \quad s_{01}^2 > s_{02}^2 \quad (2.12)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada, f_1 1. periyoda, f_2 2. periyoda ait olan serbestlik dereceleridir. T test büyüklüğü F dağılımının güven sınırından daha küçükse, bu iki varyans istatistiksel anlamda eşit kabul edilir ve deformasyon analizinde kullanılmak üzere,

$$s_0^2 = \frac{\mathbf{v}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{v}_2}{f_1 + f_2} \quad (2.13)$$

ortak varyans değeri hesaplanır.

2.2.2 Klasik Deformasyon Analizi

Klasik deformasyon analizinde (KDA) öncelikle ölçüm periyotları arasında herhangi bir yer değiştirme olup olmadığı global uyumluluk testi ile araştırılır. Global uyumluluk testi, iki ölçüm periyodu arasında, bölgeyi temsil eden noktalar arasında anlamlı konum değişimi olup olmadığını belirler. Bu amaçla, her iki periyoda ilişkin eşlenik (ortak) nokta koordinatlarının beklenen değerlerinin birbirine eşit olduğu sıfır hipotezi öngörülür:

$$H_0: \begin{bmatrix} -\mathbf{I} & \mathbf{I} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E(\hat{\mathbf{x}}_1) \\ E(\hat{\mathbf{x}}_2) \end{bmatrix} = \mathbf{0} \quad (2.14a)$$

$$H_1: [-\mathbf{I} \quad \mathbf{I}] \begin{bmatrix} E(\hat{\mathbf{x}}_1) \\ E(\hat{\mathbf{x}}_2) \end{bmatrix} \neq \mathbf{0} \quad (2.14b)$$

Burada $E()$ beklenen değeri, $\hat{\mathbf{x}}_1$ ve $\hat{\mathbf{x}}_2$ sırasıyla birinci ve ikinci periyotlar için küçültülmüş bilinmeyenler vektörünü ifade etmektedir. Her iki ölçüm periyodu için ağlar ayrı ayrı serbest dengelenirse, dengeleme sonuçları;

$$\hat{\mathbf{x}}_1 = \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_1\hat{\mathbf{x}}_1} \mathbf{A}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{l}_1, \quad \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_1\hat{\mathbf{x}}_1} = \mathbf{N}_{11}^+ = (\mathbf{A}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{A}_1)^+ \quad (2.15)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_2 = \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_2\hat{\mathbf{x}}_2} \mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{l}_2, \quad \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_2\hat{\mathbf{x}}_2} = \mathbf{N}_{22}^+ = (\mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{A}_2)^+ \quad (2.16)$$

$$\Omega = \mathbf{v}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{v}_2 \quad (2.17)$$

$$s_0^2 = \frac{\Omega}{f}, f = f_1 + f_2 \quad (2.18)$$

elde edilir. (2.14) sıfır hipotezi dikkate alındığında iki periyot arasındaki koordinat farkları ve bunlara ilişkin ağırlık katsayıları matrisi,

$$\mathbf{d} = \hat{\mathbf{x}}_2 - \hat{\mathbf{x}}_1 \quad (2.19)$$

$$\mathbf{Q}_{dd} = \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_1\hat{\mathbf{x}}_1} + \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_2\hat{\mathbf{x}}_2} \quad (2.20)$$

şeklinde ifade edilir. Sıfır hipotezinin dengeleme modeli üzerindeki etkisi,

$$R = \mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{d} \quad (2.21)$$

olur. Ağ geometrisinin ve datum parametrelerinin her iki ölçme periyodunda aynı kaldığı durumlarda, u ağdaki koordinat bilinmeyenlerinin sayısı ve d defekt sayısı olmak üzere,

$$h = \text{rank}(\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_1\hat{\mathbf{x}}_1}) = \text{rank}(\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_2\hat{\mathbf{x}}_2}) = u - d \quad (2.22)$$

olur [5], [36], [37], [38], [39].

Sıfır hipotezinin dengeleme modeli üzerindeki etkisi, ayrıca her iki periyot için aynı bir $\hat{\mathbf{x}}_H$ bilinmeyenler vektörünün öngörülmesiyle de elde edilebilir. Buna göre

dengelemenin fonksiyonel modeli, tüm bilinmeyenler $E(\hat{\mathbf{x}}_1) = \mathbf{E}(\hat{\mathbf{x}}_2) = \mathbf{E}(\hat{\mathbf{x}}_H)$ olmak üzere,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{l}_1 \\ \mathbf{l}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{v}_1 \\ \mathbf{v}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_1 \\ \mathbf{A}_2 \end{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_H \quad (2.23)$$

olur. Bu fonksiyonel modele ait ölçülerin ağırlık matrisi,

$$\mathbf{P} = \text{diag}(\mathbf{P}_1 \ \mathbf{P}_2) \quad (2.24)$$

biçimindedir. Bu modelden doğrudan Ω_H hesaplanır. Ayrıca, her iki periyodun ayrı ayrı dengelenmesiyle Ω_1 ve Ω_2 bulunur. Test büyüklüğü,

$$R = \Omega_H - \Omega_1 - \Omega_2 \quad (2.25)$$

çıkar. R büyüklüğüne ilişkin serbestlik derecesi,

$$h = f_H - (f_1 + f_2) = (m_1 + m_2 - u - d) - (m_1 - u + d + m_2 - u + d) = u - d \quad (2.26)$$

olur. Test büyüklüğü,

$$T = \frac{R}{s_0^2 h} = \frac{\mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{d}}{s_0^2 h} \quad (2.27)$$

elde edilir [36], [40]. Uygulamada genellikle noktaların zarar görmesi veya ağın yeni noktalarla genişletilmesi sonucunda ikinci periyotta ağ geometrisi değişebilir. Deformasyon analizi her iki periyotta bulunan eşlenik noktalar için yapılır, fakat ağdaki tüm noktalar ağ geometrisini etkilediğinden dolayı ortak olmayan noktalar da dışlanamaz.

Eşlenik olmayan noktalar bir blok içinde düşünülerek dengeleme modelinden indirgeme ile yok edilebilir. Böylece yalnızca her iki periyotta eşlenik noktaların geçtiği indirgenmiş normal denklem sistemi elde edilir. Bu işlem ortak noktalara ilişkin kısmi iz minimum çözümüyle eşdeğerdir [39].

Her iki periyotta da eşlenik olup, datum tanımına giren noktalara ilişkin bilinmeyenler vektörü ve bunlara karşılık ağırlık katsayıları matrisi, sırasıyla $\hat{\mathbf{x}}_{D1}$, $\hat{\mathbf{x}}_{D2}$ ve $\mathbf{Q}_{DD1}$, $\mathbf{Q}_{DD2}$ olsun. Ağın eşlenik noktalar bölümünde global uyumluluk testini uygulamak için, her iki periyot aynı datumda kısmi iz minimum çözümüne göre serbest olarak dengelenir. Koordinat farkları ve bunun ağırlık katsayıları matrisi,

$$\mathbf{d}_D = \hat{\mathbf{x}}_{D2} - \hat{\mathbf{x}}_{D1} \quad (2.28)$$

$$\mathbf{Q}_{dd_D} = \mathbf{Q}_{DD1} + \mathbf{Q}_{DD2} \quad (2.29)$$

olur. Sıfır hipotezinin etkisi ve serbestlik derecesi şöyle verilir:

$$R_D = \mathbf{d}_D^T \mathbf{Q}_{DD}^T \mathbf{d}_D \quad (2.30)$$

$$h_D = u_D - d \quad (2.31)$$

Burada u_D eşlenik noktalara ait bilinmeyen sayısını ifade etmektedir. Test büyüklüğü,

$$T = \frac{R_D}{s_0^2 h_D} \quad (2.32)$$

ile hesaplanır. Test büyüklüğü, tüm noktalar eşlenik olduğu durumda $F_{h,f,1-\alpha}$ güven sınırından, (sadece ağın bir bölümündeki noktalar eşlenik olduğu durumda $F_{h_D,f,1-\alpha}$) küçükse, iki periyot arasındaki nokta koordinat farklarının anlamsız olduğuna karar verilir. Aksi durumda deformasyon olduğuna karar verilir ve hangi nokta veya noktalarda anlamlı konum değişiminin olduğunun belirlenmesine geçilir.

2.2.2.1 Bağıl Modelde Konum Değişimi Anlamlı Olan Noktaların Belirlenmesi

Global uyumluluk testi $(1 - \alpha)$ güven düzeyi ile ağda deformasyon olduğuna karar verdikten sonra, hangi nokta veya noktaların yer değiştirdiğinin araştırılması gerekir.

S – Dönüşümü Yöntemi ile Yerelleştirme

Bu çalışmada ele alınan yöntemlerden bir tanesi S – Dönüşümü yöntemidir [37], [41]. Ağdaki tüm noktaların obje noktası olarak düşünüldüğü modeldir. Eşlenik noktalardan herhangi birinin yer değiştirmiş olabileceği göz önünde bulundurularak yerelleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Her iki periyotta da serbest dengeleme ile elde edilen bilinmeyenler vektörü ve ağırlık katsayıları matrisi uygun biçimde alt vektör ve matrislere ayrılır:

$$\hat{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_F \\ \hat{\mathbf{x}}_B \\ \hat{\mathbf{x}}_N \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

$$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{FF} & \mathbf{Q}_{FB} & \mathbf{Q}_{FN} \\ \mathbf{Q}_{BF} & \mathbf{Q}_{BB} & \mathbf{Q}_{BN} \\ \mathbf{Q}_{NF} & \mathbf{Q}_{NB} & \mathbf{Q}_{NN} \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

Burada, $\hat{\mathbf{x}}_B$ incelenen eşlenik noktanın koordinatlarını, $\hat{\mathbf{x}}_F$ diğer eşlenik noktaların koordinatlarını, $\hat{\mathbf{x}}_N$ eşlenik olmayan nokta koordinatlarını, $\mathbf{Q}_{BB}$ incelenen noktanın ağırlık katsayıları matrisini, $\mathbf{Q}_{FF}$ diğer eşlenik noktaların ağırlık katsayıları matrisini ve $\mathbf{Q}_{NN}$ eşlenik olmayan noktaların ağırlık katsayıları matrisini ifade etmektedir. Ağdaki eşlenik nokta sayısı kadar, her defasında bir nokta datum tanımından çıkarılarak geriye kalan eşlenik noktalara göre yeni bir datum tanımlanır. Her iki periyot için bilinmeyenler ve bilinmeyenlere ait kofaktör matrisi S - Dönüşümü kullanılarak yeni tanımlanan datuma dönüştürülür:

$$\mathbf{S}_j = \mathbf{I} - \mathbf{G}(\mathbf{B}_j^T \mathbf{G})^{-1} \mathbf{B}_j^T \quad (2.35a)$$

$$\mathbf{B}_j^T = \mathbf{G}^T \mathbf{E}_j \quad (2.35b)$$

Burada, $\mathbf{E}_j$ bir köşegen matristir. İncelenen j. eşlenik noktaya ait $(\mathbf{E})_{jj}$ köşegen elemanı yerine sıfır, diğer eşlenik noktalara karşılık gelen köşegen elemanı için bir alınır [37].

Bir boyutlu ağırlar için $\mathbf{G}^T$ matrisi,

$$\mathbf{G}^T = \frac{1}{\sqrt{p}} [1 \quad 1 \quad 1 \quad \dots \quad 1] \quad (2.36)$$

iki boyutlu ağırlar için $\mathbf{G}^T$ matrisi,

$$\mathbf{G}^T = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{p} & 0 & 1/\sqrt{p} & 0 & \dots & 1/\sqrt{p} & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{p} & 0 & 1/\sqrt{p} & \dots & 0 & 1/\sqrt{p} \\ -y'_{10} & x'_{10} & -y'_{20} & x'_{20} & \dots & -y'_{p0} & x'_{p0} \\ x'_{10} & y'_{10} & x'_{20} & y'_{20} & \dots & x'_{p0} & y'_{p0} \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

$$x'_{i0} = \frac{x_{i0} - x_s}{\sqrt{[(x_{i0} - x_s)^2 + (y_{i0} - y_s)^2]}}, y'_{i0} = \frac{y_{i0} - y_s}{\sqrt{[(x_{i0} - x_s)^2 + (y_{i0} - y_s)^2]}}, x_s = [x_0]/p, y_s = [y_0]/p \quad (2.38)$$

$$i = 1, 2, \dots, p$$

Burada, p ağıdaki nokta sayısı, x_s ve y_s ağırlık merkezinin koordinatlarıdır [42].

GPS ağılarında baz vektörleri ile yapılan dengelemede $\mathbf{G}^T$ matrisi,

$$\mathbf{G}^T = 1/\sqrt{p} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

biçimindedir. S - Dönüşümü ile tüm eşlenik noktaların katıldığı datumdan, yer değiştirdiği düşünülen bir eşlenik noktanın datum tanımından çıkarıldığı j. datuma dönüşüm yapılmıştır.

$$\begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_F^j \\ \hat{\mathbf{x}}_B^j \\ \hat{\mathbf{x}}_N^j \end{bmatrix} = \mathbf{S}_j \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_F \\ \hat{\mathbf{x}}_B \\ \hat{\mathbf{x}}_N \end{bmatrix} \quad (2.40)$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{FF}^j & \mathbf{Q}_{FB}^j & \mathbf{Q}_{FN}^j \\ \mathbf{Q}_{BF}^j & \mathbf{Q}_{BB}^j & \mathbf{Q}_{BN}^j \\ \mathbf{Q}_{NF}^j & \mathbf{Q}_{BN}^j & \mathbf{Q}_{NN}^j \end{bmatrix} = \mathbf{S}_j \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{FF} & \mathbf{Q}_{FB} & \mathbf{Q}_{FN} \\ \mathbf{Q}_{BF} & \mathbf{Q}_{BB} & \mathbf{Q}_{BN} \\ \mathbf{Q}_{NF} & \mathbf{Q}_{BN} & \mathbf{Q}_{NN} \end{bmatrix} \mathbf{S}_j^T \quad (2.41)$$

Aynı dönüşümler ikinci periyot ölçüleri içinde uygulanmaktadır. Hareketsiz kaldıkları varsayılan noktalara ilişkin sıfır hipotezi,

$$H_0: E(\hat{\mathbf{x}}_{F1}^j) = E(\hat{\mathbf{x}}_{F2}^j) \quad (2.42)$$

koordinat fark vektörü,

$$\mathbf{d}_F = \hat{\mathbf{x}}_{F2}^j - \hat{\mathbf{x}}_{F1}^j \quad (2.43)$$

fark vektörünün ağırlık katsayılar matrisi,

$$\mathbf{Q}_{FF} = \mathbf{Q}_{FF1}^j + \mathbf{Q}_{FF2}^j \quad (2.44)$$

biçiminde hesaplanır. Burada, 1 dizini birinci periyodu, 2 dizini ikinci periyodu ifade eder. Sıfır hipotezinin dengeleme modeline etkisi olan R büyüklüğü şöyle belirtilir:

$$R_F = \mathbf{d}_F^T \mathbf{Q}_{FF}^+ \mathbf{d}_F \quad (2.45)$$

Ağıdaki eşlenik tüm noktalar sırasıyla birer birer datum tanımından çıkarılarak $\hat{\mathbf{x}}_B$ ve $\mathbf{Q}_{BB}$ alt vektör ve matrislerini oluştururlar. Her tanımlanan yeni datum için R_F büyüklüğü hesaplanır. R_F değerinin minimum olduğu noktanın yer değiştirmiş olduğu sonucuna varılır. Minimum R_F değeri ile yeniden global test yapılır. Eğer test hala başka hareketli noktaların bulunduğu sonucuna götürüyorsa, hareket ettiği saptanan nokta, eşlenik olmayan noktalar ($\hat{\mathbf{x}}_N$ vektörü) kümesi içerisine atılır ve yerleştirme işlemine, global test başka konumu değişen nokta olmadığını gösterinceye kadar devam edilir. Bağlı modelde yerleştirme için maksimum aykırılık yöntemi ve kapalı hipotez yöntemleri de kullanılmaktadır [37].

2.2.2.2 Mutlak Modelde Konum Değişimi Anlamlı Olan Noktaların Belirlenmesi

Deformasyon ağları arazideki mevcut durumun elverdiği ölçüde bazı noktaların referans noktası bazı noktaların da obje noktası olduğu şekilde tasarlanır. Bu tür ağlarda her ne kadar referans noktalarının hareketsiz oldukları varsayılıyor olsa bile öncelikle referans noktaları kümesinde anlamlı konum değişimi olup olmadığı, referans noktaları eşlenik noktalar, obje noktaları da eşlenik olmayan noktalar olarak kabul edilerek incelenir. Anlamlı konum değişimi olan referans noktaları, bir sonraki aşamada

eşlenik olmayan noktalar kümesine atılır. Daha sonra obje noktalarında deformasyon olup olmadığı araştırılır.

Bağıl Güven Elipsi Yöntemi

Geometrik olarak yer değiştirmelerin bulunabildiği diğer bir yerelleştirme modeli Bağıl Güven Elipsleri yöntemidir [37], [43], [44], [45], [46]. Yöntemin başlangıç modeli,

$$\begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{S1} & A_{o1} & 0 & A_{N1} & 0 \\ A_{S2} & 0 & A_{o2} & 0 & A_{N2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_S \\ x_{o1} \\ x_{o2} \\ x_{N1} \\ x_{N2} \end{bmatrix} \quad (2.46)$$

şeklinde kurulur. Burada o alt indisi obje noktalarını, s indisi referans noktalarını ifade etmektedir. Bu modelin dengelenmesinden sonra elde edilen bilinmeyenlerin ağırlık katsayıları matrisi,

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{SS} & Q_{Sx_{o1}} & Q_{Sx_{o2}} & Q_{Sx_{N1}} & Q_{Sx_{N2}} \\ Q_{x_{o1}S} & Q_{x_{o1}x_{o1}} & Q_{x_{o1}x_{o2}} & Q_{x_{o1}x_{N1}} & Q_{x_{o1}x_{N2}} \\ Q_{x_{o2}S} & Q_{x_{o2}x_{o1}} & Q_{x_{o2}x_{o2}} & Q_{x_{o2}x_{N1}} & Q_{x_{o2}x_{N2}} \end{bmatrix} \quad (2.47)$$

olur. Obje noktalarına ilişkin koordinat fark vektörü ve ağırlık katsayıları matrisi,

$$d_o = x_{o2} - x_{o1} \quad (2.48)$$

$$Q_{do} = Q_{x_{o1}x_{o1}} + Q_{x_{o2}x_{o2}} - Q_{x_{o1}x_{o2}} - Q_{x_{o2}x_{o1}} \quad (2.49)$$

şeklinde elde edilir. İki boyutlu bir ağda k. noktaya ilişkin fark vektörü,

$$d_{ok} = \begin{bmatrix} d_{ox} \\ d_{oy} \end{bmatrix}_k \quad (2.50)$$

olur. d_{ok} fark vektörünün Q_{do} ağırlık katsayıları matrisinde karşılık gelen alt matrisi $(Q_{do})_k$ ise,

$$H_0: E(d_{ok}) = 0 \quad (2.51a)$$

$$H_1: E(d_{ok}) > 0 \quad (2.51b)$$

sıfır hipotezine ilişkin test büyüklüğü,

$$T = \frac{\mathbf{d}_{ok}^T (\mathbf{Q}_{do})^{-1} \mathbf{d}_{ok}}{2s_0^2} \quad (2.52)$$

şeklinde elde edilir [37]. Her noktaya ilişkin test büyüklüğü hesaplanır ve $F_{2,f,1-\alpha}$ sınır değerinden büyük olan noktalarda anlamlı konum değişimi olduğu kabul edilir. Eğer deformasyon ağı üç boyutlu ise (2.52)'deki 2 yerine 3 yazılır. Mutlak modelde yerelleştirme için kapalı hipotez yöntemleri de kullanılmaktadır.

2.2.3 Koch Yöntemi

Koch tarafından önerilen bu yöntem datumun iteratif olarak tanımlanması sonucunda oluşturulan hipotezin test edilmesine dayanır [5]. Deformasyon analizinin başlangıcında herhangi bir ön bilgi yoksa hangi noktaların yer değiştirdiği, hangilerinin sabit kaldığı kolaylıkla kestirilemez. Bu nedenle her iki periyotta da tüm eşlenik noktalar datuma katkıda bulunacak şekilde ağ dengelemesi yapılır. Her iki periyot arasındaki nokta yer değiştirmeleri ve ilgili standart sapmaları hesaplanır. Yer değiştirmeler standart sapmalarına bölünerek standartlaştırılmış yer değiştirmeler elde edilir:

$$ds_i = \sqrt{(\hat{x}_{1i} - \hat{x}_{2i})^2 + (\hat{y}_{1i} - \hat{y}_{2i})^2} \quad (2.53)$$

$$S_{dsi} = \frac{ds_i}{s_{0dsi}} \quad (2.54)$$

Burada, ds_i yer değiştirme büyüklüğünü; $\hat{x}_{1i}$, $\hat{y}_{1i}$ birinci periyot dengeli koordinatlarını; $\hat{x}_{2i}$, $\hat{y}_{2i}$ ikinci periyot dengeli koordinatlarını; s_{0dsi} yer değiştirme büyüklüğünün standart sapmasını ve S_{dsi} standartlaştırılmış yer değiştirme büyüklüğünü ifade etmektedir.

İki boyutlu ağlarda datum tanımlaması için iki nokta yeterli olmaktadır. Bu nedenle iki periyot arasında standartlaştırılmış yer değiştirmesi en küçük olan iki nokta ile datum tanımlanarak her iki periyot ölçüsü tekrar dengelenir. Dengelemeden sonra yeniden standartlaştırılmış yer değiştirmeler hesaplanır ve en küçük standartlaştırılmış yer

değiştirmeye sahip nokta datum noktaları kümesine alınır. Daha sonra bu üç noktaya göre yeni bir dengeleme yapılır ve yeni datum noktasına ilişkin konum değişiminin anlamlı olmadığına aşağıdaki yol izlenerek karar verilir.

Öncelikle sıfır hipotezi oluşturulur:

$$H_0: |\hat{\mathbf{x}}_{i2} - \hat{\mathbf{x}}_{i1}| = 0 \quad (2.55a)$$

$$H_1: |\hat{\mathbf{x}}_{i2} - \hat{\mathbf{x}}_{i1}| > 0 \quad (2.55b)$$

Yeni datum noktası test edilir:

$$T = \frac{1}{rs_0^2} (\hat{\mathbf{x}}_{i1} - \hat{\mathbf{x}}_{i2})^T \left[((\mathbf{A}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{A}_1)_{rs}^-)_i + ((\mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{A}_2)_{rs}^-)_i \right]^{-1} (\hat{\mathbf{x}}_{i1} - \hat{\mathbf{x}}_{i2}) \quad (2.56)$$

$$T_R = \frac{1}{rs_0^2} \mathbf{d}^T \left[((\mathbf{A}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{A}_1)_{rs}^-)_i + ((\mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{A}_2)_{rs}^-)_i \right]^{-1} \mathbf{d} \quad (2.57)$$

Burada $(\mathbf{A}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{A}_1)_{rs}^-$ datum tanımına alınan noktalara göre kısmi iz minimum çözümünü, r ağı boyutunu ve s_0^2 ortak varyans değerini ifade etmektedir. $\mathbf{d}$ vektörü karşılaştırma amacı ile nokta yer değiştirmelerine ait sınır değerleri içerir. Burada $\mathbf{d}$ vektör bileşenleri dengeleme sonucunda elde edilen nokta koordinat farklarına ait standart sapmaları içermektedir. Testte kullanılan güven düzeyi şöyledir:

$$\alpha_T = 1 - \left(\int_{T_R}^{\infty} F(r, m - q) dT \right)^{-1} \left(\int_{T_R}^{\infty} F(r, m - q) dT - \int_T^{\infty} F(r, m - q) dT \right) \quad (2.58)$$

Burada q , $\mathbf{A}$ matrisinin rangı, m ölçü sayısıdır.

Eğer $\alpha_{T_R} = \int_{T_R}^{\infty} F(r, m - q) dT$ ve $\alpha_{T_T} = \int_T^{\infty} F(r, m - q) dT$ olarak hesaplanırsa, α_T güven düzeyi aşağıdaki gibi belirlenir:

$$\alpha_T = 1 - \frac{(\alpha_{T_R} - \alpha_{T_T})}{\alpha_{T_R}} \quad (2.59)$$

Eğer $T_R > T$, $\alpha_T = 1$ olur. Bu hesaplamalar ağıdaki eşlenik tüm noktalar için tekrarlanır. Analiz sonucunda $\alpha_T < 0.05$ ise bu nokta yer değiştirmiş kabul edilir ve datum

tanımından çıkarılır. Aksi takdirde hareketsiz kaldığı kabul edilir. Daha sonra yeni bir nokta daha datum tanımına katılarak analiz işlemine devam edilir. Tüm eşlenik noktalar test edildikten sonra ağdaki yer değiştirmiş noktalar belirlenmiş olurlar.

2.2.4 Caspary ve Borutta Yöntemi

Caspary ve Borutta tarafından önerilen bu yöntemde, her iki periyot ayrı ayrı serbest dengelendikten sonra aşağıdaki deformasyon analiz modeli oluşturulabilir [1]:

$$\hat{\mathbf{x}}_2 - \hat{\mathbf{x}}_1 = \Delta = \mathbf{H}\mathbf{t} + \boldsymbol{\delta}, E(\Delta) = \mathbf{H}\mathbf{t} \quad (2.60)$$

Burada $\hat{\mathbf{x}}_1$ ve $\hat{\mathbf{x}}_2$ sırasıyla birinci ve ikinci periyot için kestirilen koordinat değerlerini, $\mathbf{H}$ tasarım matrisini, $\mathbf{t}$ deformasyon model parametreleri vektörünü, $\boldsymbol{\delta}$ düzeltmeler vektörünü, Δ yer değiştirme vektörünü ve $E()$ beklenen değeri ifade etmektedir. Bu yaklaşımda $\hat{\mathbf{x}}_1$ ve $\hat{\mathbf{x}}_2$ koordinat vektörlerinin varyans kovaryans matrisleri göz ardı edilmektedir.

İncelenen bölgede oluşacak deformasyon hakkında herhangi bir ön bilgi yoksa noktaların tek tek incelendiği yer değiştirme modeli uygulanır. Bu durumda her iki periyodu içerecek şekilde benzerlik dönüşümü uygulanarak global uyumluluk testi uygulanmaksızın yer değiştirmiş noktalar belirlenmeye çalışılır. Bu durumda (2.60) denkleminde $\mathbf{t}$ deformasyon model parametreler vektörü; t_x , x eksen yönündeki öteleme; t_y , y eksen yönündeki öteleme, θ eksenlerdeki dönüklük ve k_s ölçek çarpanından oluşmaktadır. Tasarım matrisi, $\mathbf{H}$ her iki periyotta da eşlenik tüm noktalar için yazılırsa, $\mathbf{H}$ matrisi aşağıdaki şekilde verilir:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\Delta y_1 & \Delta x_1 \\ 0 & 1 & \Delta x_1 & \Delta y_1 \\ 1 & 0 & -\Delta y_2 & \Delta x_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & -\Delta y_p & \Delta x_p \\ 0 & 1 & \Delta x_p & \Delta y_p \end{bmatrix} \quad (2.61)$$

$$\Delta x_i = x_i - x_s$$

$$\Delta y_i = y_i - y_s$$

$$x_s = \sum x_i / p$$

$$y_s = \sum y_i / p, i = 1, \dots, p.$$

$$\mathbf{t} = [t_x \quad t_y \quad k_s \quad \theta]^T$$

Burada, p her iki periyotta da eşlenik nokta sayısını ifade etmektedir. EKK kestirimi (2.60) eşitliğine uygulanarak matematik modelin doğru olduğu durumlarda minimum varyans koşulunu sağlayan çözüm gerçekleştirilebilir. Fakat, modelden sapmalar meydana geldiği durumda elde edilen çözüm optimum olmaktan uzaklaşacaktır. Bu durumda oluşacak hata, kestirilen parametrelere ve tüm düzeltmelere yayılacaktır. EKK kestiriminin bu olumsuzluğu robust kestirim yöntemleri uygulanarak giderilebilmektedir.

Robust yöntemler üç gruba ayrılabilir:

- 1) M-kestiriciler (yinelemeli yeniden ağırlıklandırılmalı EKK, ağırlık fonksiyonu kullanır)
- 2) L_1 norm ve en küçük mutlak toplam yöntemleri (LAS)
- 3) Yüksek kırılma noktalı kestiriciler (LMS, LTS, S-kestirici vb.)

Bu tezde yinelemeli yeniden ağırlıklandırılmalı M-kestiriciler, L_1 norm ve LAS yöntemleri kullanılmıştır.

Gauss-Markoff modelinde M-kestiriminin normal denklemleri;

$$\frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n \mathbf{w}(v_i) \mathbf{v}_i \mathbf{a}_{ij} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, u; i = 1, 2, \dots, m \quad (2.62)$$

veya matris gösterimiyle,

$$\mathbf{A}^T \mathbf{W}_k \mathbf{v} = \mathbf{A}^T \mathbf{W}_k (\mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{I}) = \mathbf{0} \quad (2.63)$$

biçimindedir. Burada, $\mathbf{W}_k$ düzeltmelere bağlı olarak, seçilmiş bir ağırlık fonksiyonundan elde edilen köşegen bir matris ve k yineleme sayısıdır. Normal denklemlerde bilinmeyen parametrelerin yanı sıra düzeltmeler de bilinmemektedir. Bu nedenle denklem sistemi ancak yineleme ile çözülebilir. Genellikle yinelemeli, yeniden ağırlıklandırılmalı EKK çözümü tercih edilir [47], [48]. Ağırlık fonksiyonları aşağıda verilmektedir:

Huber ağırlık fonksiyonu [24]:

$$W(v_i) = \begin{cases} 1 & |v_i| \leq c \\ \frac{c}{|v_i|} & |v_i| > c \end{cases} \quad (2.64)$$

Burada, c sabiti için $1.5s_0$ seçilmiştir.

Danimarka ağırlık fonksiyonu [49]:

$$W(v_i) = \begin{cases} 1 & |v_i| < c \\ \exp\left(\frac{|v_i|}{c}\right) & |v_i| \geq c \end{cases} \quad (2.65)$$

Burada, c sabiti için $1.5s_0$ seçilmiştir.

Hampel ağırlık fonksiyonu [25]:

$$W(v_i) = \begin{cases} 1 & 0 < |v_i| \leq a \\ \frac{a}{|v_i|} & a < |v_i| \leq b \\ \frac{a(c-|v_i|)}{|v_i|(c-b)} & b < |v_i| \leq c \\ 0 & |v_i| > c \end{cases} \quad (2.66)$$

Burada, $a = 1.5s_0$, $b = 3s_0$ ve $c = 6s_0$ seçilmiştir.

Andrews ağırlık fonksiyonu [50]:

$$W(v_i) = \begin{cases} \left(\frac{|v_i|}{c}\right)^{-1} \sin\left(\frac{|v_i|}{c}\right) & |v_i| \leq c\pi \\ 0 & |v_i| > c\pi \end{cases} \quad (2.67)$$

Burada, c sabiti için $2s_0$ seçilmiştir.

Beaton ve Tukey ağırlık fonksiyonu [51]:

$$W(v_i) = \begin{cases} (1 - (\frac{|v_i|}{c})^2)^2 & |v_i| \leq c\pi \\ 0 & |v_i| > c\pi \end{cases} \quad (2.68)$$

Burada, c sabiti için $2s_0$ seçilmiştir. Ağırlık fonksiyonlarındaki s_0 ilk dengelemeden elde edilen değerdir.

L_1 norm ve LAS yöntemleri doğrusal programlama gerektiren yöntemlerdir.

L_1 -norm Yöntemi [52]:

L_1 norm yöntemi simplex algoritması kullanılarak uygulanmaktadır. Günümüzde Matlab teknik hesaplama dili yardımıyla çözüm kolayca gerçekleştirilmektedir.

L_1 norm yöntemi,

$$\sum_{i=1}^n |v| = \min \quad (2.69)$$

ilkesine dayanır.

En küçük mutlak toplam yöntemi (LAS) [53],

$$\sum d_i \rightarrow \min \quad (2.70a)$$

$$d_i^2 = \delta_i^T \delta_i, \quad \delta_i = (\delta x_i, \delta y_i)^T \quad (2.70b)$$

$$\mathbf{D}_v = \text{diag}(d_1, d_1, d_2, d_2, \dots, d_n, d_n) \quad (2.70c)$$

$$\mathbf{t}_{v+1} = (\mathbf{H}^T \mathbf{D}_v^{-1} \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{D}_v^{-1} \Delta \quad (2.70d)$$

$$\delta_{v+1} = \Delta - \mathbf{H} \mathbf{t}_{v+1} \quad (2.70e)$$

Bu yöntemde iterasyon $\mathbf{D}_v$ matrisinin köşegen elemanları toplamına ait farkın bir sınır değerden (örneğin 0.01) küçük olması durumuna kadar devam etmiştir.

EKK kestiriminden farklı olarak, robust kestirimde ölçüler ile kestirilen parametreler arasındaki ilişki doğrusal değildir ve varyans yayılma kuralı doğrudan uygulanamaz. Fakat anlamlılık testi için bilinmeyen parametrelerin C_{tt} ve düzeltmelerin $C_{\delta\delta}$ varyans kovaryans matrislerinin bilinmesi gerekir. Nokta yer değiştirmelerinin belirlenebilmesi

için düzeltmelere anlamlılık testi uygulanır. Bu duruma ilişkin sıfır hipotezi tüm eşlenik noktalar için tekrarlanır:

$$H_0: E(\delta_i) = 0 \quad (2.71a)$$

$$H_1: E(\delta_i) > 0 \quad (2.71b)$$

Burada i dizini eşlenik bir noktayı belirtir. Sıfır hipotezine ilişkin test istatistiği,

$$T_i = \delta_i^T C_{\delta i \delta i}^{-1} \delta_i \sim \chi_{2,1-\alpha}^2 \quad (2.72)$$

şeklinde [34]. Her bir eşlenik nokta için test istatistik değeri $\chi_{2,1-\alpha}^2$ sınır değeri ile karşılaştırılır. Sınır değeri aşan noktalar yer değiştirmiş olarak kabul edilir. Robust kestirim sonucunda test işlemlerinin yapılabilmesi amacıyla $C_{\delta\delta}$ değerleri, EKK kestiriminden elde edilmiştir. Bu tezde $\alpha = 0.05$ alınmıştır. Üç boyutlu durumda (2.72)'deki $\chi_{2,1-\alpha}^2, \chi_{3,1-\alpha}^2$ olur.

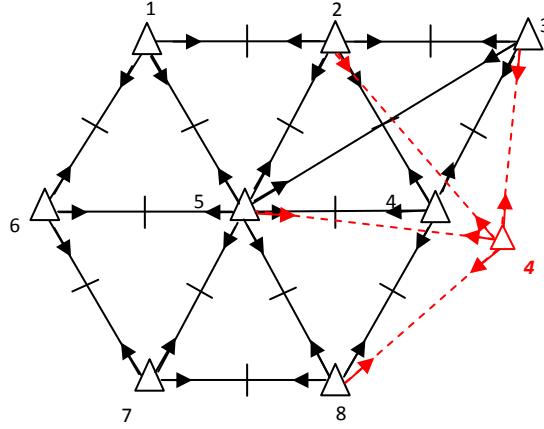
2.2.5 En Küçük Kareler Kestiriminin Yayma Etkisi

Deformasyonların izlenmesi amaçlı oluşturulan jeodezik ağlarda, ölçülerin değerlendirilmesinde EKK yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak ölçülerdeki rasgele hatalar normal dağılımlı olmadıkları durumlarda, yani bazı ölçüler kirletildiğinde, bunlar EKK yönteminden elde edilecek parametreleri ve standart sapmalarını olumsuz etkilemektedir. Örneğin, bir ölçüdeki kaba hata (outlier), yalnız o ölçünün düzeltilmesini bozmakla kalmıyor, diğer iyi ölçülerin düzeltmelerini de değiştiriyor. Buna EKK yönteminin yayma etkisi denir. Ayrıca, özellikle EKK kestiriminin bozucu etkiyi yayması ve EKK kestirimine dayalı test istatistiğinin yetersizliği nedeniyle her durumda doğru sonuçlar elde edilememektedir [28]. Benzer şekilde bir jeodezik ağda, bir noktada yer değiştirme meydana geldiğinde bu bozucu etki diğer noktaların koordinatları üzerine yayılmaktadır. Bu durumda yer değiştirmenin büyüklüğüne göre ya olması gerekenden fazla nokta yer değiştirmiş olarak belirlenmekte ya da yer değiştiren noktaların hepsi analiz sonucunda ortaya çıkarılamamaktadır.

Örneğin Şekil 2.2' deki yatay kontrol ağında birinci periyotta 4 nolu nokta bir bozucu etki sonucunda, ikinci periyotta **4** konumuna yer değiştirsin. Bu durumda $r_{24}, r_{42}, r_{34},$

$r_{43}, r_{45}, r_{54}, r_{48}, r_{84}$ doğrultu ölçüleri ve $s_{42}, s_{43}, s_{45}, s_{48}$ uzunluk ölçüleri bu durumdan (2.73) eşitliğinde gösterildiği şekilde etkilenir:

$$\begin{aligned} r'_{24} &= r_{24} + \Delta r_{24} \\ r'_{42} &= r_{42} + \Delta r_{42} \\ &\dots \\ s'_{42} &= s_{42} + \Delta s_{42} \\ &\dots \end{aligned} \quad (2.73)$$



Şekil 2. 2 Yatay kontrol ağı

İkinci periyot ile birinci periyot arasında 4 nolu noktanın yer değiştirmesinden ortaya çıkan ölçü farklarını $\Delta \mathbf{I}$ vektörü ile gösterilirse, ikinci periyot ölçüleri;

$$\mathbf{I}'_2 = \mathbf{I}_2 + \Delta \mathbf{I} \quad (2.74)$$

biçiminde oluşur. İkinci periyot dengelemesi sonucunda bilinmeyenler vektörü;

$$\hat{\mathbf{x}}_2 = (\mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{A}_2)^+ \mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{I}'_2 = (\mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{A}_2)^+ \mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 (\mathbf{I}_2 + \Delta \mathbf{I}) \quad (2.75)$$

şeklinde elde edilir. Burada $\mathbf{I}_2$ ölçülerinin sadece rasgele normal dağılımlı hataları içerdiği düşünülmektedir. Eğer yer değiştiren noktanın ağıdaki diğer noktalar üzerindeki bozucu etkisini görmek istersek (2.75) eşitliği (2.76) şeklinde yazılabilir.

$$\hat{\mathbf{x}}_2 = (\mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{A}_2)^+ \mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{I}_2 + (\mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{A}_2)^+ \mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \Delta \mathbf{I} = \bar{\mathbf{x}}_2 + \Delta \mathbf{x} \quad (2.76)$$

(2.76) eşitliğinde, $\mathbf{M} = (\mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{A}_2)^+ \mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2$ denirse

$$\Delta \mathbf{x} = \mathbf{M} \Delta \mathbf{l} \quad (2.77)$$

ya da açık gösterimle

$$\begin{aligned} \Delta x_1 &= m_{11} \Delta l_1 + m_{12} \Delta l_2 + \cdots + m_{1m} \Delta l_m \\ \Delta y_1 &= m_{21} \Delta l_1 + m_{22} \Delta l_2 + \cdots + m_{2m} \Delta l_m \\ &\vdots \\ \Delta x_p &= m_{p1} \Delta l_1 + m_{p2} \Delta l_2 + \cdots + m_{pm} \Delta l_m \\ \Delta y_p &= m_{p1} \Delta l_1 + m_{p2} \Delta l_2 + \cdots + m_{pm} \Delta l_m \end{aligned} \quad (2.78)$$

olur. $\Delta \mathbf{l}$ vektöründe yer değiştiren noktaya ait olmayan elemanlar sıfıra eşittir. (2.77) ve (2.78) eşitlikleri sadece yatay kontrol ağları için değil tüm ağlar için geçerlidir. Bu eşitliklerden de görüldüğü gibi tek bir noktadaki yer değiştirme, sadece kendisini değil, ağdaki diğer noktaları da etkilemektedir. Bu etki EKK kestiriminin yayma etkisinden kaynaklanmaktadır, deformasyon analizi sonucunda yanlış sonuçların çıkmasına sebep olmaktadır.

GÜVENİLİRLİK VE KARŞILAŞTIRMA KRİTERİ

Jeodezik ağlarda deformasyon analizine ait sonuçların güvenilirliğinin araştırılması için analizden elde edilen yer değiştirmiş noktaların gerçekte hangi noktalar olduğunun bilinmesi gerekir. Normalde hangi noktaların yer değiştirdiği analizden önce bilinmez, bu nedenle güvenilirliğin araştırılması amacıyla simülasyon yapılması gerekmektedir. Simülasyondan gerçekçi sonuçların elde edilmesi için uygun yer değiştirme büyüklüklerinin belirlenmesi gerekir. Bu bölümde yatay kontrol ağı ve GPS ağı için karşılaştırma kriterinin nasıl elde edildiği ve analiz sonuçlarının güvenilirliğinin araştırılmasında kullanılan Ortalama Başarı Oranı (OBO) kavramı üzerinde durulacaktır.

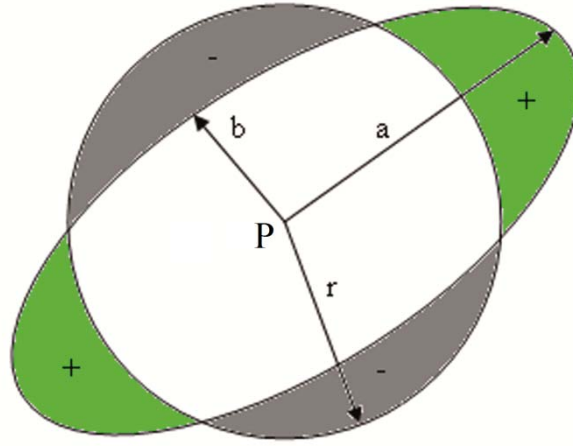
3.1 Karşılaştırma Kriteri

Deformasyon analizinin güvenilirliğini ölçebilmek amacıyla, analizden önce hangi noktaların gerçekte yer değiştirdiğinin bilinmesi gerekir. Uygulamada bu durum imkânsızdır, bu nedenle nokta yer değiştirmeleri yapay olarak üretilmiştir.

Nokta yer değiştirmelerinin belirlenebilir büyüklüklerini saptamak amacıyla, nokta yer değiştirme elipsleri ölçüt olarak kullanılmıştır. Yer değiştirme elipsleriyle yer değiştirme bölgesi tanımlamaktadır. Elde edilen yer değiştirme büyüklüğü, seçilen bir α anlamlılık düzeyi için bu elipsin içerisinde kalıyorsa bu noktadaki hareket anlamlı değildir

sonucuna varılır [19]. Böyle durumlarda ortaya çıkan yer değıştirmelerin ölçülerdeki rastgele hatalardan kaynaklandığı düşünülür.

Noktalardaki yer değıştirme elipslerinin büyük eksen, küçük eksen büyüklükleri ve doğrultuları farklıdır. Bu nedenle elips yerine çember kullanılmıştır. Çember oluşturulurken, alanı ortalama yer değıştirme elipslerinin alanına eşit, yani toplam negatif alanın, toplam pozitif alana eşit olduğu çember seçilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3. 1 P noktasındaki ortalama yer değıştirme elipsi ve yer değıştirme çemberi

Şekil 3.1' de, a elipsin büyük yarı eksen, b elipsin küçük yarı eksen ve r çemberin yarıçapını belirtir. Yer değıştirme aralıkları, a ve b değeri aşağıda tanımlanmıştır:

$$\text{int} = t_1 r < |z_i| < t_2 r, t_1 \geq 1, t_1 \neq t_2, t_1 < t_2 < 3 \quad (3.1)$$

$$a = \sigma_0 \sqrt{\lambda_1 \chi_{2,1-\alpha}^2} \quad (3.2)$$

$$b = \sigma_0 \sqrt{\lambda_2 \chi_{2,1-\alpha}^2} \quad (3.3)$$

$$\lambda_1 = \frac{Q_{dxixi} + Q_{dyiyi} + w}{2} \quad (3.4)$$

$$\lambda_2 = \frac{Q_{dxixi} + Q_{dyiyi} - w}{2} \quad (3.5)$$

$$w = \sqrt{(Q_{dxixi} - Q_{dyiyi})^2 + 4Q_{dxiyi}^2} \quad (3.6)$$

$$r = \sqrt{a_{ort} b_{ort}} \quad (3.7)$$

Burada, Q_{dxixi} , Q_{dyiyi} ve Q_{dxiyi} elemanları Q_{dd} ağırlık katsayıları matrisinin köşegen elemanlarıdır. a_{ort} , b_{ort} ağdaki tüm noktalara ait yer değiştirme elipslerinin a ve b yarı eksenlerinin ortalama değerleridir. int , çemberin dışında yer değiştirme büyüklüğünün değişim aralığını belirtir.

Farklı bir yaklaşım olarak karşılaştırma kriteri için ağdaki en küçük yer değiştirme de öngörülebilir. Tasarım aşamasında deformasyon ağı noktalarında öngörülen deformasyonları içeren vektör d_k ve önsel varyans σ_0^2 olsun. Öngörülen bu deformasyonların belirlenebilmesi için (2.14b)' de verilen karşıt hipotezin geçerli olması gereklidir. Bu durumda test büyüklüğü merkezsiz olmayan F dağılımlıdır ve dış merkezlik parametresi,

$$\lambda = \frac{d_k^T Q_{dd}^+ d_k}{\sigma_0^2} \quad (3.8)$$

olur. Belirli bir $\gamma = 1 - \beta$ test gücü, α yanlışma olasılığı ve serbestlik dereceleri $(h, f = \infty)$ için belirlenen dışmerkezlik parametresinin sınır değeri λ_0 ile karşılaştırılır. $\lambda > \lambda_0$ eşitsizliği sağlanırsa deformasyon ağının duyarlı olduğu sonucuna varılır. Yapılan karşılaştırma işlemine duyarlılık analizi adı verilir [12], [19], [21], [37], [54].

Ağ noktalarında kanıtlanabilir en küçük yer değiştirme büyüklüğünün hesaplanabilmesi amacıyla öncelikle hareket doğrultularını içeren g vektörü oluşturulur. İki boyutlu bir ağ için g vektörü, p nokta sayısını göstermek üzere,

$$g = [\cos t_1 \sin t_1 \cos t_2 \sin t_2 \dots \cos t_p \sin t_p]^T \quad (3.9)$$

şeklindedir [55]. g vektöründe yer değiştirmedeği düşünülen noktalara ait elemanlara "0" yazılır. Bu şekilde öngörülen deformasyon vektörü;

$$d_k = ag \quad (3.10)$$

biçiminde elde edilir. Burada a ölçek çarpanıdır ve hesaplanabilir. (3.10) eşitliği (3.8)' de yerine yazılırsa,

$$\lambda = \frac{a^2}{\sigma_0^2} \mathbf{g}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{g} \quad (3.11)$$

şeklini alır. (3.11) eşitliğinden $\lambda > \lambda_0$ eşitsizliği dikkate alınır,

$$\frac{a^2}{\sigma_0^2} \mathbf{g}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{g} > \lambda_0 \quad (3.12)$$

yazılabilir. (3.12)' den a 'nın minimum değeri,

$$a_{min} = \sigma_0 \sqrt{\frac{\lambda_0}{\mathbf{g}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{g}}} \quad (3.13)$$

elde edilir. (3.10) eşitliğinde a_{min} değeri kullanılarak istenenilen noktada, istenilen doğrultuda analiz sonucunda yakalanabilecek yer değiştirme büyüklüğü elde edilebilir.

Duyarlılık analizi optimistik bir sonuç verdiği için, karşılaştırma kriteri her nokta için (3.2) ve (3.3) formülleri ile hesaplanan a ve b elips yarı eksenlerinin ortalaması alınarak, (3.7) ile yer değiştirme elipslerinin ortalama alanına eşit çember yarıçapı belirlenmiştir. Hesaplamalarda $\alpha = 0.001$ ve χ^2 dağılımı seçilmiştir. Böylelikle tüm stokastik etkilerin yer değiştirme büyüklüğünü etkilemesi sağlanmıştır. Hesaplanan r , obje noktaları için aynı kabul edilmiş ve yer değiştirme büyüklükleri $(r, 2r)$ ve $(r, 3r)$ aralıklarında seçilmiştir.

3.2 Ortalama Başarı Oranı

Uyuşumsuz ölçü araştırmasında, yöntemlerin etkinliklerinin karşılaştırılması için OBO kavramı kullanılmıştır [6]. Bu kavram ilk kez nivelman ağlarının deformasyon analizinde ve doğrultu kenar ağlarında uygulanmıştır [7], [56]. Bu çalışmada da OBO kavramı yatay kontrol ağında ve GPS ağında deformasyon analizinin güvenilirliğinin araştırılmasında kullanılmıştır.

Birinci ve ikinci periyot ölçüleri yapay olarak üretildikten sonra, bu iki ölçüm periyodu birlikte bir örnek kümeyi oluşturmaktadır. 1. ve 2. periyot üretildikten sonra, analiz sonucunda, yöntemin deformasyona uğramış olarak bulduğu noktalar, ikinci periyot

ölçüleri oluşturulurken yer değiştirmelerin eklendiği noktalar ise, yöntem başarılı olarak kabul edilmektedir. Aksi takdirde başarısız sayılmaktadır. Kısaca, hangi noktalarda yer değiştirme üretilmişse ve deformasyon analizi de aynı noktaları belirlerse yöntem başarılı sayılmaktadır.

Birinci periyot ölçümlerinin oluşturulabilmesi için 1. periyoda ait $\mathbf{e}_1$ rasgele hata vektörü üretilmiş olsun. Öngörülen belirli bir sayıdaki yer değiştirmiş nokta sayısı için, yeni bir 2. periyoda ait $\mathbf{e}_2$ rasgele hata vektörü üretilerek, yer değiştirmenin eklendiği nokta ve yer değiştirmenin büyüklüğü rasgele değiştirilerek çok sayıda örnek küme oluşturulabilir. Başarı oranı (BO) bu örnek kümelerden başarılı deney sayısının toplam deney sayısına bölümü ile elde edilir:

$$\gamma_i(L, l_{1i}, l_{2j}, int, n_d, e_{1i}, e_{2j}, m, u) = \frac{q_{ij}}{N_j} \quad (3.14)$$

Burada, L analiz yöntemini, int yer değiştirmenin aralığını, l_{1i} 1. periyot, l_{2j} 2. periyot ölçülerini, n_d yer değiştiren nokta sayısını, m ölçü sayısını, q_{ij} yer değiştiren noktaların doğru belirlendiği örnek küme sayısını, u bilinmeyen sayısını, N toplam örnek küme sayısını ve i belirli bir yer değiştirmiş nokta sayısını ifade etmektedir.

Uygulamada çok sayıda birinci epok ($\mathbf{e}_1$) ölçüleri oluşturabiliriz. Her bir $\mathbf{e}_1$ vektörü için, belirli yer değiştirmiş nokta sayısı, deformasyon analiz yöntemi ve yer değiştirme büyüklüğünde BO hesaplanabilir. Bu başarı oranlarının ortalaması, OBO olarak adlandırılır ve

$$\gamma_{ort}(L, int, n_d, n, u) = \frac{\sum_{i=1}^k \gamma_i(L, l_{1i}, l_{2j}, int, n_d, e_{1i}, n, u)}{k} \quad (3.15)$$

biçiminde ifade edilir. Burada k, $\mathbf{e}_1$ rasgele hata vektörü oluşturma sayısıdır. Böylece, değişik etkiler (deformasyon analiz yöntemi, nokta sayısı, yer değiştirme büyüklük aralığı) göz önüne alınarak OBO hesaplanabilir.

DEFORMASYON ANALİZİ GÜVENİLİRLİĞİNİN SİMÜLE EDİLEN AĞLARDA ARAŞTIRILMASI

Statik model yaklaşımının güvenilirliği [56] da bağıl ve mutlak yatay kontrol ağları için araştırılmıştır. Noktalara yer değiştirmeler farklı genliklerde ve farklı doğrultularda yüklenerek, statik deformasyon analizi gerçekleştirilmiş ve analizin güvenilirliğinin ağdaki nokta sayısına, serbestlik derecesine, yer değiştirmiş nokta sayısına, rasgele hataların homoskadeistik veya heteroskadeistik olması durumuna, uygulanmış olan yerelleştirme yöntemlerine, ağ tasarımının bağıl veya mutlak olmasına göre değiştiği gözlenmiştir. Elde edilen sonuçların deformasyon analizi gibi yüksek doğruluk gerektiren bir uygulama için yeterli olmadığı görülmektedir. Özellikle yer değiştiren nokta sayısı arttıkça küçük genlikli yer değiştirmelerde başarı oranları çok düşük olarak ortaya çıkmıştır.

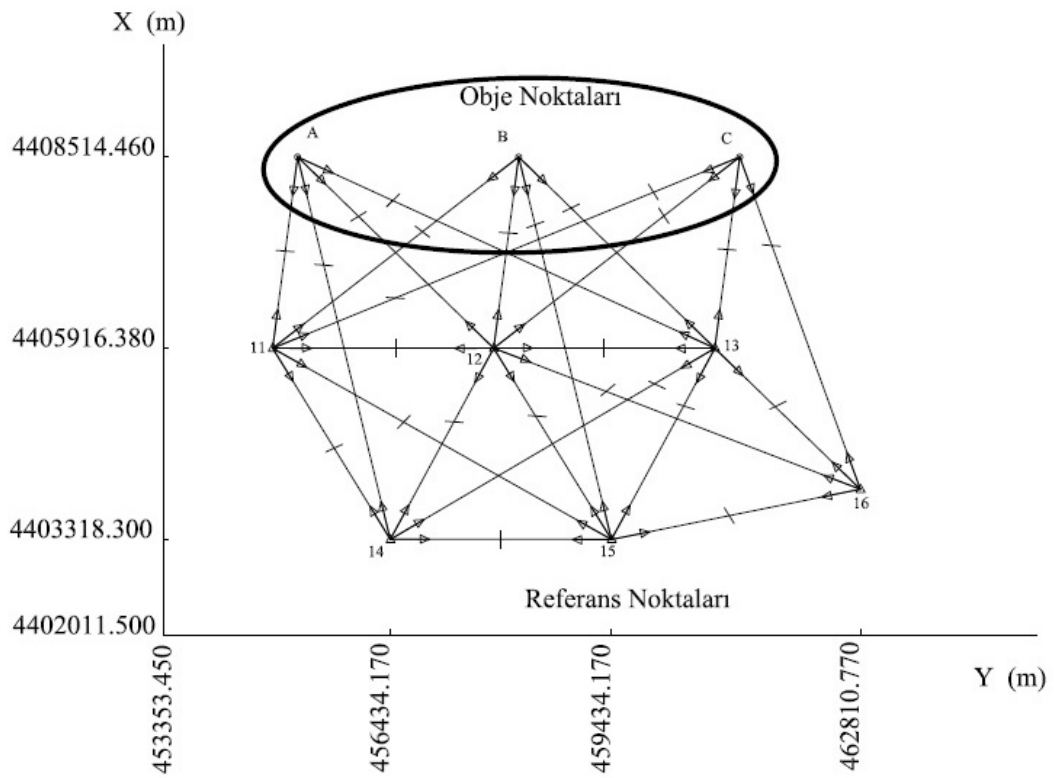
Bu çalışmada deformasyon analizinde başarısız sonuçların nedenlerinin araştırılması amacıyla yatay kontrol ağı ve GPS ağı yapay olarak üretilmiştir. Çok sayıda örnek küme oluşturularak doğru ve yanlış sonuçların oranları incelenmiş, sorunların nedenleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Farklı yerelleştirme yöntemleri uygulanarak, farklı durumlarda farklı yöntemlerin başarı oranları ortaya konmuştur. Daha başarılı sonuçların elde edilmesi amacıyla yeni bir yaklaşım önerilmiş, bu yöntem hem simüle edilen ağlarda hem de GPS ölçülerinin gerçekleştirilmesi ile oluşturulan ağda denenmiştir.

4.1 Yapay Ölçülerin Elde Edilmesi

4.1.1 Yatay Kontrol Ağında Ölçülerin Elde Edilmesi

Deformasyon analizi yapılacak yatay kontrol ağı Şekil 4.1' deki biçimde oluşturulmuştur. Ağda 72 ölçü ve 9 nokta bulunmaktadır. Serbest ağ dengelemesine göre serbestlik derecesi 48' dir (yöneltme bilinmeyenleri dikkate alınarak). Ağda tüm doğrultu ve kenar ölçülerinin yapıldığı kabul edilmiştir, kenar ölçüleri 3 km ile 7 km arasında değişmektedir.

Ağda öncelikle nokta koordinatları belirlenmiştir. Bu nokta koordinatlarından rasgele hata ve kaba hata içermeyen doğrultu ve uzaklık ölçüleri (hatasız ölçüler) $\bar{I}$ elde edilmiştir.



Şekil 4. 1 Analizlerde kullanılan yatay kontrol ağı

Deformasyon analizinde kullanılacak ölçüleri oluşturmak için her periyot için farklı rasgele hatalar vektörü ($\mathbf{e}$) hatasız ölçüler vektörüne eklenmiştir. 1. periyot ölçüleri

oluşturulurken, hatasız ölçülere sadece rasgele hatalar ($\mathbf{e}_1$) eklenmiştir. 2. periyot ölçülerinde ise hem rasgele hatalar ($\mathbf{e}_2$) hem de noktalara ilişkin yer değiştirmeler eklenmiştir. 1. ve 2. periyot ölçüleri,

$$\mathbf{l}_1 = \bar{\mathbf{l}} + \mathbf{e}_1 \quad (4.1)$$

$$\mathbf{l}_2 = \bar{\mathbf{l}} + \mathbf{e}_2 + \mathbf{A}\mathbf{z} \quad (4.2)$$

şeklinde oluşturulur. Burada, $\mathbf{e}_1$ ve $\mathbf{e}_2$ normal dağılımlı rasgele hata vektörleri, $\mathbf{A}$ katsayılar matrisi ve $\mathbf{z}$ yatay deformasyon vektörüdür:

$$\mathbf{z} = [z_{1x} \ z_{1y} \ z_{2x} \ z_{2y} \ \dots \ z_{ux} \ z_{uy}] \quad (4.3)$$

Birinci ve ikinci periyot ölçüleri birlikte (yani $\mathbf{l}_1, \mathbf{l}_2$) bir örnek küme oluşturur. Bu şekilde 10000 farklı örnek küme oluşturulmuş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Yatay kontrol ağlarında deformasyon iki bileşene sahiptir. $\mathbf{z}$ deformasyon vektörünün z_x bileşeni, deformasyonun x eksenindeki iz düşümünü, z_y bileşeni de y eksenindeki iz düşümünü ifade etmektedir. 2. periyot ölçüleri oluşturulurken $\mathbf{z}$ vektöründe sadece deformasyon eklenecek noktalara ilişkin bileşenler “0” dan farklıdır.

Rasgele hata vektörü MATLAB v.7.2 programının rasgele normal dağılım hata üreticisi kullanılarak birinci ve ikinci periyot için ayrı ayrı farklı normal dağılımlardan $N(\mu = 0, \sigma_d^2)$ üretilmiştir. Doğrultu ölçüleri için $\sigma_d = \pm 0.3$ mgon, kenar ölçüleri için $\sigma_s = \pm (3 + 2ppm)$ mm öngörülmüştür. (4.1) ve (4.2) eşitlikleriyle $\mathbf{l}_1$ ve $\mathbf{l}_2$ ölçü vektörleri oluşturulmuştur. İki periyot için ağın geometrisi aynı olduğu için epoklara ilişkin ağırlık matrisleri birbirine eşittir. Doğrultu kenar ağında ağırlık matrisi,

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_d & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{P}_s \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

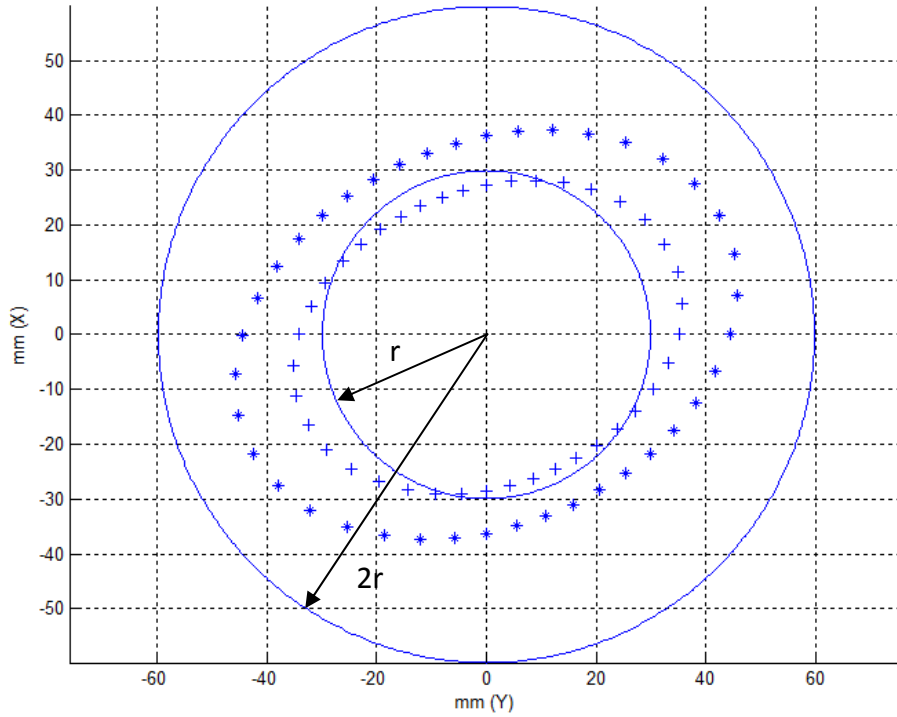
biçimindedir.

$$\mathbf{P}_d = \text{diag}(\sigma_0^2/\sigma_{d1}^2, \sigma_0^2/\sigma_{d2}^2, \dots, \sigma_0^2/\sigma_{dm1}^2) \text{ (doğrultu ölçüleri)}$$

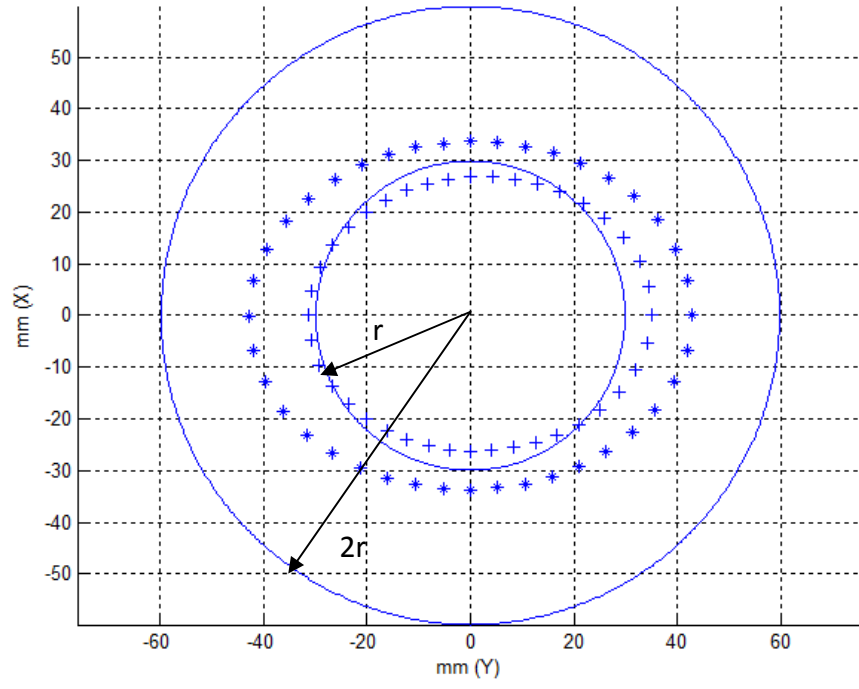
$$\mathbf{P}_s = \text{diag}(\sigma_0^2/\sigma_{s1}^2, \sigma_0^2/\sigma_{s2}^2, \dots, \sigma_0^2/\sigma_{sm2}^2) \text{ (kenar ölçüleri)}$$

σ_0^2 birim ağırlıklı varyanstır ve 0.09 mgon^2 olarak seçilmiştir, m_1 doğrultu ölçülerinin sayısını, m_2 kenar ölçülerinin sayısını ifade etmektedir.

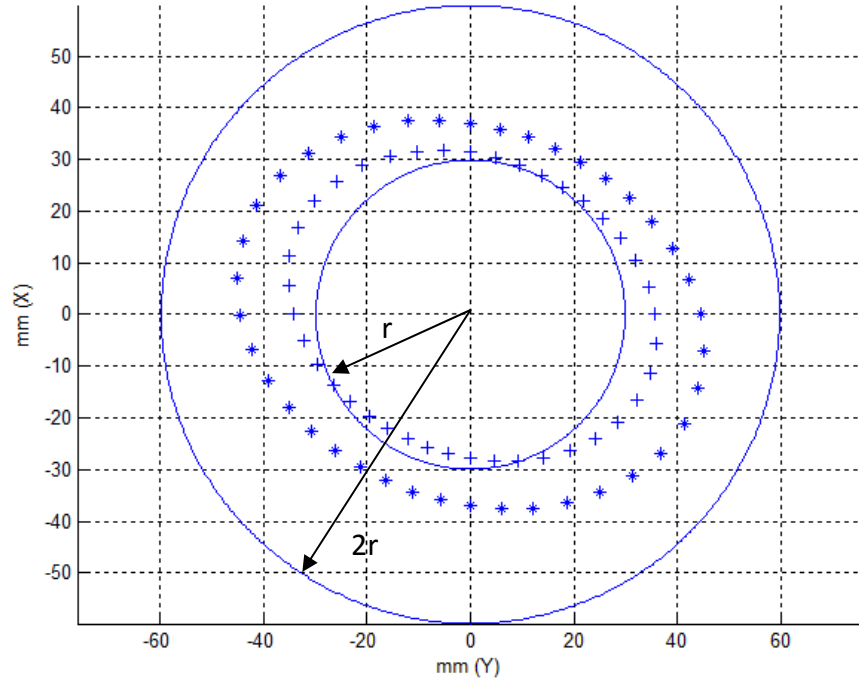
z vektörünün elemanları hesaplanırken, Bölüm 3.1’ de nasıl elde edildiği anlatılan karşılaştırma çemberi kullanılmıştır. Bu çemberin elemanları obje noktası olarak düşünülen A, B ve C noktalarına göre hesaplanmış ve yarıçapı $r = 29.9 \text{ mm}$ elde edilmiştir. Elde edilen yarıçap değerinin uygun olup olmadığını test etmek amacıyla, obje noktalarında 40 farklı doğrultuda yakalanabilir en küçük yer değiştirme büyüklüğü teorik olarak (3.10) ve (3.13) eşitliklerinden $\alpha = 0.05$ ve $\beta = 0.20$ alınarak hesaplanmıştır. Ayrıca aynı doğrultularda deneysel olarak (bir doğrultudaki yer değiştirmenin genliği adım adım değiştirilerek) yakalanabilir en küçük yer değiştirmeler hesaplanmıştır (Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4).



Şekil 4. 2 A noktasında teorik ve deneysel minimum yakalanabilir yer değiştirme büyüklüğü ile yer değiştirme çemberleri



Şekil 4. 3 B noktasında teorik ve deneysel minimum yakalanabilir yer değiştirme büyüklüğü ile yer değiştirme çemberleri

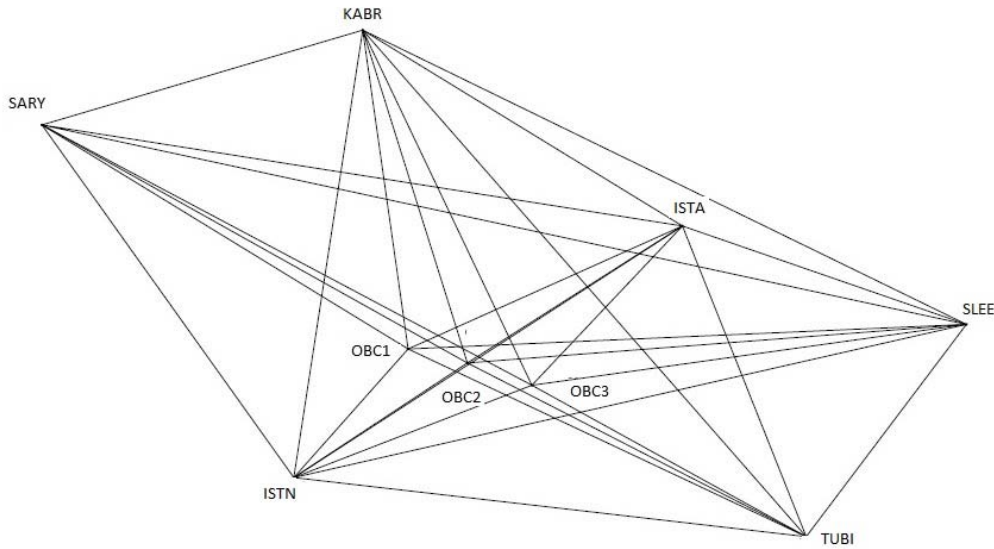


Şekil 4. 4 C noktasında teorik ve deneysel minimum yakalanabilir yer değiştirme büyüklüğü ile yer değiştirme çemberleri

Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4' de iki çember arasındaki alan uygulamalarımızda yer değiştirme büyüklüklerini elde etmek için kullandığımız $(r, 2r)$ aralığını ifade etmektedir. “+” ile gösterilen, analizde yakalanabilen deneysel en küçük büyüklüğü göstermektedir. Her bir nokta için 10 gradlık aralıklarda analizde yakalanabilecek minimum büyüklükler deneysel olarak hesaplanmış ve şekillerde gösterilmiştir. “*” ile gösterilen ise $\beta = 0.20$ ve $\alpha = 0.05$ için teorik minimum belirlenebilir yer değiştirme vektörüdür. Teorik olarak hesaplanan minimum yakalanabilir değerler, deneysel olarak bulunan değerlerden daha büyük çıkmıştır. $\beta = 0.30$ alındığında, deneysel olarak bulunan değerlere daha iyi yaklaşmıştır.

4.1.2 GPS Ağında Ölçülerin Elde Edilmesi

Deformasyon analizi yapılacak GPS ağı Şekil 4.5' deki biçimde oluşturulmuştur. Ağda 32 baz ölçülmüştür. Oluşturulan GPS ağı 9 noktadan oluşmaktadır. Ağda 3 nokta Davutpaşa yerleşkesi içerisinde, dört nokta TUSAGA - AKTİF ağından (SARY, KABR, SLEE, ISTN) ve iki nokta IGS noktası (ISTA, TUBI) olarak tasarlanmıştır.



Şekil 4. 5 Analizlerde kullanılan GPS ağı

GPS ağında simülasyonun oluşturulabilmesi için hatasız ölçülerin elde edilmesi aşamasında öncelikle OBC1, OBC2 ve OBC3 noktalarında ölçümler yapılarak, tüm ağ

Bernese v5.0 akademik yazılımında değerlendirilmiştir [57]. Yazılımda 7 saatlik ölçüler dikkate alınmıştır. Bernese 5.0 klavuzunda belirtilen optimum değerler kullanılmıştır. Duyarlı GPS yörüngeleri ve yer dönme parametreleri IGS' in (International GNSS Service) veri merkezinden elde edilmiştir. İyonosferden arınmış L3 frekansı ile tek nokta konumlaması yapılarak her epokta alıcı saat hataları ve yeni noktalar için yaklaşık koordinatlar belirlenmiştir. Ölçülerdeki faz kesikliği ve uyuşumsuz ölçüler üçlü farklar oluşturularak kontrol edilmiştir. Bu işlem sonucunda uyuşumsuz ölçüler atılmış, düzeltilebilen faz kesiklikleri düzeltilmiş ve düzeltilemeyen kesikliklere, faz başlangıç belirsizliği parametresi eklenmiştir. Daha sonra, faz başlangıç belirsizliği parametreleri çözülmüştür. Faz başlangıç belirsizliği parametrelerinin çözümü için QIF (Quasi Ionosphere Free) stratejisi kullanılmıştır. Her noktada troposferik gecikme, Saastamoinen modeli ile belirli zaman aralıklarında hesaplanan zenit gecikmesi parametresi belirlenerek yok edilmiştir. SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) tarafından hesaplanan IGS noktalarından ISTA noktasının ITRF 2005.0 datumunda 2010.835 epoğundaki koordinatları datum tanımında kullanılarak çözüm yapılmıştır. Yapılan tüm Bernese değerlendirmelerinde bu kriterler dikkate alınmıştır. Analizde kullanılan noktaların ISTA noktasına göre yaklaşık baz uzunlukları Çizelge 4.1' de verilmektedir.

Çizelge 4. 1 ISTA noktasına göre yaklaşık baz uzunlukları

Bazlar	Uzunluk (km)
ISTA – ISTN	20.2
ISTA – KABR	39.0
ISTA – OBC1	14.3
ISTA – OBC2	14.2
ISTA – OBC3	14.3
ISTA – SARY	99.8
ISTA – SLEE	49.3
ISTA – TUBI	50.6

Elde edilen üç boyutlu kartezyen koordinatlar aşağıdaki eşitliklerle yerel (toposentrik) koordinat sistemine dönüştürülmüştür:

$$\begin{bmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \\ \Delta z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i - x_0 \\ y_i - y_0 \\ z_i - z_0 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi_0 \cos \lambda_0 & -\sin \varphi_0 \sin \lambda_0 & \cos \varphi_0 \\ \sin \varphi_0 \cos \lambda_0 & \sin \varphi_0 \sin \lambda_0 & 0 \\ \cos \varphi_0 \cos \lambda_0 & \cos \varphi_0 \sin \lambda_0 & \sin \varphi_0 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

$$\begin{bmatrix} n_i \\ e_i \\ u_i \end{bmatrix} = \mathbf{R} \begin{bmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \\ \Delta z_i \end{bmatrix}, i = 1, 2, \dots, p \quad (4.7)$$

Burada, x_0, y_0, z_0 yerel koordinat sisteminde başlangıç noktası olarak seçilen noktanın kartezyen koordinatlarını, φ_0 ve λ_0 yerel koordinat sisteminde başlangıç noktası olarak seçilen noktanın coğrafi koordinatlarını; x_i, y_i, z_i ise yerel koordinat sisteminde koordinatları hesaplanmak istenen noktanın Kartezyen koordinatlarını, n_i, e_i ve u_i ise yerel koordinatları ifade etmektedir.

Değerlendirme sonucunda elde edilen kesin koordinatlardan hatasız baz bileşenleri elde edilmiştir. (4.1) ve (4.2) eşitliklerindeki ölçü çiftlerinin (l_1 ve l_2) elde edilmesi amacıyla normal dağılımlı rasgele hata vektörlerinin oluşturulması gerekir. σ_0^2 önsel varyans değerinin GPS ağlarında kestirimi amacıyla literatürde bir çok çalışma yapılmıştır [58], [59], [60], [61]. Gerçekleştirilen GPS ölçü planı [58] yayınındaki kriterlere uyduğu için tezdeki simülasyonda bu yayında önerilen aşağıdaki değerler kullanılmıştır:

$$S_n = k_n/T^{0.5}, k_n = 9.5 \pm 2.1 \text{ mm h}^{0.5} \quad (4.8)$$

$$S_e = k_e/T^{0.5}, k_e = 9.9 \pm 3.1 \text{ mm h}^{0.5} \quad (4.9)$$

$$S_u = k_u/T^{0.5}, k_u = 36.5 \pm 9.1 \text{ mm h}^{0.5} \quad (4.10)$$

Burada T saat biriminde ölçüm süresini, S_n, S_e ve S_u standart sapmaları, h saat birimini göstermektedir. Ölçümler 7 saatlik olarak yapıldığı için standart sapmaların hesaplanmasında bu değerler kullanılmıştır. Rasgele hata vektörü MATLAB v.7.2

programının normal rasgele hata üretici kullanılarak birinci ve ikinci periyot için ayrı ayrı farklı normal dağılımlardan $N(\mu = 0, \sigma^2)$ üretilmiştir. σ^2 değerleri ($\sigma_n = S_n$, $\sigma_e = S_e$, $\sigma_u = S_u$) (4.8), (4.9) ve (4.10) eşitliklerinden elde edilmiştir. (4.1) ve (4.2) nolu denklemler kullanılarak I_1 ve I_2 ölçü vektörleri oluşturulmuştur. İki periyotta da ağın geometrisi aynı olduğu için periyotların ağırlık matrisleri birbirine eşittir. GPS ağında ağırlık matrisi iki farklı biçimde oluşturulmuştur:

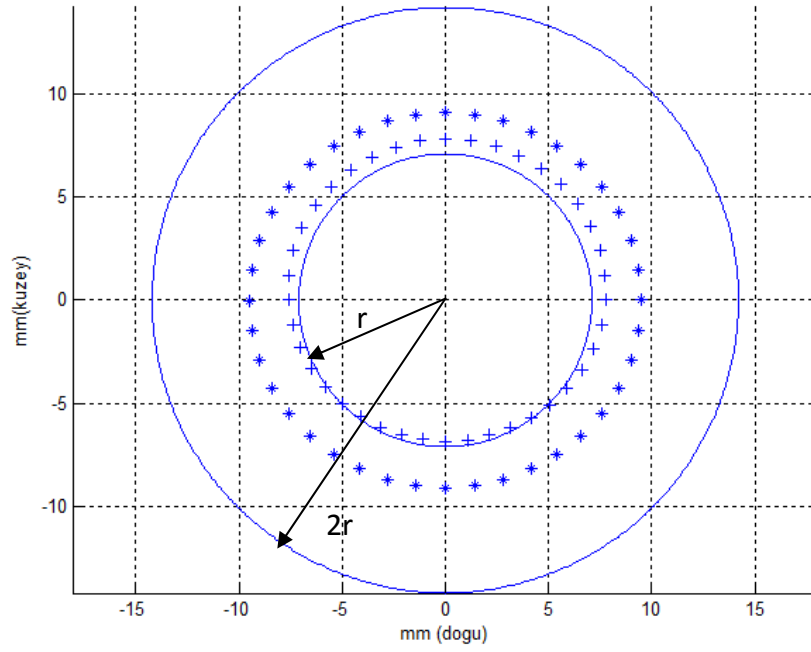
$$\mathbf{P} = \text{diag}(\sigma_0^2/\sigma_{1n}^2, \sigma_0^2/\sigma_{1e}^2, \sigma_0^2/\sigma_{1u}^2 \dots, \sigma_0^2/\sigma_{mn}^2, \sigma_0^2/\sigma_{me}^2, \sigma_0^2/\sigma_{mu}^2) \quad (4.11)$$

$$\mathbf{P} = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} \mathbf{C}_1^{-1} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \mathbf{C}_n^{-1} \end{bmatrix} \quad (4.12a)$$

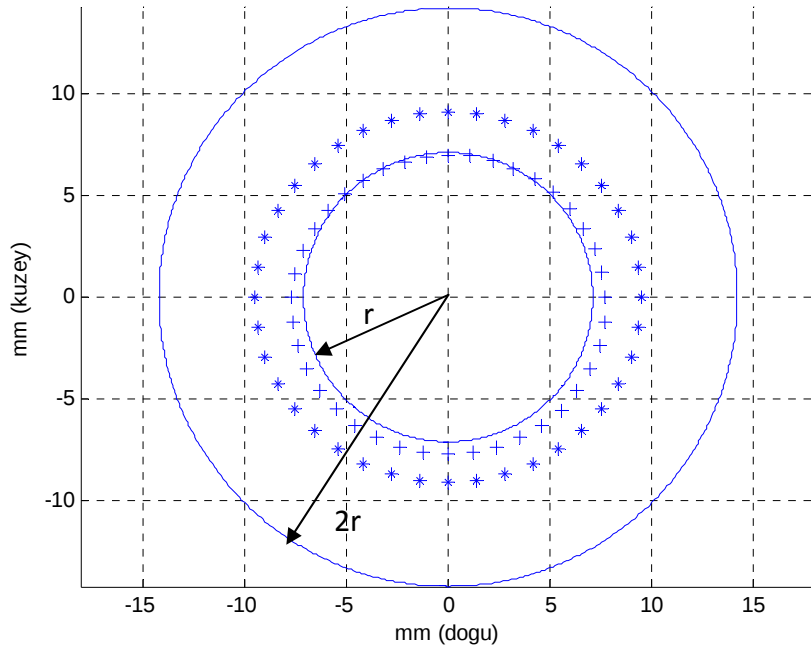
$$\mathbf{C}_1 = \begin{bmatrix} \sigma_{1n}^2 & \sigma_{1ne} & \sigma_{1nu} \\ \sigma_{1en} & \sigma_{1e}^2 & \sigma_{1eu} \\ \sigma_{1un} & \sigma_{1ue} & \sigma_{1u}^2 \end{bmatrix} \quad (4.12b)$$

Burada σ_0^2 birim ağırlıklı varyanstır ve (4.8) eşitliğinden hesaplanarak 3.59^2 mm^2 olarak seçilmiştir, m ölçü sayısını ifade etmektedir.

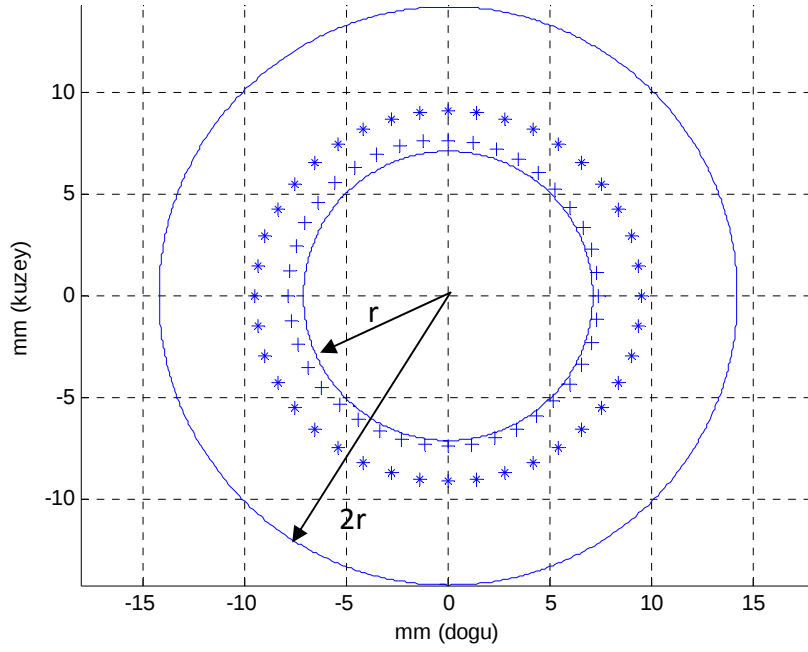
GPS ağına analizinde yükseklik bileşeni (u) göz ardı edilmiş ve analizler iki boyutlu ($n =$ kuzey ve $e =$ doğu) olarak gerçekleştirilmiştir. $\mathbf{z}$ vektörünün elemanları hesaplanırken, Bölüm 3.1' de nasıl elde edildiği anlatılan karşılaştırma çemberi kullanılmıştır. Modelde ağırlık matrisi (4.11) eşitliğine göre oluşturulmuştur. Bu çemberin elemanları obje noktası olarak düşünülen OBC1, OBC2 ve OBC3 noktalarına göre hesaplanmış ve yarıçapı $r = 7.1 \text{ mm}$ elde edilmiştir. Elde edilen yarıçap değerinin uygun olup olmadığını test etmek amacıyla, obje noktalarında 40 doğrultuda yakalanabilir en küçük yer değiştirme büyüklüğü teorik olarak hesaplanmıştır. Ayrıca aynı doğrultularda deneysel olarak yakalanabilir en küçük yer değiştirmeler hesaplanmıştır (Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8).



Şekil 4. 6 OBC1 noktasında teorik ve deneysel minimum yakalanabilir yer değıştirme büyüklüğü ile yer değıştirme çemberleri



Şekil 4. 7 OBC2 noktasında teorik ve deneysel minimum yakalanabilir yer değıştirme büyüklüğü ile yer değıştirme çemberleri



Şekil 4. 8 OBC3 noktasında teorik ve deneysel minimum yakalanabilir yer değiştirme büyüklüğü ile yer değiştirme çemberleri

Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8' de daire ile gösterilen iki çember arasındaki alan, uygulamalarımızda yer değiştirme büyüklüklerini elde etmek için kullandığımız (r , $2r$) aralığını ifade etmektedir. "+" ile gösterilen, analizde yakalanabilen deneysel en küçük büyüklüğü göstermektedir. Her bir nokta için 10 gradlık aralıklarda analizde yakalanabilecek minimum büyüklükler deneysel olarak hesaplanmış ve şekillerde gösterilmiştir. "*" ile gösterilen ise $\beta = 0.20$ ve $\alpha = 0.05$ için teorik minimum belirlenebilir yer değiştirme vektörüdür. Teorik olarak hesaplanan minimum yakalanabilir değerler, deneysel olarak bulunan değerlerden daha büyük çıkmıştır.

4.2 Yatay Kontrol Açında Analizler

Deformasyon analizinden elde edilen yanlış sonuçların nedenlerini araştırmak amacıyla öncelikle (r , $2r$) aralığındaki yer değiştirme büyüklükleri için analiz gerçekleştirilmiştir. S-Dönüşümü, Koch yöntemi, Bağlı Güven Elipsi ve Robust yöntemlerden Danimarka yöntemi için sonuçlar sırasıyla Çizelge 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5' te verilmektedir.

Çizelge 4. 2 S – Dönüşümü yönteminin OBO

Simülasyonda Yer Değiştiren Nokta Sayısı	Analiz Sonucunda Belirlenen Nokta Sayısı							
	II. Tür hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	İlgisiz Sonuçlar (%)
1	20.33	72.81	4.75	0.87	0.07	0	0	1.17
2	1.83	29.95	60.78	4.50	0.78	0.03	0	2.13
3	0.05	3.66	34.83	53.59	4.27	0.51	0.01	3.08

Çizelge 4. 3 Koch yönteminin OBO

Simülasyonda Yer Değiştiren Nokta Sayısı	Analiz Sonucunda Belirlenen Nokta Sayısı							
	II. Tür hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	İlgisiz Sonuçlar (%)
1	8.51	77.68	10.19	1.41	0.36	0.14	0.04	1.67
2	1.08	15.85	69.79	8.13	1.43	0.58	0.14	3.00
3	0.10	3.04	19.77	62.87	7.33	2.08	0.70	4.11

Çizelge 4. 4 Bağlı Güven Elipsi yönteminin OBO

Simülasyonda Yer Değiştiren Nokta Sayısı	Analiz Sonucunda Belirlenen Nokta Sayısı					
	II. Tür hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	İlgisiz Sonuçlar (%)
1	3.24	81.31	14.89	0.29	0	0.27
2	0.10	6.71	82.74	10.27	0	0.18
3	0	0.52	10.06	83.84	5.58	0

Çizelge 4. 5 Danimarka Yönteminin OBO

Simülasyonda Yer Değiştiren Nokta Sayısı	Analiz Sonucunda Belirlenen Nokta Sayısı					
	II. Tür hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	İlgisiz Sonuçlar (%)
1	1.26	92.09	4.36	0	0	2.29
2	1.22	54.57	43.56	0	0	0.65
3	4.18	63.45	32.13	0.24	0	0

Çizelge 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5’ deki gölgeli alanlar hatalı sonuçları göstermektedir. Bu sonuçların nedenleri EKK kestiriminin yayma etkisi ve F-testinin yetersizliğidir. “II. Tür hata” sütunu doğru olmadığı halde H_0 hipotezinin kabul edildiği durumları (yani bir noktanın yeri değiştiği halde global uyumluluk testiyle kanıtlanamayan durumları) göstermektedir.

S - Dönüşümü yönteminde, gerçekte yer değiştiren nokta sayısı 1 olduğu durumda 20.33%, iki olduğu durumda 1.83% ve 3 olduğu durumda 0.05% II. Tür hata oluşmaktadır. Gerçekte yer değiştiren nokta sayısı 2 olduğunda S - Dönüşümü sadece bir tanesini 29.95% oranında yakalamaktadır. Gerçekte 3 yer değiştirme olduğu durumda da analiz daha az sayıda noktayı yakalamaktadır. Çizelgelerdeki ilgisiz sonuçlar sütunu, yakalanan yer değiştirmiş nokta sayısı; gerçekte yer değiştiren nokta sayısı ile aynı olmasına rağmen, olması gerekenden noktalardan farklı noktaların yakalandığı durumu ifade etmektedir.

Koch yönteminde, gerçekte yer değiştiren nokta sayısı 1 olduğu durumda 8.51%, 2 olduğu durumda 1.08% ve 3 olduğu durumda 0.1% II. Tür hata oluşmaktadır. Gerçekte yer değiştiren nokta sayısı 2 olduğunda Koch yöntemi sadece bir tanesini 15.85% oranında yakalamaktadır. Koch yöntemi, S – Dönüşümü yönteminden daha başarılı sonuçlar vermektedir. S – Dönüşümü yönteminden farklı olarak ağda yer değiştiren nokta sayısından daha fazla noktanın yer değiştirdiği durumların oranı yüksektir.

Bağıl Güven Elipsi yönteminde ise asıl hata kaynağı simülasyonda var olan yer değiştirmiş nokta sayısından daha fazla nokta analiz sonucunda yakalanmasıdır. Hatalı sonuçların dağılımı, S - Dönüşümü yöntemine göre biraz farklılık göstermektedir.

Robust yöntemlerden sadece Danimarka yöntemi örnek verilmiştir, fakat diğer yöntemlerde benzer dağılımı vermektedir. Simülasyonda yer değiştiren nokta sayısının 1 olduğu durumda başarı oranları çok yüksektir. Analizde simülasyonda yer değiştiren nokta sayısı artmasına rağmen, yöntem sadece bir tanesini daha büyük başarı oranı yakalamaktadır.

Analizler sonucunda tüm ağlarda, ağda sadece bir nokta olması durumunda, yöntemlerin en iyi sonuçları verdiği görülmektedir. Buradan yola çıkarak, EKK kestiriminin yayma etkisini ve F-testinin yetersizliğini ortadan kaldırmak amacıyla yeni bir analiz stratejisi ortaya konmuştur. Bu yöntemde mevcut ağın alt ağlara ayrılarak, ayrı ayrı analiz edilmesi amaçlanmaktadır. Böylelikle her bir alt ağda sadece bir obje noktası ve diğer tüm referans noktaları yer almıştır. Ayrıca, obje noktaları arasındaki etkileşimi de engellemek amacıyla obje noktaları arasındaki bağlantılar da göz ardı edilmiştir.

4.2.1 Yatay Kontrol Ağında Tüm Ağın Birlikte Analiz Edilmesi

Deformasyon analizinin güvenilirliğinin ve yeni yaklaşımın avantajlarının ortaya konması amacıyla öncelikle ağın bir bütün olarak ele alındığı durumda OBO değerleri elde edilmiştir. Yer değiştirmeler sadece Şekil 4.1' deki A, B ve C olarak gösterilen obje noktalarına eklenmiştir. OBO değerleri (r, 2r) ve (r, 3r) aralıklarında farklı sayıdaki yer değiştirmiş nokta için elde edilmiştir. S-Dönüşümü, Koch yöntemi, Bağıl Güven Elipsi ve Robust yöntemler için sonuçlar sırasıyla Çizelge 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10 da verilmektedir. Bu çizelgelerdeki (r, 2r) aralığındaki OBO' ları Çizelge 4.2, 4.3 4.4 ve 4.5' tekilerle aynıdır. Farklı olarak standart sapmaları da verilmiştir.

Çizelge 4. 6 S - Dönüşümü için OBO ve standart sapma değerleri

Simülasyonda yer değiştirmiş nokta sayısı	I.Tür Hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)
Yer değiştirme aralığı (r, 2r)	5.9	72.8±7.0	60.8±8.7	53.6±9.0
Yer değiştirme aralığı (r, 3r)		83.3±7.2	75.8±7.2	71.3±7.3

Çizelge 4. 7 Koch yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri

Simülasyonda yer değiştirmiş nokta sayısı	I.Tür Hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)
Yer değiştirme aralığı (r, 2r)	14.4	77.7±10.5	69.8±9.6	62.9±9.5
Yer değiştirme aralığı (r, 3r)		82.6±10.7	78.9±9.7	73.1±8.6

Çizelge 4. 8 Bağlı güven elipsi yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri

Simülasyonda yer değiştirmiş nokta sayısı	I.Tür Hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)
Yer değiştirme aralığı (r, 2r)	14.5	81.3±12.8	82.7±10.2	83.8±8.7
Yer değiştirme aralığı (r, 3r)		82.7±12.9	85.8±10.5	88.8±8.8

Çizelge 4. 9 Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r, 2r)

Simülasyonda yer değiştirmiş nokta sayısı	I.Tür Hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)
Danimarka	77.9	92.1±5.2	43.6±7.5	0±0
Huber	54.4	93.1±4.8	23.2±5.2	0±0
Hampel	54.4	93.1±4.8	23.2±5.2	0±0
L ₁ norm	81.4	89.9±5.7	50.2±8.0	2.9±1.9
LAS	73.3	92.1±5.2	48.5±8.5	0.9±1.0
Andrews	90.8	89.7±5.9	56.7±7.9	4.3±2.3
BTukey	91.9	88.7±6.1	59.1±7.9	6.0±2.8

Çizelge 4. 10 Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r, 3r)

Simülasyonda yer değiştirmiş nokta sayısı	1 (%)	2 (%)	3 (%)
Danimarka	95.9±3.2	43.5±5.7	0.4±0.6
Huber	96.4±3.0	25.2±4.7	0±0
Hampel	96.4±3.0	25.2±4.7	0±0
L ₁ norm	94.6±3.6	52.4±6.4	3.6±1.9
LAS	95.8±3.2	50.7±6.2	1.7±1.3
Andrews	94.5±3.7	56.1±6.3	3.9±2.0
BTukey	94.0±3.7	58.3±6.3	5.6±2.3

S – Dönüşümü ve Koch yöntemlerinde en büyük OBO değeri, yalnızca bir noktanın yer değiştirmiş olması durumunda çıkmaktadır. Bağlı Güven Elipsi yöntemi için farklı yer değiştirmiş nokta sayıları için OBO oranları yaklaşık olarak aynıdır. Bu yöntem için çok önemli bir özelliktir. Ayrıca, yer değiştirmenin büyüklüğü arttığında OBO değeri de

artmaktadır. Yer deęiřtiren nokta sayısı arttıęında OBO oranının dūřmesinin nedeni EKK kestiriminin yayma etkisi ve F-testinin yetersizlięidir. Kūçük genlikli yer deęiřtirmelerde, en būyūk OBO deęeri, tekbir noktanın yer deęiřtirmiř olması durumunda ortaya çıkmasına raęmen, bu deęer (yaklařık 70%) deformasyon analizi için yeterli deęildir.

Robust yōntemler uygulandıęında (r , $2r$) aralıęında tekbir noktanın yer deęiřtirmiř olması durumunda OBO, dięer yōntemlere iliřkin deęerlerden bariz olarak daha būyūk çıkmasına karřın, yer deęiřtirme yokken yūksek oranda yer deęiřtirme varmıř gibi sonuç çıkmaktadır (I. Tūr hata). Ayrıca, yer deęiřtirmiř nokta sayısı artınca OBO dięer yōntemlerden daha hızlı dūřmektedir. Bu, robust yōntemleri gūvensiz bir duruma sokmaktadır.

Çizelge 4.8' de gōrūldūęu gibi Baęıl Gūven Elipsi yōntemi dięer yōntemlere gōre daha iyi sonuçlara sahiptir. Yer deęiřtiren nokta sayısı arttıa OBO oranı deęerlerinin yaklařık olarak aynı kalması önemli bir özelliktir. Fakat bu yōntemin bir dezavantajı, aęda yer deęiřtirmiř nokta olmadıęı halde varmıř gibi gōstermesidir (14.5% lik bir I. Tūr hata).

4.2.2 Yatay Kontrol Ağında Alt Ağların Analiz Edilmesi

Çizelge 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9' dan elde edilen analiz yōntemlerinin OBO deęerleri deformasyon analizi gibi yūksek gūvenilirlik gerektiren bir konu için yeterli dūzeyde olmadıęı gōrūlmektedir. Analiz sonuçları EKK yōnteminin yayma etkisinden ve F-testinin yetersizlięinden etkilenmektedir. Bu durumu dūzeltmek amacıyla tūm aęı aynı anda analiz etmek yerine, aęı alt aęlara bōlerek analiz etme yōntemi önerilmiřtir. Bu řekilde her bir alt aę sadece bir obje noktası içerecektir. Alt aęlar oluřturulurken I numaralı alt aę, A obje noktasını ve 11, 12, 13, 14, 15 ve 16 numaralı referans noktalarını, II numaralı alt aę B obje noktasını ve tūm referans noktalarını, III numaralı alt aę C obje noktasını ve tūm referans noktalarını içermektedir. Her bir alt aę için serbestlik derecesi 30' dur.

Yer deęiřtirmeler sadece obje noktalarına eklenmiřtir. Her bir alt aęa S-Dōnūřūmū, Koch yōntemi, Baęıl Gūven Elipsi yōntemi ve robust yōntemler uygulanmıřtır. Elde

edilen OBO değerleri ve standart sapmaları Çizelge 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 ve 4.15' de verilmektedir.

Çizelge 4. 11 Alt ağlarda S - Dönüşümü için OBO ve standart sapma değerleri

Alt Ağlar	I.Tür Hata (Ortalama) (%)	I (%)	II (%)	III (%)	Ortalama (%)
Yer değiştirme aralığı $r - 2r$	4.8	73.1±9.6	79.9±7.7	75.2±7.9	76.1
Yer değiştirme aralığı $r - 3r$		83.7±8.5	86.8±6.8	84.7±6.3	85.1

Çizelge 4. 12 Alt ağlarda Koch yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri

Alt Ağlar	I.Tür Hata (Ortalama) (%)	I (%)	II (%)	III (%)	Ortalama (%)
Yer değiştirme aralığı $r - 2r$	9.1	75.5±10.4	82.0±10.4	80.0±8.8	79.2
Yer değiştirme aralığı $r - 3r$		83.3±10.4	86.9±10.3	85.9±8.5	85.4

Çizelge 4. 13 Alt ağlarda Bağlı Güven Elipsi yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri

Alt Ağlar	I.Tür Hata (Ortalama) (%)	I (%)	II (%)	III (%)	Ortalama (%)
Yer değiştirme aralığı $r - 2r$	5.7	90.3±8.9	92.1±7.8	90.6±7.4	91.0
Yer değiştirme aralığı $r - 3r$		92.3±9.1	93.1±7.8	92.6±7.2	92.7

Çizelge 4. 14 Alt ağlarda Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r, 2r)

Alt Ağlar	I.Tür Hata (Ortalama) (%)	I (%)	II (%)	III (%)	Ortalama (%)
Danimarka	63.5	90.7±6.1	94.1±4.4	92.9±4.5	92.6
Huber	34.5	88.4±6.9	92.7±4.9	91.1±5.3	90.7
Hampel	34.5	88.4±6.9	92.7±4.9	91.1±5.3	90.7
L ₁ norm	76.6	89.6±6.6	90.9±6.2	91.0±5.6	90.5
LAS	64.7	91.7±6.2	93.6±5.3	93.1±4.9	92.8
Andrews	85.0	91.0±6.6	93.9±5.1	93.0±4.7	92.6
BTukey	89.0	90.5±6.9	92.4±5.9	91.7±5.5	91.5

Çizelge 4. 15 Alt ağlarda Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r, 3r)

Alt Ağlar	I (%)	II (%)	III (%)	Ortalama (%)
Danimarka	95.0±4.0	96.9±2.7	96.3±2.8	96.1
Huber	93.7±4.6	96.2±2.8	95.3±3.3	95.1
Hampel	93.7±4.6	96.2±2.8	95.3±3.3	95.1
L ₁ norm	94.4±4.1	95.1±3.6	95.3±3.3	94.9
LAS	95.5±3.9	96.7±2.9	96.5±2.7	96.2
Andrews	95.2±3.9	96.8±3.1	96.3±3.0	96.1
BTukey	94.9±4.1	96.0±3.4	95.7±3.3	95.5

Çizelgelerde “I. Tür hata” sütunu, H_0 hipotezi doğru iken reddedilme durumlarının oranını göstermektedir. “Ortalama” sütunun da ise 3 alt ağa ilişkin başarı oranlarının ortalaması alınmış ve ağda 3 nokta yer değiştirdiği durumda yöntemin başarı oranı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 ve Çizelge 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 karşılaştırıldığında alt ağlar oluşturularak yapılan analiz işleminin tüm ağı analiz etmeye göre daha etkin sonuçlar verdiği görülmektedir. Özellikle yer değiştirmiş nokta sayısının birden fazla olması durumunda alt ağlara göre yapılan analiz daha iyi sonuçlar vermektedir. Yeni yaklaşımda tüm analiz yöntemlerinde artış olmasına rağmen özellikle Bağıl Güven Elipsi yöntemi en etkili sonuçlar vermektedir. OBO değeri (r, 2r) aralığındaki yer değiştirmeler için 91%' e çıkmaktadır. Ayrıca, ağda yer değiştiren nokta olmaması durumunda I. Tür hata 14.5%' ten 5.7%'ye düşmektedir.

Alt ağ analizinde robust yöntemlerin OBO değerleri çok yüksektir. Ağda 3 nokta yer değiştirdiğinde en az 90% başarı ile yer değiştiren noktalar yakalanmaktadır. Fakat robust yöntemlerin I. Tür hata oranları çok yüksektir. Ağda yer değiştiren nokta bulunmadığında bazı noktalar yer değiştirmiş olarak belirlenmektedir. Bu nedenle robust yöntemlerin sonuçları güvenilir değildir.

4.3 GPS Ağında Analizler

GPS ağlarında deformasyon analizinden elde edilen yanlış sonuçların nedenlerini araştırmak amacıyla öncelikle (r, 2r) aralığındaki yer değiştirme büyüklükleri için analiz gerçekleştirilmiştir. GPS ağının simülasyonunda (4.11) eşitliğindeki ağırlık matrisinde varyansların dikkate alındığı durum göz önünde bulundurulmuştur. S-Dönüşümü, Koch yöntemi, Bağıl Güven Elipsi ve Robust yöntemlerden Danimarka yöntemi için sonuçlar sırasıyla Çizelge 4.16, 4.17, 4.18 ve 4.19' de verilmektedir.

Çizelge 4. 16 S – Dönüşümü yönteminin OBO (GPS ağı)

Simülasyonda Yer Değiştiren Nokta Sayısı	Analiz Sonucunda Belirlenen Nokta Sayısı							
	II. Tür hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	İlgisiz Sonuçlar (%)
1	20.74	73.46	4.51	0.34	0.03	0	0	0.92
2	1.76	30.52	61.64	4.23	0.33	0.02	0	1.5
3	0.08	3.54	34.78	54.74	4.37	0.31	0.02	2.16

Çizelge 4. 17 Koch yönteminin OBO (GPS ağı)

Simülasyonda Yer Değiştiren Nokta Sayısı	Analiz Sonucunda Belirlenen Nokta Sayısı							
	İl. Tür hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	İlgisiz Sonuçlar (%)
1	7.18	80.59	10.2	0.91	0.09	0.01	0	1.02
2	0.77	12.8	75.17	8.85	0.75	0.07	0.02	1.57
3	0.06	1.85	16.94	71.56	6.87	0.59	0.04	2.09

Çizelge 4. 18 Bağlı Güven Elipsi Yönteminin OBO (GPS ağı)

Simülasyonda Yer Değiştiren Nokta Sayısı	Analiz Sonucunda Belirlenen Nokta Sayısı					
	İl. Tür hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	İlgisiz Sonuçlar (%)
1	3.02	82.5	13.95	0.29	0	0.24
2	0.1	6.22	83.53	9.81	0	0.34
3	0	0.36	9.39	84.8	5.45	0

Çizelge 4. 19 Danimarka Yönteminin OBO (GPS ağı)

Simülasyonda Yer Değiştiren Nokta Sayısı	Analiz Sonucunda Belirlenen Nokta Sayısı					
	İl. Tür hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	İlgisiz Sonuçlar (%)
1	2.91	94.45	1.23	0	0	1.41
2	1.55	72.64	25.72	0	0	0.09
3	14.83	74.60	10.57	0	0	0

Çizelge 4.16, 4.17, 4.18 ve 4.19’ daki gölgeli alanlar hatalı sonuçları göstermektedir. “II. Tür Hata” sütunu, doğru olmadığı halde H_0 hipotezinin kabul edildiği durumları göstermektedir.

GPS ağında da yatay kontrol ağına benzer sonuçlar elde edilmiştir. S- Dönüşümünü yönteminde, gerçekte yer değiştiren nokta sayısı 1 olduğu durumda 20.74%, iki olduğu durumda 1.76% ve 3 olduğu durumda 0.08% II. Tür hata oluşmaktadır. Gerçekte yer değiştiren nokta sayısı 2 olduğunda S - Dönüşümü sadece bir tanesini 30.52% oranında yakalamaktadır. Gerçekte 3 yer değiştirme olduğu durumda da analiz daha az sayıda noktayı yakalamaktadır. Çizelgelerdeki ilgisiz sonuçlar sütünü, yakalanan yer değiştirmiş nokta sayısı; gerçekte yer değiştiren nokta sayısı ile aynı olmasına rağmen, yanlış noktaların yakalandığı durumu ifade etmektedir. Koch yönteminde, gerçekte yer değiştiren nokta sayısı 1 olduğu durumda 7.18%, iki olduğu durumda 0.77% ve 3 olduğu durumda 0.06%’ lık II. Tür Hata oluşmaktadır. Gerçekte yer değiştiren nokta sayısı 2 olduğunda Koch yöntemi sadece bir tanesini 12.80% oranında yakalamaktadır. Koch yöntemi, S – Dönüşümü yönteminden daha başarılı sonuçlar vermektedir. S – Dönüşümü yönteminden farklı olarak ağda yer değiştiren nokta sayısından daha fazla noktanın yer değiştirdiği durumların oranı yüksektir.

Bağıl Güven Elipsi yönteminde yatay kontrol ağında olduğu gibi esas hata kaynağı simülasyonda var olan yer değiştirmiş nokta sayısından daha fazla nokta analiz sonucunda yakalanmaktadır. Hatalı sonuçların dağılımı, S - Dönüşümü yöntemine göre biraz farklılık göstermektedir.

Robust yöntemlerden sadece Danimarka yöntemi örnek verilmiştir, fakat diğer yöntemlerde benzer sonuçları vermektedir. Simulasyonda yer değiştiren nokta sayısının 1 olduğu durumda başarı oranları çok yüksektir. Analizde simülasyonda yer değiştiren nokta sayısı artmasına rağmen, yöntem sadece bir tanesini yakalamaktadır.

4.3.1 GPS Ağında Tüm Ağın Birlikte Analiz Edilmesi

GPS ağının analizinde iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Baz bileşenleri arasındaki sadece varyansların dikkate alındığı (4.11) eşitliği ile tanımlanan model ve varyans

kovaryansların dikkate alındığı (4.12a), (4.12b) ile tanımlanan model. Her iki model için de analizler gerçekleştirilmiştir.

4.3.1.1 Baz Bileşenleri Arasında Varyansların Dikkate Alındığı Durum

Deformasyon analizinin güvenilirliğinin ve yeni yaklaşımın avantajlarının GPS ağlarında ortaya konması amacıyla öncelikle ağın bir bütün olarak ele alındığı durumda OBO değerleri elde edilmiştir. Yer değiştirmeler sadece Şekil 4.5' teki OBC1, OBC2 ve OBC3 olarak gösterilen obje noktalarına eklenmiştir. OBO değerleri (r, 2r) ve (r, 3r) büyüklükleri arasında farklı sayıdaki yer değiştirmiş nokta için elde edilmiştir. Sonuçlar S-Dönüşümü, Koch yöntemi, Bağlı Güven Elipsi ve Robust yöntemler için sırasıyla Çizelge 4.20, 4.21, 4.22, 4.23 ve 4.24' te verilmektedir.

Çizelge 4. 20 S - Dönüşümü için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyansların dikkate alındığı durum)

Simülasyonda yer değiştirmiş nokta sayısı	I.Tür Hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)
Yer değiştirme aralığı (r, 2r)	4.8	73.5±7.8	61.6±9.8	54.7±10.6
Yer değiştirme aralığı (r, 3r)		83.5±5.5	76.0±6.5	71.0±7.7

Çizelge 4. 21 Koch yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyansların dikkate alındığı durum)

Simülasyonda yer değiştirmiş nokta sayısı	I.Tür Hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)
Yer değiştirme aralığı (r, 2r)	13.1	80.6±10.6	75.2±9.8	71.6±8.9
Yer değiştirme aralığı (r, 3r)		84.1±11.0	82.2±9.9	80.1±9.1

Çizelge 4. 22 Bağlı güven elipsi yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyansların dikkate alındığı durum)

Simülasyonda yer değiştirmiş nokta sayısı	I.Tür Hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)
Yer değiştirme aralığı (r, 2r)	18.3	82.5±10.7	83.5±9.0	84.8±7.6
Yer değiştirme aralığı (r, 3r)		84.0±10.6	86.6±8.8	89.5±7.6

Çizelge 4. 23 Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r, 2r) (GPS ağı-varyansların dikkate alındığı durum)

Simülasyonda yer değiştirmiş nokta sayısı	I.Tür Hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)
Danimarka	58.4	94.4±3.5	25.7±6.1	0±0
Huber	38.9	94.3±3.8	14.3±4.4	0±0
Hampel	38.9	94.3±3.8	14.3±4.4	0±0
L ₁ norm	69.7	85.2±5.8	27.2±6.1	0.3±0.6
LAS	45.9	91.1±5.6	13.3±3.9	0±0
Andrews	74.7	93.0±4.6	34.6±7.1	0.3±0.6
BTukey	77.9	92.1±5.2	35.6±7.1	0.4±0.7

Çizelge 4. 24 Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r , $3r$) (GPS ağı-varyansların dikkate alındığı durum)

Simülasyonda yer değiştirmiş nokta sayısı	1 (%)	2 (%)	3 (%)
Danimarka	97.0±2.2	28.9±5.3	0±0
Huber	96.9±2.3	18.1±4.5	0±0
Hampel	96.9±2.3	18.1±4.5	0±0
L_1 norm	89.0±4.5	30.8±5.8	0.6±0.8
LAS	94.8±3.8	16.4±4.0	0±0
Andrews	96.2±2.7	35.2±5.6	0.4±0.7
BTukey	95.6±3.1	35.9±5.6	0.5±0.8

GPS ağının simülasyonunda, $S - Dönüşümü$ ve Koch yöntemlerinde en büyük OBO değeri bir yer değiştirmiş nokta olduğu durumdadır. Bağıl güven elipsi içinse farklı yer değiştirmiş nokta sayıları için OBO oranlarında fazla değişiklik olmamaktadır. Ayrıca, yer değiştirmenin büyüklüğü arttığında OBO değeri de artmaktadır. Yatay kontrol ağında olduğu gibi, yer değiştiren nokta sayısının arttığında OBO oranının düşmesinin nedeni EKK kestiriminin yayma etkisi ve F-testinin yetersizliğidir.

Robust yöntemler bir yer değiştirmiş noktanın yakalanmasında çok başarılı olmalarına rağmen, yer değiştiren nokta sayısı arttıkça başarı oranı hızlı bir şekilde düşmektedir. Özellikle ağda yer değiştirmiş nokta olmaması durumunda, bazı noktaları yüksek oranda yer değiştirmiş olarak ortaya koymaktadır (I. Tür hata). Bu durum robust yöntemleri güvensiz bir duruma sokmaktadır.

Çizelge 4.22' de görüldüğü gibi Bağıl Güven Elipsi yöntemi diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlara sahiptir. Özellikle yer değiştiren nokta sayısı artmasına rağmen OBO oranı değerlerinin yaklaşık olarak aynı kalması önemli bir özelliktir. Fakat bu yöntemin önemli bir dezavantajı, ağda yer değiştirmiş nokta olmaması durumunda, bazı noktaları yer değiştirmiş olarak ortaya koymasındır (18.3% lik I. Tür Hata).

4.3.1.2 Baz Bileşenleri Arasındaki Deneysel Varyans Kovaryansların Dikkate Alındığı Durum

Önceki bölümde baz bileşenleri arasındaki kovaryanslar dikkate alınmamış, sadece varyans değerleri dengeleme aşamasında dikkate alınmıştır. Bu bölümde ise varyans kovaryansların dikkate alındığı durum incelenecektir. Baz bileşenleri (Δn , Δe , Δu) arasındaki kovaryans değerlerinin büyüklüğüne karar verilirken mevcutta yapılan ölçülerin değerlendirilmesinden elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Q_{xx} kofaktör matrisi incelendiğinde farklı periyotlardaki ölçümlerde aynı baz bileşenleri (Δn , Δe , Δu) arasındaki korelasyon katsayısı değerlerinin işaretlerinin aynı olduğu ve büyüklük değerlerinin de birbirine yakın olduğu görülmüştür. Buradan yola çıkarak bu değerlerden bir periyoda ilişkin değerler alınarak (4.12a) eşitliği oluşturulmuştur. Yer değiştirmeler sadece Şekil 4.5' teki OBC1, OBC2 ve OBC3 olarak gösterilen obje noktalarına eklenmiştir. OBO değerleri (r , $2r$) ve (r , $3r$) büyüklükleri arasında farklı sayıdaki yer değiştirmiş nokta için elde edilmiştir. Sonuçlar S-Dönüşümü, Koch yöntemi, Bağlı Güven Elipsi ve Robust yöntemler için sırasıyla Çizelge 4.25, 4.26, 4.27, 4.28 ve 4.29' te verilmektedir.

Çizelge 4. 25 S - Dönüşümü için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum)

Simülasyonda yer değiştirmiş nokta sayısı	I.Tür Hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)
Yer değiştirme aralığı $r - 2r$	10.7	68.0±9.1	55.9±9.3	48.4±9.7
Yer değiştirme aralığı $r - 3r$		77.5±9.5	69.8±9.2	64.1±9.4

Çizelge 4. 26 Koch yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum)

Simülasyonda yer değiştirmiş nokta sayısı	I.Tür Hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)
Yer değiştirme aralığı $r - 2r$	16.1	75.9±11.2	69.5±10.8	64.5±10.5
Yer değiştirme aralığı $r - 3r$		80.0±11.5	77.4±10.8	74.5±10.2

Çizelge 4. 27 Bağıl Güven Elipsi yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum)

Simülasyonda yer değiştirmiş nokta sayısı	I.Tür Hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)
Yer değiştirme aralığı $r - 2r$	32.0	64.3±19.9	67.3±18.8	67.2±18.1
Yer değiştirme aralığı $r - 3r$		69.04±20.2	70.3±19.4	71.7±19.1

Çizelge 4. 28 Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r , $2r$) (GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum)

Simülasyonda yer değiştirmiş nokta sayısı	I.Tür Hata (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)
Danimarka	59.6	93.2±4.0	24.6±6.6	0±0
Huber	39.5	93.2±4.1	13.5±4.7	0±0
Hampel	39.5	93.2±4.1	13.5±4.7	0±0
L_1 norm	70.2	79.5±6.2	25.7±6.5	0.4±0.7
LAS	47.5	89.7±5.4	12.5±4.0	0±0
Andrews	75.6	91.8±4.9	32.9±7.2	0.3±0.5
BTukey	78.9	90.7±5.6	33.9±7.1	0.4±0.6

Çizelge 4. 29 Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r , $3r$) (GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum)

Simülasyonda yer değiştirmiş nokta sayısı	1 (%)	2 (%)	3 (%)
Danimarka	96.2±2.6	28.0±5.1	0±0
Huber	96.3±2.6	18.0±4.4	0±0
Hampel	96.3±2.6	18.0±4.4	0±0
L_1 norm	83.7±4.1	29.1±5.8	0.5±0.7
LAS	94.1±3.6	15.9±3.9	0±0
Andrews	95.5±3.0	34.8±5.3	0.4±0.7
BTukey	95.0±3.4	35.7±5.4	0.6±0.8

Baz bileşenleri arasındaki deneysel kovaryansların dikkate alındığı durumda elde edilen sonuçların güvenilirlikleri, sadece varyansların dikkate alındığı duruma göre daha düşüktür. Özellikle bağıl güven elipsi yönteminde ağda yer değiştirmiş nokta yokken, analiz sonucunda bazı noktalar yer değiştirmiş olarak belirlenmektedir. Bu durumda da başarı oranı düşmektedir. Önceki bölümdeki sonuçlara benzer olarak, S – Dönüşümü ve Koch yöntemlerinde en büyük OBO değerleri, bir yer değiştirmiş nokta olduğu durumdadır. Ayrıca, yer değiştirmenin büyüklüğü arttığında OBO değeri de artmaktadır.

Robust yöntemler varyans kovaryansların dikkate alınması durumunda çok az etkilenmektedir. Bunun nedeni, oluşturulan benzerlik analizi modelinde tüm ölçülerin ağırlığının eşit alınmasıdır. Robust yöntemler bir yer değiştirmiş noktanın yakalanmasında çok başarılı olmalarına rağmen, yer değiştiren nokta sayısı arttıkça başarı oranı hızlı bir şekilde düşmektedir. Özellikle ağda yer değiştirmiş nokta olmaması durumunda, bazı noktaları yüksek oranda yer değiştirmiş olarak ortaya koymaktadır (I. Tür hata). Bu durum robust yöntemleri güvensiz bir duruma sokmaktadır. Bunun nedeni stokastik modelin koordinat dönüşümü modelinde tam olarak yansıtılamamasıdır.

4.3.2 GPS Ağında Alt Ağların Analiz Edilmesi

Alt ağların analizinde de iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Baz bileşenleri arasındaki sadece varyansların dikkate alındığı (4.11) eşitliği ile tanımlanan model ve varyans kovaryansların dikkate alındığı (4.12a), (4.12b) ile tanımlanan model. Her iki model için de analizler gerçekleştirilmiştir.

4.3.2.1 Baz Bileşenleri Arasında Varyansların Dikkate Alındığı Durum

Yatay kontrol ağında yöntemlerin başarı oranlarını artırmak için uygulanan alt ağlara bölme yaklaşımı GPS ağında da uygulanmıştır. Tüm ağ birlikte analiz edildiğinde ağdaki obje noktaları birbirinden etkilenmekte ve yanlış sonuçların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Analiz sonuçları EKK yönteminin yayma etkisinden ve F-testinin yetersizliğinden etkilenmektedir. Bu durumu engellemek amacıyla tüm ağ aynı anda analiz etmek yerine, ağ alt ağlara bölerek analiz etme yöntemi önerilmiştir. Bu şekilde her bir alt ağ sadece bir tane obje noktası içerecektir. I numaralı alt ağ OBC1 obje noktasını ve ISTA, SARY, ISTN, SLEE, KABR ve TUBI isimli referans noktalarını, II numaralı alt ağ OBC2 obje noktası ve tüm referans noktalarını, III numaralı alt ağ OBC3 obje noktası ve tüm referans noktalarını içermektedir.

Yer değiştirmeler sadece obje noktalarına eklenmiştir. Her bir alt ağa S-Dönüşümü, Koch yöntemi, Bağıl Güven Elipsi yöntemi ve Robust yöntemler uygulanmıştır. Elde edilen OBO değerleri ve standart sapmaları Çizelge 4.30, 4.31, 4.32, 4.33 ve 4.34' de verilmektedir.

Çizelge 4. 30 Alt ağlarda S - Dönüşümü için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyans dikkate alındığı durum)

Alt Ağlar	I.Tür Hata (Ortalama) (%)	I (%)	II (%)	III (%)	Ortalama (%)
Yer değiştirme aralığı $r - 2r$	7.1	77.3±9.9	76.5±10.9	76.6±8.2	76.8
Yer değiştirme aralığı $r - 3r$		85.3±9.0	84.4±10.6	85.3±6.5	85.0

Çizelge 4. 31 Alt ağlarda Koch yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyans dikkate alındığı durum)

Alt Ağlar	I.Tür Hata (Ortalama) (%)	I (%)	II (%)	III (%)	Ortalama (%)
Yer değiştirme aralığı $r - 2r$	9.8	83.0±10.5	82.9±12.2	83.7±9.2	83.2
Yer değiştirme aralığı $r - 3r$		87.3±10.7	86.8±12.5	88.1±9.2	87.4

Çizelge 4. 32 Alt ağlarda Bağlı Güven Elipsi yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyans dikkate alındığı durum)

Alt Ağlar	I.Tür Hata (Ortalama) (%)	I (%)	II (%)	III (%)	Ortalama (%)
Yer değiştirme aralığı $r - 2r$	10.3	90.7±9.7	90.1±11.7	91.2±7.4	90.7
Yer değiştirme aralığı $r - 3r$		92.5±9.8	91.6±12.0	93.2±7.6	92.4

Çizelge 4. 33 Alt ağlarda Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r , $2r$) (GPS ağı-varyans dikkate alındığı durum)

Alt Ağlar	I.Tür Hata (Ortalama) (%)	I (%)	II (%)	III (%)	Ortalama (%)
Danimarka	49.8	90.3±6.1	90.8±6.2	90.7±5.6	90.6
Huber	26.7	86.2±7.5	86.5±8.2	86.2±7.7	86.3
Hampel	26.7	86.2±7.5	86.5±8.2	86.2±7.7	86.3
L_1 norm	67.7	77.9±7.3	78.2±8.2	77.8±7.0	77.9
LAS	37.8	80.9±8.7	81.0±9.3	80.6±9.4	80.8
Andrews	71.2	91.0±6.0	91.4±6.2	91.0±5.8	91.1
BTukey	76.6	90.0±6.2	90.5±6.6	89.9±6.6	90.1

Çizelge 4. 34 Alt ağlarda Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r , $3r$)
(GPS ağı-varyans dikkate alındığı durum)

Alt Ağlar	I (%)	II (%)	III (%)	Ortalama (%)
Danimarka	94.7±3.4	94.8±3.9	95.2±3.2	94.9
Huber	92.5±4.4	92.5±4.9	92.8±4.3	92.6
Hampel	92.5±4.4	92.5±4.9	92.8±4.3	92.6
L ₁ norm	83.8±5.0	84.2±5.9	84.2±4.6	84.1
LAS	89.3±5.4	89.3±5.8	89.5±5.8	89.4
Andrews	95.0±3.6	95.2±3.7	95.3±3.4	95.2
BTukey	94.4±3.8	94.7±3.9	94.7±3.8	94.6

Çizelgelerde “I. Tür Hata” sütunu H_0 hipotezi doğru iken reddedilme durumlarının oranını göstermektedir. “Ortalama” sütunun da ise 3 adet alt ağın başarı oranlarının ortalaması alınmış ve ağda 3 nokta yer değiştirdiği durumda yöntemin başarı oranı olarak gösterilmiştir.

Tüm ağın analizi ve alt ağlara ilişkin sonuçlar karşılaştırıldığında alt ağlar oluşturularak yapılan analiz işleminin tüm ağı analiz etmeye göre daha etkin sonuçlar verdiği görülmektedir. Özellikle yer değiştirmiş nokta sayısının birden fazla olması durumunda yeni yöntem daha iyi sonuçlar vermektedir. Yeni yaklaşımda tüm analiz yöntemlerinde artış olmasına rağmen özellikle bağıl güven elipsi yöntemi en etkili sonuçlar vermektedir. OBO değeri (r , $2r$) aralığındaki yer değiştirmeler için 90.7%’ e çıkmaktadır. Ayrıca, ağda yer değiştiren nokta olmaması durumunda I. Tür Hata 18.3%’ ten 10.3%’e düşmektedir.

Robust yöntemler yüksek başarı oranı vermesine karşın, ağda yer değiştiren nokta olmaması durumunda yüksek oranda yanlış sonuç vermektedir. Bu durumda sonuçların güvenilirliği düşmektedir. Ayrıca, robust yöntemlerin başarı oranlarına, tek nokta analiz edildiğinde alt ağların uygulanmasında bir düşüş olmaktadır. Bu durum benzerlik

dönüşümünden kaynaklanmaktadır. Benzerlik dönüşümünde alt ağlarda ölçü sayısı azaldığı için bu durum ortaya çıkmaktadır.

4.3.2.2 Baz Bileşenleri Arasında Varyans Kovaryansların Dikkate Alındığı Durum

Baz bileşenleri arasında sadece varyansların dikkate alındığı alt ağların analizi yaklaşımı, varyans kovaryansların dikkate alındığı durumda da uygulanmıştır. Aynı altağlar oluşturulmuştur. Yer değiştirmeler sadece obje noktalarına eklenmiştir. Her bir alt ağa S-Dönüşümü, Koch yöntemi, Bağlı Güven Elipsi yöntemi ve Robust yöntemler uygulanmıştır. Elde edilen OBO değerleri ve standart sapmaları Çizelge 4.35, 4.36, 4.37, 4.38 ve 4.39' de verilmektedir.

Çizelge 4. 35 Alt ağlarda S - Dönüşümü için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum)

Alt Ağlar	I.Tür Hata (Ortalama) (%)	I (%)	II (%)	III (%)	Ortalama (%)
Yer değiştirme aralığı $r - 2r$	14.9	69.8±12.2	68.3±13.1	69.5±11.1	69.2
Yer değiştirme aralığı $r - 3r$		77.9±13.0	76.5±13.7	78.0±11.5	77.4

Çizelge 4. 36 Alt ağlarda Koch yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum)

Alt Ağlar	I.Tür Hata (Ortalama) (%)	I (%)	II (%)	III (%)	Ortalama (%)
Yer değiştirme aralığı $r - 2r$	13.4	77.8±12.1	76.9±11.8	77.6±11.1	77.4
Yer değiştirme aralığı $r - 3r$		83.1±12.4	81.9±12.3	83.2±11.2	82.7

Çizelge 4. 37 Alt ağlarda Bağlı Güven Elipsi yöntemi için OBO ve standart sapma değerleri (GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum)

Alt Ağlar	I.Tür Hata (Ortalama) (%)	I (%)	II (%)	III (%)	Ortalama (%)
Yer değiştirme aralığı $r - 2r$	24.5	74.8±20.4	73.0±21.6	75.8±19.1	74.5
Yer değiştirme aralığı $r - 3r$		76.7±21.1	74.7±22.2	77.8±19.8	76.4

Çizelge 4. 38 Alt ağlarda Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r , $2r$) (GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum)

Alt Ağlar	I.Tür Hata (Ortalama) (%)	I (%)	II (%)	III (%)	Ortalama (%)
Danimarka	50.7	88.7±6.3	89.5±6.8	88.5±6.2	88.9
Huber	27.5	84.1±8.1	84.6±8.4	83.8±7.9	84.2
Hampel	27.5	84.1±8.1	84.6±8.4	83.8±7.9	84.2
L_1 norm	68.9	75.2±8.1	76.1±8.1	75.4±8.1	75.6
LAS	38.9	78.3±9.8	78.4±10.2	78.1±9.6	78.2
Andrews	72.6	89.4±6.2	90.1±6.6	88.9±6.4	89.5
BTukey	77.3	88.4±6.5	89.0±7.0	87.9±6.9	88.5

Çizelge 4. 39 Alt ağlarda Robust yöntemler için OBO ve standart sapma değerleri (r, 3r)
(GPS ağı-varyans kovaryansların dikkate alındığı durum)

Alt Ağlar	I (%)	II (%)	III (%)	Ortalama (%)
Danimarka	93.8±3.7	94.2±4.3	94.0±3.8	94.0
Huber	91.4±4.6	91.5±5.4	91.4±4.7	91.4
Hampel	91.4±4.6	91.5±5.4	91.4±4.7	91.4
L ₁ norm	82.1±5.6	83.0±5.2	82.7±5.4	82.6
LAS	87.7±6.0	87.7±6.9	87.8±6.0	87.7
Andrews	94.0±3.9	94.5±4.1	94.2±3.8	94.2
BTukey	93.4±4.2	93.8±4.4	93.7±4.2	93.6

Çizelgelerde “I. Tür Hata”, H_0 hipotezi doğru iken reddedilme durumlarının oranını göstermektedir.

Baz bileşenleri arasında varyans kovaryansların dikkate alındığı tüm ağın analizi ve alt ağlara ilişkin sonuçlar karşılaştırıldığında alt ağlar oluşturularak yapılan analiz işleminin tüm ağı analiz etmeye göre daha etkin sonuçlar verdiği görülmektedir. Özellikle yer değiştirmiş nokta sayısının birden fazla olması durumunda yeni yöntem daha iyi sonuçlar vermektedir.

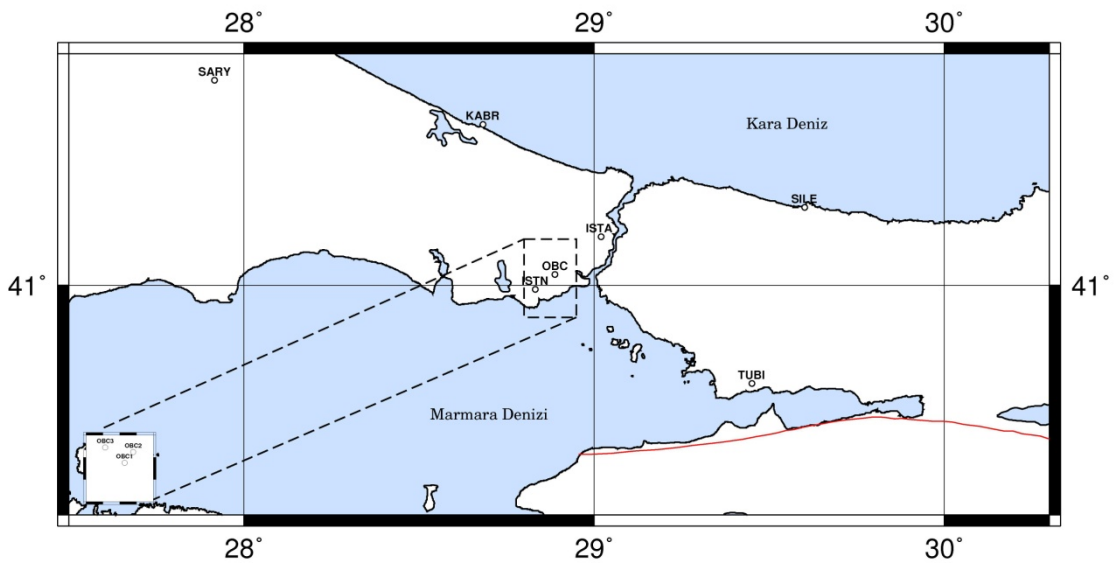
Robust yöntemler yüksek başarı oranı vermesine karşın, ağda yer değiştiren nokta olmaması durumunda yüksek oranda yanlış sonuç vermektedir. Bu durumda sonuçların güvenilirliği düşmektedir. Ayrıca, robust yöntemlerin başarı oranlarına, tek nokta analiz edildiğinde alt ağların uygulanmasında bir düşüş olmaktadır. Bu durum benzerlik dönüşümünden kaynaklanmaktadır. Benzerlik dönüşümünde alt ağlarda ölçü sayısı azaldığı için bu durum ortaya çıkmaktadır.

Baz bileşenleri arasındaki kovaryansların dikkate alındığı durumda elde edilen sonuçların güvenilirlikleri, sadece varyansların dikkate alındığı duruma göre daha

düşüktür. Baz bileşenleri arasındaki kovaryanslar analiz yöntemlerinin başarı oranlarını kötü etkilemektedir.

DEFORMASYON ANALİZİ GÜVENİLİRLİĞİNİN GPS AĞINDA ARAŞTIRILMASI

Bölüm 4’ te yatay kontrol ağı ve GPS ağı için simülasyonlar yapılmıştır. Ağın tüm obje noktalarını içerecek şekilde değil de, alt ağlara bölünerek analiz edilmesi sonucunda başarı oranı artmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçlarının gerçek ölçülerin yapıldığı GPS ağında test edilmesi amacıyla gerçek bir ağ kurulmuş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.5’ teki GPS ağı 9 noktadan oluşmaktadır. Ağda 3 nokta (OBC1, OBC2, OBC3) YTÜ, Davutpaşa yerleşkesi içerisinde, dört nokta CORS noktası (SARY, KABR, SLEE, ISTN) ve iki nokta IGS noktası (ISTA, TUBI) olarak tasarlanmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5. 1 GPS ağındaki noktaların dağılımı

5.1 GPS Ölçülerinin Gerçekleştirilmesi ve Farklı Senaryoların Oluşturulması

Günümüzde uydu jeodezisindeki gelişmelere paralel olarak deformasyonlar global ölçekli ağılar kurularak mutlak hassas konum belirleme yöntemleri ile de ortaya çıkarılabilmektedir [62]. Bu global yaklaşımlar benzer şekilde yerel ağlara da uygulanabilir. Bu tez çalışmasında deformasyon analizi için klasik olarak Şekil 4.5' teki GPS ağı kurulmuş ve ile ilgili ölçmeler Kasım 2010 ile Ocak 2011 tarihleri arasında yapılmıştır. Ölçüler her bir günde 7 saat süreli olarak gerçekleştirilmiştir. Bazı periyot ölçülerinde uyumsuzluk belirlenmesi nedeniyle Nisan 2011' de de ölçmeler yapılmıştır. Toplamda 9 periyot ölçüm yapılmıştır. Her bir periyot en az 3 gün ölçülmüş ve analizler buna göre gerçekleştirilmiştir. Bernese programında Addneq modülü kullanılarak üç günlük verilerden koordinatlar ve koordinatlara ilişkin kofaktör matrisleri hesaplanmıştır. Yer değiştirmeler noktalara yatayda hareket eden bir alet aracılığıyla eklenmiştir (Şekil 5.2 ve 5.3). Birinci periyotta hiçbir noktaya konum değişimi verilmemiştir. Yerleşke içerisindeki noktalara ilişkin resimler Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6' da gösterilmektedir. GPS ölçülerinin gerçekleştirilmesinde senaryolar aşağıdaki gibidir:

- Senaryo 1: Sadece OBC1 numaralı nokta güney yönünde 5 mm hareket etmiştir.
- Senaryo 2: OBC1 ve OBC2 numaralı noktalar sırasıyla, 5 mm güney ve 5 mm batı yönünde hareket etmiştir.
- Senaryo 3: OBC1, OBC2 ve OBC3 numaralı noktalar sırasıyla 5 mm güney, 5 mm batı ve 5 mm kuzey yönünde hareket etmiştir.
- Senaryo 4: sadece OBC2 numaralı nokta doğu yönünde 7 mm hareket etmiştir.
- Senaryo 5: OBC1 ve OBC2 numaralı noktalar sırasıyla, 7 mm kuzey ve 7 mm batı yönünde hareket etmiştir.
- Senaryo 6: OBC1, OBC2 ve OBC3 numaralı noktalar farklı yönlerde 7 mm hareket etmiştir.
- Senaryo 7: OBC1, OBC2 ve OBC3 numaralı noktalar sırasıyla aynı yönlerde 5 mm, 7 mm ve 10 mm hareket etmiştir.

- Senaryo 8: OBC1, OBC2 ve OBC3 numaralı noktalar sırasıyla farklı yönlerde 5 mm, 7 mm ve 10 mm hareket etmiştir.



Şekil 5. 2 Yer değiştirmeleri sağlayan alet - 1



Şekil 5. 3 Yer değiştirmeleri sağlayan alet – 2



Şekil 5. 4 OBC1 noktası



Şekil 5. 5 OBC2 noktası



Şekil 5. 6 OBC3 noktası

5.2 GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesi

GPS ölçülerinin değerlendirilmesi Bernese akademik yazılımında, Bölüm 4.1.2' deki kriterler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmede kullanılan Davutpaşa yerleşkesi dışındaki noktalara ait ham veriler ve epok koordinatları, ABD'de bulunan SIO (Scripps Institute of Oceanography)'ya bağlı SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) ve Türkiye' deki TUSAGA - AKTİF ağına ait verilerden alınmıştır.

Bernese değerlendirme yazılımı, elde edilen koordinat değerlerine ilişkin standart sapmaları doğru olarak kestiremez. Bunun sebebi yazılım tarafından kestirilen standart sapma değerlerinin, sistematik hataları veya modellenemeyen parametreleri içermemesidir [57]. Bu yüzden uygun bir hata değerinin kestirilebilmesi için standart sapma değerlerinin tekrar ölçeklendirilmesi gerekmektedir [63].

Ölçeklendirme problemi Bernese kullanıcıları tarafından çözülmesi gereken önemli bir problemdir. Bu problemin çözümü için birçok araştırmacı farklı önerilerde bulunmuştur [64], [65], [66]. Fakat çözüm için standart bir yol yoktur. Her araştırmacı kendi metodunu kullanarak ölçek faktörünü belirlemiş ve bu değeri bir katsayı ile çarpmıştır.

[64] Bernese COMPAR modülünü kullanarak haftalık ortalama istasyon koordinatlarını ve haftalık sonuçlar ile günlük sonuçlar arasındaki farklardan tekrarlılıkları hesaplamışlardır. [65] analizlerde compar modülünü kullanmıştır. Her çalışma için bu ölçek faktörü farklı değerler alabilir, bu nedenle nokta tekrarlılıklarından yararlanılarak ölçek faktörünün hesaplanması gerekir. Bu tez çalışmasında tekrarlılıklardan yola çıkılarak ölçek faktörünün hesaplanması yerine [66] de önerilen değerler kullanılmıştır.

[66] de Bernese ve Gamit yazılımları için yaptıkları çalışmada Gamit yazılımı ve Bernese için ölçek faktörlerini hesaplamışlardır. Her iki yazılımda da ölçek faktörü ile baz uzunluğu arasında bir bağımlılık belirlenmezken, Bernese yazılımında oturum süresine bağımlılık belirlenmiştir. Bu yayın incelendikten ve yazarlarından Dr. Pawel Wielgosz ile elektronik posta yolu ile tartışıldıktan sonra, elde edilen kofaktör matrisinin 22 katsayısı ile çarpılması önerilmiştir. Ayrıca, Dr. Pawel Wielgosz yazılımdan addneq modülü ile elde edilen sonsal varyans değeri yerine compar modülü kullanılarak noktaların tekrarlılıklarından elde edilen değerin kullanılmasını önermiştir. Bunun için de yazılımda compar modülü ile elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

5.3 Deformasyon Analizi

GPS ölçülerinin analizinde Bernese 5.0 akademik yazılımı kullanılmış ve deformasyon analizi aşamasında iki farklı yaklaşım öngörülmüştür. Birinci yaklaşımda; yazılımdan ISTA noktası (ITRF2005 datumu 2010.835 epoğu) sabit alınarak minimum zorlamalı çözümle periyotlara ilişkin kesin koordinatlar ve koordinatlara ait kofaktör matrisi alınmıştır. Deformasyon analizine geçmeden önce S-Dönüşümü yöntemi ile bu sonuçlar tüm iz minimum çözümüne dönüştürülmüştür. Bu değerler kullanılarak deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Diğer yaklaşımda ise yazılımdan baz bileşenleri ve kovaryans matrislerinin alınarak yazılımdan bağımsız ağ dengelemesi ve daha sonra deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir.

5.3.1 Yazılımdan Koordinatlar ve Koordinatlara ait Kofaktör Matrisinin Alındığı Yaklaşım

Bernese akademik GPS yazılımı ile yapılan analiz sonucunda dengelenmiş koordinat değerleri, sonsal varyans ve koordinatlara ilişkin kofaktör matrisi Q_{xx} elde

edilebilmektedir. Yazılımın parametre kestirimi aşamalarında dayalı dengeleme, minimum zorlamalı ve serbest ağ dengelemesi seçenekleri bulunmaktadır. Yazılıma ait kullanım kılavuzunda sonuçların gerçekçi olabilmesi amacıyla minimum zorlamalı seçeneğinin seçilmesi tavsiye edilmektedir [57]. Bu nedenle analizler bu bağlamda gerçekleştirilmiş, deformasyon analizine geçmeden önce elde edilen koordinatlar ve ağırlık katsayıları matrisi S-Dönüşümü yardımıyla serbest ağ çözümü haline getirilmiştir. Daha sonra yerel koordinat sistemine (n, e, u) dönüşüm yapılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizde yer değiştiren noktaları belirlemek amacıyla S – Dönüşümü, Koch yöntemi ve robust yöntemler seçilmiştir. Aşağıda Çizelge 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 ve 5.5’ te 8 farklı senaryo için elde edilen sonuçlar verilmektedir.

Çizelge 5. 1 S – Dönüşümü ve Koch yöntemi için Bernese sonuçları (Addneq)

Gerçek Yer değiştiren Noktalar	S - Dönüşümü	Koch Yaklaşımı
OBC1	OBC1 - ISTA - OBC3 - SLEE	SARY - OBC1 - ISTA - SLEE TUBI
OBC1 - OBC2	OBC2 - SARY - OBC1	ISTA - OBC3 - OBC1 - OBC2
OBC1 - OBC2 - OBC3	OBC2 - OBC3 - ISTA - OBC1	OBC1 - ISTA - OBC3 - OBC2
OBC2	OBC2 - OBC1 - OBC3 - SLEE	ISTA - TUBI - OBC1 - OBC2
OBC1 - OBC2	OBC1 - OBC2 - OBC3 - SLEE	ISTA - OBC3 - OBC2 - OBC1
OBC1 - OBC2 - OBC3	SLEE - KABR - TUBI - ISTA OBC1 - OBC2 - OBC3	SLEE - KABR - TUBI - ISTA OBC1 - OBC2 - OBC3
OBC1 - OBC2 - OBC3	TUBI - ISTA - OBC2 - OBC1 OBC3	TUBI - ISTA - OBC2 - OBC1 OBC3
OBC1 - OBC2 - OBC3	ISTN - TUBI - ISTA - OBC1 OBC2 - OBC3	ISTN - TUBI - ISTA - OBC1 OBC2 - OBC3

Çizelge 5. 2 Robust yöntemler için Bernese sonuçları (Addneq)

Gerçek Yer değiştiren Noktalar	Denmark	Huber	Hampel	LAS	L1norm	Andrews	BTukey
OBC1	OBC1	-	-	-	OBC1	OBC1	OBC1
OBC1-OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2
OBC1-OBC2 OBC3	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2
OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	-	OBC2	OBC2
OBC1-OBC2	OBC1	OBC1	OBC1	OBC1	OBC1	OBC1	OBC1
OBC1-OBC2 OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3
OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC3	OBC3	OBC3	-	OBC1-OBC3	OBC1-OBC3	OBC1-OBC3
OBC1-OBC2 OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	-	OBC3	OBC3

Çizelge 5. 3 S – Dönüşümü ve Koch yöntemi için Bernese sonuçları (Compar)

Gerçek Yer değiştiren Noktalar	S - Dönüşümü	Koch Yaklaşımı
OBC1	-	-
OBC1 - OBC2	OBC2	OBC2
OBC1 - OBC2 - OBC3	OBC2 – OBC3 – ISTA	ISTA – OBC3 – OBC2
OBC2	OBC2 – OBC1	OBC1 – OBC2
OBC1 - OBC2	OBC1 – OBC2 – OBC3	OBC3 – OBC2 – OBC1
OBC1 - OBC2 - OBC3	OBC3 - OBC2 - SLEE - OBC1 TUBI - ISTA	KABR - TUBI - ISTA - OBC1 OBC2 - OBC3
OBC1 - OBC2 - OBC3	OBC3 - OBC1 - OBC2 - ISTA	TUBI - ISTA - OBC2 - OBC1 OBC3
OBC1 - OBC2 - OBC3	OBC3 - OBC2 - OBC1 – SLEE TUBI - ISTA	ISTN - TUBI - ISTA - OBC1 OBC2 - OBC3

Çizelge 5. 4 Robust yöntemler için Bernese sonuçları (Compar)

Gerçek Yer değiştiren Noktalar	Denmark	Huber	Hampel	LAS	L1norm	Andrews	BTukey
OBC1	OBC1	-	-	-	OBC1	OBC1	OBC1
OBC1-OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2
OBC1-OBC2 OBC3	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2
OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2
OBC1-OBC2	OBC1	OBC1	OBC1	OBC1	OBC1	OBC1	OBC1
OBC1-OBC2 OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3
OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC3	OBC3	OBC3	-	OBC1-OBC3	OBC1-OBC3	OBC1-OBC3
OBC1-OBC2 OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3

Çizelge 5. 5 S – Dönüşümü ve Koch yöntemi için Bernese sonuçları (Addneqx22)

Gerçek Yer değiştiren Noktalar	S - Dönüşümü	Koch Yaklaşımı
OBC1	-	-
OBC1 - OBC2	OBC2	OBC2
OBC1 - OBC2 - OBC3	OBC2	OBC3 – OBC2
OBC2	OBC2	OBC2
OBC1 - OBC2	OBC1 – OBC2	OBC1 – OBC2
OBC1 - OBC2 - OBC3	OBC2 – OBC3	OBC2 – OBC3
OBC1 - OBC2 - OBC3	OBC2 – OBC1 – OBC3	OBC2 - OBC1 - OBC3
OBC1 - OBC2 - OBC3	OBC1 - OBC2 – OBC3	OBC1 - OBC2 - OBC3

Analiz sonuçlarından görüldüğü gibi Bernese yazılımından sonuçların alınması ile yapılan deformasyon analizinde hatalı sonuçlar elde edilmektedir. Bunun nedeni Bernese yazılımından elde edilen varyans-kovaryans değerlerinin ve sonsal varyans değerinin gerçekçi olmamasıdır. Bu nedenle programdan çıkan deneysel standart

sapmaların doğrudan kullanılmayıp 22 katsayı ile çarpıldığı durumda yer değiştirmedeği düşünölen noktalar analiz sonucunda sabit çıkmaktadır. Bernese programından sonuçların doğrudan alınıp kullanıldığı duruma göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Fakat katsayıların farklı olarak seçilmesi durumunda farklı sonuçlar elde edilmektedir. Bu nedenle elde edilen sonuçlarda güvenilirlik sorgulanmalıdır.

Compar modöölü ile nokta tekrarlılıklarından elde edilen sonuçlar da Bernese programından sonuçların doğrudan alınıp kullanıldığı duruma göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Bazı senaryolarda yer değiştirmedeği düşünölen sabit noktalarda yer değiştirmeler görölmöştür. Compar modöölünden elde edilen sonuçların güvenilirliklerinde de soru işareti bulunmaktadır.

Robust yöntemlerin uygulanması durumunda ağda yer değiştiren noktalardan sadece bir tanesinin yakalandığı görölmektedir. Yer değiştiren noktaların birden fazla olması durumunda analizler yanlış sonuçlar vermektedir.

5.3.2 Yazılımdan Baz Bileşenleri ve Varyans-Kovaryans Matrislerinin Alınarak Analizin Gerçekleştirilmesi

Bernese 5.0 akademik yazılımdan elde edilen sonuçlara dayalı gerçekleştirilen deformasyon analizi sonuçlarının yeteri kadar doğru olmaması nedeniyle farklı bir değerlendirme stratejisi uygulanmıştır. Yazılımdan dengeleme aşamasından sonra baz bileşenleri ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) ve bu bileşenlere ait varyans-kovaryans değerleri alınarak, bu verilere bağılı olarak yazılımdan bağımsız olarak dengeleme ve deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Dengelemede ISTA noktasının ITRF2005 datumunda 2010.835 epöğündaki koordinatları kullanılarak diğör noktaların yaklaşık koordinatları hesaplanmıştır. Farklı günlerde yapılan ölçülerden bağımsız bazlar ve varyans-kovaryans matrisleri alınarak Şekil 4.5' teki GPS ağı oluşturulmuş, deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Ağda 32 baz ve 9 nokta bulunmaktadır. Dengeleme aşamasında ağırlıkların oluşturulmasında iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Birinci yaklaşımda bazlar arasında varyans ve kovaryans elemanları da dikkate alınmıştır. İkinci yaklaşımda ise sadece köşegen elemanlar (varyanslar) dikkate alınmıştır. Analizde ikinci yaklaşımın uygulanması durumunda elde edilen sonuçların daha başarılı olduğı görölmektedir. Sonuçlar Çizelge 5.6, 5.7, 5.8 ve 5.9' da verilmiştir.

Çizelge 5. 6 S – Dönüşümü, Koch yöntemi ve Bağlı Güven Elipsi yöntemi için varyans ve kovaryansların dikkate alındığı durum

Gerçek Yer değiştiren Noktalar	S - Dönüşümü	Koch Yötemi	Bağlı Güven Elipsi Yöntemi
OBC1	OBC2-OBC1	OBC1-OBC2	OBC1-OBC2
OBC1-OBC2	OBC2-OBC1-OBC3	OBC1-OBC2	OBC1-OBC2-OBC3
OBC1-OBC2-OBC3	OBC2-OBC3-ISTA ISTN-SLEE-OBC1	SARY-KABR-TUBI OBC1-OBC2-OBC3	Ref. Nok. Def. Var.
OBC2	OBC2-OBC3-ISTN SLEE	SLEE-ISTN-OBC3 OBC2	Ref. Nok. Def. Var.
OBC1-OBC2	OBC1-OBC2-OBC3 SLEE-ISTN	ISTA-TUBI-OBC3 OBC2-OBC1	Ref. Nok. Def. Var.
OBC1-OBC2-OBC3	OBC3-OBC2-ISTN SLEE-TUBI	ISTN-SLEE-OBC2 OBC3	Ref. Nok. Def. Var.
OBC1-OBC2-OBC3	OBC3-OBC1-OBC2 ISTN-SLEE-TUBI	SARY-ISTN-KABR TUBI-ISTA-OBC1 OBC3	Ref. Nok. Def. Var.
OBC1-OBC2-OBC3	OBC3-OBC2-OBC1 ISTN-SLEE-TUBI ISTA	ISTA-TUBI-ISTN SLEE-OBC1-OBC2 OBC3	Ref. Nok. Def. Var.

Çizelge 5. 7 Robust yöntemler için varyans ve kovaryansların dikkate alındığı durum

Gerçek Yer değiştiren Noktalar	Denmark	Huber	Hampel	LAS	L1norm	Andrews	BTukey
OBC1	OBC1-OBC2	OBC1	OBC1	OBC1	OBC1-OBC2	OBC1-OBC2	OBC1-OBC2
OBC1-OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2
OBC1-OBC2 OBC3	OBC2-OBC3	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2-OBC3	OBC2-OBC3	OBC2-OBC3
OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	-	OBC2	OBC2
OBC1-OBC2	OBC1	OBC1	OBC1	OBC1	OBC1	OBC1	OBC1
OBC1-OBC2 OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3
OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC3	OBC3	OBC3	-	OBC1-OBC3	OBC1-OBC3	OBC1-OBC3
OBC1-OBC2 OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3

Çizelge 5. 8 S – Dönüşümü, Koch yöntemi ve Bağlı Güven Elipsi yöntemi için varyansların dikkate alındığı durum

Gerçek Yer değiştiren Noktalar	S - Dönüşümü	Koch Yötemi	Bağlı Güven Elipsi Yöntemi
OBC1	-	OBC1-OBC2	OBC1-OBC2
OBC1-OBC2	OBC2	OBC2	OBC1-OBC2
OBC1-OBC2-OBC3	OBC2-OBC3	OBC3-OBC2	OBC2-OBC3
OBC2	OBC2	OBC2	OBC2-OBC3
OBC1-OBC2	OBC1-OBC2	OBC3-OBC2-OBC1	OBC1-OBC2-OBC3
OBC1-OBC2-OBC3	OBC3 - OBC2 - ISTN	OBC2 - OBC3	Ref. Nok. Def. Var.
OBC1-OBC2-OBC3	OBC3-OBC1-OBC2	ISTN-SARY-KABR TUBI-ISTA-OBC1 OBC3	OBC1-OBC2-OBC3
OBC1-OBC2-OBC3	OBC3-OBC2-OBC1 ISTN-SLEE	SLEE-OBC1-OBC2 OBC3	Ref. Nok. Def. Var.

Çizelge 5. 9 Robust yöntemler için varyansların dikkate alındığı durum

Gerçek Yer değiştiren Noktalar	Denmark	Huber	Hampel	LAS	L1norm	Andrews	BTukey
OBC1	OBC1-OBC2	OBC1	OBC1	OBC1	OBC1-OBC2	OBC1-OBC2	OBC1-OBC2
OBC1-OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2
OBC1-OBC2 OBC3	OBC2-OBC3	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2-OBC3	OBC2-OBC3	OBC2-OBC3
OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	OBC2	-	OBC2	OBC2
OBC1-OBC2	OBC1	OBC1	OBC1	OBC1	OBC1	OBC1	OBC1
OBC1-OBC2 OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3
OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC3	OBC3	OBC3	-	OBC1-OBC3	OBC1-OBC3	OBC1-OBC3
OBC1-OBC2 OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3	OBC3

Çizelge 5.6, 5.7, 5.8 ve 5.9 incelendiğinde varyans kovaryansların dikkate alındığı durumda, sabit olan TUSAGA - AKTİF ve IGS noktalarında da deformasyonlar ortaya çıkmaktadır. Sadece varyansların dikkate alındığı durumda elde edilen sonuçların daha doğru olduğu görülmektedir. Sadece 6 ve 8. senaryolarda hareketsiz olduğu düşünülen

noktalarda deformasyonlar ortaya çıkmaktadır. Bernese 5.0 programından bazların ve varyans kovaryans matrislerinin alınarak, bir jeodezik ağ kurularak yapılan analiz sonuçları; Bernese 5.0 programından doğrudan veriler alınarak bu yazılıma bağlı yapılan analiz sonucuna göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Robust yöntemlerde, uygulanan benzerlik dönüşümünde ağırlıklar eşit alındığı için korelasyonlu ve korelasyonsuz durumda fark bulunmamaktadır.

5.3.3 Yazılımdan Baz Bileşenleri ve Varyans-Kovaryans Matrisleri Alınarak Alt Ağların Uygulanması

Simulasyonda olduğu gibi tüm ağ birlikte analiz edildiğinde ağdaki obje noktaları birbirinden etkilenmekte ve yanlış sonuçların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Analiz sonuçları EKK yönteminin yayma etkisinden ve F-testinin yetersizliğinden etkilenmektedir. Bu durumu düzeltmek amacıyla tüm ağı aynı anda analiz etmek yerine, ağı alt ağlara bölerek analiz etme yöntemi önerilmiştir. Bu şekilde her bir alt ağ sadece bir tane obje noktası içerecektir. I numaralı alt ağ OBC1 obje noktasını ve ISTA, SARY, ISTN, SLEE, KABR ve TUBI isimli referans noktalarını, II numaralı alt ağ OBC2 obje noktası ve tüm referans noktalarını, III numaralı alt ağ OBC3 obje noktası ve tüm referans noktalarını içermektedir.

Her bir alt ağa S-Dönüşümü, Koch yöntemi, Bağlı Güven Elipsi yöntemi ve Robust yöntemlere göre deformasyon analizi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar 5.10, 5.11, 5.12 ve 5.13' te verilmektedir.

Çizelge 5. 10 S – Dönüşümü, Koch yöntemi ve Bağlı Güven Elipsi yöntemi için varyans ve kovaryansların dikkate alındığı alt ağlar

Gerçek Yer değiştiren Noktalar	S - Dönüşümü	Koch Yötemi	Bağlı Güven Elipsi Yöntemi
OBC1	OBC1-OBC2-SARY ISTN-KABR	OBC1-OBC2-ISTN-SARY	Ref. Nok. Def. Var.
OBC1-OBC2	OBC1-OBC2	OBC1-OBC2	OBC1-OBC2
OBC1-OBC2-OBC3	OBC1-OBC2-OBC3 ISTA-ISTN-TUBI SLEE-SARY	OBC2-OBC3-ISTA ISTN	Ref. Nok. Def. Var.
OBC2	OBC2-ISTN-SLEE TUBI-SARY-KABR	OBC2-SLEE-ISTN TUBI	Ref. Nok. Def. Var.
OBC1-OBC2	OBC1-OBC2-TUBI SARY-ISTN-SLEE KABR-ISTA	OBC1-OBC2-ISTN SLEE-TUBI-KABR SARY	Ref. Nok. Def. Var.
OBC1-OBC2-OBC3	OBC1-OBC2-OBC3 ISTN-SLEE-TUBI SARY-ISTA	OBC1-OBC2-OBC3 ISTN-SLEE-TUBI SARY-ISTA-KABR	Ref. Nok. Def. Var.
OBC1-OBC2-OBC3	OBC1-OBC2-OBC3 ISTN-SLEE-TUBI	OBC1-OBC2-OBC3 ISTA-SARY-TUBI SLEE	Ref. Nok. Def. Var.
OBC1-OBC2-OBC3	OBC1-OBC2-OBC3 ISTN-SLEE-TUBI SARY-KABR-ISTA	OBC1-OBC2-OBC3 ISTN-SLEE-TUBI SARY-KABR-ISTA	Ref. Nok. Def. Var.

Çizelge 5. 11 Robust yöntemler için varyans ve kovaryansların dikkate alındığı alt ağlar

Denmark	Huber	Hampel	LAS	L1norm	Andrews	BTukey
OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3
OBC1-OBC2 TUBI	OBC1-OBC2 TUBI	OBC1-OBC2 TUBI	OBC1-OBC2 TUBI	OBC1-OBC2 TUBI	OBC1-OBC2 TUBI	OBC1-OBC2 TUBI
OBC2-OBC3	OBC2-OBC3	OBC2-OBC3	OBC2-OBC3	ISTA-TUBI OBC2-OBC3	OBC2-OBC3 TUBI	OBC2-OBC3 TUBI
TUBI-OBC2	TUBI-OBC2	TUBI-OBC2	TUBI-OBC2	TUBI-OBC2	TUBI-OBC2	TUBI-OBC2
OBC1-OBC2 TUBI	OBC1-OBC2 TUBI	OBC1-OBC2 TUBI	OBC1-OBC2 TUBI	OBC1-OBC2 TUBI	OBC1-OBC2 SLEE-TUBI	OBC1-OBC2 SLEE-TUBI
OBC2-OBC3	OBC2-OBC3	OBC2-OBC3	OBC2-OBC3	OBC2-OBC3 ISTN-SLEE	OBC2-OBC3 SLEE	OBC2-OBC3 SLEE-ISTN
OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3
OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	SARY-ISTA ISTN-KABR SLEE-TUBI OBC2	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3

Çizelge 5. 12 S – Dönüşümü, Koch yöntemi ve Bağlı Güven Elipsi yöntemi için varyansların dikkate alındığı alt ağlar

Gerçek Yer değiştiren Noktalar	S - Dönüşümü	Koch Yöntemi	Bağlı Güven Elipsi Yöntemi
OBC1	OBC1-OBC2	OBC1-OBC2	OBC1-OBC2
OBC1-OBC2	OBC2	OBC1-OBC2	OBC1-OBC2
OBC1-OBC2-OBC3	OBC2-OBC3	OBC2-OBC3	OBC2-OBC3
OBC2	OBC2	OBC2	OBC2
OBC1-OBC2	OBC1-OBC2	OBC1-OBC2	OBC1-OBC2
OBC1-OBC2-OBC3	OBC2-OBC3-ISTN SLEE	OBC2-OBC3-ISTN SLEE-TUBI	Ref. Nok. Def. Var.
OBC1-OBC2-OBC3	OBC1-OBC2-OBC3	OBC1-OBC2-OBC3	OBC1-OBC2-OBC3
OBC1-OBC2-OBC3	OBC1-OBC2-OBC3 SARY-ISTN-SLEE TUBI-ISTA	OBC1-OBC2-OBC3 ISTA-TUBI-SLEE	Ref. Nok. Def. Var.

Çizelge 5. 13 Robust yöntemler için varyansların dikkate alındığı alt ağlar

Denmark	Huber	Hampel	LAS	L1norm	Andrews	BTukey
OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3
OBC1-OBC2 TUBI	OBC1-OBC2 TUBI	OBC1-OBC2 TUBI	OBC1-OBC2 TUBI	OBC1-OBC2 SLEE-TUBI	OBC1-OBC2 TUBI	OBC1-OBC2 TUBI
OBC2-OBC3	OBC2-OBC3	OBC2-OBC3	OBC2-OBC3	TUBI-OBC2 OBC3	OBC2-OBC3 TUBI	OBC2-OBC3 TUBI
TUBI-OBC2	TUBI-OBC2	TUBI-OBC2	TUBI-OBC2	TUBI-OBC2	TUBI-OBC2	TUBI-OBC2
OBC1-OBC2 SLEE-TUBI	OBC1-OBC2 TUBI	OBC1-OBC2 TUBI	OBC1-OBC2 TUBI	OBC1-OBC2 SLEE-TUBI	OBC1-OBC2 SLEE-TUBI	OBC1-OBC2 SLEE-TUBI
OBC2-OBC3	OBC2-OBC3	OBC2-OBC3	OBC2-OBC3	OBC2-OBC3 ISTN-SLEE	OBC2-OBC3 SLEE	OBC2-OBC3 SLEE-ISTN
OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3
OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3	OBC1-OBC2 OBC3

Önceki bölümlerde gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında, bir jeodezik ağı alt ağlara ayırarak analiz edince daha başarılı sonuçların elde edildiği gösterilmişti. Oluşturulan bir GPS ağına da aynı yaklaşım denendiğinde daha etkin sonuçların alındığı görülmüştür. Tüm ağ analizinde S-Dönüşümü 8 senaryonun 3'ünde, Koch yöntemi 1'inde, Bağlı Güven Elipsi yöntemi 2'inde başarılı iken; alt ağ analizinde S

transformasyonu 8 senaryonun 3' ünde, Koch yöntemi 4' ünde ve Bağlı Güven Elipsi yöntemi 4' ünde başarılıdır. Başarı oranlarının yaklaşık 50% civarında çıkmasının nedeni GPS ölçülerini etkileyen bir çok dış etken bulunması, ayrıca Bernese 5.0 akademik yazılımından güvenilir stokastik bir modelin alınamaması olarak düşünülmektedir.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde, “deformasyon analiz yöntemlerinin güvenilirliği nedir?” “Elde edilen güvenilirlik nasıl arttırılabilir?” sorularına yanıt verilmeye çalışılmıştır. OBO, analiz sonuçları için güvenilirlik ölçütü anlamında kullanılmıştır. Farklı yöntemler için güvenilirliğin ölçülmesi amacıyla yer değiştirmeler ve ölçüler yapay olarak üretilmiş, yatay kontrol ve GPS ağlarında analizler gerçekleştirilmiştir. Yer değiştirme büyüklüğünün elde edilmesi aşamasında nokta yer değiştirme elipslerinden yararlanılarak, yer değiştirme çemberi kullanılmıştır.

Deformasyon analizinde yer değiştiren nokta sayısının bir olması durumunda yapay olarak oluşturulan yatay kontrol ağında (r , $2r$) aralığında OBO değerleri Koch yöntemi için 77.7%, S-Dönüşümü için 72.8%, Bağlı Güven Elipsi yöntemi için 81.3%, robust yöntemler için 90% olarak hesaplanmıştır. GPS ağında (r , $2r$) aralığında OBO değerleri Koch yöntemi için 80.6%, S-Dönüşümü için 73.4%, Bağlı Güven Elipsi yöntemi için 82.5%, robust yöntemler için 90% olarak hesaplanmıştır. Yer değiştirme büyüklüğü (r , $3r$) alındığında başarı oranları artmaktadır. Bu değerler deformasyon analizi için yeterli değildir. EKK kestiriminin bozucu etkiyi tüm sonuçlara yayması ve F-testinin yetersizliği nedeniyle; deformasyon analizi, ağda gerçekte var olan yer değiştirmiş nokta sayısını yanıltıcı biçimde daha az veya daha fazla gösterebilmektedir.

Deformasyon analizinde robust yöntemlerin kullanılması durumunda ağda tek bir noktanın yer değiştirmesi durumunda yüksek başarı oranı elde edilmektedir. Fakat

birden fazla noktanın yer değiştirmesi durumunda başarı oranı hızla düşmektedir. Ayrıca, ağda yer değiştiren nokta bulunmadığı halde; robust yöntemler kimi noktaları büyük oranda yer değiştirmiş olarak göstermektedir (I. Tür Hata). Bu durum robust yöntemler için büyük dezavantajdır.

Deformasyon analiz yöntemlerinin güvenilirliğini arttırmak ve EKK kestiriminin yayma etkisini azaltmak, ayrıca F-testinin yetersizliğini gidermek amacıyla alt ağlar analizine dayalı yeni bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Analiz sonuçları incelendiğinde en iyi sonuçların ağda sadece bir yer değiştirmiş nokta bulunması durumunda ortaya çıktığı görülmektedir. Bu bilgiden yararlanılarak sadece bir obje noktası ve çok sayıda referans noktasından oluşan bir alt ağ oluşturulmuştur. Tek bir obje noktasının, deformasyon oluşması beklenen bölgeyi temsil etmeyeceğı açıktır. Bu nedenle yeni yaklaşım tek bir obje noktası ve referans noktalarından oluşan alt ağları birleştirerek yeni bir ağ ve analiz yöntemi ortaya konmasını amaçlamaktadır. Bu yaklaşımla oluşturulan alt ağlarda analizler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçların tüm ağın analiz edilmesi durumundaki sonuçlara göre üstünlük gösterdiği görülmüştür. Yatay kontrol ağlarında (r, 2r) aralığında 3 noktanın yer değiştirmesi durumunda S-Dönüşümü için 22.5% (76.1-53.6), Koch yöntemi için 16.3% (79.2-62.9), bağıl güven elipsi yöntemi için 7.2% (91.0-83.8) ve robust yöntemler için yaklaşık 90% oranında bir artış söz konusudur. Robust yöntemlerde I. tür hataların yüksek oranda ortaya çıkması nedeniyle, bu artış güvenilir değildir.

GPS ağlarının simülasyonunda iki farklı yaklaşım uygulanmıştır. Analizde sadece varyans değerlerinin dikkate alındığı yaklaşım, varyans kovaryans değerlerinin dikkate alındığı durumla yaklaşık olarak benzer sonuçlar vermektedir. Sadece varyans değerlerinin dikkate alındığı yaklaşımda, (r, 2r) aralığında 3 noktanın yer değiştirmesi durumunda S-Dönüşümü için 22.1% (76.8-54.7), Koch yöntemi için 11.6% (83.2-71.6), Bağıl Güven Elipsi yöntemi için 5.9% (90.7-84.8) ve robust yöntemler için yaklaşık 92% oranında bir artış söz konusudur. Ayrıca tüm ağ analizinde ortaya çıkan I. tür hataları, alt ağ analizinde azalmaktadır. Özellikle bağıl güven elipsi yöntemi için elde edilen sonuçlar diğer yöntemlere göre çok daha başarılıdır. Yeni yaklaşımın uygulanması sonucunda küçük yer değiştirmeler yatay kontrol ağı ve GPS ağı için bağıl güven elipsinin OBO 91%' e çıkarılabilmekte, ayrıca I. tür hata 14.5%'ten 5.7%' ye düşürülebilmektedir. Robust

yöntemlerin de alt ağ analizinde başarı oranları çok yüksektir, fakat I. tür hata da çok yüksek olduğu için sonuçların güvenilirliği düşmektedir.

Tez çalışmasında simülasyondan sonra GPS ölçümleri gerçekleştirilmiş ve analiz aşamasında GPS değerlendirme yazılımı olarak Bernese 5.0 kullanılmıştır. Öncelikle Bernese yazılımından elde edilen koordinatlara ilişkin ağırlık katsayıları matrisi kullanılarak deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Fakat bu durumda yazılımdan elde edilen kofaktörler gerçekçi olmadığı için 8 senaryo için de ağda çok sayıda nokta yer değiştirmiş olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle yazılımdan elde edilen sonuçların (Addneq modülü ile elde edilen sonuçlar) bir katsayı ile ölçeklendirilmesine karar verilmiştir. Farklı çalışmalar için ölçek faktörü farklı değerler alabilir, bu nedenle nokta tekrarlılıklarından yararlanılarak ölçek faktörünün hesaplanması gerekir. Tez çalışmasında ölçek faktörünü hesaplamak yerine [66] yayını esas alınarak,, ölçü süresine ve baz uzunluklarına göre 22 değerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Ayrıca, aynı periyodun farklı günlerinde yapılan analizler sonucunda yazılımın compar modülü ile noktaların kordinatlarından sonsal varyans ve kofaktor matrisleri hesaplanabilmektedir. Yapılan analizler sonucunda, kofaktor matrisini 22 ile çarpmanın ve compar modülünü kullanmanın, yazılımdan doğrudan elde edilen sonuçları alarak yapılan değerlendirmeye göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Bernese 5.0 yazılımından elde edilen veriye dayalı olarak yapılan deformasyon analizinin yeterince doğru sonuçlar vermemesi, farklı ölçek değerleri için farklı sonuçların çıkması nedeniyle, yazılımdan sadece baz vektör bileşenleri ve bunlara ilişkin varyans-kovaryans değerleri alınarak analizin gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Bu yaklaşımda iki farklı yol izlenmiştir. Birincisinde, bazların aralarındaki varyans kovaryanslar dikkate alınmıştır. Bu durumda, ağda çok sayıda yer değiştirmiş nokta ortaya çıkmaktadır. Obje noktalarının yanında sabit kaldığı düşünülen noktalar da yer değiştirmiş olarak belirlenmektedir. Kovaryansların dikkate alınmadığı sadece varyansların dikkate alındığı ikinci durumda ise daha güvenilir sonuçlar elde edilmektedir. İki senaryo dışında sadece obje noktalarında deformasyon ortaya çıkmaktadır. Tüm ağ birlikte analiz edildikten sonra, alt ağların analizine başlanmıştır. 3 alt ağdan her biri yalnız bir obje noktası ve altı referans noktasından oluşmaktadır. Tüm ağ analizinde S-Dönüşümü 8 senaryonun 3' ünde, Koch yöntemi 1' inde, bağıl güven

elipsi yöntemi 2' sinde başarılı iken; alt ağ analizinde S-Dönüşümü 8 senaryonun 3' ünde, Koch yöntemi 4' ünde ve bağıl güven elipsi yöntemi 4' ünde başarılıdır.

Simülasyona ilişkin veriler incelendiğinde alt ağ analizinin, normal analize göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. GPS ölçümlerine göre analizler gerçekleştirildiğinde, kullanılan yazılımdan dolayı bazı problemler yaşanmıştır. Özellikle elde edilen stokastik modeldeki aksaklıklar nedeniyle normalde sabit olması gereken noktalar, yer değiştirmiş olarak belirlenmektedir. Analizlerin, programdan alınan değerlerin bir ölçek katsayısı ile çarpılması şeklinde gerçekleştirilmesi durumunda daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Alt ağlara ayrılarak analizlerin gerçekleştirilmesi durumunda deformasyon analiz yöntemlerinin başarı oranları artmaktadır. Özellikle bağıl güven elipsi yöntemi ile başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Bernese' den elde edilen veriler doğrudan kullanıldığında kofaktor matrisi belirli bir katsayı ile çarpılarak; baz bileşenleri ve varyans-kovaryans değerleri temel alındığında alt ağlara bölünerek analiz yapılmasının daha güvenilir sonuçlar verdiği görülmektedir.

- [1] Caspary, W., ve Borutta, H., (1987). "Robust estimation in deformation models", Survey Review, 29:223.
- [2] Caspary, W.F., Haen, W., ve Borutta, H. (1990). "Deformation analysis by statistical methods" Technometrics, 32(1):49-57.
- [3] Kampmann, G., (1991). "Asymptotische Prüfung von L1-Klaffungen im Kongruenzmodell der Deformationsanalyse", Allgemeine Vermessungs Nachrichten, 98:221 – 229.
- [4] Chen, Y.Q., ve Chranowski A., (1994). "An approach to separability of deformation models", Zeitschrift für Vermessungswesen, 119(2):96-103.
- [5] Koch, K.R., (1985). "Ein statistisches auswerteverfahren für deformationsmessungen." Allgemeine Vermessung-Nachrichten 92(3): 97-108.
- [6] Hekimoglu, S., ve Koch, K.R., (1999). "How can Reliability of the Robust Methods be Measured?", Proceedings, In: Altan MO, Gründig L (eds), Third Turkish-German Joint Geodetic Days, Istanbul, 1-4 June, 1:179 –196.
- [7] Hekimoğlu, S., Demirel, H., ve Aydın, C., (2002). "Reliability of the Conventional Deformation Analysis Methods for Vertical Networks", FIG XXII International Congress, Washington.
- [8] Betti, B., Biagi, L., Crespi, M., ve Riguzzi, F. (1999). "GPS sensitivity analysis applied to permanent deformation control networks" Journal of Geodesy, Berlin, 73(3):158-167.
- [9] Seemkooei, A. A., (2001). "Comparison of reliability and geometrical strength criteria in geodetic Networks", Journal of Geodesy, 75:227-233.
- [10] Seemkooei, A. A., (2003). "Formulation of L1 Norm Minimization in Gauss – Markov Models", Journal of Surveying Engineering, 129(1):37-43.
- [11] Berné, J.L., ve Baselga, S., (2004). "First-order design of geodetic Networks using the simulated annealing method" Journal of Geodesy, Berlin, 78(1–2):47–54.

- [12] Aydın, C., Arslan N., ve Demirel, H., (2004). "Deformasyon Analizinde Duyarlılık", HKMO Dergisi, 90:12-18.
- [13] Akyılmaz, O., (2007), "Total least squares solution of coordinate transformation", Survey Review, 303:68-80.
- [14] Acar, M., Özlüdemir M.T., Akyılmaz, O., Çelik R.N., ve Ayan, T., (2006) "Deformation Analysis with Total Least Squares", Natural Hazards and Earth System Sciences, 6:663 – 669.
- [15] Baselga, S., ve García-Asenjo, L., (2008). "Multipath Mitigation by Global Robust Estimation", Journal of Navigation, 61(3): 385-392.
- [16] Baselga, S. ve Garcia-Asenjo, L., (2008). "Global Robust estimation and its application to GPS Positioning", Computer & Mathematics with application, 56(3): 709-714.
- [17] Welsh, W., M. ve Heunecke, O., (2001). "Models and terminology for the analysis of geodetic monitoring observations", Orange, California, USA, 390-412.
- [18] Öztürk, E., Konak, H. ve Atasoy, V., (2006). "Deprem Bölgelerinde Yerkabuğu Hareketlerinin İzlenmesi", Harita Dergisi, 135:52-63.
- [19] Cooper, M.A.R., (1987). Control surveys in civil engineering. Collins, London.
- [20] Aydın, C., ve Demirel, H., (2005). "Computation of Baarda's lower bound of the non-centrality parameter", Journal of Geodesy, 78(7-8):437-441.
- [21] Even-Tzur, G., (2006). "Datum Definition and its Influence on the Reliability of Geodetic Networks", Zeitschrift für Vermessungswesen, 2:87-95.
- [22] Hekimoglu, S., Erdogan, B. ve Butterworth, S. (2010). "Increasing the Efficacy of the Conventional Deformation Analysis Methods: Alternative Strategy", J. Surv. Eng. 136(2):53-62.
- [23] Baarda, W., (1968). "A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks", Publication on Geodesy, New series 2, No. 5, Netherlands Geodetic Commission, Delft.
- [24] Pope, A.J., (1976). The Statistics of Residuals and the Outlier Detection, John Wiley and Sons, Inc., New York, N. Y.
- [25] Huber, P.J., (1981). Robust statistics, Wiley, New York.
- [26] Hampel, F., Ronchetti, E., Rousseeuw, P., ve Stahel, W., (1986). Robust statistics: the approach based on influence functions, John Wiley and Sons, New York.
- [27] Rousseeaux ve Leroy (1987). Robust Regression and Outlier Detection, John Wiley & Sons.
- [28] Hekimoglu, Ş., ve Berber, M., (2003). "Effectiveness of robust methods in heterogeneous linear models", Journal of Geodesy 76:706–713.

- [29] Hekimoglu, Ş., (2005). "Do Robust Methods Identify Outliers More Reliably Than Conventional Test for Outlier?", *Zeitschrift für Vermessungswesen*, 2005/3, 174-180.
- [30] Hekimoglu Ş., ve Erenoglu R. C., (2007), "Effect of heteroscedasticity and heterogeneousness on outlier detection for geodetic networks", *Journal of Geodesy*, 81(2):137-148.
- [31] Hekimoglu, S., ve Erdogan, B. (2006). "Reliability of conventional deformation analysis method for horizontal control networks". in: L. Gründig and O. Altan, (eds.), *Fifth Turkish-German Joint Geodetic Days*, Berlin, Germany.
- [32] Aydın, C., (2001). *Yerkabuğundaki Düşey Deformasyonların Analizinde statik Modelin Güvenilirliği Üzerine Bir İnceleme*, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [33] Pelzer, H., 1985, *Geodatische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II*, Wittwer Verlag, Stuttgart.
- [34] Koch, K.R., (1999). *Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models*, Springer-Verlag, Berlin.
- [35] Ayan, T., (1992). "Uyuşumsuz Ölçüler Testi", *Harita ve Kad.Müh.*, 72:38-46.
- [36] Pelzer, H., (1971). "Zur analyse geodätischer deformationsmessungen." *Deutsche Geodätische Kommission*, C-164, München, Germany.
- [37] Niemeier, W. (1985). "Deformations analyse." in: H. Pelzer, (ed.), *Geodaetische Netze in Landes – und Ingenieurvermessung II*, Konrad Wittwer: Stuttgart, 559-623.
- [38] Öztürk, E., (1991). "Doğrusal Hipotez Testleri", *Harita Dergisi*, 106:1-21.
- [39] Demirel, H., (1992). "Deformasyon Analizi", *YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Ders Notları*, İstanbul.
- [40] Denli, H., ve Deniz, R., (2003). "Global Congruency Test Methods for GPS Networks", *Journal of Surveying Engineering* 129(3):95-99.
- [41] Demirel, H., (1987). "S Transformasyonu ve Deformasyon Analizi", *Türkiye 1. Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 593-608, Ankara.
- [42] Demirel, H., (2003). *Dengeleme Hesabı*, YTÜ Lisans Ders Notları, İstanbul.
- [43] Ayan, T., (1983). "Bağıl Güven Elipsleri ile Deformasyon Analizi", *Harita Dergisi*, 91: 1-11.
- [44] Yalçinkaya, M., ve Tanır, E., (2001). "Cholesky Çarpanlarına Ayırma ve Bağıl Güven Elipsi Yöntemleriyle Yatay Hareketlerin Belirlenmesi", *Harita Dergisi*, 126:17-34.
- [45] Niemeier, W., (2002). *Ausgleichsrechnung*, Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- [46] Heck, B., Kuntz, E. ve Meier-Hiermer, B., (1977). "Deformations-analyse mittels relativer Fehlerellipsen", *Allgemeine Vermessung-Nachrichten* 84: 78-87.

- [47] Koch, K. R., (1999). Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models, 2nd Ed. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- [48] Hekimoğlu, Ş., (2006). "Kaba Hataların Belirlenmesindeki Sorunlar", Harita Dergisi, 135:80-93.
- [49] Krarup, T., Juhl J., ve Kubik, K., (1980). "Götterdaemmerung over least squares adjustments", Proceedings, 14th Congress of Int. Soc. Photogr. Hmaburg.
- [50] Andrews, D., (1974). "A robust method for multiple linear regression", Technometrics, 16: 523-531.
- [51] Beaton, A. E. ve Tukey, J. W., (1974), "The Fitting of Power Series, Meaning Polynomials, Illustrated on Band-Spectroscopic Data," Technometrics, 16:147-185.
- [52] Barrodale, I. ve Roberts, F.D.K., (1974). "Solution of an Over Determined System of Equations in L1 norm", Comm ACM, 17, 319 – 320.
- [53] Kuang, S., (1996). Geodetic network analysis & optimal design: concepts & applications, Ann Arbor Press, Inc. Chelsea, Michigan.
- [54] Caspary, W., Chen, Y.Q. ve Köning, R., (1983). "Kongruenzuntersuchungen in Deformationsnetzen durch Minimierung der Klaffungsbeträge", Schriftenreihe des wissenschaftlichen Studienganges Vermessungswesen an der Hochschule der Bundeswehr, 9:77-94.
- [55] Welsch, W., Heunecke, O., ve Kuhlmann, H., (2000). "Auswertungen der Überwachungsmessungen, Handbuch Ingenieurgeodasie", M. Moser, G. Muller, H. Schlemmer, H. Werner (Hrsg.), Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.
- [56] Erdoğan, B. (2006). Statik Deformasyon Analizinin Güvenilirliğinin Yatay Kontrol Ağlarında Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [57] Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P., ve Meindl, M., (2007). Bernese GPS Software Version 5.0 Draft, Astronomical Institute, University of Berne, January.
- [58] Eckl, M.C., Snay, R.A., Soler, T., Cline, M.W., ve Mader, G.L., (2001). "Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of inter-station distance and observing-session duration" Journal of Geodesy, Berlin, 75:633-640.
- [59] Soler, T., Michalak, P., Weston, N.D., Snay, R.A., ve Foote, R.H., (2005). "Accuracy of OPUS solutions for 1- to 4-h observing sessions. GPS solutions", 10:45-55.
- [60] Dogan, U., (2007). "Accuracy Analysis of Relative Positions of Permanent GPS Stations in the Marmara Region, Turkey" Survey Review, 39(304):156-165.
- [61] Sanli, D.U. ve Engin, C. (2009). "Accuracy of GPS Positioning Over Regional Scales" Survey Review, 41(312):192-200.

- [62] Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M., ve Webb, F. H. (1997) "Precise point positioning for the efficient and robust analysis of the GPS data from large Networks, Journal of Geophysical Research, 102:5005-5017.
- [63] Geirsson H. (2003). Continuous GPS measurements in Iceland 1999-2002, University for degree of Master of Science in Geophysics.
- [64] Arnadóttir, H., Geirsson, B., Bergsson, H. ve Völksen, C., (2000). "The Icelandic continuous GPS network" – ISGPS. March 18. 1999 – February 20. 2000. Rit Veðurstofu Íslands VÍ R00002-JA02. Research report. Icelandic Meteorological Office.
- [65] Hastaoğlu, K., (2009). GPS hızlı statik yöntem ile heyelanların izlenebilirliğinin araştırılması: Sivas Koyulhisar örneği, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [66] Kashani, I., Wielgosz, P. ve Grejner-Brezinska, D.A., (2004). "On the reliability of the VCV Matrix: A case study based on GAMIT and Bernese GPS Software", GPS Solutions, 8:193-199.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Bahattin ERDOĞAN
Doğum Tarihi ve Yeri :20 Kasım 1981 /Turhal
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :berdogan@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Geomatik	YTÜ	2006
Lisans	İnşaat Müh.	YTÜ	2005
Lisans	Harita Müh.	YTÜ	2004
Lise	Harita	Anadolu Tapu Kadastro Meslek Lisesi	1999

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2005-	YTÜ/İnşaat Fakültesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Makale

1. Hekimoğlu Ş., **Erdoğan B.**, Butterworth S., (2010), Increasing the Efficacy of the Conventional Deformation Analysis Methods: Alternative Strategy, J. Surv. Eng. 136(2), 53-62.
2. Hekimoglu, S., Erenoglu, R. C., Sanli D. U., ve **Erdoğan, B.**, (2011) "Detecting Configuration Weaknesses in Geodetic Networks", Survey Review, 43, 323, s.713-730.
3. Hekimoğlu Ş., **Erdoğan B.**, Erenoğlu, R.C., and Hoşbaş G. (2011) "Increasing the Efficacy of the Tests for Outliers for Geodetic Networks", Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica,46(3), s.291-308.

Bildiri

1. Hekimoglu Ş., **Erdoğan B.**, (2006), Reliability of Conventional Deformation Analysis Method for Horizontal Control Networks, Fifth International Symposium Turkish-German Joint Geodetic Days, March 28-31 2006, Technical University Berlin.
2. **Erdoğan B.**, Hekimoğlu Ş., (2007), Reliability of Helmert coordinate transformation for horizontal control networks in deformation analysis, IUGG XXIV General Assembly July 2-13, 2007 Perugia, Italy
3. Tut I., Şanlı D., **Erdoğan B.**, Hekimoğlu Ş., (2010), Reliability of GPS Rapid Static Positioning Solutions , EGU General Assembly 2-7 May 2010 Vienna.
4. **Erdoğan B.**, Hekimoğlu Ş., (2007), Yatay Kontrol Ağlarında Deformasyon Analizi Sonuçlarının Güvenilirliğinin Farklı Durumlar için Araştırılması, 3. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 24 -26 Ekim, Selçuk Üniversitesi, Konya
5. Erenoğlu R., **Erdoğan B.**, Hekimoğlu Ş., (2007), GPS Ağlarında Belirlenemeyen Uyuşumsuz Ölçülerin Deformasyon Analizine Etkileri Üzerine Bir İnceleme, 3. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 24 -26 Ekim, Selçuk Üniversitesi, Konya
6. **Erdoğan B.**, Hekimoğlu Ş., (2009), Yatay Kontrol Ağlarında farklı Deformasyon Analiz Yöntemlerinin Güvenilirliklerinin Araştırılması, Deformasyon Analizi Çalıştayı, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK), 2009 Yılı Bilimsel Toplantısı, 11 – 13 Kasım Konya

ÖDÜLLERİ

1. 2004 Lisans Fakülte birincisi