

**İTÜ - ETHZ - TUJJB GPS PROJESİNDE DEĞİŞİK KAMPANYA
ÖLÇÜLERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİ VE SONUÇLARININ YERKABUĞU
HAREKETLERİ YÖNÜNDEN İRDELENMESİ**

100731

DOKTORA TEZİ
Y.Müh.Ali KILIÇOĞLU
50195D0040012

100731

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Ocak 1999
Tezin Savunulduğu Tarih : 07 Haziran 1999

Tez Danışmanı : Prof.Dr.Ahmet AKSOY
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr.Onur GÜRKAN (B.Ü.)
Prof.Dr.Hüseyin DEMİREL (Y.T.Ü.)
Prof.Dr.Tevfik AYAN (İ.T.Ü)
Prof.Dr.Rasim DENİZ (İ.T.Ü)

[Handwritten signatures of Prof. Dr. Ahmet Aksoy, Prof. Dr. Onur Gürkan, Prof. Dr. Hüseyin Demirel, Prof. Dr. Tevfik Ayan, and Prof. Dr. Rasim Deniz]

HAZİRAN 1999

ÖNSÖZ

Bu çalışma süresince başta sayın Hocam Prof.Dr.Ahmet AKSOY olmak üzere İstanbul Teknik Üniversitesi'ndeki tanıdığım herkesten büyük yardım ve destek gördüm. Bu süre zarfında Ankara-İstanbul karayolunun her bir kilometre taşını ezberledim. Ancak itiraf etmek gerekir ki İstanbul'a gelmek benim için her zaman bir zevk olmuştur.

Ayrıca eşim Nazlı ve oğlum Tolga'nın sonsuz destekleri olmadan bu çalışmanın tamamlanması çok zor olurdu. Harita Genel Komutanlığında göreve başladığımdan bu yana birlikte çalıştığımız ve kendisine çok şey borçlu olduğum sayın Doç.Dr.Yük.Müh.Alb.M.Emin AYHAN'a, yıllardan bu yana beraber olduğumuz ve bilgi alışverişinde bulunduğumuz sayın Yük.Müh.Bnb.Coşkun DEMİR'e ve diğer arkadaşlarıma çok teşekkür ederim. Sayın jüri üyeleri Prof.Dr. Onur GÜRKAN, Prof. Dr. Hüseyin DEMİREL, Prof. Dr. Tevfik AYAN ve Prof. Dr. Rasim DENİZ'e değerli yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Doktora çalışması bana göre kapsamlı ve disiplinli bir birikimin sonucu olmalıdır. Bu birikimin sağlanmasında en önemli faktörler Harita Genel Komutanlığı ve İstanbul Teknik Üniversitesi olmuştur. Harita Genel Komutanlığı tarafından 1986 yılından bu yana sağlanan olanaklar, oradaki hocalarımla katkıları, bilimsel ve uygulamaya yönelik çalışmalar, İTÜ 'de aldığım dersler ve hocalarımdan görüşüm yardımlar sonucunda bu birikimin sağlandığına inanıyorum.

OCAK 1999

Ali KILIÇOĞLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. GPS ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE BİRLEŞTİRİLMESİ	5
2.1. GPS değerlendirmesi ile ilgili kuruluşlar, sundukları ürünler ve kullanılması	5
1.1.1. Uluslararası Yer Dönme Servisi (International Earth Rotation Service - IERS)	5
1.1.1.1. Klasik yersel koordinat sisteminin oluşturulması	7
1.1.1.2. ITRF94 koordinat sisteminin oluşturulması	8
1.1.1.3. NNR-NUVEL1A plaka hareketleri modeli	10
1.1.2. Uluslararası Jeodinamik GPS Servisi (International Geodynamics GPS Service - IGS)	11
1.1.2.1. Devamlı ölçü yapan istasyonlardan oluşan izleme ağı	12
1.1.2.2. Veri merkezleri	12
1.1.2.3. Analiz merkezleri	13
1.1.2.4. Analiz koordinatörü	14
1.1.2.5. Merkez büro	14
1.1.1.6. Yönetim kurulu	15
1.1.1.7. Global Veri Merkezlerine ve Merkez Büro'ya İnternet Üzerinden Ulaşım	15
1.2. GPS Ölçülerinin Bernese V4.0 Yazılımı ile Değerlendirilmesi	16
1.3. Ayır Gerçekleştirilen GPS Değerlendirme Sonuçlarının Birleştirilmesi	19
1.3.1. Değişik epoklarda hesaplanan koordinatların birleştirilmesi (Matematik Model)	19
1.3.1.1. En küçük karelerle dengeleme	19
1.3.1.2. Ardışık dengeleme metodu	22
1.3.1.3. Birleştirme dengelemesinde nokta koordinat hızlarının belirlenmesi	25
1.3.2. Ayır gerçekleştirilen GPS değerlendirme sonuçlarının Bernese V4.0 ile birleştirilmesi	27
1.4. Dağıtılmış Değerlendirme Kavramı	28

2. MARMARA BÖLGESİNDE DEĞİŞİK KAMPANYA ÖLÇÜLERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİ VE YERKABUĞU HAREKETLERİ YÖNÜNDEN İNCELENMESİ	31
2.1. Marmara Bölgesinde Yerkabuğu Hareketleri ve Plaka Tektoniği	31
2.2. Kampanyaların Ayır Değerlendirilmeleri ve Sonuçları	32
2.2.1. IGS ürünleri ve nokta koordinatları	32
2.2.2. 1992 GPS ölçü kampanyası	37
1.1.3. 1994 GPS ölçü kampanyası	46
1.1.4. 1996 GPS ölçü kampanyası	53
1.3. Kampanyaların Birleştirilmesi ve Yerkabuğu Hareketleri Yönünden İrdelenmesi	60
1.3.1. Ardışık dengeleme yöntemiyle birleştirme ve irdeme	60
1.1.2. GPS bazvektörleri ile üç boyutta ağ sıklaştırması yöntemiyle birleştirme ve irdeme	78
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	84
KAYNAKLAR	90
EK-A	94
EK-B	112
ÖZGEÇMİŞ	129

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo-2.1. IGS operasyonel veri merkezleri	13
Tablo-2.2. IGS bölgesel veri merkezleri	13
Tablo-2.3. IGS global veri merkezleri	14
Tablo-2.4. IGS analiz merkezleri	14
Tablo-3.1. IGS noktalarına ait bilgiler	34
Tablo-3.2. IGS noktalarının ITRF94 (1993.0) koordinatları ve hızları	35
Tablo-3.3. ITRF94'den ITRFyy'a dönüşüm parametreleri (1988.0 için) ...	35
Tablo-3.4. IGS noktalarının ITRF91 (1992.67) koordinatları	35
Tablo-3.5. IGS noktalarının ITRF92 (1994.75) koordinatları	36
Tablo-3.6. IGS noktalarının ITRF94 (1996.72) koordinatları	36
Tablo-3.7. Kullanılan IGS ürünleri	37
Tablo-3.8. Bilinen koordinatlarla hesaplanan koordinatlar (Wtz1 sıkı koşullu) arasındaki farklar	44
Tablo-3.9. Dönüşüm parametreleri	44
Tablo-3.10. Dönüşüm sonrası düzeltmeler	44
Tablo-3.11. Bazvektör uzunluklarının karşılaştırılması	45
Tablo-3.12. Bilinen koordinatlarla hesaplanan koordinatlar arasındaki farklar	49
Tablo-3.13. Bilinen koordinatlarla hesaplanan koordinatlar arasındaki farklar	54
Tablo-3.14. Bazvektör uzunluklarının karşılaştırılması	54
Tablo-3.15. Merkez dışı olduğundan ismi değiştirilen noktalar	60
Tablo-3.16. Kampanyaların birleştirilme stratejileri	63
Tablo-3.17. MN1_FX birleştirme sonucunda hesaplanan koordinatlar ve hızları ITRF94 (1994.685) ve hızları ITRF94 (1994.685)	64
Tablo-3.18. MN1_FX birleştirme sonucunda hesaplanan koordinatlar ITRF94 (1993.0)	64
Tablo-3.19. Hesaplanan ve yayınlanmış ITRF94 (1993.0) epokunda koordinatların farkı (hesap-bilinen)	64
Tablo-3.20. Hesaplanan ve yayınlanmış ITRF94 (1993.0) epokunda bazvektör uzunluklarının farkı	65
Tablo-3.21. Hesaplanan ve yayınlanmış ITRF94 hızlarının farkı (XYZ) ...	65
Tablo-3.22. Hesaplanan ve yayınlanmış ITRF94 hızlarının farkı (NEU) ...	65
Tablo-3.23. Birleştirilmiş koordinatlarla her yıla ilişkin hesaplanan koordinatlar arasındaki farklar	80
Tablo-3.24. Bernese/Addneq ve bazvektörleri ile nokta sıklaştırması sonunda bilinen ve hesaplanan koordinatlar arasındaki farklar	81
Tablo-3.25. Birleştirilmiş koordinatlarla her yıla ilişkin hesaplanan koordinatlar arasındaki farklar	83
Tablo-3.26. Beher yıla ilişkin hesaplanan üçgen kapanmaları	83
Tablo-4.1. Serbest dengelemelere ilişkin istatistik bilgileri	85
Tablo-4.2. Kampanyalarda elde edilen varyans değerleri	87
Tablo-A.1. Marmara 1992 noktaları	94
Tablo-A.2. Marmara 1992 noktaları ITRF91 (1992.67) elipsoidal koordinatları	95
Tablo-A.2. Marmara 1992 noktaları ITRF91 (1992.67) dik koordinatları ...	96

Tablo-A.3.	Marmara 1994 noktaları	97
Tablo-A.4.	Marmara 1994 noktaları ITRF92 (1994.75) koordinatları	98
Tablo-A.4.	Marmara 1994 noktaları ITRF92 (1994.75) koordinatları	99
Tablo-A.5.	Marmara 1996 noktaları	100
Tablo-A.6.	Marmara 1996 noktaları ITRF94 (1996.72) koordinatları	100
Tablo-A.6.	Marmara 1996 noktaları ITRF94 (1996.72) koordinatları	101
Tablo-A.12.	1996 yılı Bernese kampanya çözümü ile sıklaştırma sonuçlarının farkı(m)	101
Tablo-A.7.	Yıllara göre ölçü yapılan noktalar	102
Tablo-A.8.	ITRF94 (1994.685) koordinat sisteminde nokta koordinatları (Birleştirilmiş)	103
Tablo-A.8.	ITRF94 (1994.685) koordinat sisteminde nokta koordinatları (Birleştirilmiş).....	104
Tablo-A.9.	ITRF94 hız alanı (mm/yıl)	105
Tablo-A.10.	1992 yılı Bernese kampanya çözümü ile sıklaştırma sonuçlarının farkı(m)	107
Tablo-A.11.	1994 yılı Bernese kampanya çözümü ile sıklaştırma sonuçlarının farkı(m)	108
Tablo-A.13.	Birleştirilmiş çözüm ile 1992 yılı sıklaştırma sonuçlarının farkı(m)..	109
Tablo-A.14.	Birleştirilmiş çözüm ile 1994 yılı sıklaştırma sonuçlarının farkı(m)..	110
Tablo-A.15.	Birleştirilmiş çözüm ile 1996 yılı sıklaştırma sonuçlarının farkı(m)..	111



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 3.1	IGS noktaları 33
Şekil 3.2	Marmara 1992 GPS Kampanyası Noktaları..... 38
Şekil 3.3	Marmara 1992 GPS Kampanyası Değerlendirmede Seçilen Bazlar... 39
Şekil 3.4	1992 yılı günlük tekrarlılıklar..... 41
Şekil 3.5a	1992 yılı günlük tekrarlılıklar..... 42
Şekil 3.5b	1992 yılı günlük tekrarlılıklar..... 43
Şekil 3.6	Marmara 1994 GPS Kampanyası Noktaları..... 47
Şekil 3.7	Marmara 1994 GPS Kampanyası Değerlendirmede Seçilen Bazlar... 48
Şekil 3.8	1994 yılı günlük tekrarlılıklar..... 50
Şekil 3.9a	1994 yılı günlük tekrarlılıklar..... 51
Şekil 3.9b	1994 yılı günlük tekrarlılıklar..... 52
Şekil 3.10	Marmara 1996 GPS Kampanyası Noktaları..... 55
Şekil 3.11	Marmara 1996 GPS Kampanyası Değerlendirmede Seçilen Bazlar... 56
Şekil 3.12	1996 yılı günlük tekrarlılıklar..... 57
Şekil 3.13a	1996 yılı günlük tekrarlılıklar..... 58
Şekil 3.13b	1996 yılı günlük tekrarlılıklar..... 59
Şekil 3.14	Marmara Kampanyaları GPS Noktaları (Yıllara göre dağılım)..... 61
Şekil 3.15a	ONSA, MATE ve WTZ1 nokta koordinatları ve hızları sıkı koşullu (ITRF94) olarak belirlenen hız alanı..... 67
Şekil 3.15b	ONSA, MATE ve WTZ1 nokta koordinatları ve hızları sıkı koşullu (ITRF94) olarak belirlenen hız alanı..... 68
Şekil 3.16a	ONSA, MATE ve WTZ1 nokta koordinatları ve hızları için (ITRF94) NNT+NNR koşulu ile belirlenen hız alanı..... 69
Şekil 3.16b	ONSA, MATE ve WTZ1 nokta koordinatları ve hızları için (ITRF94) NNT+NNR koşulu ile belirlenen hız alanı..... 70
Şekil 3.17a	ONSA, MATE ve WTZ1 nokta koordinatları (ITRF94) sabit ve hızların serbest olarak belirlendiği hız alanı..... 71
Şekil 3.17b	ONSA, MATE ve WTZ1 nokta koordinatları (ITRF94) sabit ve hızların serbest olarak belirlendiği hız alanı..... 72
Şekil 3.18a	ONSA IGS nokta koordinatları (ITRF94) için NNT koşulu ile ve ITRF94 hızı sabit olarak belirlenen hız alanı..... 73
Şekil 3.18b	ONSA IGS nokta koordinatları (ITRF94) için NNT koşulu ile ve ITRF94 hızı sabit olarak belirlenen hız alanı..... 74
Şekil 3.19a	ONSA, MATE ve WTZ1 nokta koordinatları (ITRF94) sabit ve ITAY noktası hızı sabit (sıfır) olarak belirlenen hız alanı..... 75
Şekil 3.19b	ONSA, MATE ve WTZ1 nokta koordinatları (ITRF94) sabit ve ITAY noktası hızı sabit (sıfır) olarak belirlenen hız alanı..... 76
Şekil 3.20	Her üç GPS kampanyasında da ölçülen noktaların yıllık yerdeğiştirmeleri 77
Şekil B.1	Bazvektör uzunluklarına karşılık apriori standart sapmaları..... 116
Şekil B.2	Noktalara bağlı bazvektörlerinin apriori standart sapmalarının ortalaması..... 117
Şekil B.3	Bazuzunluğuna karşılık varyans faktörü..... 118
Şekil B.4	Bazvektörlerinin a priori standart sapmalarına karşılık varyans faktörü..... 119
Şekil B.5	Bazvektör uzunluğuna karşılık bazvektörlerinin a posteriori standart

	sapmaları.....	120
Şekil B.6	Bazvektör uzunluğuna karşılık bazvektörü için hesaplanan toplam redundans.....	121
Şekil B.7	Bazvektörlerinin a posteriori standart sapmalarına karşılık bazvektörlerinde toplam redundans.....	122
Şekil B.8	Bazvektörlerine karşılık toplam redundans	123
Şekil B.9	Bazvektörlerinin a posteriori standart sapmalarına karşılık belirlenebilecek en büyük hata miktarı	124
Şekil B.10	Bazvektörleri için hesaplanan toplam redundansa karşılık belirlenebilecek en büyük hata miktarı.....	125
Şekil B.11	Noktalarda toplam redundans.....	126
Şekil B.12	Noktalara bağlı bazvektör sayısına karşılık bağlı bazvektörlerinin redundanslarının ortalaması.....	127
Şekil B.13	Bazvektörlerinde hesaplanan belirlenebilecek en büyük hata miktarı	128



İTÜ - ETHZ - TUJJB GPS PROJESİNDE DEĞİŞİK KAMPANYA ÖLÇÜLERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİ VE SONUÇLARININ YERKABUĞU HAREKETLERİ YÖNÜNDEN İRDELENMESİ

ÖZET

Jeodezik ağılar jeodezik ve jeodinamik problemlerin çözümünde önemli bir rol oynamaktadır. Jeodezik ağılar bazı doğal olaylardan, ağların sıklaştırılmasından ve yer kabuğu hareketlerinden etkilenmektedir.

Aynı problemler jeodezik ağların GPS ölçüleri kullanılarak oluşturulması ve sıklaştırılmasında da görülür. Örneğin, iki değişik zamanda ölçülen GPS ağları birleştirilmelidir ve yukarıdaki etkilere açıktır.

Nokta konumlaması, bir yandan yer kabuğu hareketlerini belirlemek öte yandan ağ noktalarının koordinatlarını kullanılması için yayınlamak amaçlarıyla kullanılmaktadır.

Yakın geçmişte, jeodezicilerin elinde yalnızca klasik yersel jeodezik ölçü aletleri ve kısıtlı seviyede uzay jeodezisi teknikleri kullanılıyordu. Fakat, uzay jeodezisi tekniklerinin oldukça hızlı bir şekilde gelişmesi ile kelimenin tam anlamı ile konumlama oyunun kuralları değişmektedir.

Uluslararası Jeodinamik GPS Servisi (International Geodynamics GPS Service -IGS) 'nin kurulmasından sonra global izleme ağı oluşturuldu ve yüksek doğruluklu uydu yörüngeleri, yer dönme parametreleri, uydu saat katsayıları ve troposfer ve iyonosfer hakkında daha doğru bilgiler elde edildi ve jeodezi kamuoyuna sunulmaya başlandı.

Bundan başka, Uluslararası Yer Dönme Servisi (International Earth Rotation Service - IERS) global analiz merkezlerince sağlanan çok çeşitli uzay jeodezisi teknikleri ile elde edilen verilerin birleştirilerek yüksek doğruluklu Yersel Koordinat Sistemlerinin, ITRF94 gibi, oluşturulması görevini üstlenmiştir. IGS ve IERS ürünlerinin kullanılması ile plakaların birbirlerine göre hareketlerinin global bir referans koordinat sistemi içerisinde belirlenmesi olanaklı hale gelmiştir.

Yer deformasyonları seküler, periyodik ve episodik (ani) olarak sınıflandırılabilir. Yer deformasyonları için sebepler aşağıdaki gibi verilebilir; uzay cisimlerinin çekim etkileri, yerin dönmesi ve kutup hareketi, ani deformasyonlar ve plaka tektoniği.

Yukarıda belirtildiği gibi IGS ve IERS'in kurulmasıyla birlikte yüksek doğruluklu ürünler jeodeziciler sağlanmaktadır.

IERS Klasik Yersel Referans Sisteminin ve Klasik Gök Referans Sisteminin kurulması ve bunların diğer referans sistemleriyle bağlantılarının kurulması için

gerekli bilgileri sağlamakla görevlidir. IERS Klasik Yersel Referans Sistemini yeryüzüne dağılmış noktalardan oluşan bir devamlı izleme ağı ile gerçekleştirmektedir. Böyle bir sistemin gerçekleştirilmesinde IERS; VLBI, SLR, LLR, GPS ve DORIS ölçülerini kullanmaktadır.

IGS'in temel amacı jeodezik ve jeodinamik araştırmaları GPS ürünleri ile destekleyecek bir hizmet servisi oluşturmaktır. IGS ürünleri arasında yüksek doğruluklu GPS uydu yörüngeleri, yer dönme parametreleri, IGS devamlı izleme ağı noktalarının koordinatları ve hızları, GPS uydu ve alıcı saat bilgileri, iyonosfer ve troposfer hakkında bilgi sayılabilir. Bu ürünler ITRF koordinat sistemlerinin geliştirilmesi, katı yerkabuğu hareketlerinin belirlenmesi, kutup hareketlerinin izlenmesi, bilimsel amaçlı uydu yörüngelerinin hesaplanması, iyonosfer ve troposferin izlenmesi, iklimbilim araştırmaları ve hava tahmini gibi çeşitli bilimsel amaçlı çalışmaları destekleyecek doğruluktadır.

Bu çalışmada IGS ve IERS ürünlerinin birçoğu GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde Bernese V4.0 GPS yazılımı kullanılmıştır. Bernese V4.0 yazılımı hakkında ayrıntılı bilgi yazarların yayınlarından alınabilir. Beher GPS kampanyası değerlendirilmiş ve normal denklem sistemleri belirli bir şekilde saklanmıştır. Kampanyaların birleştirilmesinden sonra elde edilen normal denklem sistemlerinin uygun bir algoritme ile birleştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada değişik zamanlarda hesaplanan koordinatların ve diğer parametrelerin birleştirilmesi için "Helmert Bloking" olarak bilinen model kullanılmıştır. Bu yöntemde noktaların doğrusal hızları gibi yeni ek parametreler birleştirme aşamasında tanımlanabilmektedir. Bu model Bernese V4.0 içerisinde uygulanmış olup bu çalışmada kullanılmıştır.

1990 yılında Marmara bölgesindeki yerkabuğu hareketlerin ve diğer doğal yer olaylarının araştırılması ve izlenmesi amacıyla ETH Zürih/İsviçre, İstanbul Teknik Üniversitesi ve Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği temsilci kurumu Harita Genel Komutanlığı ile birlikte bir proje başlatılmıştır.

Bu proje çerçevesinde yaklaşık 50 noktadan oluşan bir ağ oluşturulmuş ve bu ağda tekrarlı GPS ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada 1992, 1994 ve 1996 yıllarında gerçekleştirilen GPS ölçüleri değerlendirilmiş ve birleştirilerek nokta koordinatları ve Marmara bölgesi hız yapısı belirlenmiştir.

GPS kampanyalarının değerlendirilmesinde IGS ve IERS ürünlerinin çoğu kullanılmış olup nokta koordinatları ve doğrusal hızları ITRF koordinat sistemlerinden birinde hesaplanmıştır.

IGS izleme istasyonlarından Onsala, Ankara, Wettzel, Kitab, Matera, Zimmerwald noktalarına ilişkin GPS ölçüleri toplanmış ve bu çalışmada kullanılmıştır.

IGS uydu yörüngeleri ve uydu saat katsayıları 1994 ve 1996 kampanyalarının değerlendirmesinde, ve CODE uydu yörüngesi ve uydu saat katsayıları 1992 kampanyası değerlendirmesinde kullanılmıştır. IERS yer dönüklük parametreleri (C04 serisi) 1992 ve 1994 yılı kampanyaları için ve IGS yer dönüklük parametreleri 1996 yılı kampanyası için kullanılmıştır.

1992 yılında 27 Ağustos-07 Eylül tarihleri arasında 48 noktada her gün 6 saatlik oturumlar şeklinde GPS ölçüleri gerçekleştirilmiştir. GPS ölçüleri için ETHZ tarafından sağlanan 11 adet WM102 GPS alıcısı kullanılmıştır. 1994 yılında 26 Eylül-06 Ekim tarihleri arasında 52 noktada noktada her gün 10 saatlik oturumlar şeklinde GPS ölçüleri gerçekleştirilmiştir. GPS ölçüleri için ETHZ tarafından sağlanan 11 adet Leica System 200 GPS alıcısı kullanılmıştır. 1996 yılında 17-22 Eylül tarihleri arasında 11 noktada her gün 10 saatlik oturumlar şeklinde GPS ölçüleri gerçekleştirilmiştir. GPS ölçüleri için ETHZ tarafından sağlanan 11 adet Leica System 200 GPS alıcısı kullanılmıştır

Beher kampanya Bernese V4.0 GPS yazılımı ile ve Rothacher ve Mervart, 1996'da verilen ilkeler ışığında değerlendirilmiştir. Öncelikle, günlük gevşek koşullu çözümler elde edilmiş ve daha sonra o yıla ilişkin kampanya için sonuç gevşek koşullu normal denklem sisteminin elde edilmesi amacıyla birleştirilmiştir. Sonuç normal denklem sistemlerinde tüm parametreler elimine edilmiş yalnızca koordinat parametreleri bırakılmıştır. Bundan başka ağın dış kotrolunu amacıyla IGS noktalarından birinin koordinatları sabit tutularak çözümler gerçekleştirilmiştir. IGS nokta koordinatlarının ITRFyy koordinat sistemleri içerisinde birkaç cm seviyesinde elde edilebildiği görülmektedir.

Beher kampanya için gevşek koşullu normal denklem sistemleri elde edildikten sonra bunların birleştirilmesi Bernese V4.0 içerisindeki Addneq modülü ile gerçekleştirilmiştir. Normal denklem sistemleri gevşek koşullu (serbest) çözümlerden elde edildiğinden ağın datumu yalnızca uydu koordinatları ile belirlenmektedir.

Üç kampanyanın birleştirilmesinde jeodezik datum Onsa, Mate ve Wtz1 IGS noktalarının ITRF94 koordinatları sabit tutularak belirlenmiştir.

Nokta hızları gibi ek parametreler Addneq ile birleştirme sırasında tanımlanabilmektedir. Kampanyalar arasında uzun bir zaman aralığı olduğundan normal denklemlerin birleştirilmesinde noktalar için doğrusal bir hız tanımlanmıştır. Nokta hızları için datum tanımı için IGS noktalarının ITRF94 hızları sabit alınmış böylece diğer noktaların ITRF94 hızları hesaplanmıştır.

Birleştirmeden sonra tüm noktaların koordinatları ITRF94 koordinat sisteminde ve kampanyaların ortasına karşılık gelen bir zamanda hesaplanmış olmaktadır. Birleştirme sonrasında ITRF94 içerisinde IGS noktalarının koordinatları 1-2 cm seviyesinde belirlenmektedir. GPS ölçülerinde hesaplanan nokta hızları değişik çalışmalarda verilenlerle oldukça benzerdir.

COMBINATION OF OBSERVATIONS FROM VARIOUS CAMPAIGNS WITHIN THE ITU-ETHZ-TNUGG GPS POLYPROJECT AND ANALYSIS OF THE RESULTS WITH RESPECT TO CRUSTAL DEFORMATIONS

SUMMARY

The geodetic networks play an important role in the solution of geodetic and geodynamic problems. The geodetic networks are affected by some natural phenomena as well as densification of networks, and crustal deformations.

The same problems may be seen in the establishment and densification of geodetic networks by using the measurements of Global Positioning System (GPS). For instance, the GPS networks observed at different epochs are to be combined, and to be affected by the same problems above.

Point positioning, on the one hand, has been used to define the crustal deformations and, on the other hand, to publish the coordinates of network stations to be used in later applications. The published coordinates were accepted fixed with respect to time.

In the near past, the geodesists had only classical terrestrial geodetic measurement instruments and limited space geodesy techniques. But, as the space geodesy techniques improved dramatically the rules of the positioning changes.

After the establishment of International Geodynamics GPS Service (IGS), a global tracking network has been established and high precision satellite orbits, earth rotation parameters, satellite clock coefficients, and more accurate information about troposphere and ionosphere obtained and provided to geodetic community.

Besides, International Earth Rotation Service (IERS) has combined multi space techniques data from global analysis centers and produces high precision Terrestrial Reference Frames, known as IERS Terrestrial Reference Frame (ITRF), e.g. ITRF94. By using the products of IGS and IERS, monitoring the motions of the plates relative to each other in a global reference frame is possible.

Earth's deformation may be classified as secular, periodic and episodic deformations. The reasons for the Earth's deformation may be given as follows; tidal forces of celestial bodies, earth rotation and polar motion, crustal loading deformations, episodic deformations, and plate tectonics.

As it is mentioned above, after the establishment of IGS and IERS high precision products have been available to the geodetic community.

IERS is responsible for the definition of Conventional Terrestrial Reference System (CTRS), and Conventional Celestial Reference System (CCRS) and providing the necessary information to relate them with the other reference systems. IERS realizes the CTRS with a network of stations distributed all over the world. In the realization of such a system IERS makes use of Very Long Baseline Interferometry (VLBI), Satellite Laser Ranging (SLR), Lunar Laser Ranging (LLR), GPS and Doppler Orbit Determination and Radio Positioning Integrate on Satellite (DORIS) observations.

The main goal of the IGS is to establish a service to support the geodetic and geophysical researches by providing the GPS products. IGS products are as follows ; high precision GPS ephemerides, earth rotation parameters, the coordinates and velocities of the stations of the IGS tracking network, GPS satellite and receiver clock information, ionospheric information, tropospheric information. The accuracy of these products supports some scientific aims, such as, the development of the ITRF, monitoring the rigid earth deformations, monitoring earth rotation, computation of scientific satellite orbits, monitoring the ionosphere, researches in climatology and weather forecast.

In this study most of the IGS and IERS products available are used in the post-processing of GPS measurements. Bernese GPS software version 4.0 is used to process the GPS data. The detailed information about Bernese V4.0 is given by authors of the software. Each GPS campaign is processed, and normal equation system is saved in a specific file. After the processing of each campaign the task is to combine these normal equations in a proper algorithm. In this study the so called Helmert blocking method is given to combine the coordinates and other parameters computed at different epochs. In this method it is possible to introduce new parameters into the combined model such as the velocities of the stations. This method is implied in Bernese V4.0 and used in this study.

In 1990, a project to monitor the crustal deformations and other natural phenomena in the Marmara sea region was initiated by ETH Zürich/Switzerland, Istanbul Technical University, and General Command of Mapping representing the Turkish National Union of Geodesy and Geophysics.

A network consists of approximately 50 stations was established and repeated GPS observations were carried out in the framework of this project. In this study the GPS observations carried out in 1992, 1994, and 1996 are processed in order to combine the results, and to define the velocity field of the Marmara region.

In the processing of the GPS campaigns, most of the IGS and IERS products have been used, and the coordinates and velocities of the network stations are defined in one of the ITRFs.

The GPS data from the IGS tracking network stations (Onsala, Ankara, Wettzel, Kitab, Matera, Zimmerwald) have been collected and used in the processing.

IGS GPS satellite orbits and satellite clock coefficients are used for the processing of 1994 and 1996 campaigns, and CODE orbit and satellite clock coefficients are used for 1992 campaign. IERS earth rotation parameters (C04 series) are used for 1992 and 1994 campaigns, and IGS earth rotation parameters are used for 1996 campaign.

In 1992 (Aug 27 - Sep 07), GPS observations were carried out at 48 stations with 6 hour sessions each day. 11 WM102 GPS receivers provided by ETHZ were used in the measurement campaign. In 1994 (Sep 26 - Oct 06), GPS observations were carried out at 52 stations with 10 hour sessions each day. 11 Leica System 200 GPS receivers were used. In 1996, (Sep. 17 - 22), GPS observations were carried out at 11 stations with 10 hours of sessions each day. 11 Leica System 200 GPS receivers were used.

Each campaign is processed by using Bernese GPS Software V4.0 according to the principles of processing strategy given in (Rothacher and Mervart, 1996). First, daily loosely constrained solutions are obtained, and then combined to produce loosely constrained solution for the whole campaign of each year. Only the coordinate parameters are made available in the normal equation system of each campaign. Besides the loosely constrained solution by fixing the coordinates of one IGS station to its ITRF94 coordinates is produced to check the processing results and external control. The recovery of IGS station coordinates in ITRF94 is at cm level.

Once the loosely constrained solution for each campaign is produced, then the combination of these results is achieved by the ADDNEQ module of Bernese V4.0. Since the normal equations from each campaign is produced from loosely constrained (or free) solutions, the geodetic datum of the network is defined by satellite coordinates only (reference frame of the orbit).

In the combination of three campaigns the geodetic datum of the network is defined such as fixing the ITRF94 coordinates of Onsala, Marienberg and Wettzell IGS stations.

Additional parameters such as station velocities may be introduced to the system in the combination of the normal equations in ADDNEQ. A linear velocity parameter is introduced to the combined normal equation systems, since there is a long time span between subsequent campaigns. The datum definition for the velocities should be made as geodetic datum, in order to compute the velocities. For the velocity datum definition, the ITRF94 velocities of IGS stations are held fixed, thus the velocities of other stations defined and computed in ITRF94 velocity field.

After the combination, the coordinates of all stations are defined in ITRF94 at a certain epoch. The recovery of IGS stations after the combination is at 1-2 cm level. The velocity field computed by the GPS observations is quite similar in shape to those given in the literature.

1. GİRİŞ

Jeodezik problemlerin çözümünde jeodezik ağların işlevi oldukça önemlidir. Jeodezik problemlere çözümler sağlayan bu ağlar genellikle bazı olumsuz etkilere açıktır. Bu etkiler arasında özellikle kabuk hareketlerinin aktif olduğu bölgelerde yer kabuğu hareketleri yer alır. Var olan bir ağa yeni noktalar eklenmesi ve ağların büyük alanlar kapsamaları nedeniyle bir anda ölçülememesi de başta gelen olumsuzluklar arasında sayılabilir.

GPS ölçüleriyle jeodezik ağların gerçekleştirilmesi veya sıklaştırılmasında da benzer problemler görülmektedir. GPS ile jeodezik ağ gerçekleştirilmesinde ağın büyüklüğü nedeniyle, yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi veya deformasyonların izlenmesi amacıyla değişik epoklarda GPS ölçüleri yapmak gereklidir. Örneğin çok noktalı ağlarda veri yoğunluğu ve bilinmeyen parametre sayısının çok fazla olması nedeniyle değerlendirmede fiziksel problemler ortaya çıkmakta ve ağın parçalara ayrılarak değerlendirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu durumda parçalı olarak değerlendirilmiş ağların birleştirilmesi de incelemeye değer bir problem olarak ele alınabilir. Yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi veya deformasyonların izlenmesi amacıyla değişik epoklarda ölçülen ve değerlendirilen GPS kampanyaları da bir ağın parçaları olarak düşünülmelidir.

GPS ile ölçülen her ağ parçasında, özellikle ağdan beklenen duyarlılığa bağlı olarak, veri kümesi oldukça büyük bir yer kapsamaktadır. Özellikle yüksek doğruluklu GPS ağlarında ve deformasyonların izlenmesi amacıyla kurulan GPS ağlarında uzun zamanlı alım (ölçü) yapma gereksinimi vardır. Çok noktada ve uzun zamanlı alımlar her noktada üç koordinat bilinmeyenini yanı sıra çok sayıda diğer parametrenin de çözülmesini gerektirmektedir (faz başlangıç belirsizliği, troposferik gecikme parametresi, yörünge parametreleri vb.). Böylece tüm ağın birden değerlendirilmesi bazı durumlarda olanaksız hale gelmektedir. Bu problem ağın alt gruplara parçalanması, her parçanın sonradan birleştirmeye uygun olacak şekilde ayrı ayrı değerlendirilmesi ve bu parçaların birleştirilmesi ile çözülebilir.

Zamana bağılı yer kabuğu hareketlerinin ve deofrmasyonların izlenmesi amacıyla kurulan GPS ağıları zorunlu olarak, hareketlerin büyüklüğü dikkate alınarak belirlenecek zaman aralıklarıyla değişik epoklarda ölçülmektedir. Her epokta bazı noktalar ağdan çıkarılabilir veya ek ölçülerle ağa yeni noktalar dahil edilebilir. Bu durumda her epokta değerlendirilen ağ bütünü bir parçası olarak kabul edilebilir.

Nokta konumlaması genel olarak iki amaçla kullanılagelmiştir. Yerkabuğu hareketlerinin büyüklükleri ile belirlenmesini amaçlayan özel ağlar dışta tutulursa, jeodezik kontrol ağı noktalarının çok amaçlı konumları belirlenerek yayınlanmakta ve bu koordinatlar diğer birçok uygulamada zamana göre değişmez kabul edilmektedir. Öneğin ülkemizde de temel kontrol ağı nokta konumları (yatay, düşey, gravite vb) bir kez hesaplanmış ve günümüze kadar kullanımda zamana göre değişmez kabul edilmiştir. Bu ağların Anadolu plakasının aktif tektonik yapısı nedeni değişime uğramasının göz ardı edilmesi özellikle aktif hareketin fazla olduğu bölgelerde sorun yaratmaktadır. Bu bölgelerdeki zamana bağılı hareketin hesaba katılması istemi ve günümüz uzay jeodezisi teknikleri bu gereksinmeyi karşılar duruma gelmiştir.

Yakın geçmişe kadar yalnızca klasik yersel jeodezik ölçme yöntemleri ve kısıtlı derecedeki uzay teknikleri jeodezicilerin elinde konumlama alet ve teknikleri olarak bulunuyorken uzaya bağılı jeodezik ölçme teknolojisinin çok hızlı bir şekilde gelişmesi Vanicek (ed), (1987)'de ifade edildiği gibi, kelimenin tam anlamı ile “konumlama oyununun kuralları” değişmiştir.

Yerkabuğu hareketlerinin yavaş ve küçük olduğu bölgelerdeki konum değişiklikleri bile günümüzde hesaba katılabilmektedir. Yakın geçmişte uzay cisimlerinin çekim etkilerinden doğan hareketler (body tide, tidal loading, post glacial rebound) belirlenebiliyordu. Çünkü bunların oluşumları ve kaynakları yerbilimcileri tarafından iyi bir şekilde anlaşılmıştı ve uzun mesafelerde çok duyarlı jeodezik ölçmeler gerektirmiyordu. Ancak jeodezi biliminin şu andaki olanaklarıyla global tektonik hareket, deprem öncesi ve sonrası hareketler, yerin çökmesi, deniz seviyesindeki değişimler de izlenebilmekte ve değerlendirilebilmektedir.

Bu aşamada bilimsel yanıtlara ihtiyacı olan birtakım sorularla karşılaşilmektedir. Örneğin, nokta koordinatları belirli bir epok için verilmeli ve bundan sonra zamana

bağlı olarak mı değerlendirilmelidir? Zamana bağlı değişimler koordinatlarla birlikte yayınlanmalı mıdır? Deformasyon izleme amacıyla kurulan ağlardan elde edilen bilgiler herhangi bir konumlama uygulamasında nasıl kullanılmalıdır? Jeodezik nokta konumlamada kullanılan koordinat sistemleri ile jeodinamik amaçlı kurulan koordinat sistemleri arasında nasıl bir ilişki kurulmalıdır?

Bütün bu sorunlar için GPS ile nokta konumlamasının getirdiği olanaklar belirleyici olmaktadır. Bu bağlamda, özellikle Uluslararası Jeodinamik GPS Servisinin (IGS-International GPS Service for Geodynamics) kurulması ve resmi çalışmalarına başlaması ile, tüm yeryüzünü kapsayan global izleme ağının kurulması, yüksek doğruluklu GPS uydu yörüngeleri, yer dönme parametreleri, uydu saat katsayıları, troposfer ve iyonosfer hakkında daha doğru bilgilerin elde edilmesi gibi çok önemli gelişmeler gerçekleştirilmiştir. Böylece plakaların birbirlerine göre hareketleri, global bir ağ içerisinde izlenebilmektedir. Yüksek doğruluklu GPS ölçmeleri ile nokta konumlaması yapmak isteyen kullanıcılar artık IGS ve IERS (International Earth Rotation Service) tarafından üretilen yüksek doğruluklu ürünlere ulaşabilmektedir. Bu ürünler anonim ftp (file transfer protocol - dosya transfer protokolu) adreslerinde tüm kullanıcılara ücretsiz olarak açıktır.

Bu çalışmada Marmara bölgesinde 1992, 1994 ve 1996 yıllarında gerçekleştirilen GPS kampanyaları Bernese V4.0 yazılımı ile ve çoğu IGS ve IERS ürünleri kullanılarak değerlendirilmiş ve birleştirilmiştir. Bu birleştirme sonucunda nokta koordinatları ile birlikte nokta hızları da global bir koordinat sisteminde belirlenmiştir. Bundan başka her kampanya için Bernese V4.0 ile elde edilen bazvektör bileşenleri ölçü olarak kabul edilerek, jeodezik kontrol ağları oluşturulmuş ve bu ağlar kendi içlerinde ve birbirleri ile kontrol edilmişlerdir.

Her yıla ilişkin GPS kampanyalarında, günlük sebest çözümlerden elde edilen bağımsız bazvektörleri ölçü olarak alınarak topluca bazvektör ağ dengelemesi uygulanmış ve her kampanyada oluşturulan ağ analiz edilmiştir. Bu çözümler her yıla ait uydu yörüngesinin hesaplandığı koordinat sisteminde ve ölçü epokundadır. Bu yöntem ile hesaplanan çözümler ve kampanya çözümleri arasındaki ilişkiler Bernese çözümleriyle karşılaştırılmıştır.

Bir sonraki bölümde GPS ölçülerinin değerlendirilmesi ve birleştirilmesi hakkında bilgi verilmektedir. Bu kapsamda GPS ile ilgili uluslararası kuruluşlar, Bernese V4.0 yazılımı, değerlendirme ve birleştirme hakkında bilgi verilmektedir. Bölüm 3'de Bernese programı ve nokta sıkıştırması ile yapılan uygulamalar anlatılmaktadır. Bölüm 4'de elde edilen sonuçlar sunulmakta ve uygulamaya yönelik öneriler tartışmaya açılmaktadır. Uygulamalarda hesaplanan koordinatlar, hızlar ve diğer bazı sonuçlar gösterim kolaylığı ve bütünlüğü açısından EK-A'da verilmektedir. EK-B'de ise her yıla ilişkin kampanya için oluşturulan ağlarla ilgili analizler yer almaktadır.

Bu çalışmada, elde edilen sonuçların gösterimi amacıyla verilen şekillerin bazıları Wessel, P., W.H.F.Smith (1991, 1995) tarafından tüm bilimsel kullanıcılara ücretsiz olarak sağlanan Generic Mapping Tools (GMT) yazılımı ve veri tabanı kullanılarak hazırlanmıştır.

2. GPS ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE BİRLEŞTİRİLMESİ

2.1. GPS Değerlendirmesi ile ilgili Uluslararası Kuruluşlar, Sundukları Ürünler ve Kullanılması

2.1.1. Uluslararası Yer Dönme Servisi (International Earth Rotation Service - IERS)

IERS 1987 yılında IAU (Uluslararası Astronomi Birliği - International Astronomical Union) ve IUGG (Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği - International Union of Geodesy and Geophysics) tarafından kurulmuştur ve 1 OCAK 1987'den itibaren çalışmalarına başlamıştır. IERS'in kurulması ile IPMS (Uluslararası Kutup Hareketi Servisi - International Polar Motion Service) ve BIH'in (Uluslararası Saat Servisi - Bureau International l'Heure) yer dönme servisi kapatılmıştır. BIH'in zaman bölümü BIPM (Uluslararası Ölçü Birimleri Bürosu - Bureau International des Poids et Measures)'de çalışmalarına devam etmektedir. IERS FAGS (Astronomik ve Jeofizik Data Analiz Federasyonu - Federation of Astronomical and Geophysical Data Analysis Service)'ın bir üyesidir.

IERS, Klasik Yersel Referans Sistemi (Conventional Terrestrial Reference System - CTRS) ve Klasik Gök Referans Sistemi (Conventional Celestial Reference System - CCRS)'nin tanımlanması ve bu sistemlerin birbirleriyle ve diğer referans sistemleriyle ilişkilerinin sağlanması için yeterli ve gerekli bilgiyi sağlama görevini üstlenmiştir. IERS aşağıdaki hizmetlerin yerine getirilmesinden sorumludur (Boucher v.d., 1994, 1995).

- * Yüksek duyarlıklı uzay jeodezisi teknikleri ile bir CTRS tanımlamak ve geliştirmek.
- * Galaksi ötesi radyo kaynaklarına dayalı bir CCRS tanımlamak, geliştirmek ve diğer gök referans sistemleri ile ilişkisini sağlamak.

* Gözlem ve analiz amaçlı projeler (kampanyalar) düzenlemek, uygun data ve sonuçlarını toplamak ve arşivlemek ve bu sonuçları kullanıcıların gereksinimlerini karşılayacak bir biçimde sunmak.

IERS Merkez Büro ve herbiri bir temel gözlem tekniğinden sorumlu olan koordinasyon merkezlerinden oluşmakta olup, gözlem ve veri işlem görevlerine yardımcı olan bir çok kurum tarafından da desteklenmektedir.

Koordinasyon merkezleri, kuruluşun hedeflerini karşılayacak şekilde, her ölçü tekniği için her çeşit geliştirme ve düzenleme faaliyetlerini yürütmekle yükümlüdür. Merkez Büro kuruluş tarafından toplanan değişik tipte birçok veriyi birleştirir ve kullanıcılara sunar. IERS koordinasyon merkezleri aşağıdaki gibidir.

- VLBI (Very Long Baseline Interferometry) koordinasyon merkezi (NOAA/ National geodetic Survey, USA)
- LLR (Lunar Laser Ranging) koordinasyon merkezi (OCA/Centre d'Etudes et de Recherches Geodynamics et Astronomiques, France)
- GPS koordinasyon merkezi (Jet Propulsion Laboratory, USA)
- SLR (Satellite Laser Ranging) koordinasyon merkezi (University of Texas/Center for Space Research, USA)
- DORIS (Doppler Orbit determination and Radiopositioning Integrate on Satellite) koordinasyon merkezi (Institut Geographie National, France)

IERS yönetim kurulu IAU, IAG/TUGG, FAGS, Merkez Büro ve her koordinasyon merkezinin temsilcilerinden oluşmaktadır. Yönetim kurulu Kuruluşun tüm çalışmalarının genel bir kontrolünü yürütür. IERS merkez büro ürünlerine erişim tüm kullanıcılara açık olup gerekli adresler aşağıda verilmektedir.

* Yer Dönmesi ve Gök Koordinat Sistemi
ftp 145.238.2.21 (ftp mesiom.obspm.fr)
username : **anonymous**
password : **e-mail adresi**
cd /iers (sisteme girdikten sonra)

* Yersel Koordinat Sistemi
ftp 192.33.147.230 (ftp schubert.ign.fr)
username : **anonymous**
password : **e-mail adresi** [**cd /itr** (sisteme girdikten sonra)]

2.1.1.1 Klasik yersel koordinat sisteminin oluşturulması

Bir yersel referans sistemi (TRS) jeodezik ve jeodinamik problemlerin çözümünde gerekli olan en önemli kavramlardan biridir. SLR, VLBI, LLR, DORIS ve GPS gibi ölçme tekniklerinden elde edilen doğruluğun sürekli artması uygun bir TRS tanımını gerektirmektedir. TRS öyle tanımlanmalıdır ki modellendirmede kaynaklanan hatalar ölçü hataları kadar küçük seviyede olmalıdır (Boucher v.d., 1994; McCarthy, 1996).

Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği (IUGG)'nin 1991 Viyana toplantısında önerilen ve kabul edilen Klasik Yersel Referans Sisteminin (CTRS) tanımı aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

- CTRS'nin ölçeği VLBI ve SLR tarafından belirlenir.
- CTRS yalnızca yerküre ve çevresi için geçerli olacak yerel bir koordinat sistemidir.
- Jeosentriktir, yerin ağırlık merkezi olarak okyanusları ve atmosferi de kapsayan tüm yerkürenin ağırlık merkezi kabul edilir.
- Yönelmesi BIH tarafından 1984.0'de belirlenen şekildedir (WGS84 ile aynı).
- CTRS yerkabuğundaki yatay plaka hareketlerine uyumlu bir şekilde hareket eder.

Burada klasik terimi burada önerilen modele ve ölçü tekniklerine dayalı birçok referans sisteminin varolması dolayısıyla kullanılmıştır (Boucher ve Altamimi, 1993).

CTRS koordinatları $X(t)$ zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlanan noktalardan oluşan bir ağ ile gerçekleştirilir. Bu ağ Klasik Yersel Referans Ağı (CTRF) olarak isimlendirilir. Bir CTRF, temel olarak ağın yapısı ve $X(t)$ koordinatların belirlenme kalitesi ile değerlendirilir. Diğer taraftan CTRS noktaları yerkabuğu üzerinde işaretli noktalardır ve deformasyonlardan etkilenirler. Bu nedenle koordinatlar jeofizik etkilerin modellendirilmesi ile düzeltilmelidir.

Yine IUGG 1991 kararlarına göre herhangi bir t epokunda nokta koordinatları $X(t)$ aşağıdaki gibi açıklanmaktadır.

$$X(t) = X_0 + V_0(t - t_0) + \sum_i \Delta X_i(t) \quad (2.1)$$

Burada :

ΔX_i çeşitli deformasyonlar için hesaplanan düzeltmeler,

$$V_0 = V_{\text{plaka}} + V_r$$

V_r : artık hız

V_{plaka} : NNR-NUVEL1A plaka tektoniği hareketinden elde edilen hızlar

2.1.1.2 ITRF94 koordinat sisteminin oluşturulması

ITRF94 yukarıda verilen modele uygun olarak IERS tarafından oluşturulmuş bir CTRF'dir. IERS analiz merkezleri çeşitli ölçü tekniklerinden elde edilen verileri kullanarak nokta koordinatlarını (SSC - Set of Station Coordinates) ve varyans kovaryans matrislerini üretmektedirler. ITRF94 çözümünde kullanılan SSC 'ler ; hesaplamalarda yer dönme parametrelerinin kullanılış şekline (örneğin koordinatlarla yer dönme parametreleri topluca dengelenmiş veya dengelenmemiş), ölçülerin türüne ve SSC ile gönderilen bilgilerin türüne göre sınıflandırılmıştır. İnci sınıf olarak nitelendirilen çözüm için kabul edilen ölçütler ;

- Koordinatların (ve hızların) dolu varyans-kovaryans matrisi ile birlikte SINEX formatta sağlanması,
- İyi kalitede global çözüm yapılmış olması,
- Mümkün olan tüm istasyonların dahil edilmesi,

olarak verilebilir. Diğer bütün çözümler IIinci sınıf olarak nitelendirilmektedir.

ITRF94 çözümü tamamen İnci sınıf çözümlerin birleştirilmesine dayanmaktadır. Bu birleştirme VLBI, GPS, SLR, LLR ve DORIS çözümlerinden oluşmaktadır. ITRF94 çözümü aşağıdaki işlem adımlarında gerçekleştirilmiştir (Boucher v.d., 1995; McCarthy, 1996).

1. SLR çözümlerinden biri (bu bölümde LC olarak adlandırılacaktır) için dönüşüm parametreleri sıfır olarak tanımlanmış ve 1988.0 epokunda (3.2) ile verilen dönüşüm eşitliği kullanılarak global bir birleştirme yapılmıştır. Yani LC çözümü

1988.0 epoku için ITRF94 ile özdeş kabul edilmiştir. 1988.0 epokundaki birleştirmede SSC lerin 1988.0 epokuna kaydırılması için her SSC ile birlikte verilen hızlar kullanılmıştır.

2. (1)nci adımdaki birleştirme 1993.0 epoku için tekrarlanmıştır. Bu adımda da her SSC ile verilen hızlar nokta koordinatlarını 1993.0 epokuna kaydırmak için kullanılmıştır.
3. Yukarıdaki iki epok için hesaplanan koordinat farklarından yararlı hızlar hesaplanmıştır.
4. (3)ncü adımda hesaplanan hızlar ile NNR-NUVEL1A hız modeli karşılaştırılmış ve bu iki hız modeli arasında dönüşüm yapılarak dönüşüm parametrelerinin hızları hesaplanmıştır.
5. (1)nci adımda hesaplanan birleştirilmiş koordinatlarla ITRF92 (1988.0) koordinatları arasında dönüşüm parametreleri hesaplanmıştır.
6. (1) adımında gerçekleştirilen birleştirme bu kez LC çözümü için 3 kayıklık ve ölçek faktörü sıfır ve (5) adımında belirlenen üç dönüklük sabit alınarak tekrarlanmıştır. Böylece yöneltmesi ITRF92 ile aynı bir çözüm elde edilmiştir.
7. (2) adımında verilen 1993.0 epokunda birleştirme LC çözümü için 3 kayıklık ve ölçek faktörü sıfır, (6) adımında kullanılan dönüklükler (4) adımında hesaplanan hızlarla 1993.0 epokuna kaydırılarak sabit alınarak tekrarlanmıştır.
8. Ölçek ve kayıklıklar aşağıdaki çözümlerden ağırlıklı ortalama ile belirlenmiştir. Kayıklık ve ölçek için JPL(GPS), CODE(GPS) ve DUT(SLR) çözümleri ile ölçek için GSFC(VLBI), NOAA(VLBI) ve USNO(VLBI) çözümleri
9. (6) ve (7) adımlarındaki 1988.0 ve 1993.0 epokunda birleştirmeler bu kez (8) adımında belirlenen kayıklıklar ve ölçek ile daha önce (6) ve (7) adımlarında kullanılan dönüklükler LC çözümü için sabit alınarak tekrarlanmıştır.
10. Sonuç olarak ITRF94 hız modeli yukarıda verilen iki çözümde elde edilen koordinatların farklarının alınmasıyla hesaplanmıştır.

ITRF94 sonuçları tüm jeodezi kamuoyunun kullanımına ücretsiz olarak açık olmak üzere internet üzerinde bulundurulmaktadır. Aşağıda internet adresi verilmektedir;

ftp schubert.ign.fr (ip : 192.33.147.230)

username : **anonymous**

password : **kullanıcının e-mail adresi**

sisteme girdikten sonra **cd /pub/itrf94** komutu girilmelidir.

2.1.1.3 NNNR-NUVEL1A plaka hareketleri modeli

Yerin dönmesinin sonuçlarını etkileyen faktörlerden birisi yerkabuğunu oluşturan tektonik plakaların hareketidir. Plakalar hareket ettikçe, üzerinde gözlem yapılan nokta koordinatları birbirleri ile tutarsız hale gelir. Bazı noktalar için bağıl hareket hızı 5cm/yıl ve daha fazla olabilmektedir. Modern yöntemlerle ölçülen plaka hızları, neredeyse birkaç milyon yıllık jeolojik veriden ve diğer jeofizik bilgiden yararlar hesaplanan plaka hızlarına uymaktadır. Böylece, De Mets v.d. tarafından verilen NNR-NUVEL1A modeli plaka hareketlerinin modellendirilmesi için önerilmektedir (Boucher v.d., 1996; McCarthy, 1996).

Herhangi bir noktanın hızı ITRF94 içerisinde henüz belirlenmemişse, hızı V_o ;

$$V_o = V_{\text{plaka}} + V_r \quad (2.2)$$

ile belirlenir.

NNR-NUVEL1A hız modelinde büyük ve ana plakalar için bir kartezyen dönme vektörü hesaplanmıştır. Örneğin bazı plakalar için sırasıyla X,Y ve Z eksenlerindeki dönüklükler aşağıda verilmektedir.

Plaka İsmi	Ω_x (rad/Myıl)	Ω_y (rad/Myıl)	Ω_z (rad/Myıl)
Afrika Plakası	0.000891	-0.003099	0.003922
Arap Plakası	0.006685	-0.000521	0.006760
Avrasya Plakası	-0.000981	-0.002395	0.003153

NNR-NUVEL1A modeli ile herhangi bir plaka üzerindeki bir noktanın herhangi iki epoktaki koordinatları arasındaki ilişki

$$X(t_c) = X_0 + \Delta t \cdot \Omega \cdot X(t_0) \quad (2.3)$$

ile verilir. Burada

$\Delta t = t_c - t_0$ (Milyon yıl biriminde)

$$\Omega = \begin{bmatrix} 0 & -\Omega_z & \Omega_y \\ \Omega_z & 0 & -\Omega_x \\ -\Omega_y & \Omega_x & 0 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$X_c = [X_c \ Y_c \ Z_c]^T \quad \text{ve} \quad X_0 = [X_0 \ Y_0 \ Z_0]^T \quad (2.5)$$

ile verilir.

2.1.2 Uluslararası Jeodinamik GPS Servisi (International GPS Service for Geodynamics - IGS)

1992 yılında üç aylık bir sürede Uluslararası Jeodinamik GPS servisi kavramının ispatlanması amacıyla bir çalışma gerçekleştirilmiş ve bu pilot çalışma 1993 yılında IGS resmen çalışmalarına başlayana kadar devam etmiştir. IGS Uluslararası Jeodezi Birliği (International Association of Geodesy - IAG) tarafından kurulmuştur. Devamlı IGS faaliyetleri 1 Ocak 1994'de başlamıştır. IGS, FAGS'ın bir üyesidir ve IERS ile yakın bir koordinasyon içerisinde çalışmaktadır.

IGS'in temel amacı GPS ürünleri ile, jeodezik ve jeofizik araştırmaları desteklemek için bir hizmet kuruluşu oluşturmaktır. Çok geniş amaçlı uygulamaların gereksinimlerini sağlamaya yeterli doğrulukta GPS ölçüleri IGS tarafından toplanır, arşivlenir ve dağıtılır. Sözü edilen GPS ölçüleri IGS tarafından aşağıda sıralanan ürünleri hazırlamak amacıyla kullanılır (IGS, 1995; Mueller, 1993).

- Yüksek doğruluklu GPS efemerisleri
- Yer dönme parametreleri
- IGS izleme ağı noktalarının koordinatları ve hızları
- GPS uydu ve alıcı saat bilgileri
- İyonosfer hakkında bilgi
- Troposfer hakkında bilgi

Yukarıda sayılan ürünlerin doğrulukları aşağıda sıralanan çeşitli bilimsel hedefleri desteklemektedir.

- ITRF'nin geliştirilmesi ve herkes tarafından kullanılabilmesi
- Katı yerküre deformasyonlarının izlenmesi
- Yer dönmesinin izlenmesi
- Sıvı yerküre değişimlerinin incelenmesi
- Bilimsel uydu yörüngelerinin belirlenmesi
- İyonosferin izlenmesi
- İklimbilim araştırmaları ve hava tahminleri

IGS'in bu faaliyetleri aşağıdaki birimler aracılığıyla yürütülmektedir.

2.1.2.1. Devamlı ölçü yapan noktalardan oluşan izleme ağı

IGS istasyonlarında yüksek doğruluklu GPS alıcıları ile 24 saat esasına göre aralıksız olarak ölçü kaydedilir. Bu istasyonlar toplanan verilerin hızlı bir şekilde (en az bir günlük) veri merkezlerine transferi için gerekli kolaylıklara sahiptirler. Türkiye'de günümüzde Ankara'da bir IGS noktası bulunmaktadır. IGS istasyonlarında toplanan veriler en azından bir analiz merkezince değerlendirilmektedir.

2.1.2.2. Veri merkezleri

Veri merkezleri fonksiyonlarına göre üç grupta incelenirler; Operasyonel, Bölgesel ve Global veri merkezleri.

Operasyonel veri merkezleri IGS istasyonları ile direk temas halindedir ve operasyonel veri merkezleri kendilerine bağlı IGS noktalarından topladıkları ölçüleri belirli bir formata (örn, RINEX) dönüştürme, ölçüleri içeren bilgisayar kütüklerinin sıkıştırılması, ölçülerin alıcı formatında ve dönüştürüldükleri formatta saklanması ve bu ölçülerin elektronik veri iletişim yollarıyla bir bölgesel veya global veri merkezine iletilmesi görevlerini yerine getirirler.

Bölgesel veri merkezleri elektronik ağıdaki veri trafiğini azaltmak amacıyla kurulmuşlardır ve operasyonel veri merkezlerinden dönüştürülmüş verilerin toplanması, saklanması ve bir global veri merkezine gönderilmesinden sorumludurlar.

Tablo-2.1 : IGS operasyonel veri merkezleri

Operasyonel veri merkezi	Yer	Ülke
Australian Land Information Group	Canberra	Australia
Centre National d'Etudes Spatiales	Toulouse	France
Delft University of Technology	Delft	Netherlands
European Space Operations Center	Darmstadt	Germany
GeoForschung Zentrum	Potsdam	Germany
Geographical Survey Institute	Tsukuba	Japan
Geosciences Research Lab/ NOAA	Silver Spring	USA
Institute for Space Research	Graz	Austria
Italian Space Agency	Matera	Italy
Jet Propulsion Laboratory	Pasadena	USA
Korean Astronomical Observatory	Taejon	Korea
National Imaging and Mapping Agency	WashingtonD.C.	USA
Natural Resources Canada	Ottawa & Sidney	Canada
Scripps Institution of Oceanography	San Diego	USA
Norwegian Mapping Authority	Honefoss	Norway
University NAVSTAR Consortium	Boulder	USA

Tablo-2.2 : IGS bölgesel veri merkezleri

Bölgesel veri merkezi	Yer	Ülke
Australian Land Information Group	Canberra	Australia
Jet propulsion Laboratory	Pasadena	USA
Bundesamt für Kartographie und Geodesie	Frankfurt	Germany
Natural Resources Canada	Ottawa	Canada
Geosciences Research Lab / NOAA	Silver Spring	USA

Global veri merkezleri analiz merkezleri ve dış kullanıcılarla ana arakesiti oluşturmaktadır. Temel görevleri aşağıdaki gibidir.

- IGS istasyonlarına ait günlük GPS ölçülerinin alınması, toplanması, saklanması ve bu ölçülere devamlı erişimin sağlanması,
- Noktalara ilişkin istasyon bilgileri, ölçülerin tarihi gibi bilgilere erişimin sağlanması,
- Analiz merkezlerinden standart IGS ürünlerinin alınması, toplanması, saklanması ve bu ürünlere devamlı erişimin sağlanması,
- IGS ölçü ve ürünlerinin emniyetle saklanması ve yedeklenmesi.

2.1.2.3. Analiz merkezleri

Analiz Merkezleri iki şekilde sınıflandırılırlar: Analiz Merkezleri ve İlişkili Analiz Merkezleri.

Analiz Merkezleri ölçülerin alınması ve işlenerek IGS ürünlerinin üretilmesinden sorumludurlar. Bu ürünler global veri merkezlerine ve IERS'e gönderilir.

Tablo-2.3 : IGS global veri merkezleri

Bölgesel veri merkezi	Yer	Ülke
Crustal Dynamics Data Information Sys., NASA,Goddard Space Flight Center	Greenbelt	USA
Institut Geographique National	Paris	France
Scripps Institution of Oceanography, University of California	San Diego	USA

İlişkili analiz merkezleri, iyonosfer bilgisi, belirli bir bölgedeki hızlar gibi sadece belirli ürünleri üreten kuruluşlardır. Analiz merkezi olma isteğini belirten kuruluşlar da tam anlamıyla faaliyete geçene kadar ilişkili analiz merkezi olarak isimlendirilirler.

Tablo-2.4 : IGS analiz merkezleri

Analiz merkezi	Ülke
CODE, Astronomical Institute, University of Berne	Switzerland
European Space Operations Center/European Space Agency	Germany
FLINN Analysis Center, Jet Propulsion Laboratory	USA
GeoForschung Zentrum	Germany
Geosciences Research Lab / National Oceanic and Atmospheric Administration	USA
Natural Resources Canada	Canada
Scripps Institution of Oceanography	USA

2.1.2.4. Analiz koordinatörü

Analiz merkezlerinin çalışmaları analiz koordinatörü tarafından IGS amaçlarının gerçekleşip gerçekleşmediği açısından izlenir. Kalite kontrolü, performans değerlendirmesi, analiz standartlarının devamlı geliştirilmesi özel beklentiler arasında yer almaktadır. Analiz koordinatörünün bir görevi de analiz merkezlerince üretilen standart IGS ürünlerinin uygun bir şekilde birleştirilerek sonuç IGS ürününe dönüştürülmesidir.

2.1.2.5. Merkez büro

Merkez büro yönetim kurulu tarafından oluşturulan direktifler ve politikalara uygun olarak IGS'in genel yönetiminden sorumludur. Merkez büronun en önemli faaliyetleri arasında iletişimin kolaylaştırılması ve geliştirilmesi, IGS faaliyetlerinin

koordine edilmesi, IGS ağ standartlarının oluşturulması, ağ faaliyetlerinin izlenmesi ve veri kalitesinin sağlanması, dökümantasyon, çeşitli bilimsel toplantıların organize edilmesi ve IERS ile devamlı iletişimi koruyarak uyumun sağlanması ve devam ettirilmesi sayılabilir. Ayrıca, merkez büro IGS'in iletişim merkezini de işletmektedir.

2.1.2.6. Yönetim kurulu

Yönetim kurulu etkinliğin ve güvenilirliğin sağlanması ve devamı için teknoloji ve teorideki tüm gelişmelerden yararlanarak kuruluşun genel faaliyetlerini kontrol eder ve politikalar üretir.

2.1.2.7. Global veri merkezlerine ve merkez büro'ya Internet üzerinden ulaşım

IGS tarafından üretilen GPS ürünleri ve IGS istasyonlarında toplanan GPS ölçüleri belirli merkezlerde kullanıcılara ücretsiz olarak sunulmaktadır. Bu merkezlere internet üzerinden ulaşılabilir. Bu konuda ayrıntılı bilgi IGS(1995)'de verilmekle birlikte, aşağıda global veri merkezleri ve Merkez Büro'ya ulaşım adresleri verilmektedir.

IGS istasyonlarında toplanan GPS ölçüleri global veri merkezlerinde saklanmakta, RINEX formata dönüşümleri yapılmakta ve kullanıcılara sunulmaktadır. Tablo 2.3'de verilen merkezelerin anonim ftp adresleri aşağıda verilmektedir:

Scripps Institution of Oceanography
Institute of Geophysics and Planetary Physics
La Jolla, CA 92093-0225 USA

ftp lox.ucsd.edu
username : **anonymous**
password : **e-mail address**

Institut Geographique National (IGN)
2 Avenue Pasteur F-94160 Saint-Mande France
ftp mozart.ign.fr
username : **anonymous**
password : **e-mail address**

Crustal Dynamics Data Information System(CDDIS)

NASA/Goddard Space Flight System

Greenbelt, MD 20771-0001 USA

ftp cddis.gsfc.nasa.gov

username : **anonymous**

password : **e-mail adress**

IGS Central Bureau (igsb)

Jet Propulsion Laboratory 238-540

4800 Oak Grove Drive, Pasadena, CA 91109 USA

ftp igsb.jpl.nasa.gov

username : **anonymous**

password : **e-mail adress**

sisteme girdikten sonra **cd igsb** komutunu giriniz.

2.2. GPS ölçülerinin Bernese V4.0 GPS değerlendirme yazılımı ile değerlendirilmesi

GPS ham verilerinden sonuç koordinatların elde edilmesine gözlem sonrası veri işlem (post-processing, değerlendirme) adı verilir. Bernese GPS yazılımı ile değerlendirme aşamasında izlenecek işlem adımları ve bu adımların önemli özellikleri ayrıntıya girilmeden aşağıda verilmektedir (Rothacher ve Mervart,1996).

Öncelikle değerlendirme yapılacak bilgisayarda gerekli tanımlamalar yapılır, kütüphaneler ve alt kütüphaneler oluşturulur. Değerlendirilecek her kampanya için bir ana kütüphane ve alt kütüphaneler (RAW, OBS, ATM, STA, OUT, ORB, ORX) yaratılır. Bundan sonra değerlendirmede kullanılacak ve üretilecek her türlü bilgi oluşturulan kütüphane yapısında saklanır.

Ham ölçüler dönüşüm yazılımları ile RINEX (Receiver Independent EXchange Format) formata dönüştürülür ve Bernese kütüphane yapısında RAW kütüphanesine depolanır. RINEX'e dönüştürülmüş ölçüler daha sonra Bernese yazılımı ile Bernese formatına dönüştürülür. Bu ölçüler CODE ve PHASE ölçüleridir ve sıfır fark ölçüsü (Zero difference, *.PZO, *.CZO) olarak isimlendirilirler. Sıfır fark ölçüleri ise OBS kütüphanesinde depolanır.

Bölüm 2.1.2'de açıklandığı gibi IGS birleştirilmiş yörüngesi ve diğer IGS ürünleri ilgili global veri merkezinden temin edilir. IGS yörüngeleri SP3 formatında olduğundan Bernese formatına dönüştürülmesi ve işleme hazır hale getirilmesi

gerekmektedir. Bu amaçla SP3 formatındaki yörünge bilgisinden Bernese formatında “Tabular” yörünge (*.TAB) elde edilir. Bu aşamada ayrıca uydu saat katsayıları da SP3 yörünge bilgileri arasından çekilerek ayrı bir dosyada saklanır (*.CLK). Tabular yörüngeden nümerik integrasyon yöntemi ile istenen herhangi bir anda uydu koordinatlarını belirlemek için “Standart” yörünge (*.STD) elde edilir. STD yörünge Bernese içinde sonuç yörüngedir ve bundan sonraki aşamalarda bu yörünge bilgileri kullanılır. Amaca göre değişmekle birlikte jeodezik uygulamalarda IGS birleştirilmiş yörünge bilgileri Bernese içersinde sabit olarak alınır ve yörünge iyileştirilmesi yapılmaz.

Sıfır fark ölçülerinden CODE ölçüleri ile (*.CZO) tek nokta konumlaması (Single Point Positioning) yapılır ve bu aşamada L3 frekansı kullanılarak ; her epokta alıcı saat katsayıları ve yeni noktalar için yaklaşık koordinatlar belirlenir.

Sıfır fark ölçülerinden PHASE ölçüleri ile (*.PZO) L4 frekansı kullanılarak iyonosfer modeli hesaplanır. Elde edilen bu iyonosfer modeli sonraki aşamalarda L1, L2 ve L5 frekansı ile yapılacak hesaplamalarda kullanılır.

Değerlendirmenin bu aşamasında, alıcı sayısı “n” olmak üzere “n-1” sayıda bağımsız bazvektöründe tekli fark ölçüleri (Single difference, *.PSO) oluşturulur. Bazlarda tekli fark ölçülerinin oluşturulmasında en çok ölçütün elde edilebileceği kombinasyonun seçilmesine dikkat edilir ancak anten faz merkezi kayıklıkları nedeniyle bazın her iki ucunda aynı tip alıcının bulunmasına da dikkat edilmelidir. Bu şekilde en uygun kombinasyon ile bazlar oluşturulur. Değerlendirme aşamasında bu bazlarda oluşturulan Çiftli Fark ölçüleri (Double Difference) kullanılır, ancak bu çiftli fark ölçüleri herhangi bir dosyada saklanmaz.

Oluşturulan tekli fark ölçülerinde faz kesikliği (Cycle slip), kaba hatalar ve uyuşumsuz ölçüler vardır. Tekli fark ölçüleri oluşturulan üçlü farklar (triple difference) ile kontrol edilir ve kaba hatalı ölçüler atılır, tamir edilebilen faz kesiklikleri düzeltilir ve düzeltilemeyen kesikliklere ambiguity parametresi eklenir. Böylece “temiz” tekli fark ölçüleri elde edilmiş olur.

Bu aşamadan sonra bazlarda faz başlangıç belirsizliği (ambiguity) çözümü yapılır. Ambiguity çözümü için yaklaşık 5-10 cm doğrulukta koordinatlara ihtiyaç vardır.

Bu nedenle öncelikle L3 frekansı ile tüm ambiguity parametreleri serbest olarak bilinen noktalara dayalı bir çözüm yapılır ve bu çözümden elde edilen koordinatlar ambiguity çözümünde kullanılır. Ambiguity çözümü için değişik stratejiler kullanılmakla birlikte QIF (Quasi Ionosphere Free) stratejisi (Mervart, 1996) veya “Wide Laning” stratejisi uygulanmaktadır (Mervart,v.d., 1995). Wide laning tekniğinde öncelikle L5 frekansı ve iyonosfer modeli birlikte kullanılarak L5 ambiguityleri çözülür, hemen arkasından çözülen L5 ambiguity’leri sabit alınarak L1 ve L2 ambiguity parametreleri çözülür. Ambiguity çözümü aşamasında belirlenen ölçütler içerisinde çözülebilen ambiguity parametreleri tamsayı olarak sabitlenir çözülemeyenler ise bundan sonraki hesaplamalarda bilinmeyen parametre olarak fonksiyonel modele eklenir.

Ambiguity çözümünden sonra çözülemeyen ambiguity parametreleri, troposfer parametreleri ve nokta koordinatları Bernese yazılımının parametre tahmini modülü (GPSEST) kullanılarak En Küçük Karelerle Dengeleme (EKK) yöntemi ile hesaplanırlar.

Kampanyalar esnasında meteorolojik ölçülerin yapılıp yapılmadığına bakılmaksızın değerlendirmede meteorolojik data kullanılmayıp standart modellerden yararlar troposfer modellendirilmesi yapılmıştır. Dengelemede her noktada belirli zaman aralıklarına giren ölçüler için ayrı bir troposfer parametresi tanımlanmıştır. Troposfer parametrelerinin yaklaşık değerleri olarak standart modellerden elde edilen değer kullanılır. Ayrıca hesaplanan değerlerin standart modelden hesaplanan değerden fazla uzaklaşmaması ve ardışık troposfer parametreleri arasında istenenden fazla fark bulunmaması için ek koşullar konabilir.

Antenlerdeki L1 ve L2 faz merkez kayıklıkları ile yükseklik açısı ve azimuta bağlı faz merkez kayıklıklarından kaynaklanan düzeltmelerin hesaplanması gerekmektedir. Bu amaçla Rothacher ve Mader (1996) tarafından yayınlanmış tablo değerleri değerlendirmede kullanılmıştır.

GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde parametre tahmini aşamasında genellikle Gauss-Markoff modeli ve bu modelin En Küçük Karelerle dengeleme yöntemiyle çözümü kullanılmaktadır. Bu nedenle bu konular aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

2.3 Ayrı gerçekleştirilen GPS değerlendirme sonuçlarının birleştirilmesi

2.3.1 Değişik epoklarda hesaplanan koordinatların birleştirilmesi (Matematik model)

2.3.1.1 En küçük karelerle dengeleme

Tam mertebeli Gauss-Markoff modeli

Tam mertebeli Gauss-Markoff Modeli aşağıdaki gibi verilir (Koch,1987; Aksoy, 1987a, 1994, Brockmann, 1996);

$$E(y) = X\beta \quad , \quad D(y) = \sigma^2 P^{-1} \quad (2.6)$$

Burada,

X : $n \times u$ boyutlu katsayılar matrisi

$\text{Rank}(X)=u$, tam mertebeli katsayılar matrisi

β : $u \times 1$ boyutlu bilinmeyen parametreler vektörü

y : $n \times 1$ boyutlu gözlemler vektörü

P : $n \times n$ boyutlu pozitif tanımlı ağırlıklar matrisi

n : ölçü sayısı

u : bilinmeyen sayısı

σ^2 : birim ağırlıklı ölçünün varyansıdır.

$n > u$ için $X\beta=y$ ile oluşturulan denklem sistemleri tutarsızdır. Ölçüler vektörüne e düzeltmeler vektörünün eklenmesi ile tutarlı fakat belirsiz bir denklem sistemi elde edilir. Bilinmeyenler ile ölçüler arasındaki fonksiyonel ilişki genellikle doğrusal değildir. Doğrusal olmayan modellerde Taylor serilerine açılım uygulanarak model doğrusallaştırılır. Elde edilen yeni sisteme düzeltme denklemleri denir ve aşağıdaki gibi gösterilir.

$$y + e = X\beta \quad , \quad E(e) = 0 \quad \text{ve} \quad D(e) = D(y) = \sigma^2 P^{-1} \quad (2.7)$$

Yukarıda verilen düzeltme denklemlerinin çözülebilmesi için ek bir koşul verilmelidir. Aşağıda verilen karesel form (düzeltmelerin kareleri toplamı) Ω minimum yapılacak şekilde bir çözüm bulunabilir.

$$\Omega(\beta) = \frac{1}{\sigma^2} (y - X\beta)^T P (y - X\beta) \Rightarrow \text{minimum} \quad (2.8)$$

Koşulunun konmasıyla belirsiz düzeltme denklemlerinden çözümlü (belirli) normal denklemler sistemine geçilir. Gauss-Markoff modelinin En Küçük Kareler yöntemiyle çözümü için eşitlikler özet olarak aşağıda verilmektedir.

$$(X^T P X) \hat{\beta} = X^T P y \quad (2.9)$$

$$\hat{\beta} = (X^T P X)^{-1} X^T P y \quad (2.10)$$

$$Q_{\hat{\beta}\hat{\beta}} = (X^T P X)^{-1} \quad , \quad \Sigma_{\hat{\beta}\hat{\beta}} = \hat{\sigma}_0^2 Q_{\hat{\beta}\hat{\beta}} \quad (2.11)$$

$$\hat{y} = X \hat{\beta} \quad (2.12)$$

$$Q_{\hat{y}\hat{y}} = X (X^T P X)^{-1} X^T \quad (2.13)$$

$$\hat{e} = \hat{y} - y \quad (2.14)$$

$$\Omega = \hat{e}^T P \hat{e} = y^T P y - y^T P X \hat{\beta} \quad (2.15)$$

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\Omega}{n - u} \quad (2.16)$$

$$f = n - u = \text{iz}(I - P X Q_{\hat{\beta}\hat{\beta}} X^T) = \text{iz}(P Q_{\hat{e}\hat{e}}) \quad (2.17)$$

Burada I birim matris P ağırlıklar matrisi olup ilerideki gösterimlerde kısaltma sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Eksik mertebeli Gauss-Markoff modeli.

Tam mertebeli Gauss-Markoff modelinde verilen X katsayılar matrisinin rankı kolon sayısına eşittir, yani tam mertebelidir. Burada verilecek olan X katsayılar matrisinde rank bozukluğu vardır ancak P ağırlıklar matrisi pozitif tanımlıdır.

Eğer $\text{Rank}(X)=q < u$ ise eksik mertebeden Gauss-Markoff modeli oluşmakta olup aşağıdaki gibi gösterilir.

$$X\beta = E(y) \quad , \quad \text{Rank}(X) = q < u \quad , \quad D(y) = \sigma^2 P^{-1} \quad (2.18)$$

Bu durumda normal denklemler aşağıdaki gibi elde edilir

$$X^T P X \bar{\beta} = X^T P y \quad (2.19)$$

ve bilinmeyen parametrelerin çözümü

$$\bar{\beta} = (X^T P X)^{-} X^T P y \quad \text{ve} \quad D(\bar{\beta}) = \sigma^2 ((X^T P X)^{-} X^T P X (X^T P X)^{-})^T \quad (2.20)$$

Burada $\bar{\beta}$ bilinmeyen parametrelerin bir tahmin değeridir. $\bar{\beta}$ ve $D(\bar{\beta})$ tek anlamlı çözümler değildir, çünkü normal denklemler matrisinin genel inversi $(X^T P X)^{-}$ tek anlamlı değildir. Ancak bu çözüm ile elde edilen düzeltmeler vektörü tek anlamlıdır ve bütün genel inversler için aynı düzeltmeler bulunur. Bu nedenle normal denklemlerin çözümü için refleksif ve simetrik genel invers veya pseypo invers alınır, örneğin, $(X^T P X)^{+}$ pseypo invers ile

$$\hat{\beta} = (X^T P X)^{+} X^T P y \quad \text{ve} \quad D(\hat{\beta}) = \sigma^2 (X^T P X)^{+} \quad (2.21)$$

olmak üzere tek anlamlı çözüm elde edilir. Bu durumda koordinat bilinmeyenleri kareleri toplamı minimum olur. Eksik mertebeden normal denklemlerin çözülebilmesi için diğer bir yöntem ise rank bozukluğunu giderecek koşulların öne sürülmesidir. Ağda rank bozukluğu datum tanımı ile ilgilidir. Datum belirleyici koşulların öne sürülmesiyle normal denklemler regüler olur ve tek anlamlı çözümler bulunur. Bu konuda ayrıntılı bilgi için (Aksoy, 1987a, 1987b, 1994; Ayan, 1981; Koch, 1987; Şerbetçi, 1987)'e bakılabilir.

Bilinmeyenler arasında koşullar bulunan eksik mertebeli Gauss-Markoff modeli.

Bu model aşağıdaki gibi verilir.

$$\begin{aligned} X\beta &= E(y) \quad , \quad \text{Rank}(X) = q < u \quad , \quad H\beta = w \quad \text{ve} \quad D(y) = \sigma^2 P^{-1} \\ H &= CX \quad \text{ve} \quad H(X^T P X)^- X^T P X = H \end{aligned} \quad (2.22)$$

Burada $r \leq q$ olmak üzere H ($r \times u$) boyutlu ve koşulların tam mertebeli katsayılar matrisi ve C , ($r \times n$) boyutlu matristir. Bu modelin en küçük kareler yöntemiyle çözümü

$$\tilde{\beta}_e = (X^T P X)^+ \left[X^T P y + H^T (H(X^T P X)^+ H^T)^{-1} (w - H(X^T P X)^+ X^T P y) \right] \quad (2.23)$$

ve varyans-kovaryans matrisi

$$D(\tilde{\beta}_e) = \sigma^2 \left[(X^T P X)^+ - (X^T P X)^+ H^T (H(X^T P X)^+ H^T)^{-1} H(X^T P X)^+ \right] \quad (2.24)$$

ile elde edilir.

2.3.1.2 Ardışık dengeleme yöntemi

Bu yöntemde tüm ölçülerin En Küçük Karelerle dengeleme yöntemiyle dengelenmesiyle elde dlecek sonuçlar, dengelemenin birkaç parçaya bölünerek yapılması ve bunların birleştirilmesiyle elde edilecek sonuçlara eşittir. Bu metod ilk kez Helmert tarafından ortaya atılmış olup “Helmert Blocking” olarak da bilinmektedir. Bu metod ilk olarak ortaya atıldığında bilgisayar olanaklarının kısıtlı olması önemli bir rol oynamıştır. Günümüzde bilgisayar olanakları konusunda bir problem olmamasına rağmen çok sayıda ölçünün aynı anda dengelenmesi nedeniyle özellikle kişisel bilgisayarlarda bellek problemi ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle günümüzde de Helmert metodu kullanılmaktadır

Ölçüler vektörü y iki parçaya bölünsün. Her iki ölçü grubunda da olan bilinmeyenler β_c ve yalnızca bir ölçü grubunda olan parametreler γ_1 ve γ_2 olsun. Bu durumda düzeltme denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} y_1 + e_1 &= X_1 \beta_c + O_1 \gamma_1, & D(y_1) &= \sigma_1^2 P_1^{-1} \\ y_2 + e_2 &= X_2 \beta_c + O_2 \gamma_2, & D(y_2) &= \sigma_2^2 P_2^{-1} \end{aligned} \quad (2.25)$$

Burada her iki ölçü grubunun birbirlerinden bağımsız oldukları varsayımı yapılmaktadır. İki ölçü grubunun birbirleriyle korelasyonlu olmaları durumunda korelasyonlar dikkate alınmadığında istatistik olarak doğru sonuçlar elde edilmez.

Toptan dengeleme

İki parçaya ayrılmış düzeltme denklemleri;

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & O_1 & 0 \\ X_2 & 0 & O_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_c \\ \gamma_1 \\ \gamma_2 \end{bmatrix} \quad D \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \sigma_c^2 \begin{bmatrix} P_1^{-1} & 0 \\ 0 & P_2^{-1} \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

, () alt indisi toptan dengelemeyi göstermek üzere, matris gösterimi ile,

$$y_c + e_c = X_c \beta_c^* \quad D(y_c) = \sigma_c^2 P_c^{-1} \quad (2.27)$$

şeklinde verilir. Burada β_c^* birleştirilmiş bilinmeyenler vektörüdür. Buradan normal denklemler;

$$\begin{bmatrix} (X_1^T P_1 X_1 + X_2^T P_2 X_2) & X_1^T P_1 O_1 & X_2^T P_2 O_2 \\ O_1^T P_1 X_1 & O_1^T P_1 O_1 & 0 \\ O_2^T P_2 X_2 & 0 & O_2^T P_2 O_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta}_c \\ \hat{\gamma}_1 \\ \hat{\gamma}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (X_1^T P_1 y_1 + X_2^T P_2 y_2) \\ O_1^T P_1 y_1 \\ O_2^T P_2 y_2 \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

Buradan γ_1 ve γ_2 'nin elimine edilmesiyle yalnızca ortak bilinmeyenler β_c bulunursa;

$$\begin{bmatrix} (X_1^T P_1 X_1 + X_2^T P_2 X_2) - X_1^T P_1 O_1 (O_1^T P_1 O_1)^{-1} O_1^T P_1 X_1 - X_2^T P_2 O_2 (O_2^T P_2 O_2)^{-1} O_2^T P_2 X_2 \\ (X_1^T P_1 y_1 + X_2^T P_2 y_2) - X_1^T P_1 O_1 (O_1^T P_1 O_1)^{-1} O_1^T P_1 y_1 - X_2^T P_2 O_2 (O_2^T P_2 O_2)^{-1} O_2^T P_2 y_2 \end{bmatrix} \hat{\beta}_c = \quad (2.29)$$

elde edilir.

Ardışık dengeleme

İki parçaya bölünmüş düzeltme denklemleri daha genel bir gösterimle

$$y_i + e_i = X_i \beta_i^* \quad D(y_i) = \sigma_i^2 P_i^{-1} \quad i = 1, 2 \quad (2.30)$$

şeklini alır. yukarıdaki düzeltme denklemlerinden tek tek grupların çözümü aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{bmatrix} X_i^T P_i X_i & X_i^T P_i O_i \\ O_i^T P_i X_i & O_i^T P_i O_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta}_i \\ \hat{\gamma}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i^T P_i y_i \\ O_i^T P_i y_i \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

Buradan γ_i 'nin elimine edilmesiyle β_i 'nin çözümü aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\hat{\beta}_i = \left[X_i^T P_i X_i - X_i^T P_i O_i (O_i^T P_i O_i)^{-1} O_i^T P_i X_i \right]^{-1} \left[X_i^T P_i y_i - X_i^T P_i O_i (O_i^T P_i O_i)^{-1} O_i^T P_i y_i \right] \quad (2.32)$$

$$D(\hat{\beta}_i) = \hat{\sigma}_i^2 \left[X_i^T P_i X_i - X_i^T P_i O_i (O_i^T P_i O_i)^{-1} O_i^T P_i X_i \right]^{-1} = \hat{\sigma}_i^2 \hat{Q}_i \quad (2.33)$$

Bu aşamada yukarıda verilen tek tek grupların çözümüyle elde edilen bilinmeyenler varyans-kovaryans matrisleriyle birlikte ölçü olarak alınarak aşağıda verilen düzenlenmiş düzeltme denklemleri elde edilir.

$$\begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{1\Pi} \\ e_{2\Pi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I \\ I \end{bmatrix} \hat{\beta}_c \quad D\left(\begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \end{bmatrix}\right) = \sigma_c^2 \begin{bmatrix} \Sigma_1 & 0 \\ 0 & \Sigma_2 \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

veya matris gösterimi ile

$$y_{\Pi} + e_{\Pi} = X_{\Pi} \hat{\beta}_c \quad D(y_{\Pi}) = \sigma_c^2 P_{\Pi}^{-1} \quad (2.35)$$

şeklinde yazılır. Yukarıda verilen düzenlenmiş eşitliklerden ortak bilinmeyen parametrelerin çözümü,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

ile verilir. Burada, tek tek grupların çözümünden elde edilen değerler yerlerine konulduğunda,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{X}_1 + \mathbf{X}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{X}_2 - \mathbf{X}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{O}_1 (\mathbf{O}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{O}_1)^{-1} \mathbf{O}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{X}_1 - \mathbf{X}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{O}_2 (\mathbf{O}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{O}_2)^{-1} \mathbf{O}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{X}_2 \\ \mathbf{X}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{y}_1 + \mathbf{X}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{y}_2 - \mathbf{X}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{O}_1 (\mathbf{O}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{O}_1)^{-1} \mathbf{O}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{y}_1 - \mathbf{X}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{O}_2 (\mathbf{O}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{O}_2)^{-1} \mathbf{O}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{y}_2 \end{bmatrix} \hat{\beta}_c = \quad (2.37)$$

ile çözüm elde edilir. Görüldüğü gibi ardışık dengeleme ile bulunan bilinmeyen parametrelerin çözümü toptan dengeleme ile elde edilen çözümle aynıdır.

Yukarıda açıklanan ardışık dengeleme eşitlikleri özet olarak verilirse; ortak parametrelerin çözümü amacıyla yapılan m adet ardışık çözümün birleştirilmesi ile

$$\left\{ \sum_{i=1}^m \left(\mathbf{X}_i^T \mathbf{P}_i \mathbf{X}_i - \mathbf{X}_i^T \mathbf{P}_i \mathbf{O}_i (\mathbf{O}_i^T \mathbf{P}_i \mathbf{O}_i)^{-1} \mathbf{O}_i^T \mathbf{P}_i \mathbf{X}_i \right) \right\} \hat{\beta}_c = \sum_{i=1}^m \left(\mathbf{X}_i^T \mathbf{P}_i \mathbf{y}_i - \mathbf{X}_i^T \mathbf{P}_i \mathbf{O}_i (\mathbf{O}_i^T \mathbf{P}_i \mathbf{O}_i)^{-1} \mathbf{O}_i^T \mathbf{P}_i \mathbf{y}_i \right) \quad (2.38)$$

sonucu elde edilir. Eğer tek tek grupların dengelenmesinde ortak olmayan parametreler elimine edilmiş ise bu durumda ortak parametrelerin çözüm eşitliği aşağıdaki gibi verilir.

$$\left(\sum_{i=1}^m \mathbf{X}_i^T \mathbf{P}_i \mathbf{X}_i \right) \hat{\beta}_c = \sum_{i=1}^m \mathbf{X}_i^T \mathbf{P}_i \mathbf{y}_i \quad (2.39)$$

Bu eşitlikten görüldüğü gibi eğer tek tek gruplar birbirlerinden bağımsız ise normal denklemlerin basitçe toplanması ile sonuç çözüm elde edilebilmektedir.

2.3.1.3 Birleştirme dengelemesinde nokta koordinat hızlarının belirlenmesi

Birleştirme dengelemesinde nokta koordinatları için doğrusal bir hız belirlenmek istenirse; herhangi bir t_i epogundaki koordinatlar (β_i) ile yeni koordinatlar (β_w) (seçilen bir t_0 anındaki referans koordinatlar) ve hız parametresi (v_w) arasında ;

$$\beta_i = \beta_{t_0} + \Delta t_i \quad v_{t_0} \quad (2.40)$$

eşitliği yazılabilir. Burada Δt_i herhangi bir gruba ilişkin olarak i nci çözümün epoku (t_i) ile referans epok (t_0) arasındaki zaman farkıdır. Burada herhangi bir çözümün kapsadığı zaman aralığında (örneğin bir kampanya süresince) noktalardaki yerdeğiştirmelerin (hız parametresinin) gözardı edilebilecek kadar küçük olduğu varsayılmaktadır. Bu zaman aralığı hızın büyüklüğüne bağlı olmakla birlikte GPS ile belirlenecek hızlar için 3-5 ay olarak alınabilir.

İki ayrı epokta yapılan çözümler için yukarıda verilen hız modeli ile birlikte birleştirilmiş çözüm;

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & \Delta t_1 \\ I & \Delta t_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{t_0} \\ \hat{v}_{t_0} \end{bmatrix} \quad (2.41)$$

$$D\left(\begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \end{bmatrix}\right) = \begin{bmatrix} \Sigma_1 & 0 \\ 0 & \Sigma_2 \end{bmatrix} = \sigma_c^2 \begin{bmatrix} (X_1^T P_1 X_1)^{-1} & 0 \\ 0 & (X_2^T P_2 X_2)^{-1} \end{bmatrix}$$

düzenlenmiş düzeltme denklemlerinden elde edilen

$$\begin{bmatrix} \Sigma_1^{-1} + \Sigma_2^{-1} & \Delta t_1 \Sigma_1^{-1} + \Delta t_2 \Sigma_2^{-1} \\ \Delta t_1 \Sigma_1^{-1} + \Delta t_2 \Sigma_2^{-1} & \Delta t_1^2 \Sigma_1^{-1} + \Delta t_2^2 \Sigma_2^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{t_0} \\ \hat{v}_{t_0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma_1^{-1} \hat{\beta}_1 + \Sigma_2^{-1} \hat{\beta}_2 \\ \Delta t_1 \Sigma_1^{-1} \hat{\beta}_1 + \Delta t_2 \Sigma_2^{-1} \hat{\beta}_2 \end{bmatrix} \quad (2.42)$$

normal denklemler ve açık hali olarak

$$\begin{bmatrix} X_1^T P_1 X_1 + X_2^T P_2 X_2 & \Delta t_1 (X_1^T P_1 X_1) + \Delta t_2 (X_2^T P_2 X_2) \\ \Delta t_1 (X_1^T P_1 X_1) + \Delta t_2 (X_2^T P_2 X_2) & \Delta t_1^2 (X_1^T P_1 X_1) + \Delta t_2^2 (X_2^T P_2 X_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{t_0} \\ \hat{v}_{t_0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1^T P_1 y_1 + X_2^T P_2 y_2 \\ \Delta t_1 (X_1^T P_1 y_1) + \Delta t_2 (X_2^T P_2 y_2) \end{bmatrix} \quad (2.43)$$

ile elde edilir. Nokta koordinatlarının hızlarının belirlenebilmesi için en az iki epokta ölçü olması gereklidir. Ancak sözkonusu ölçü epokları sonuç normal denklemler tekil olmayacak kadar aralıklı (yaklaşık 6 aylık bir zaman aralığı) olmalıdır. Sonuç normal denklemlerden görülebileceği gibi referans epoktan olan

zaman farkları birbirlerine çok yakın olduklarında normal denklemlerin spektral kondisyonu bozulmakta ve matris tekil bir hal almaktadır.

2.3.2 Ayrı gerçekleştirilen GPS değerlendirme sonuçlarının Bernese V4.0 ile birleştirilmesi

Bilgisayar olanaklarının çok büyük kampanyaları birlikte değerlendirilmesine izin vermemesi gibi nedenlerle ardışık dengeleme metodunun uygulanması gerekli görülmektedir. Ardışık dengeleme, kullanılan ölçü türlerinden bağımsızdır, her türlü ölçünün kullanılması ile elde edilen çözümler ardışık dengelemede kullanılabilir.

Yıllık kampanya çözümlerinden herbirisi için sadece koordinat bilinmeyenlerinin saklandığı gevşek koşullu (serbest) normal denklemler elde edilmiş bulunmaktadır. Normal denklem sistemlerinin saklanması ile ardışık çözümlerin herhangi bir aşamasında değişik çözümler uygulanabilir (örneğin, yeni bir datum tanımı, değişik bilinmeyen parametreler için yeni varyans tanıtılması, parametre eliminasyonu veya yeni parametre tanıtılması).

Birleştirme dengelemesinde asıl amaç aşağıdaki gibidir.

- a. Değişik epoklarda yapılan ölçülerden yararlı noktaların doğrusal hızlarının hesabı,
- b. Global yersel koordinat sistemlerinin sıklaştırılması,
- c. Değişik zamanlarda ağı değişik parçalarında yapılan ölçülerden elde edilen çözümlerin birleştirilerek homojen ve tek anlamlı bir koordinat kümesinin elde edilmesi

Birleştirme dengelemesi ile bilinmeyen parametrelerin üzerine yeni koşul konulması veya eski koşulların değiştirilmesi, nokta hızları gibi ek parametrelerin tanımlanması, normal denklemlerde olmamasına rağmen yeni parametrelerin yeni koşullarla tanımlanması, normal denklemler arasında Helmert dönüşüm parametrelerinin tanımlanması, istenen bilinmeyenlerin elimine edilmesi gibi işlemler gerçekleştirilebilir. Minimum sayıda koşul ile jeodezik datumun tanımlanması (serbest ağ dengelemesi) ile ağı iç geometrisi bozulmadan çözüm gerçekleştirilerek ağıdaki uyumsuzluklar incelenebilir.

Koordinat hesabı için bir veya birden fazla nokta, sıkı (TC) veya gevşek koşullu (LC) olarak girilebileceği gibi, tüm noktalar serbest veya bazı noktalar sabit tutulabilir. GPSEST ile dengelemenin normal denklem sistemi bir dosya içerisinde saklanabilmektedir. Herhangi bir noktanın sabit tutulması durumunda bu nokta normal denklemlerden elimine edildiğinden normal denklemler saklanmaz.

GPSEST aşaması genel olarak günlük ölçülerin toptan dengelenmesi şeklinde yapılır. Her günkü gevşek koşullu (bir veya birkaç nokta) normal denklem sistemleri (*.NEQ) daha sonra birleştirilmek üzere saklanır. Normal denklemler saklanırken ambiguity parametreleri elimine edilir ve normal denklemlerden silinir. Aynı şekilde troposfer parametreleri de normal denklemlerden elimine edilebilir. Böylece saklanan günlük normal denklemlerde yalnızca koordinat bilinmeyenleri bulunur.

Günlük normal denklemler Bernese yazılımının ADDNEQ modülü ile birleştirilir (Brockmann, 1996). Bu modülde datum tanımlamaları, hız tanımlamaları, troposfer parametrelerinin yeniden hesaplanması veya sayısının değiştirilmesi, nokta koordinatlarına yeniden koşullar konulması gibi işlemler gerçekleştirilebilir. Günlük normal denklemlerin birleştirilmesinde çok kısa bir zaman aralığı söz konusu olduğundan nokta koordinatları için hız parametresi hesaplanmaz ancak yıllık normal denklemlerin birleştirilmesinde hız parametreleri tanımlanır ve hesaplanır. Hız parametrelerinin hesabı için gerekli datum tanımı ADDNEQ içerisinde yapılabilir.

2.4. Dağıtılmış değerlendirme kavramı

Değişik kurum ve kuruluşlar tarafından değişik değerlendirme yazılımları kullanılarak değerlendirilmiş GPS sonuçlarının birleştirilmesi, oluşturulan bir ağın yaşatılması ve sıklaştırılması için oldukça önemlidir. Dağıtılmış değerlendirme kavramı ilk kez 1994 yılında IGS tarafında ortaya atılmış ve bir pilot proje başlatılmıştır.

Projenin ilk adımı olarak değişik değerlendirme yazılımları ile elde edilen sonuçların ortak bir formata dönüştürülerek sonuçların yazılımlardan bağımsızlığı sağlanmıştır. Bu amaçla Yazılımdan Bağımsız Değişim Formatı (SINEX - Software

Independent Exchange format) bir grup tarafından tanımlanarak oluşturulmuştur. Halen SINEX V1.0, IGS tarafından resmi olarak ve sonuçların değişiminde kullanılmaktadır.

SINEX formatı özet olarak sonuç koordinatlar ve varyans-kovaryans matrisi ile birlikte diğer gerekli bilgileri içermektedir.

IGS analiz merkezleri kendi haftalık sonuçlarını SINEX formatta oluşturmakta ve global veri merkezlerine iletmektedirler. Bu sonuçlar analiz merkezi koordinatörü tarafından birleştirilmektedir. IGS tarafından üretilen sonuçlar da SINEX formatında IERS'e iletilmekte ve IERS tarafından VLBI, SLR gibi ölçülerin değerlendirme sonuçları ile birleştirilerek ITRF'in oluşturulmasında, yaşatılmasında ve sıklaştırılmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Avrupa içerisinde de 5 alt analiz merkezince oluşturulan SINEX formatta haftalık sonuçlar CODE tarafından birleştirilmekte ve Avrupa için birleştirilmiş sonuçlar elde edilmektedir. Burada alt analiz merkezleri, değerlendirmelerde kendi sorumluluklarında olan yerel noktalarla birlikte sadece 3-5 adet IGS noktasına ait ölçüyü de değerlendirmekte ve global IGS ağı ile olan bağlantı kurulmaktadır. Her alt analiz merkezi kendilerine uygun IGS noktalarını kullanmaktadır. CODE analiz merkezince GPS uydu yörüngeleri belirleme amaçlı olarak çok sayıda IGS noktası değerlendirilmekte buna karşılık Avrupa içerisindeki çoğu yerel nokta değerlendirmeye dahil edilmemektedir. Alt analiz merkezleri sonuçlarının CODE sonuçlarıyla birleştirilmesiyle değerlendirilen tüm noktalardan oluşan Avrupa Referans Ağı (ETRF) global bir koordinat sistemi içerisinde belirlenmiş olmaktadır (Brockmann and Gurtner, 1996).

Bu yöntemde bazı IGS veya yerel noktalar (bağlantı noktaları) birden fazla analiz merkezince değerlendirilmekte ve böylece sonuç birleştirmede birden fazla kullanılmaktadır. Alt analiz merkezlerinden elde edilen sonuçların birbirleriyle tutarlılıklarının incelenmesinde bağlantı noktalarının önemli bir yararı vardır ancak matematik istatistik açıdan bakıldığında mutlak olarak doğru olmayan sonuçlar üretilmektedir. Ancak Avrupa'da yapılan uygulamalar sonunda dağıtılmış değerlendirme kavramı ile EUREF'in sıklaştırılması, sanki tüm noktalar aynı analiz merkezince değerlendirilmiş gibi, yüksek duyarlılıkla gerçekleştirilmektedir.

Bölgesel olarak oluşturulan ağlar 3-5 nokta ile IGS ağına bağlandıklarında IGS analiz merkezlerinden birinin global SINEX çözümü ile birleştirilerek global koordinat sistemlerinde (ITRFyy) yüksek duyarlılıkla tanımlanabilirler.

Dağıtılmış değerlendirme kavramı ile bağlantı noktası olarak kullanılan IGS noktalarına ilişkin troposfer bilgileri de elde edilebilmekte ve bölgesel değerlendirmelerde bu parametreler sabit alınarak kullanılabilir.



3. MARMARA BÖLGESİNDE DEĞİŞİK KAMPANYA ÖLÇÜLERİNİN, BİRLEŞTİRİLMESİ VE YERKABUĞU HAREKETLERİ YÖNÜNDEN İNCELENMESİ

3.1. Marmara Bölgesinde Yerkabuğu Hareketleri ve Plaka Tektoniği

Türkiye Güney Avrupa'dan Asya ve Hindistan'a doğru genişleyen bir sınır çarpışma bölgesindedir. Türkiye'nin tektoniği ancak Türkiye'nin büyük bir kısmını oluşturan Anadolu bölgesi başlı başına bir küçük plaka olarak kabul edilirse kısmen anlaşılabilir. Arap plakası ile Avrasya plaksının çarpışması (wedging) Anadolu plakasının batıya hareketine neden olmaktadır. Kuzey Anadolu fayı Anadolu plakasının kuzey sınırını ve Doğu Anadolu fayı doğu sınırını oluşturmaktadır. Anadolu plakasının batıya hareketi Kuzey Anadolu fayında sağa atılımlı yatay kaymaya ve Doğu Anadolu fayında sola atılımlı yatay kaymaya neden olmaktadır. Anadolu plakasının güney sınırlarında Afrika plakasının Avrasya plakasına çarpması sonunda Afrika plakasının çökmesi meydana gelmektedir. Afrika plakasının Anadolu plakası üzerinde oluşturduğu sıkıştırma etkisi (stress) Anadolu plakasının batıya hareketini desteklemektedir. Kuzey Anadolu Fayı önemli bir atılımlı-kayma (strike-slip) fayıdır. Bu fay 1939 yılından bu yana doğudan batıya 1000 km boyunca uzanan bir uzunlukta bir seri büyük deprem geçirmiştir. Bu fayın tektonik yapısı oldukça karmaşıktır (Noomen v.d., 1994, 1996; Jackson and McKenzie, 1988).

Anadolu plakasının batısından doğusuna sınır çarpışma bölgesinin tektoniği oldukça karmaşık bir yapı halini alır. Anadolu plakasının doğusunda Arap plakası ile Avrasya plakasının yaklaşması bir sıkışma (compression) bölgesi oluşturur. Anadolu plakasının batı kesiminde ise bir açılma-uzaklaşma (extension) hareketi söz konusudur. Kuzey Anadolu fayı üzerinde plaka tektoniği ile tahmin edilen hız yılda yaklaşık 15 mm kadardır (Westaway, 1994; Reilinger v.d., 1997; Oral v.d., 1995).

Anadolu plakası doğrusal değil bir dönel hareket göstermektedir. Bu dönel hareket iki ana nedene dayandırılabilir ; (1) Anadolu plakasının batıya olan hareketi Balkanlar ve Kuzey Yunanistan bölgelerinin açılması ile karşılanmaktadır, (2) Bu hareket için gerekli yer orta ve güney Yunanistan bölgelerinin Afrika plakasının yerkabuğunu yiyerek süratle güneye doğru kaçmaları sayesinde sağlanmaktadır Anadolu plakasının batıya olan hareketi Avrasya plakası ile Arap plakalarının Doğu Anadolu Fayı bölgesinde çarpışmaları ve bu hareketin Avrasya plakası tarafından Kuzey Anadolu Fayı boyunca bloke edilmesi sonucu oluşmaktadır (Noomen v.d., 1994).

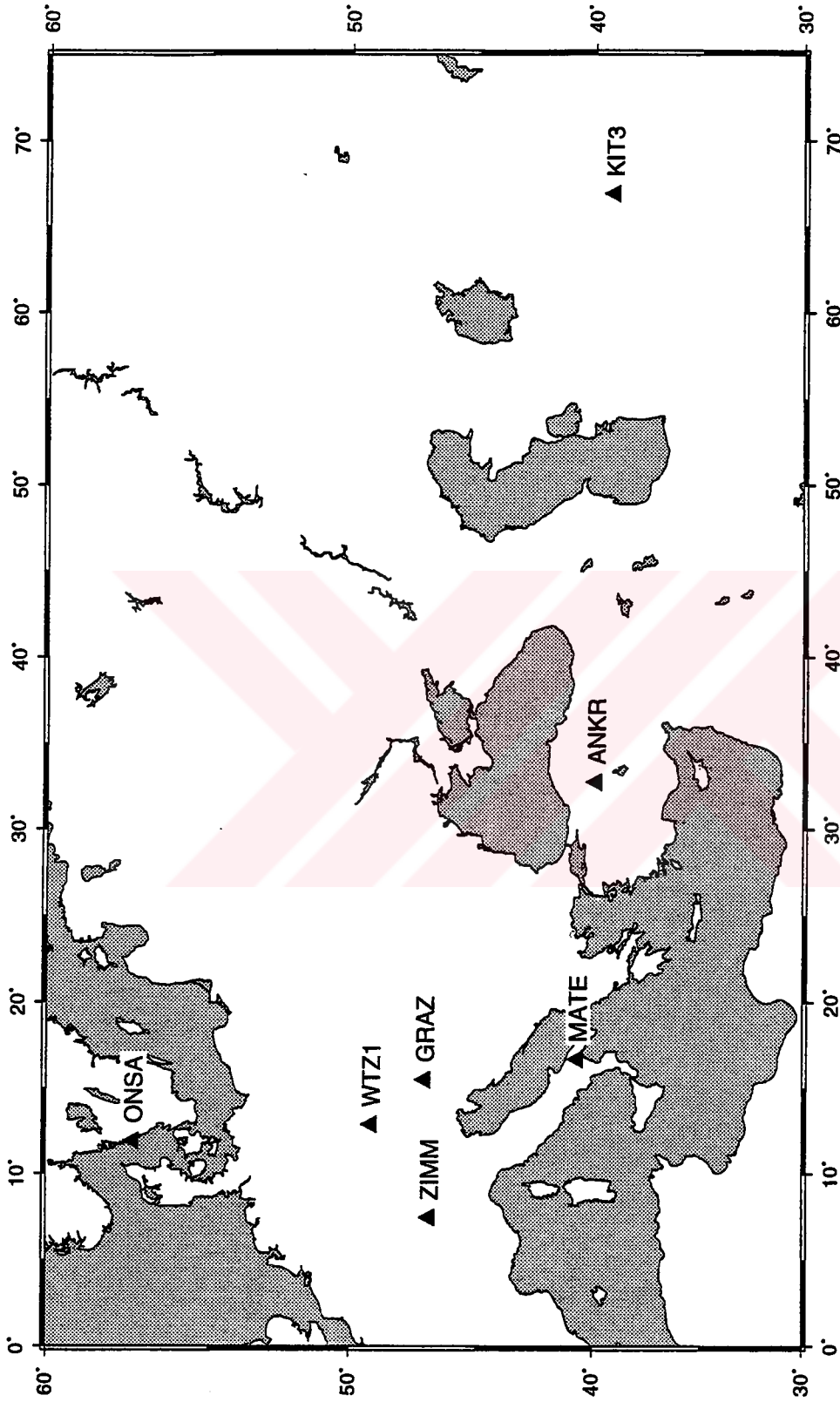
3.2. Kampanyaların Ayrı Değerlendirilmeleri ve Sonuçları

3.2.1. IGS ürünleri ve nokta koordinatları

Kampanyalarda IGS noktası olarak Ankara, Kitab, Zimmerwald, Wettzell, Matera ve Onsala noktalarından birkaç tanesi seçilmiştir (Şekil-3.1). IGS noktalarındaki GPS ölçüleri (global ölçüler); Scripps Yörünge ve Sabit Ağ Merkezi (Scripps Institution of Oceanography-SIO, Scripps Orbit And Permanent Array Center-SOPAC) ile Güney Kaliforniya'daki Sabit GPS Jeodezik Ağı (Permanent GPS Geodetic Array - PGGA) yardımıyla oluşturulan arşivden temin edilmiştir.

Değerlendirmede kullanılan IGS noktalarına ait bilgi formları IGS Merkez Büro (IGSCB)'da oluşturulan anonim ftp adresinden alınmıştır (IGS,1995). IGS noktalarının doğruluğu ve güvenilirliği ile ilgili IERS tarafından yapılan sınıflandırmaya göre Matera, Wettzell, Onsala ve Zimmerwald A sınıfı nokta, Ankara ve Kitab C sınıfı noktalardır. A sınıfı noktalarda GPS'in yanısıra SLR, VLBI, DORIS veya LLR'dan en az biri ile daha ölçü yapılmış olması ve iki yöntemle bulunan koordinatlar arasındaki farkların 2 cm'den az olması gereklidir. C sınıfı noktalarda yalnızca GPS ile bulunan nokta koordinatları 3 cm'den küçük standart sapmalarla bilinmektedir.

IGS noktalarına ait açıklayıcı bilgiler Tablo-3.1'de sunulmaktadır. Tablo-3.1'de verilen anten yükseklikleri nokta işaretinden Anten Referans Noktasına (ARP) olan yüksekliklerdir.



Şekil - 3.1 : IGS noktaları

Tablo-3.1 :IGS noktalarına ait bilgiler

NOKTA NO	İSİM KISA İSİM	ALICI TİPİ	ANTEN TİPİ	ANT. YÜK. (ARP) (m)	GEÇERLİ OLDUGU YIL
14201M009	WETTZEL WTZ1	ROGUE SNR 800	DORNE MARGOLIN B	0.000	1992-1994- 1996
12734M008	MATERA MATE	ROGUE SNR-8	DORNE MARGOLIN B	0.135	1992-1994
12734M008	MATERA MATE	ROGUE SNR-8100	DORNE MARGOLIN T	0.101	1996
14201M010	WETTZEL WTZR	ROGUE SNR-8000	DORNE MARGOLIN T	0.071	1996
10402M004	ONSALA ONSA	ROGUE SNR-8000	DORNE MARGOLIN B	0.995	1992-1994- 1996
12334M001	KITAB KIT3	TURBO ROGUE SNR-8000	DORNE MARGOLIN T	0.046	1994-1996
14001M004	ZIMMERWALD ZIMM	TRIMBLE 4000 SSE	TRIMBLE 4000 ST L1/L2 GEOD	0.000	1992-1994- 1996

Yukarıda belirtilen IGS noktalarının 1993.0 epokunda ITRF94 koordinat sisteminde koordinatları, ITRF94 hız modeli ile birlikte Tablo-3.2’de verilmektedir (Boucher v.d., 1995). $t_0 = 1993.0$ epokunda verilen nokta koordinatları $X(t_0)$ ve hızları V_x kullanılarak

$$X(t_c) = X(t_0) + V_x(t_c - t_0) \quad (3.1)$$

eşitliği ile t_c epokunda koordinatlar $X(t_c)$ hesaplanabilir. Bu yolla t_0 epokundaki koordinatlar istenen t_c epokuna kaydırılabilir. ITRF94 nokta koordinatları (X), istenen ITRFyy koordinatları (XS) ile gösterildiğinde aralarındaki dönüşüm

$$\begin{bmatrix} XS \\ YS \\ ZS \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R3 & R2 \\ R3 & D & -R1 \\ -R2 & R1 & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

ile verilir(McCarthy, 1996). Burada, $T1, T2, T3$: (XS) koordinat sistemi başlangıç noktasının (X) koordinat sisteminde koordinatları (kayıklıklar), $R1, R2, R3$: XS eksenlerinde dönüklükler ve D : Ölçek farkıdır.

Değerlendirmede kullanılan yörünge bilgisi genellikle ITRFyy koordinat sistemlerinden birisinde ve ölçü epokunda verilmektedir. Datum belirlenirken sabit veya sıkı koşul tanımlanan nokta koordinatlarının uydu yörüngelerinin tanımlandığı koordinat sistemi ile aynı koordinat sisteminde olması gerekmektedir (FGCC, 1989). ITRF94 koordinat sistemi en son gerçekleştirilen ve en uygun hız modeline sahip Yersel Referans Sistemi (ITRF) olduğundan nokta koordinatlarının ITRF94

koordinat sisteminden ITRF91 ve ITRF92 koordinat sistemlerine dönüşüm yoluyla hesaplanması düşünülmüştür. ITRF94 ile ITRF91 ve ITRF92 koordinat sistemleri arasındaki dönüşüm parametreleri (1988.0 epoku) Tablo-3.3'de verilmektedir (McCarthy, 1996). Beher yıla ait değerlendirmede kullanılan yörünge'nin tanımlandığı koordinat sistemlerine dönüşüm aşağıda ayrı ayrı açıklanmaktadır.

Tablo-3. 2:IGS noktalarının ITRF94 (1993.0) koordinatları ve hızları

NOKTA NO	İSİM KISA İSİM	X (m) Vx (m/y)	Y (m) Vy (m/y)	Z (m) Vz (m/y)	NOT
14201M009	WETTZEL WTZ1	4075578.657 -0.0168	931852.618 0.0173	4801570.002 0.0056	1992-94 -96'da kullanıldı
12734M008	MATERA MATE	4641949.798 -0.0191	1393045.205 0.0202	4133287.278 0.0121	1992-94 -96'da kullanıldı
14201M010	WETTZEL WTZR	4075580.763 -0.0169	931853.599 0.0173	4801568.010 0.0065	1996'da kullanıldı
10402M004	ONSALA ONSA	3370658.732 -0.0150	711876.975 0.0151	5349786.833 0.0061	1992-94 -96'da kullanıldı
12334M001	KITAB KIT3	1944945.450 -0.0280	4556652.176 0.0163	4004325.973 0.0064	1996'da kullanıldı
14001M004	ZIMMERWAL D ZIMM	4331297.242 -0.0131	567555.666 0.0180	4633133.789 0.0121	1996'da kullanıldı

Not : KIT3 noktasının ITRF94'de koordinatları olmadığından ITRF93'den dönüşüm yapılmış ve ITRF93 hızı verilmiştir.

Tablo-3.3 : ITRF94'den ITRFyy'a dönüşüm parametreleri (1988.0 epoku için)

	T1 (cm)	T2 (cm)	T3 (cm)	d (ppb)	R1 (sn)	R2 (sn)	R3 (sn)
ITRF92'ye	0.8	0.2	-0.8	-0.8	0.0	0.0	0.0
ITRF91'e	2.0	1.6	-1.4	0.6	0.0	0.0	0.0

1992 Marmara GPS kampanyasının değerlendirilmesinde IGS noktalarından ONSA, MATE ve WTZ1 noktalarına ait ölçüler kullanılmıştır. Bu noktaların ITRF94 (1993.0) koordinatları ITRF94 hızları (Tablo-3.2) kullanılarak (1) eşitliğiyle 1988.0 epokuna kaydırılmıştır. Daha sonra Tablo-3.3'de verilen dönüşüm parametreleri kullanılarak ITRF91 (1988.0)'a dönüştürülmüştür. ITRF91 (1988.0) koordinatları ITRF94 hızları kullanılarak 1992 ölçü kampanyasının ortası olan 1992.67 epokuna kaydırılmıştır. ITRF91 (1992.67) koordinatları Tablo-3.4'de verilmektedir.

Tablo-3.4 :IGS noktalarının ITRF91 (1992.67) koordinatları

KISA İSİM	X (m)	Y (m)	Z (m)
WTZ1	4075578.6845	931852.6289	4801570.0072
MATE	4641949.8268	1393045.2153	4133287.2625
ONSA	3370658.7590	711876.9864	5349786.8205

1994 kampanyasının değerlendirilmesinde WTZ1, MATE ve ONSA noktalarına ait GPS ölçüleri kullanılmıştır. Bu noktaların ITRF94(1993.0) koordinatları yukarıdaki

paragrafta açıklanan biçimde ITRF92 (1994.75) koordinat sistemi ve epokuna dönüştürülmüş olup Tablo-3.5’de verilmektedir.

Tablo-3.5 :IGS noktalarının ITRF92 (1994.75) koordinatları

KISA İSİM	X (m)	Y (m)	Z (m)
WTZ1	4075578.6326	931852.6496	4801570.0178
MATE	4641949.7691	1393045.2414	4133287.2877
ONSA	3370658.7108	711877.0028	5349786.8312

1996 yılı ölçülerinin değerlendirilmesinde ise MATE, ONSA, WTZR, WTZ1, ZIMM, KIT3 noktalarına ait ölçüler kullanılmıştır. Noktaların ITRF94(1993) koordinatları ITRF94 hızları kullanılarak ITRF94 (1996.72) epokuna kaydırılmış ve Tablo-3.6’da verilmektedir.

Tablo-3. 6 : IGS noktalarının ITRF94 (1996.72) koordinatları

KISA İSİM	X (m)	Y (m)	Z (m)
WTZ1	4075578.5945	931852.6824	4801570.0228
MATE	4641949.7269	1393045.2801	4133287.3230
WTZR	4075580.7001	931853.6634	4801568.0342
ONSA	3370658.6762	711877.0312	5349786.8557
KIT3	1944945.3458	4556652.2366	4004325.9968
ZIMM	4331297.1933	567555.7330	4633133.8340

1992 yılında IGS yeni kurulmuş ve henüz IGS ürünleri olarak bilinen birleştirilmiş yörünge, yer dönüklük parametreleri gibi ürünler yayınlanmadığından 1992 yılı GPS kampanyasının değerlendirilmesinde IGS ürünleri kullanılamamıştır. Ancak, IGS analiz merkezlerinden biri olan Center for Orbit Determination in Europe (CODE) tarafından değerlendirmede söz konusu ürünler hazırlanıp yayınlandığından 1992 GPS kampanyasının değerlendirmesinde CODE ürünleri kullanılmıştır. 1994 ve 1996 yılları Marmara GPS kampanyalarının değerlendirilmesinde ise IGS ürünleri kullanılmıştır (Tablo-3.7).

IGS tarafından birleştirilmiş yer dönüklük parametrelerinin standart olarak üretilmesi ve yayınlanmasına 860ncı GPS haftasından (W0860-30.06.1996) itibaren başlanmıştır. Rothacher ve Mervart (1996)’da Bernese ile değerlendirmede 860ncı GPS haftasına kadar IERS (C04 serisi), daha sonraki değerlendirmelerde IGS tarafından üretilen ve yayınlanan yer dönüklük parametrelerinin kullanılması önerilmektedir. Bu değerlendirmelerde de bu öneri dikkate alınmış ve 1992 ve 1994 yıllarında IERS, 1996 yılında ise IGS tarafından üretilen yer dönüklük parametreleri kullanılmıştır.

Tablo-3.7 : Kullanılan IGS ürünleri

	1992	1994	1996
Yörünge Bilgileri	CODE	IGS	IGS
Yer Dönme Parametreleri	IERS	IERS	IGS
Uydu Saat Katsayıları	CODE	IGS	IGS

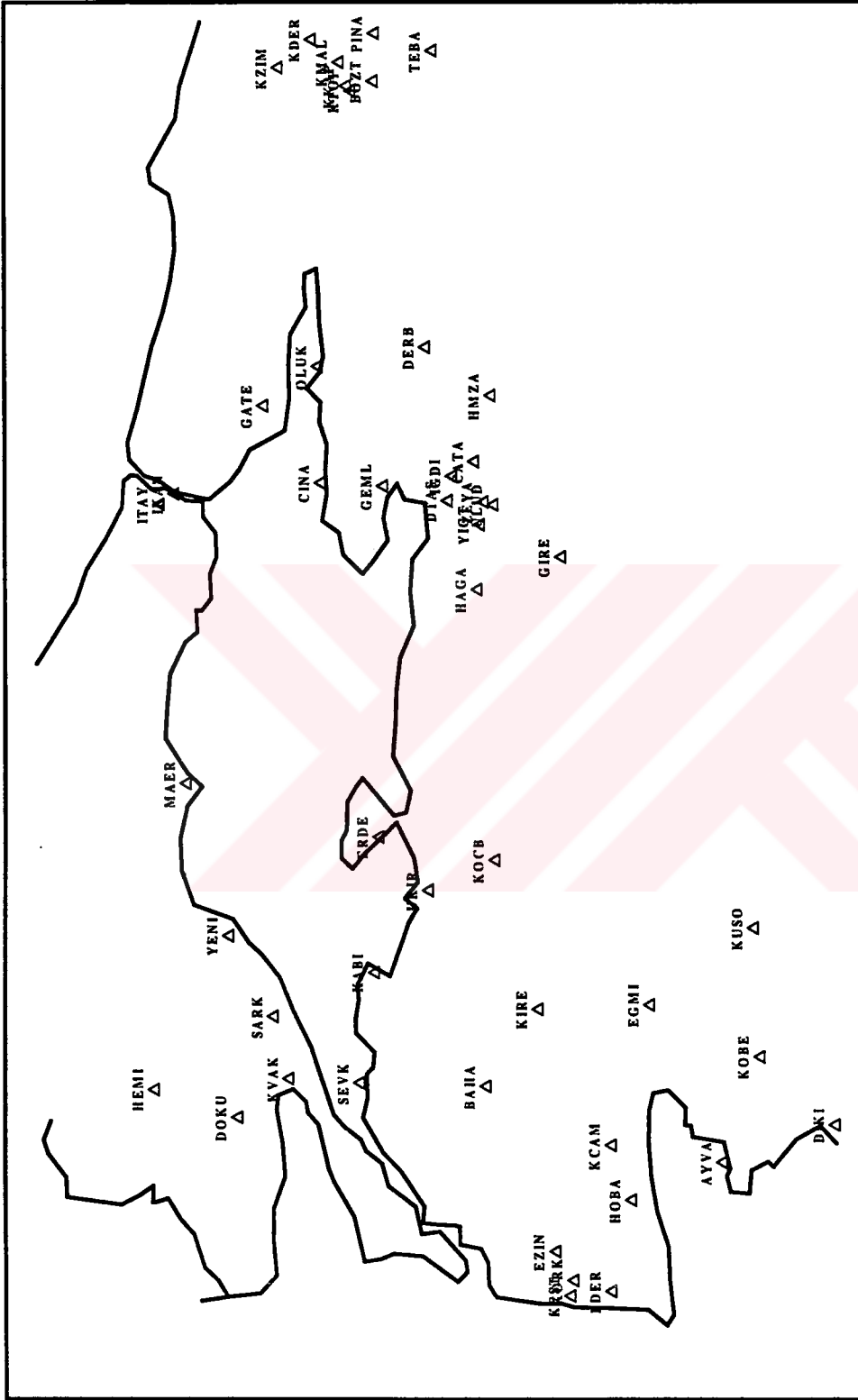
3.2.2. 1992 GPS ölçü kampanyası

27 Ağustos-07 Eylül 1992 (W0659,W0660) tarihleri arasında (12 gün) her gün 6 saatlik oturumlar halinde toplam 48 noktada GPS ölçüleri yapılmıştır. Kampanyada ETHZ tarafından sağlanan 11 adet WM102 alıcısı kullanılmıştır. Proje alanında 1992 yılında ölçü yapılan noktalar Şekil-3.2'de ve ölçü planı Tablo-A.1'de verilmektedir. Bu noktalara ek olarak IGS noktalarından 3 tanesine ait günlük ölçüler Bölüm-2'de açıklandığı gibi elde edilmiş ve değerlendirmede kullanılmıştır.

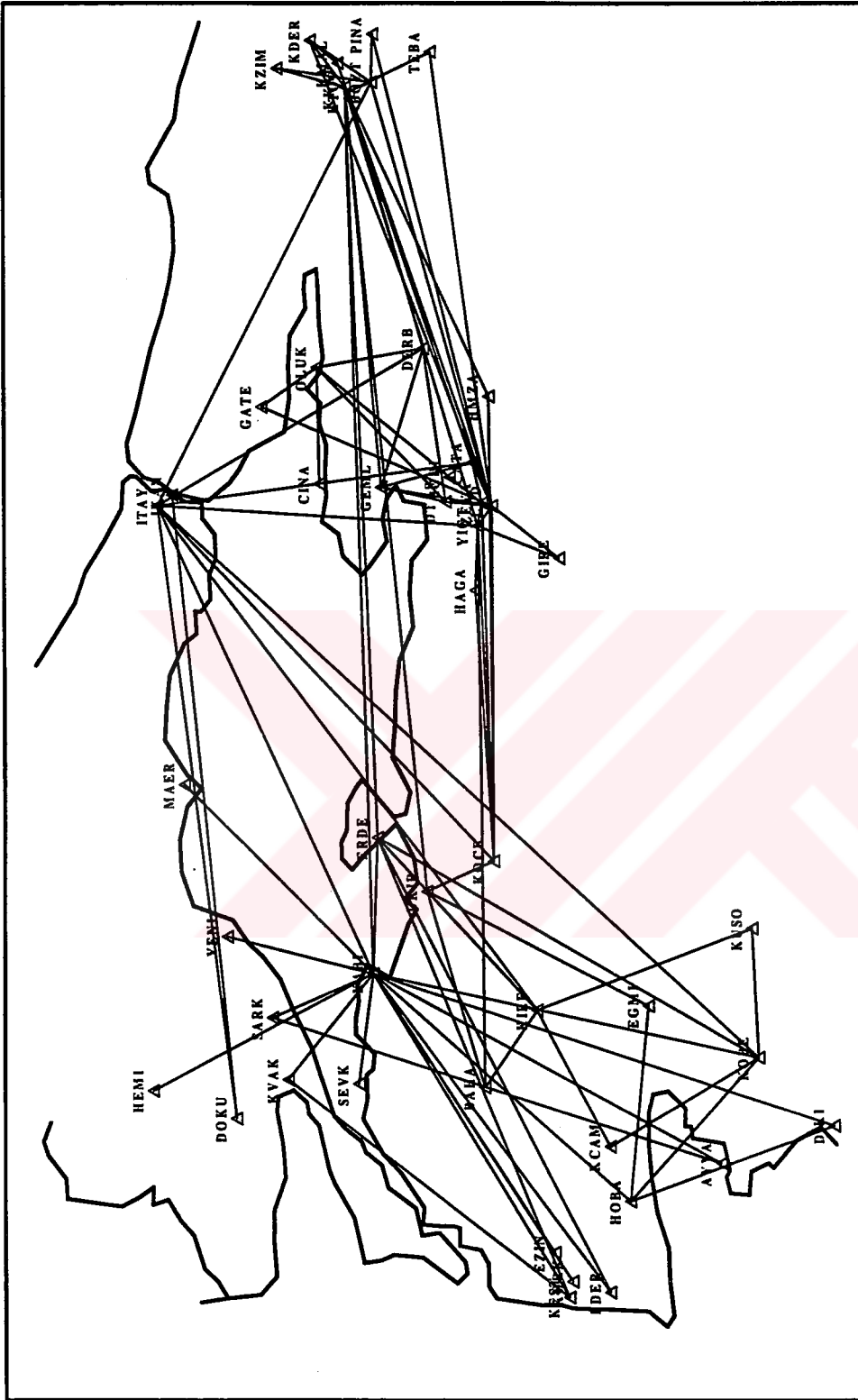
Değerlendirmede tekli fark ölçüsü oluşturulan bazlar Şekil-3.3'de verilmektedir. Şekilde gösterim açısından yalnızca proje alanı içerisinde kalan bazlar verilmiştir. Tüm günlerde yalnızca ONSA noktasında ölçü olduğundan bütün noktalar ONSA'ya bağlanarak IGS noktaları arasında

WTZ1 - ONSA, ONSA - MATE, ONSA - ITAY

bazları oluşturulmuştur. GPS ölçüleri Bölüm-3'de açıklandığı gibi değerlendirilmiş olup her gün (ddd) için gevşek koşullu (20m) serbest çözümler (LC_ddd) elde edilmiştir. Her günlük çözüm için içerisinde sadece koordinat bilinmeyenleri ve troposfer parametreleri bulunan normal denklem sistemleri (LC_ddd.NEQ) elde edilmiş olup birleştirmede kullanılmak üzere saklanmıştır. Oluşturulan LC_ddd.NEQ normal denklem sistemleri troposfer bilinmeyenleri elimine edilerek birleştirilmiş ve kampanyaya ilişkin normal denklem sistemi (LC_M92.NEQ) elde edilmiştir.



Şekil - 3.2 : MARMARA 1992 KAMPANYASI NOKTALARI



Kampanyaya ilişkin normal denklemler elde edilirken hiçbir nokta üzerine sıkı koşul konulmamıştır.

Günlük serbest çözümler değerlendirmenin iç duyarlılığını ve dış doğruluğunu incelemek amacıyla aşağıdaki stratejilerle birleştirilmiştir. Bu durumda, tüm noktaların yaklaşık koordinatları dengelemeye standart sapmaları ile birlikte ölçü olarak sokulmuş, ancak, datumu belirleyecek nokta (Wtz1, Mate, Onsa) koordinatları için standart sapma 0.0001 m (sıkı koşullu) diğer nokta koordinatları için ise 90 m (gevşek koşul) tanımlanmıştır.

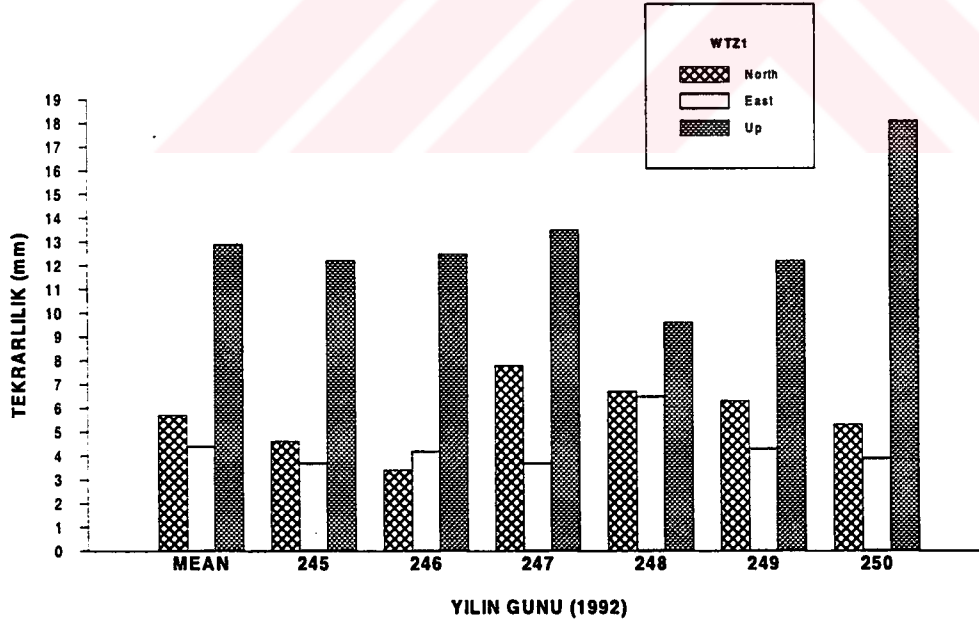
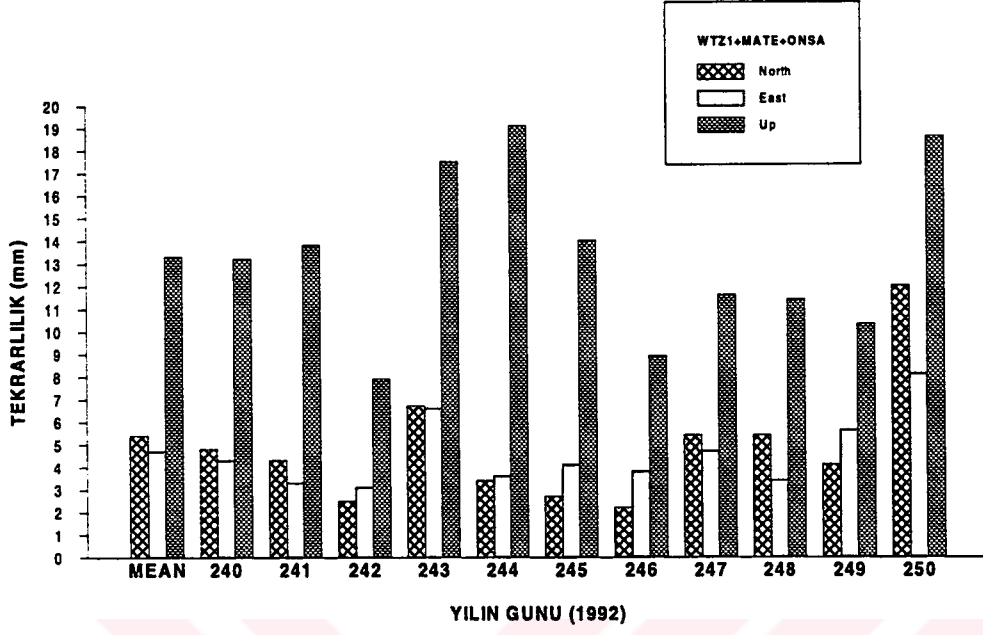
WE_M92 : WTZ1 noktası

WMO_M92 : WTZ1, MATE, ONSA noktaları

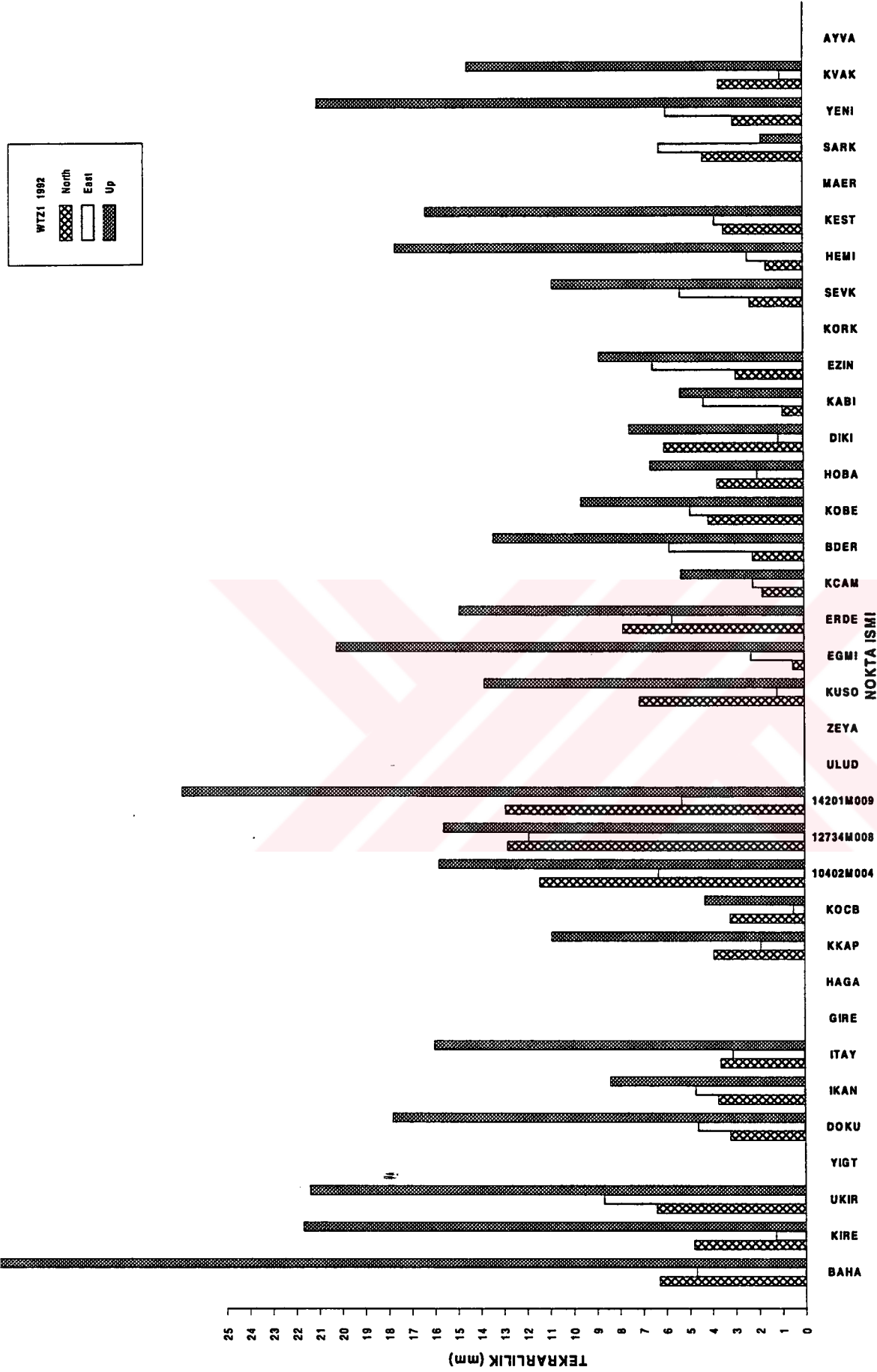
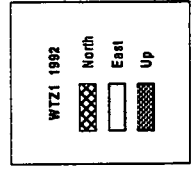
Günlük serbest çözümlerin elde edilmesinden sonra kampanya için ölçü epokunda sonuç koordinatlar hesaplanabilir. Bu kampanya için WTZ1, MATE, ONSA noktalarının datumu belirlediği çözümle hesaplanan koordinatlar sonuç koordinatlar olarak alınmış olup hesaplanan koordinatlar Tablo-A.2’de verilmektedir.

Günlük serbest çözümlerin yukarıda belirtildiği gibi birleştirilmeleri sonucunda noktaların birleştirilmiş koordinatlarının günlük koordinatlardan olan farkları yardımıyla noktalara ve tüm kampanyaya ilişkin günlük tekrarlılıklar hesaplanmıştır. Hesaplanan günlük tekrarlılıklar Şekil-3.4 ve Şekil-3.5’de verilmektedir. Günlük tekrarlılıklar; seçilen datuma bağlı parametreler olduklarından datum tanımına göre farklılık göstermektedir.

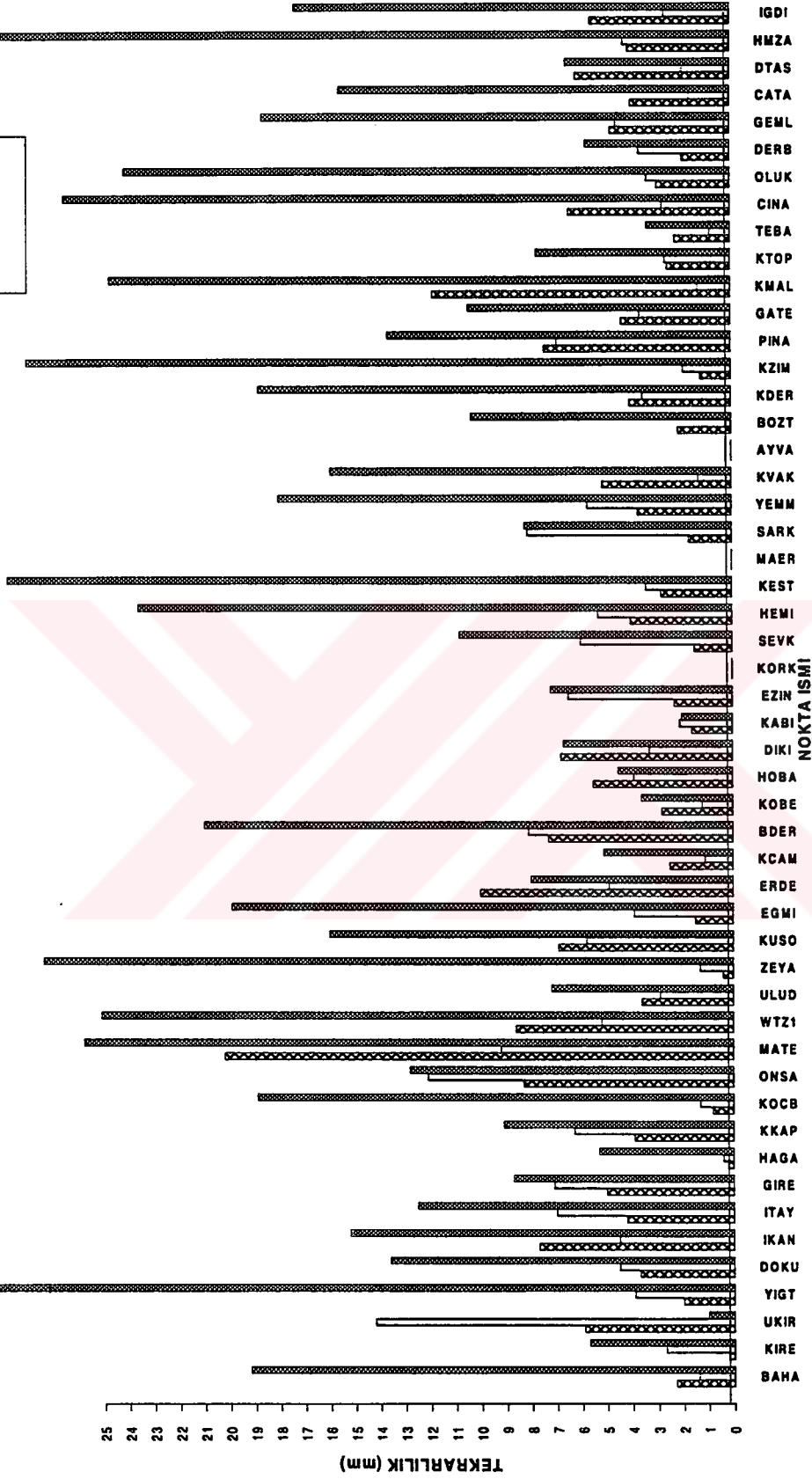
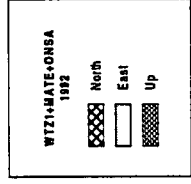
IGS noktalarından birinin (WTZ1) ölçü epokundaki ITRF91 koordinatları üzerine sıkı koşul konarak (datum tanımı) diğer IGS noktalarının bilinen ölçü epokundaki ITRF91 koordinatları hesaplanabilir. Bilinen koordinatlar ile hesaplanan koordinatlar arasındaki farklar yardımıyla değerlendirmenin dış doğruluğu hakkında bilgi sahibi olunur. Bilinen koordinatlarla (Tablo-3.4) hesaplanan (WTZ1 koşullu) koordinatlar arasındaki farklar Tablo-3.8’de verilmektedir.



Şekil-3.4 : 1992 YILI GÜNLÜK TEKRARLILIKLAR



Şekil - 3.5.a : 1992 YILI GÜNLÜK TEKRARLILIKLAR



Şekil - 3.5b : 1992 YILI GÜNLÜK TEKRARLILIKLAR

Tablo-3.8: Bilinen koordinatlarla hesaplanan koordinatlar (Wtz1 sıkı koşullu) arasındaki farklar

NOKTA NO	NOKTA ADI	North (mm)	East (mm)	Up (mm)
10402M004	ONSA	18.6	2.0	95.0
12734M008	MATE	34.6	1.6	64.2

Tablodan görüldüğü gibi bilinen koordinatlarla hesaplanan koordinatlar arasındaki farklar oldukça büyüktür. Bu nedenle bilinen ve hesaplanan koordinat setleri arasında (3.2) eşitliğinde verildiği gibi benzerlik dönüşümü yapılmış ve aralarında sistematik bir ilişkinin olup olmadığı araştırılmıştır. Aşağıda benzerlik dönüşümü sonuçları sunulmaktadır.

Tablo-3.9 : Dönüşüm parametreleri

Tx(X ekseninde kayıklık)	-14.6 ± 10.3 mm
Ty (Y ekseninde kayıklık)	-1.3 ± 10.3 mm
Tz (Z ekseninde kayıklık)	-54.5 ± 10.3 mm
Rx (X ekseninde dönm.)	-0.0741 ± 0.0300 saniye
Ry (Y ekseninde dönm.)	0.0216 ± 0.0063 saniye
Rz (Z ekseninde dönm.)	-0.0010 ± 0.0027 saniye
D (Ölçek faktörü)	0.0110 ± 0.1300 mm/km

Tablo-3.10: Dönüşüm sonrası düzeltmeler

NOKTA NO	NOKTA ADI	North (mm)	East (mm)	Up (mm)
10402M004	ONSA	1.5	-9.4	4.9
14201M009	WTZ1	-1.7	-8.6	4.7
12734M008	MATE	0.2	18.0	-9.6
Bileşenlere ait RMS ±		1.6	15.6	8.3
Ortalama RMS ±		17.8 mm		

Dönüşüm hesabı sonuçlarından IGS noktalarına ait bilinen ITRF koordinatları ile GPS ölçüleriyle hesaplanan koordinatlar arasında fonksiyonel bir ilişkinin olduğu görülmektedir. 1992 yılı değerlendirmesinde IGS yörüngesi kullanılmamış, yerine CODE analiz merkezinden alınan yörünge bilgileri kullanılmıştır. Ayrıca ITRF92 oluşturulurken GPS ölçülerinden çok SLR ve VLBI gibi diğer uydu teknikleriyle elde edilen ölçüler kullanılmıştır. Bu nedenle aralarında sistematik bir farkın olmasının doğal olduğu değerlendirilmektedir.

Tablo-3.8 ve Tablo-3.10'da koordinatlar karşılaştırılmaktadır. Bilindiği gibi koordinatlar seçilen datuma bağlı parametrelerdir ve bu nedenle her zaman uygun

sonuç vermezler. İki koordinat seti arasında sistematik bir ilişki bulunduğundan datumdan bağımsız bir parametrenin de karşılaştırılarak farkların incelenmesi gerekmektedir. Bu nedenle karşılaştırma yapılan IGS noktaları arasındaki baz vektörleri uzunlukları karşılaştırılmış olup sonuçlar aşağıda verilmektedir. Tablodan görüldüğü gibi koordinatlar arasındaki farklar oldukça büyük olmasına rağmen bazvektör uzunlukları arasındaki farklar kabul edilebilir değerlerdir.

FGCC(1989)'da global ölçekli jeodinamik ve deformasyon izleme amaçlı jeodezik ağlarda aranacak oransal duyarlık 10 ppb (part per billion) olarak belirtilmiştir. Genellikle bir global koordinat sistemi içerisinde mm derecesinde doğruluk elde edilebilmesi sabit veya sıkı koşullu olarak alınan nokta koordinatlarına (datum) bağlıdır. ITRF koordinat sistemlerinde birkaç tür ölçü kullanılmakta (GPS, SLR, VLBI gibi) ve aynı bölgede bu ölçülerin yapıldığı farklı noktalar birbirlerine yerel ölçülerle bağlanmaktadır. Bu yerel bağlantılardan kaynaklanan hatalar nokta koordinatlarının doğruluklarını olumsuz olarak etkilemektedir (Ashkenazi v.d., 1993, 1994; Noomen v.d.,1996). IGS nokta koordinatlarının ITRF94 koordinat sistemi içerisinde sadece GPS ölçüleri kullanılarak hesaplanan koordinatları ile ITRF94 koordinatları arasındaki fark yaklaşık 15-20 mm mertebesinde (Ashkenazi v.d., 1996; Noomen v.d.,1996). Tablo-3.10'dan görüldüğü gibi bu çalışmada aynı değer 17.8 mm olarak hesaplanmıştır. Dixon (1991)'de GPS ölçülerinden elde edilen doğruluk yaklaşık olarak

$$\sigma = \sqrt{(8\text{mm})^2 + (10^{-9}L)^2}$$

ile verilmektedir. Burada, L baz uzunluğudur. Bu eşitlikten hesaplanan doğruluk bu çalışma için 10-15 ppb olarak hesaplanabilir.

Tablo-3.11: Bazvektör uzunluklarının karşılaştırılması

NOK 1	NOK 2	Fark (mm)	Oran (ppb)
ONSA	MATE	24.2	12.0
ONSA	WTZ1	11.6	12.0
MATE	WTZ1	3.4	2.0

3.2.3. 1994 GPS ölçü kampanyası

26 Eylül - 06 Ekim 1994 (W0768, W0769) tarihleri arasında (11 gün) her gün 10 saatlik oturumlar halinde toplam 52 noktada GPS ölçüleri yapılmıştır. Kampanyada ETHZ tarafından sağlanan 11 adet Leica System 200 alıcısı kullanılmıştır. Proje alanında 1994 yılında ölçü yapılan noktalar Şekil-3.6'da ve ölçü planı Tablo-A.3'de verilmektedir. Bu noktalara ek olarak IGS noktalarından 3 tanesine ait günlük ölçüler Bölüm-2'de açıklandığı gibi elde edilmiş ve değerlendirilmede kullanılmıştır. Ayrıca ETHZ kampanyasıyla eş zamanlı yapılan diğer GPS ölçüleri de değerlendirmede kullanılmıştır. Bu noktalar ANKS ve YIGI noktaları olup TRIMBLE 4000 SSE alıcıları ile ölçüler gerçekleştirilmiştir.

Değerlendirmede tekli fark ölçüsü oluşturulan bazlar Şekil-3.7'de verilmektedir. Şekilde gösterim açısından yalnızca proje alanı içerisinde kalan bazlar verilmiştir. IGS noktaları ile oluşturulan bazlar aşağıda verilmektedir.

WTZ1 - ITAY, WTZ1 - MATE, WTZ1 - ONSA

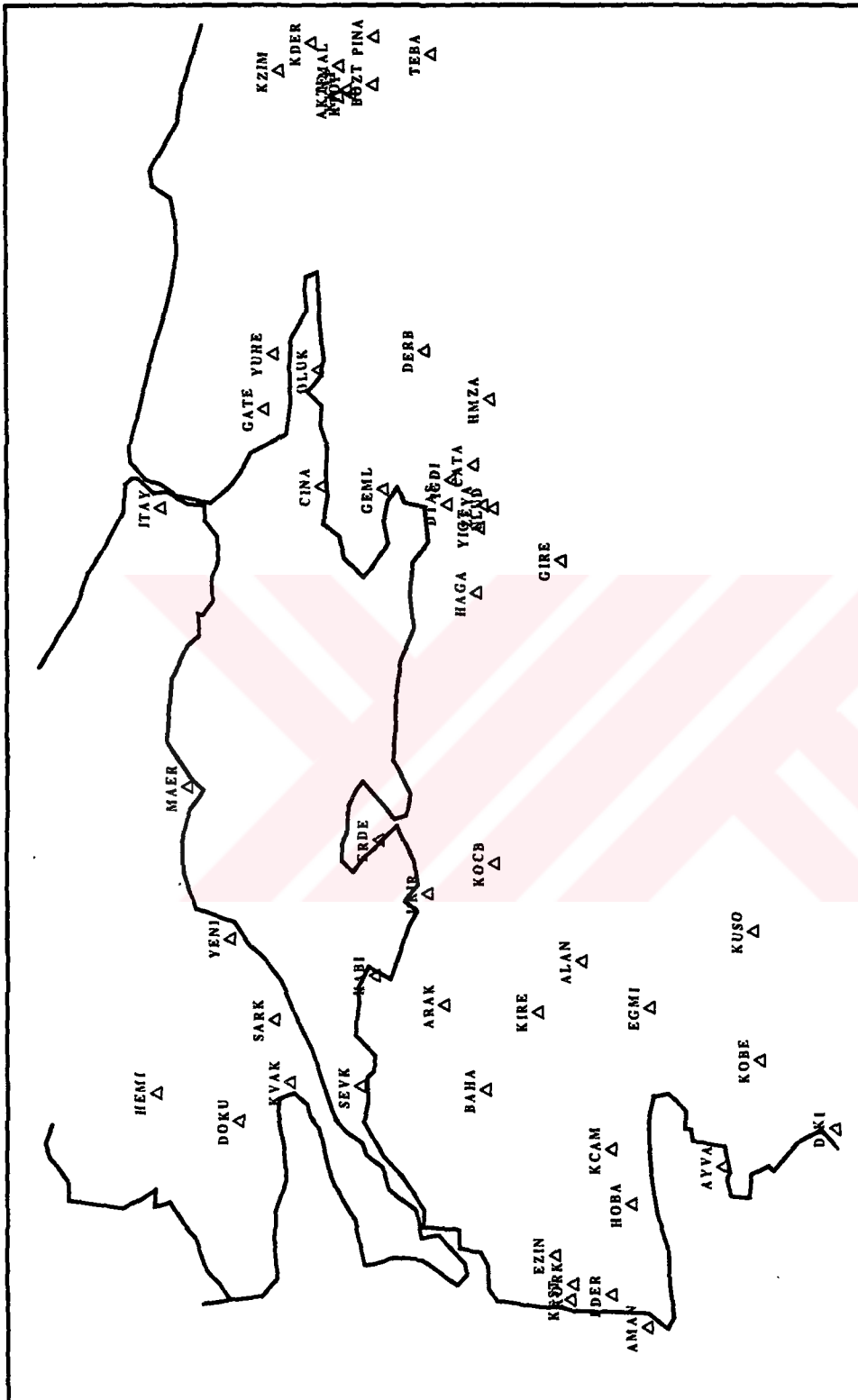
GPS ölçüleri Bölüm-3'de açıklandığı gibi değerlendirilmiş olup her gün (ddd) için gevşek koşullu (20m) serbest çözümler (LC_ddd) elde edilmiştir. Her günlük çözüm için içerisinde sadece koordinat bilinmeyenleri ve troposfer parametreleri bulunan normal denklem sistemleri (LC_ddd.NEQ) elde edilmiş olup birleştirmede kullanılmak üzere saklanmıştır. Oluşturulan LC_ddd.NEQ normal denklem sistemleri troposfer bilinmeyenleri elimine edilerek birleştirilmiş ve kampanyaya ilişkin normal denklem sistemi (LC_M94.NEQ) elde edilmiştir. Kampanyaya ilişkin normal denklemler elde edilirken hiçbir nokta üzerine sıkı koşul konulmamıştır.

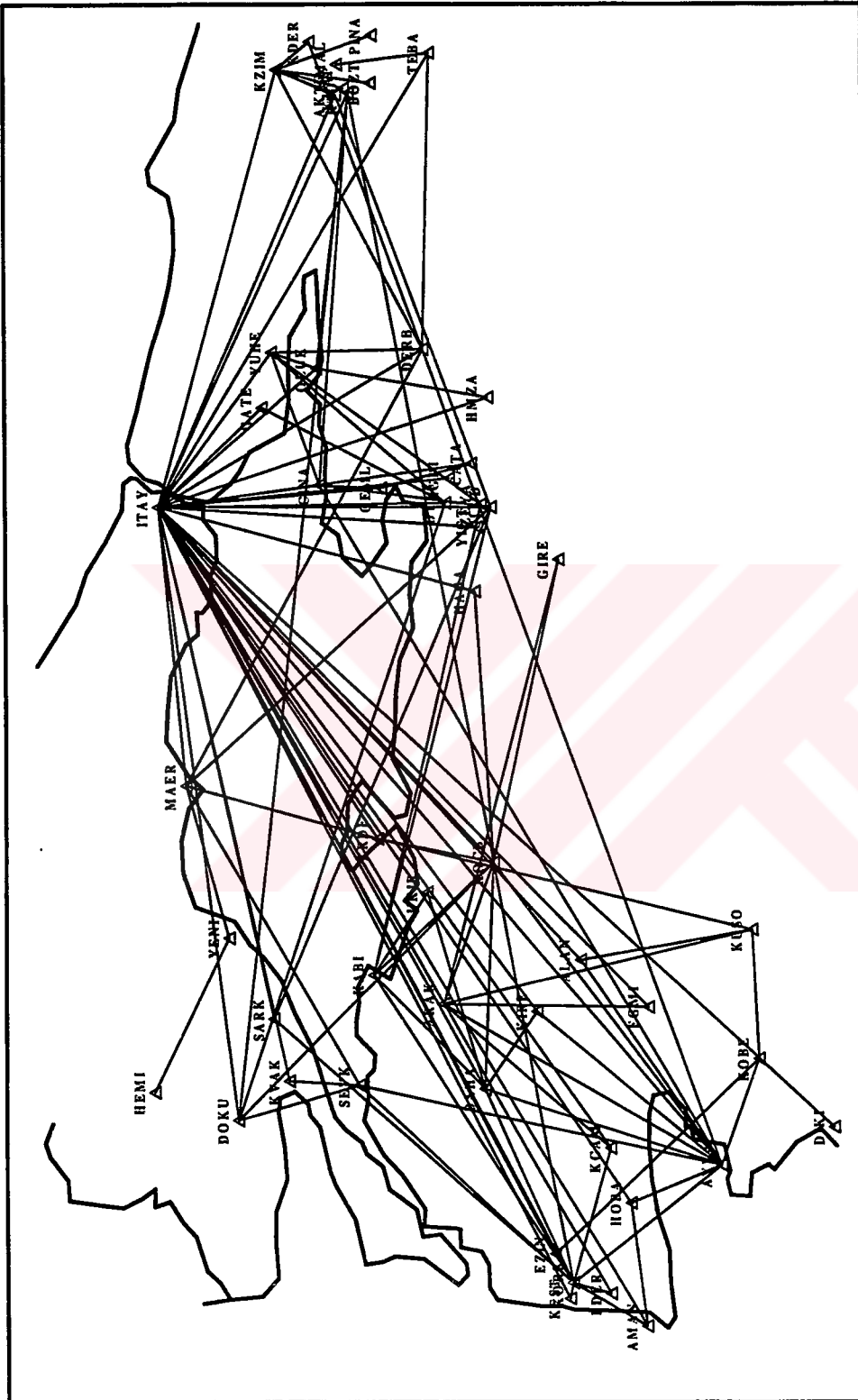
Günlük serbest çözümler değerlendirmenin iç duyarlılığını ve dış doğruluğunu incelemek amacıyla aşağıdaki stratejilerle birleştirilmiştir.

WE_M94 : WTZ1 noktası datumu belirlemiştir.

WMO_M94 : WTZ1, MATE, ONSA noktaları datumu belirlemiştir.

Hesaplanan günlük tekrarlılıklar Şekil-3.8 ve Şekil-3.9'da verilmektedir.

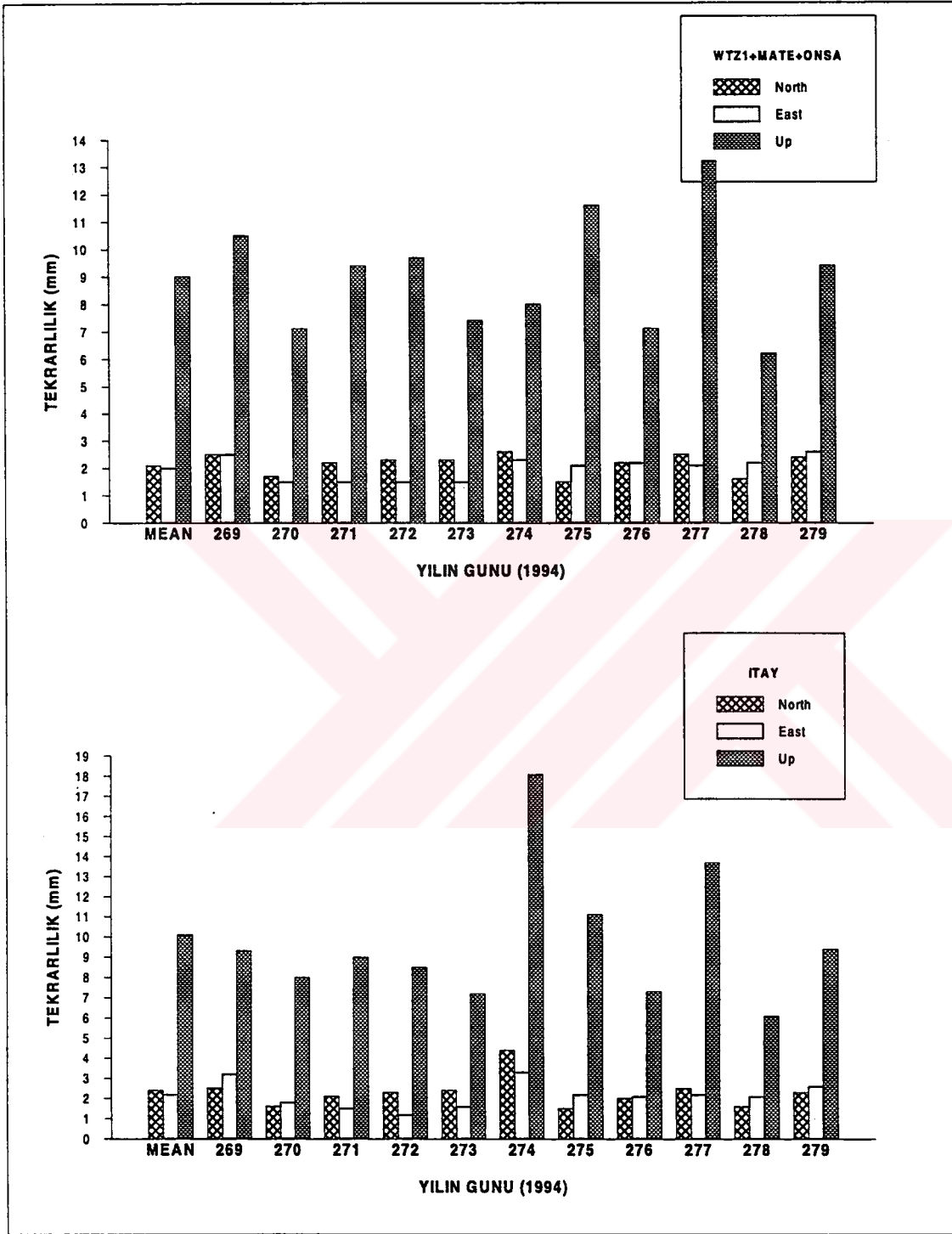




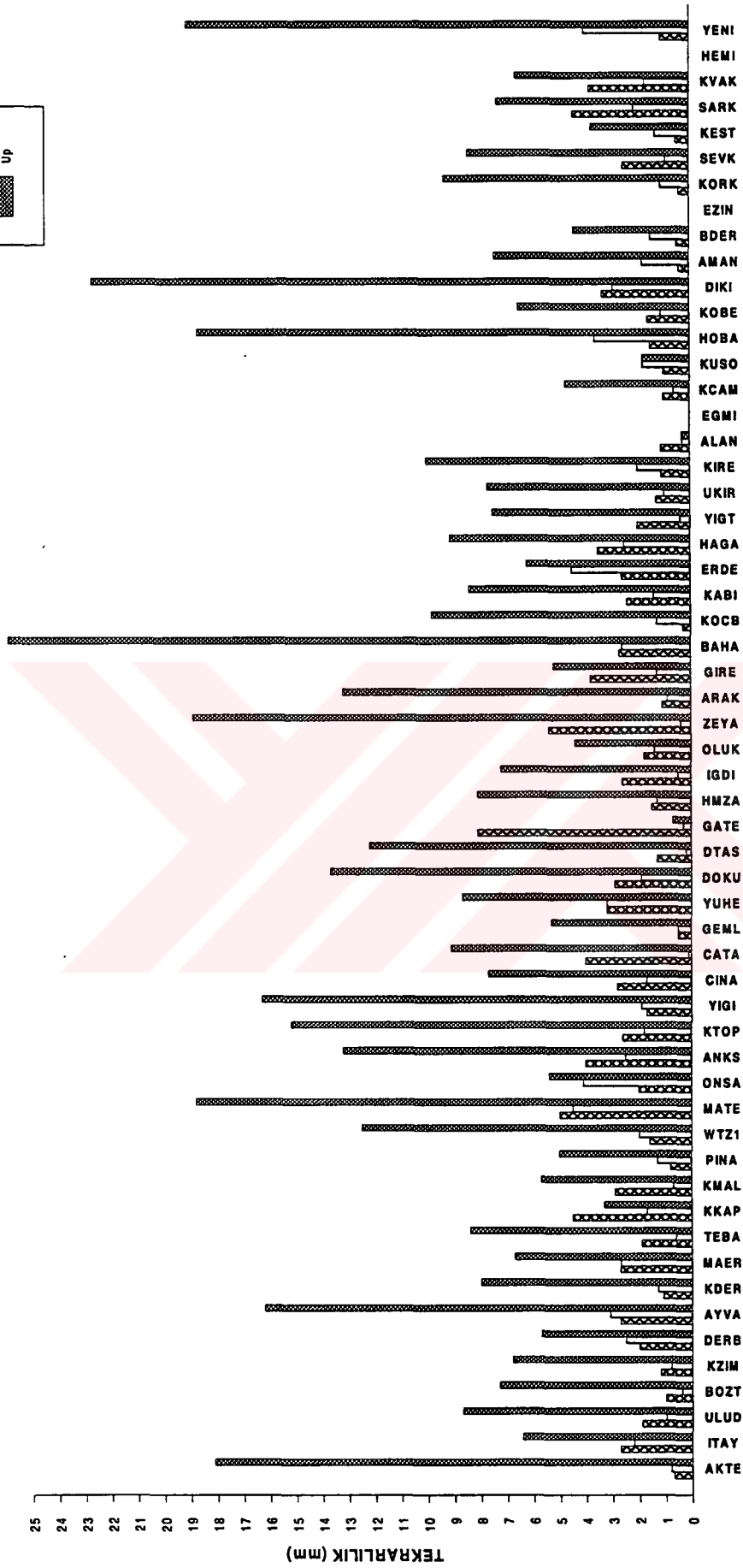
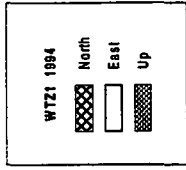
Marmara 1994 kampanyasında noktaların ITRF92 (1994.75) koordinatları IGS noktalarının bilinen koordinatlarından (Tablo-3.5) yararlanarak hesaplanmış olup Tablo-A.4'de verilmektedir. Burada WMO_M94 stratejisi ile hesaplanan koordinatlar sonuç olarak alınmıştır. IGS noktalarından birinin ölçü epokundaki ITRF92 koordinatları üzerine sıkı koşul konarak (datum tanımı) diğer IGS noktalarının bilinen ölçü epokundaki ITRF92 koordinatları hesaplanmıştır. Aslında YIGI ve ANKR noktalarının da bilinen koordinatları olmasına rağmen kampanya süresince bu noktalarda diğer IGS noktalarına göre çok kısa ölçüler yapıldığından bu karşılaştırmalarda bu noktalara yer verilmemiştir. Bilinen koordinatlarla hesaplanan koordinatlar (WTZ1 koşullu) arasındaki farklar Tablo-3.12'de verilmektedir.

Tablo-3.12: Bilinen koordinatlarla hesaplanan koordinatlar arasındaki farklar

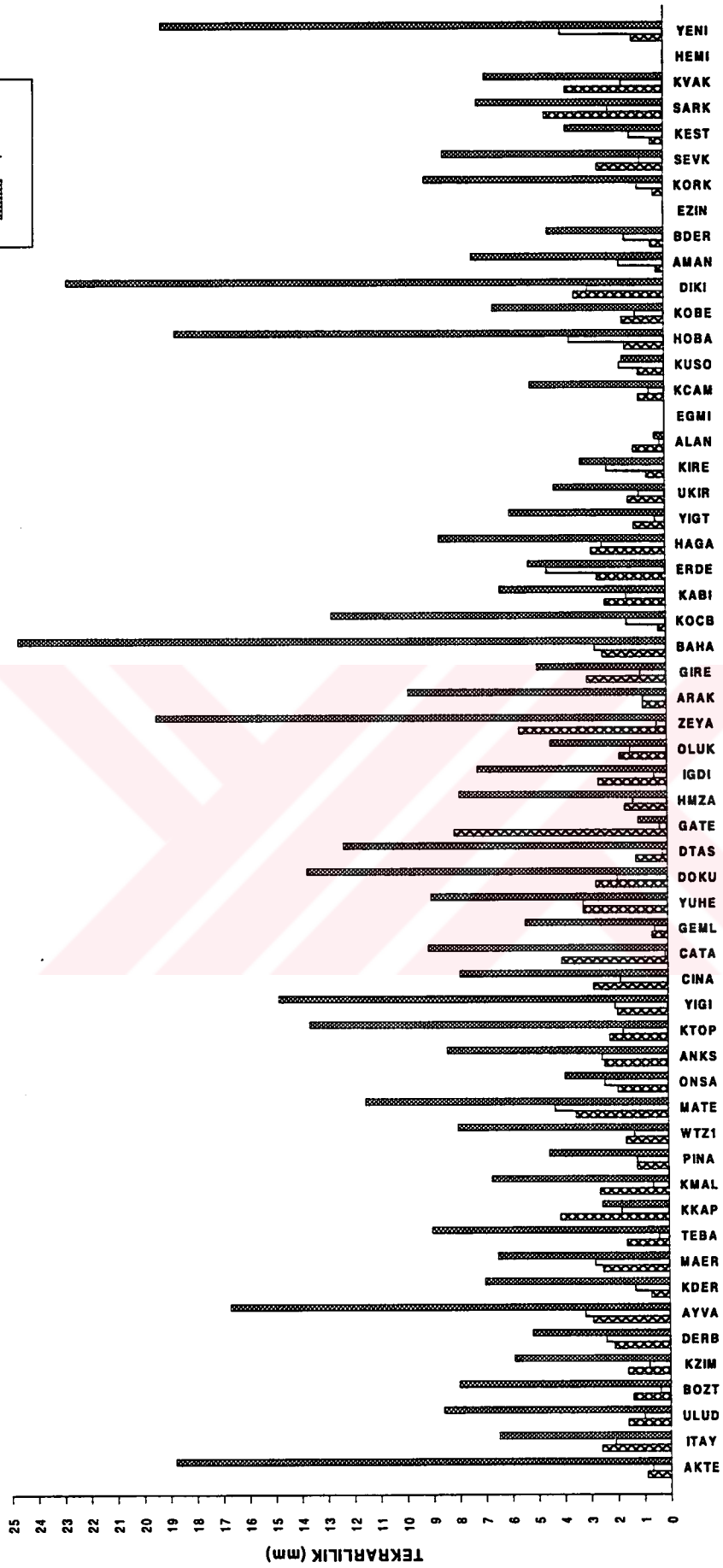
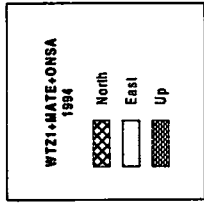
NOKTA NO	NOKTA ADI	North (mm)	East (mm)	Up (mm)
10402M004	ONSA	10.1	8.4	9.0
12734M008	MATE	9.0	8.4	9.0



Şekil - 3.8 : 1994 YILI GÜNLÜK TEKRARLILIKLAR



Sekil - 3.9a : 1994 YILI GÜNLÜK TEKRARLILIKLAR



Şekil - 3.9b : 1994 YILI GÜNLÜK TEKRARLILIKLAR

3.2.4.1996 GPS ölçü kampanyası

26 Eylül - 06 Ekim 1994 (W0871, W0872) tarihleri arasında (6 gün) her gün 10 saatlik oturumlar halinde toplam 11 noktada GPS ölçüsü yapılmıştır. Kampanyada ETHZ tarafından sağlanan 11 adet Leica System 200 alıcısı kullanılmıştır. Proje alanında 1996 yılında ölçü yapılan noktalar Şekil-3.10'da ve ölçü planı Tablo-A.5'de verilmektedir. Bu noktalara ek olarak IGS noktalarından 7 tanesine ait günlük ölçüler Bölüm-2'de açıklandığı gibi elde edilmiş ve değerlendirilmede kullanılmıştır.

Değerlendirmede tekli fark ölçüsü oluşturulan bazlar Şekil-3.11'de verilmektedir. Şekilde gösterim açısından yalnızca proje alanı içerisinde kalan bazlar verilmiştir. IGS noktaları ile oluşturulan bazlar aşağıda verilmektedir.

ANKR - ONSA, ANKR - WTZ1, ANKR - ITAY, ANKR - WTZR, ANKR - MATE, ANKR - ZIMM

GPS ölçüleri Bölüm-3'de açıklandığı gibi değerlendirilmiş olup her gün (ddd) için gevşek koşullu (20m) serbest çözümler (LC_ddd) elde edilmiştir. Her günlük çözüm için içerisinde sadece koordinat bilinmeyenleri ve troposfer parametreleri bulunan normal denklem sistemleri (LC_ddd.NEQ) elde edilmiş olup birleştirmede kullanılmak üzere saklanmıştır. Oluşturulan LC_ddd.NEQ normal denklem sistemleri troposfer bilinmeyenleri elimine edilerek birleştirilmiş ve kampanyaya ilişkin normal denklem sistemi (LC_M96.NEQ) elde edilmiştir. Kampanyaya ilişkin normal denklemler elde edilirken hiçbir nokta üzerine sıkı koşul konulmamıştır.

Günlük serbest çözümler değerlendirmenin iç duyarlılığını ve dış doğruluğunu incelemek amacıyla aşağıdaki stratejilerle birleştirilmiştir.

WE_M96 , WMO_M96

Hesaplanan günlük tekrarlılıklar Şekil-3.12 ve Şekil-3.13'de verilmektedir.

Marmara 1996 kampanyasında noktaların ITRF94 (1996.75) koordinatları IGS noktalarının bilinen koordinatlarından (Tablo-3.6) yararlanarak hesaplanmış olup Tablo-A.6'da verilmektedir. Burada WMO_M96 stratejisi ile hesaplanan koordinatlar sonuç olarak alınmıştır.

IGS noktalarından birinin ölçü epokundaki ITRF94 koordinatları üzerine sıkı koşul konarak (datum tanımı) diğer IGS noktalarının bilinen ölçü epokundaki ITRF94 koordinatları hesaplanmıştır. Bilinen koordinatlarla (Tablo-3.6) hesaplanan koordinatlar arasındaki farklar Tablo-3.13'de verilmektedir. Ayrıca bazvektör uzunlukları da karşılaştırılmış olup Tablo-3.14'de verilmektedir.

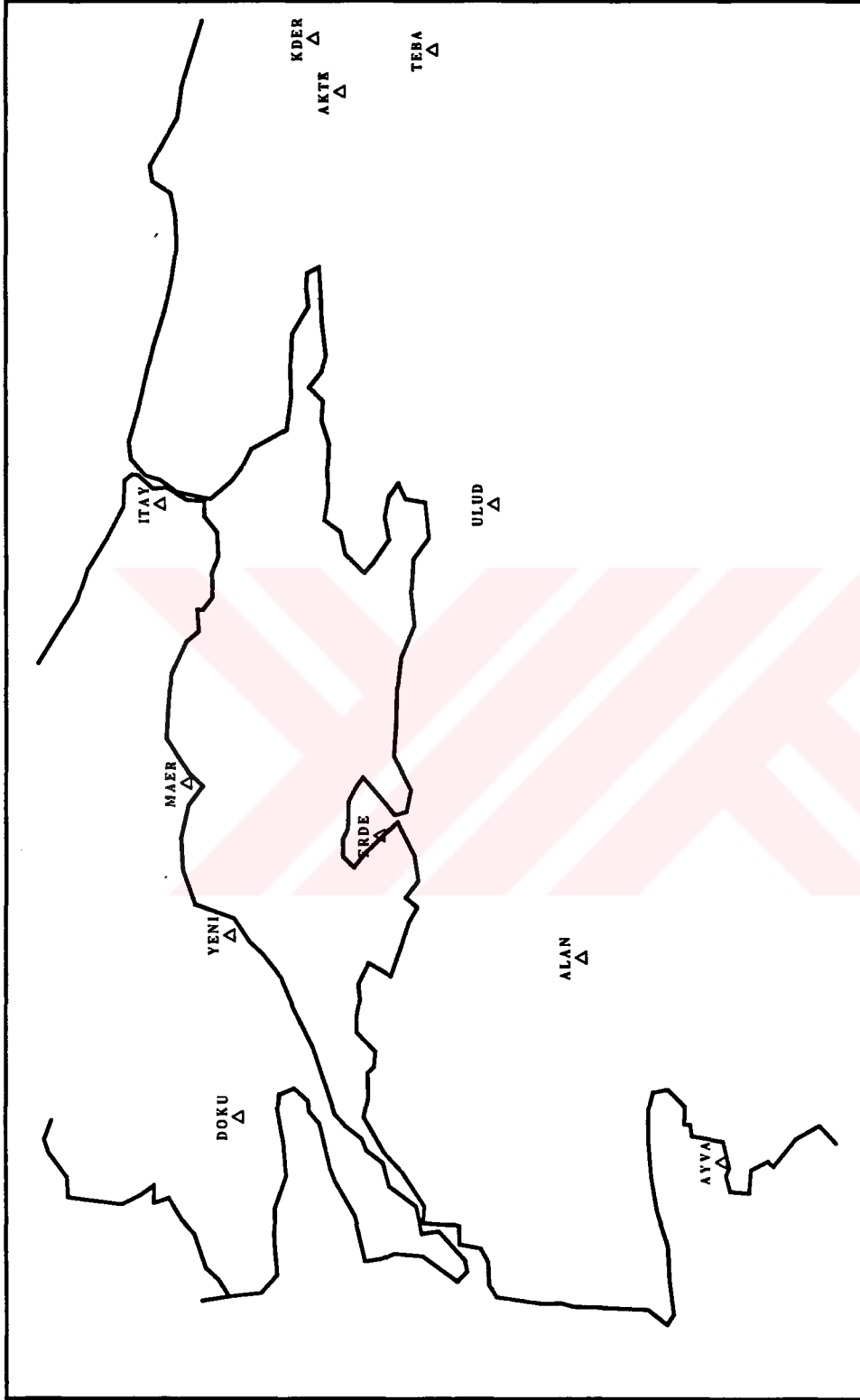
Tablo-3.13: Bilinen koordinatlarla hesaplanan koordinatlar arasındaki farklar

NOKTA NO	NOKTA ADI	North (mm)	East (mm)	Up (mm)
10402M004	ONSA	10.6	19.2	6.2
12734M008	MATE	6.8	22.8	5.0
12334M001	KIT3	15.0	25.8	52.6
14001M004	ZIMM	25.8	9.2	14.2
14201M010	WTZR	12.0	18.2	1.4

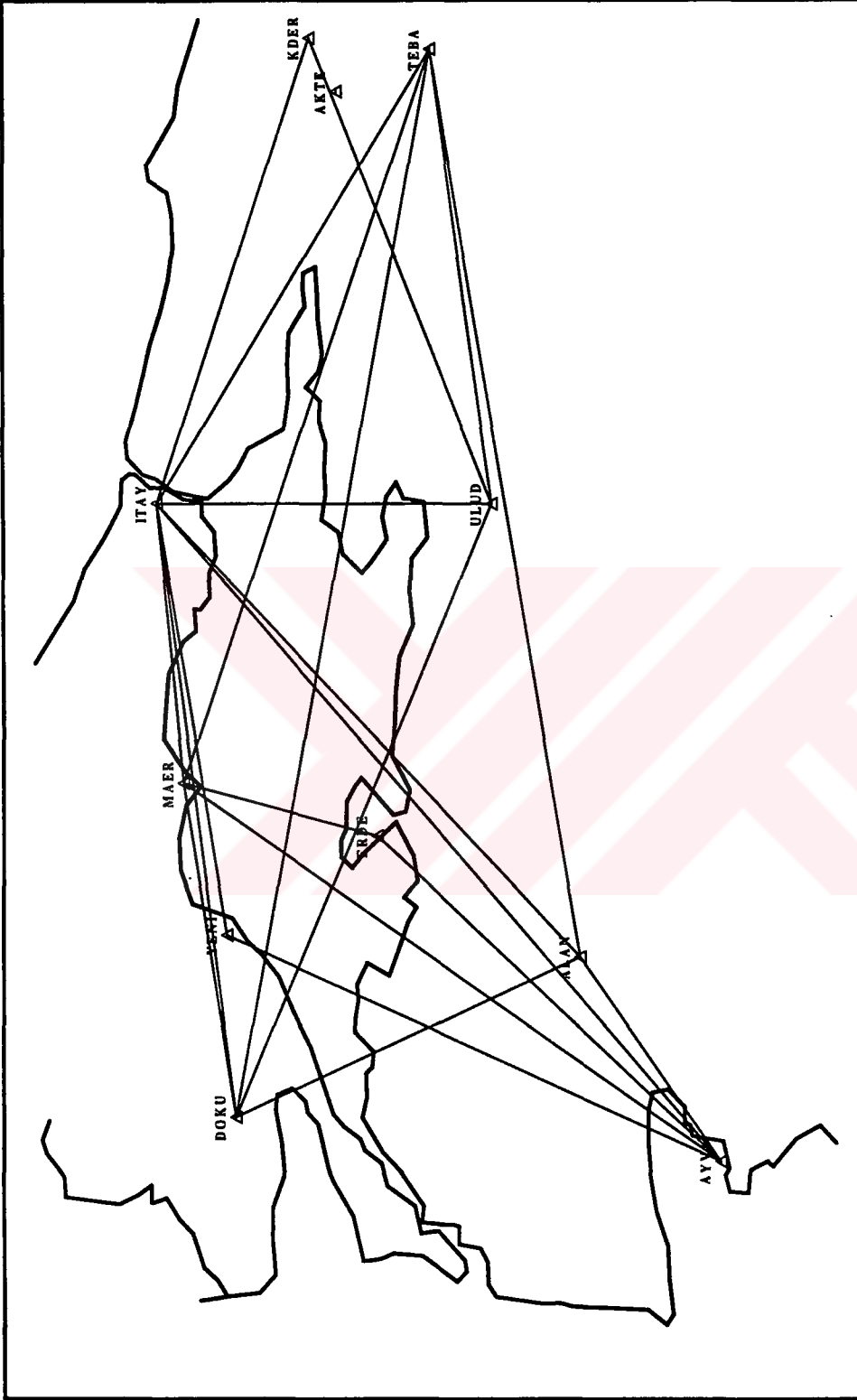
Tablo-3.14: Bazvektör uzunluklarının karşılaştırılması

NOK 1	NOK 2	Fark (mm)	Oran (ppb)
ONSA	MATE	1.84	1.4
ONSA	ZIMM	12.1	9.9
ONSA	WTZ1	11.6	12.7
ONSA	WTZR	2.1	2.8
ONSA	KIT3	8.8	1.4
MATE	ZIMM	17.5	17.0
MATE	WTZ1	4.0	4.2
MATE	WTZR	4.0	4.2
MATE	KIT3	11.2	2.8
ZIMM	WTZ1	* 24.0	* 50.9
ZIMM	WTZR	0.0	0.0
ZIMM	KIT3	13.9	2.8
WTZ1	KIT3	29.7	7.1
WTZR	KIT3	10.3	2.8
RMS		13.6	7.2

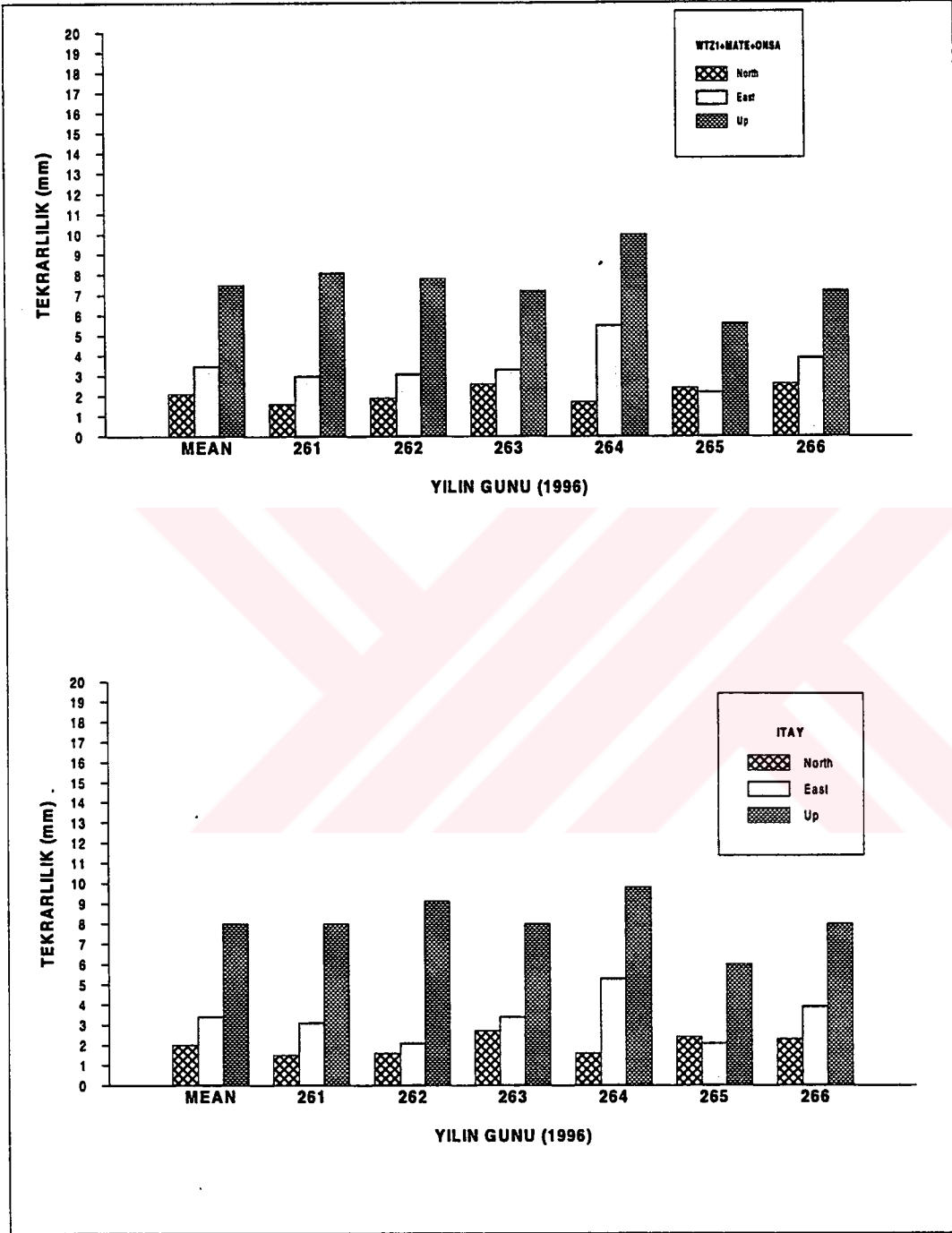
* : RMS hesabında kullanılmamıştır.



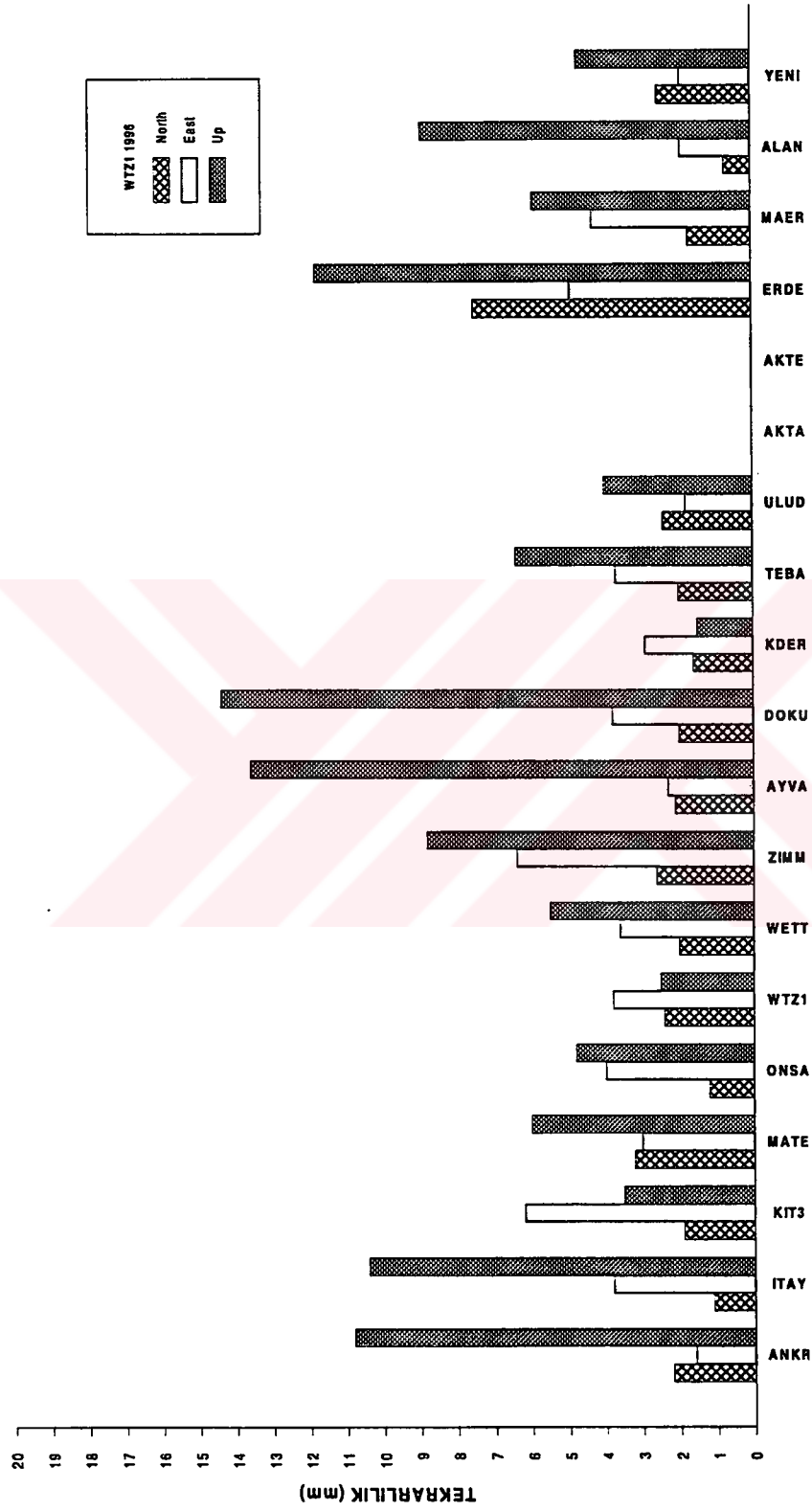
Şekil - 3.10 : MARMARA 1996 KAMPANYASI NOKTALARI



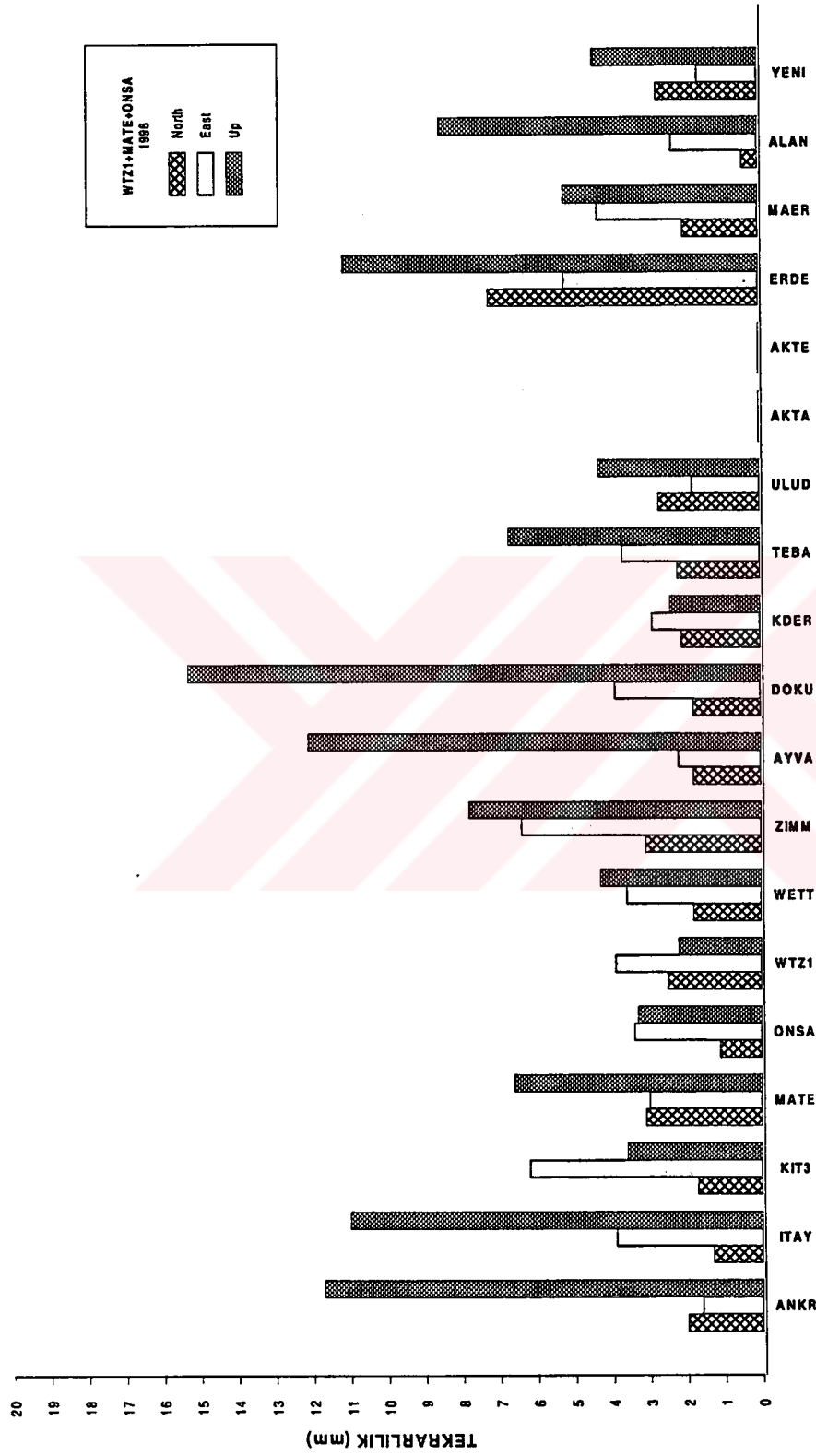
Şekil- 3.11 : MARMARA 1996 KAMPANYASI
DEĞERLENDİRMESİNDE SEÇİLEN BAZLAR (GÜN 261-266)



Şekil - 3.12 : 1996 YILI GÜNLÜK TEKRARLILIKLAR



Şekil - 3.13a : 1996 YILI GÜNLÜK TEKRARLILIKLAR



Şekil - 3.13b : 1996 YILI GÜNLÜK TEKRARLILIKLAR

3.3. Kampanyaların birleştirilmesi ve yer kabuğu hareketleri yönünden irdelenmesi

3.3.1 Ardışık dengeleme yöntemiyle birleştirme ve irdeleme

1992, 1994 ve 1996 yıllarında ölçü yapılan noktalar bindirmeli olarak Şekil-3.14’de verilmektedir. Ayrıca yapılan incelemeler sonunda Tablo-3.15’de verilen noktalar merkez dışı olduklarından başka isimler verilerek birleştirmeye ayrı bir nokta gibi sokulmuştur, tabloda verilen tarihler ararsında bu noktalar için karşılarında görülen isimler verilmiştir. Noktaların yıllara göre ölçü durumları Tablo-A.7’de verilmektedir.

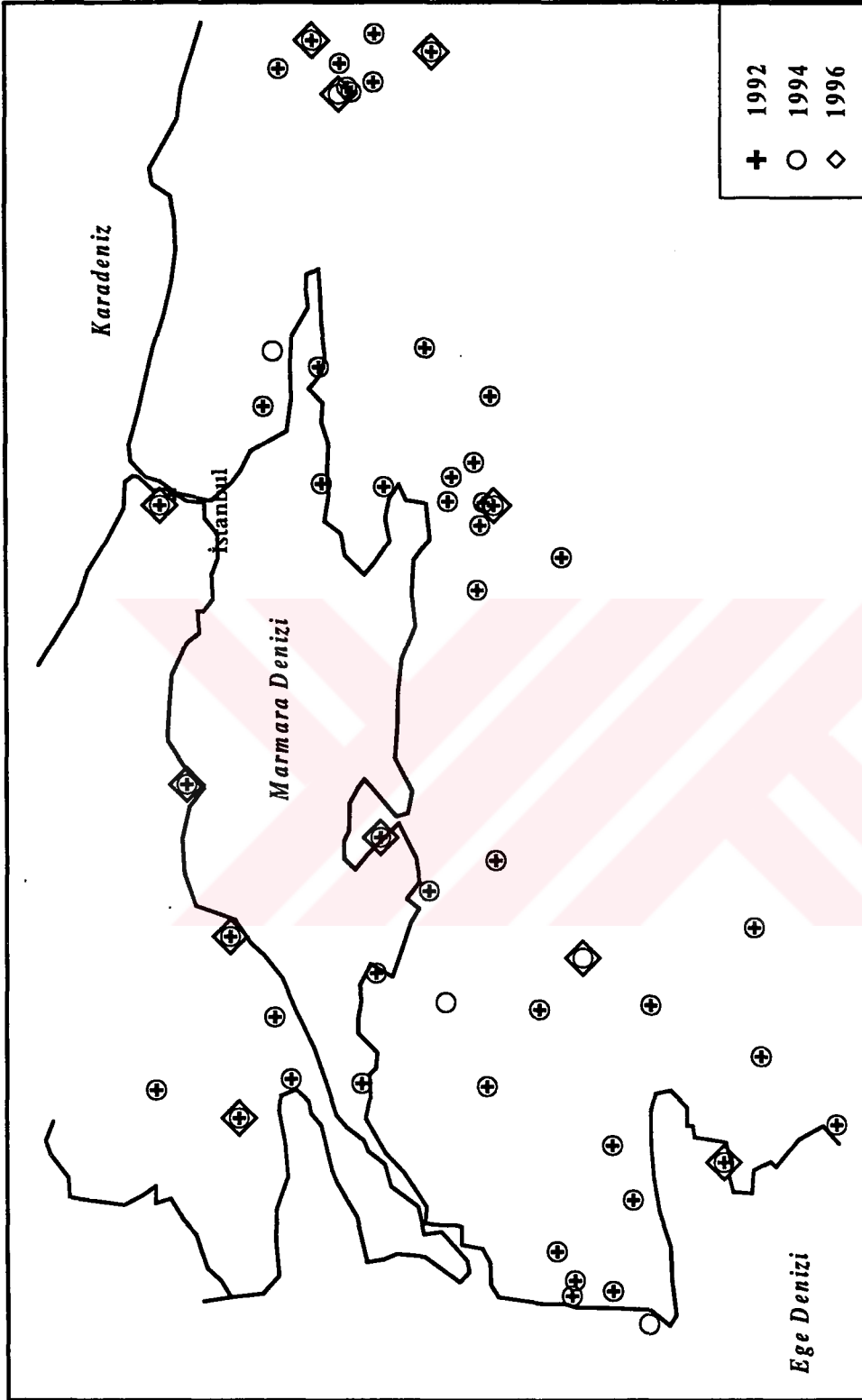
Tablo-3.15 : Merkez dışı olduğundan ismi değiştirilen noktalar

DEĞİŞEN	İSTASYON	YENİ	İSTASYON	TARİHİNDEN	TARİHİNE
NO	İSİM	NO	İSİM		
101	YENİ	913	YEMM YENİ NEW	1992 01 00	1994 11 30
413	GATE	909	GATT GATE NEW	1994 01 00	1994 12 30
102	SARK	911	SARR SARK NEW	1994 01 00	1994 12 30
107	MAER	917	MAEE MAER NEW	1994 01 00	1994 12 30
411	IGDI	910	IGDD IGDI NEW	1994 01 00	1994 12 30
103	HEMI	914	HEMM HEMI NEW	1994 01 00	1994 12 30

Yıllık kampanyaların değerlendirilmeleri sonucunda yukarıda açıklandığı gibi içerisinde yalnızca koordinat bilinmeyenleri bulunan normal denklem sistemleri (LC_Myy.NEQ , yy:yılın son iki rakamı) elde edilmiştir. Bu normal denklemler ADDNEQ ile birleştirilirken aşağıdaki özellikler gerçekleştirilebilir.

Üç kampanyanın birleştirilmesi sonucunda tek ve homojen bir koordinat sistemi elde edilebilir. Bunun için datum tanımının yapılması gerekir. ADDNEQ ile değişik datum tanımları yapmak olanaklıdır.

Yıllık normal denklemler serbest veya gevşek koşullu olarak hesaplandıklarından ağın datumu uydu koordinatları ile belirlenmektedir. Uydu koordinatları bilinen bir koordinat sisteminde olmalarına rağmen doğruluklarının 10-20 cm düzeyinde olmaları nedeniyle bilinen koordinat sisteminden farklılıklar gösterirler. Üç kampanya birleştirilirken datum tanımı aşağıdaki gibi yapılabilir.



Şekil-3.14 : Marmara Kampanyaları GPS Noktaları (yıllara göre dağılım)

En az bir noktanın üç koordinatı sabit veya sıkı koşullu alınabilir. Her iki çözüm de aynı sonuçları verir ancak sabit alınması durumunda normal denklemler saklanamaz, koşullu alınması durumunda normal denklemler saklanabilir ve datum dönüşümü ile ağın datumu değiştirilebilir. Tek nokta sabit veya sıkı koşullu alınması durumunda ağın iç geometrisi değişmez. Ağın kayıklığı bir nokta koordinatları ile, dönüklük ve ölçeği ise yıllık normal denklemlerde GPS ölçüleri ile belirlenmiş olur. Birden fazla noktanın kullanılması durumunda yıllık normal denklemlerin ölçek ve dönüklükleri GPS ölçüleriyle belirlendiğinden sabit verilen koordinatlara bir uyum sorunu olacak ve ağın iç geometrisi zorlanacaktır.

Ağın iç geometrisini zorlamadan, bir veya birden fazla nokta koordinatları ile datum tanımlanmak istenirse veya ağın nokta koordinatları ile belirli bir koordinat sistemine (örn. ITRF94) oturtulmak istenirse datum tanımı aşağıdaki şekilde oluşur.

Datum belirleyen noktaların ağırlık merkezinin değişmemesi (no net translation) veya ağın datum belirleyen noktalara göre dönmemesi (no net rotation) koşulları dengelemeye sokulabilir. Bu durumda datum belirleyen nokta koordinatlarına da düzeltmeler gelir. Ancak bu düzeltmelerin kareleri toplamı minimum olur (kısmi iz minimum çözümü) (Aksoy, 1994; Ayan, 1994; Bock, 1982; Demirel, 1987a, 1987b, 1987c; Koch, 1987).

Bu çalışmada datum tanımı aşağıdaki gibi yapılmıştır. Bir IGS noktası datumu tanımlayacak şekilde (no net translation), ve tüm IGS noktaları datumu tanımlayacak şekilde (no net translation ve no net rotation) koşullar tanımlanmıştır.

Kampanyaların birleştirilmesinde kampanyalar arasında oldukça fazla bir zaman farkı bulunduğundan nokta koordinatları için zamana bağlı doğrusal bir hız belirlenir. Hızların belirlenmesinde de yukarıda açıklananlara benzer biçimde bir datum tanımının yapılması gerekmektedir.

Hızların belirlenmesinde datum tanımı olarak Avrasya (EURASIA) plakasında bir veya birkaç noktanın bilinen hızları sabit veya sıkı koşullu alınabilir. Veya hızları sıfır alınarak bu plakaya göre diğer noktaların hızları belirlenebilir. Bir kez tüm noktaların hızları serbest veya koşullu olarak belirlendiğinde (sabit hız yok), herhangi bir nokta veya noktalara göre hızlar dönüşüm yoluyla yeniden hesaplanabilir.

ADDNEQ ile kampanyalara ait normal denklemlerin birleştirilmesi ile belirli bir koordinat sisteminde ve epokta nokta koordinatları ve noktaların doğrusal hızları hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada hesaplananlar Tablo-3.16'da verilmektedir.

Tablo-3.16: Kampanyaların birleştirilme stratejileri

Strateji	Koordinatlar	Hızlar	Düşünceler
MC3_FX <i>Şekil-3.15</i>	3 IGS noktası sıkı koşullu	ITRF94 hızları sabit	Avrasya plakası sabit
MN3_NT <i>Şekil-3.16</i>	3 IGS noktası NNT	ITRF94 hızları NNT	Avrasya plakasındaki noktaların ağırlık merkezi değişmez
MN3_FR <i>Şekil-3.17</i>	3 IGS noktası NNT	Hız alanı serbest	Avrasya plakasındaki noktaların ağırlık merkezi değişmez
MN1_FX <i>Şekil-3.18</i>	1 IGS noktası NNT	ITRF94 hızı sabit	Avrasya plakasındaki bir nokta sabit
MRM_ITAY <i>Şekil-3.19</i>	ITAY noktası sıkı koşullu	Hızı sabit ve sıfır.	Marmara bölgesinde relatif olarak oynamayan bir nokta
MCn : n adet nokta sıkı koşullu MNn : n adet nokta için serbest ağ koşulları (No-Net-Translation NNT) FX : ITRF94 hız alanı sabit , _NT : ITRF94 hız alanı için serbest ağ koşulları (NNT) FR : Hız alanı serbest (tanımlanmadı)			

Marmara bölgesinde 1992, 1994 ve 1996 yıllarında olmak üzere gerçekleştirilen GPS kampanyaları bu çalışmada değerlendirilmiş ve birleştirilmiştir. Kampanyaların tek tek değerlendirilmesi sonucunda her kampanyaya ilişkin sonuçlar hesaplanmış ve incelenmiştir.

Bir günde hesaplanan tüm nokta koordinatları ile günlük tekrarlılıklar incelendiğinde; 1992 kampanyasında günlere göre elde edilen ortalama tekrarlılıklar Kuzey ve Doğu bileşeninde 5 mm, Yükseklikte 13 mm, aynı değerler 1994 kampanyasında sırasıyla 2mm ve 9 mm ve 1996 kampanyasında 2 mm ve 7 mm'dir.

Tek tek nokta koordinatlarının günlük tekrarlılıkları incelendiğinde günlük tekrarlılıkların en az ve en çok değerleri 1992 yılında Kuzey ve Doğu bileşeni 2-15 mm, yükseklik bileşeni için 5-30 mm, 1994 yılında aynı değerler sırasıyla 1-7 mm ve 1-20 mm ve 1996 yılında 1-6 mm ve 2-12 mm olarak elde edilmiştir. Bu değerlerden görüldüğü gibi 1994 yılından itibaren IGS duyarlı yörüngeleri ve diğer IGS ürünlerinin yayınlanmasıyla sonuç koordinatların duyarlılığında görülür bir iyileşme sağlanmaktadır. Bu gelişme özellikle yükseklik bileşeninde daha da fazladır.

Yıllık kampanya sonuçları bilinen bir koordinat sisteminde tek anlamlı bir koordinat ve hız kümesi elde edilebilmesi amacıyla birleştirilmiştir. Birleştirme stratejileri Tablo-3.16'da verilmektedir. Sonuç koordinat ve hız modeli olarak 3 IGS noktasının ITRF93 (1993.0) koordinatlarının sıkı koşullu ve aynı noktaların ITRF94 hızlarının

sabit alındığı çözüm (MC3_FX) alınmıştır. Bu strateji ile hesaplanan nokta koordinatları Tablo-A.8'de ve nokta hızları Tablo-A.9'da verilmektedir.

ONSA noktasının ITRF94 koordinatları ve ITRF94 hızı sabit alınarak Tablo-3.16'da belirtildiği gibi (MN1_FX) birleştirme yapılmış ve noktaların ITRF94 (1994.685) koordinatları ve hızları hesaplanmıştır. Bu hesap sonucunda yalnızca IGS noktalarına ilişkin değerler Tablo-3.17'de verilmektedir. Noktaların ITRF94 (1993.0) epokunda koordinatları Tablo-3.17'den yararlı hesaplanmış ve Tablo-3.18'de verilmektedir. Tablo-3.18'de verilen hesaplanan koordinatlarla Tablo-3.2'de verilen bilinen koordinatlar karşılaştırılarak birleştirmenin doğruluğu hakkında bir sonuç elde edilecektir. Bu amaçla bilinen ve hesaplanan değerlerden yararlı nokta koordinatları, bazvektör uzunlukları ve nokta hızları karşılaştırılmıştır.

Tablo-3.17: MN1_FX birleştirme sonucunda hesaplanan koordinatlar ve hızları ITRF94 (1994.685)

NOKTA	X (m) Vx (m/y)	Y (m) Vy (m/y)	Z (m) Vz (m/y)
WTZ1	4075578.6219 -0.0111	931852.6541 0.0245	4801570.0099 0.0214
MATE	4641949.7660 -0.0123	1393045.2454 0.0210	4133287.2946 0.0265
ONSA	3370658.7066 -0.0150	711877.0008 0.0151	5349786.8431 0.0061

Tablo-3.18 : MN1_FX birleştirme sonucunda hesaplanan koordinatlar ITRF94 (1993.0)

NOKTA	X (m) Vx (m/y)	Y (m) Vy (m/y)	Z (m) Vz (m/y)
WTZ1	4075578.6406	931852.6128	4801569.9738
MATE	4641949.7867	1393045.2100	4133287.2499
ONSA	3370658.7319	711876.9754	5349786.8328

Tablo-3.19 : Hesaplanan ve yayınlanmış ITRF94 (1993.0) epokunda koordinatların farkı (hesap-bilinen)

NOKTA	Fark N (mm)	Fark E (mm)	Fark U (mm)
WTZ1	-5.4	-2.0	-32.6
MATE	-15.2	8.0	-25.4
ONSA	0.0	0.4	-0.2
ORT.	-6.9	2.1	-19.4
RMS	9.3	4.8	23.9

Tablo-3.20 : Hesaplanan ve yayınlanmış ITRF94 (1993.0) epokunda bazvektör uzunluklarının farkı

NOK 1	NOK 2	Fark (mm)	Oran (ppb)
ONSA	MATE	12.2	6.0
ONSA	WTZ1	2.6	2.0
MATE	WTZ1	8.0	8.0
ORT.		7.6	5.3
RMS		8.6	5.9

Tablo-3.21 : Hesaplanan ve yayınlanmış ITRF94 hızlarının farkı (XYZ)

NOKTA	V _x (mm/yıl)	V _y (mm/yıl)	V _z (mm/yıl)	V _{xyz} (mm/yıl)	
ONSA	-15.0	15.1	6.1	22.1	Hesap
	-15.0	15.1	6.1	22.1	Bilinen
	0.0	0.0	0.0	0.0	FARK
MATE	-12.3	21.0	26.5	35.9	Hesap
	-19.1	20.2	12.1	30.3	Bilinen
	6.8	0.8	14.4	5.6	FARK
WTZ1	-11.1	24.9	21.4	34.6	Hesap
	-16.8	17.3	5.7	24.8	Bilinen
	5.7	7.6	15.7	9.8	FARK
Fark ORT	6.3	4.2	15.0	7.7	
Fark RMS	6.3	5.4	15.1	8.0	

Tablo-3.22 : Hesaplanan ve yayınlanmış ITRF94 hızlarının farkı (NEU)

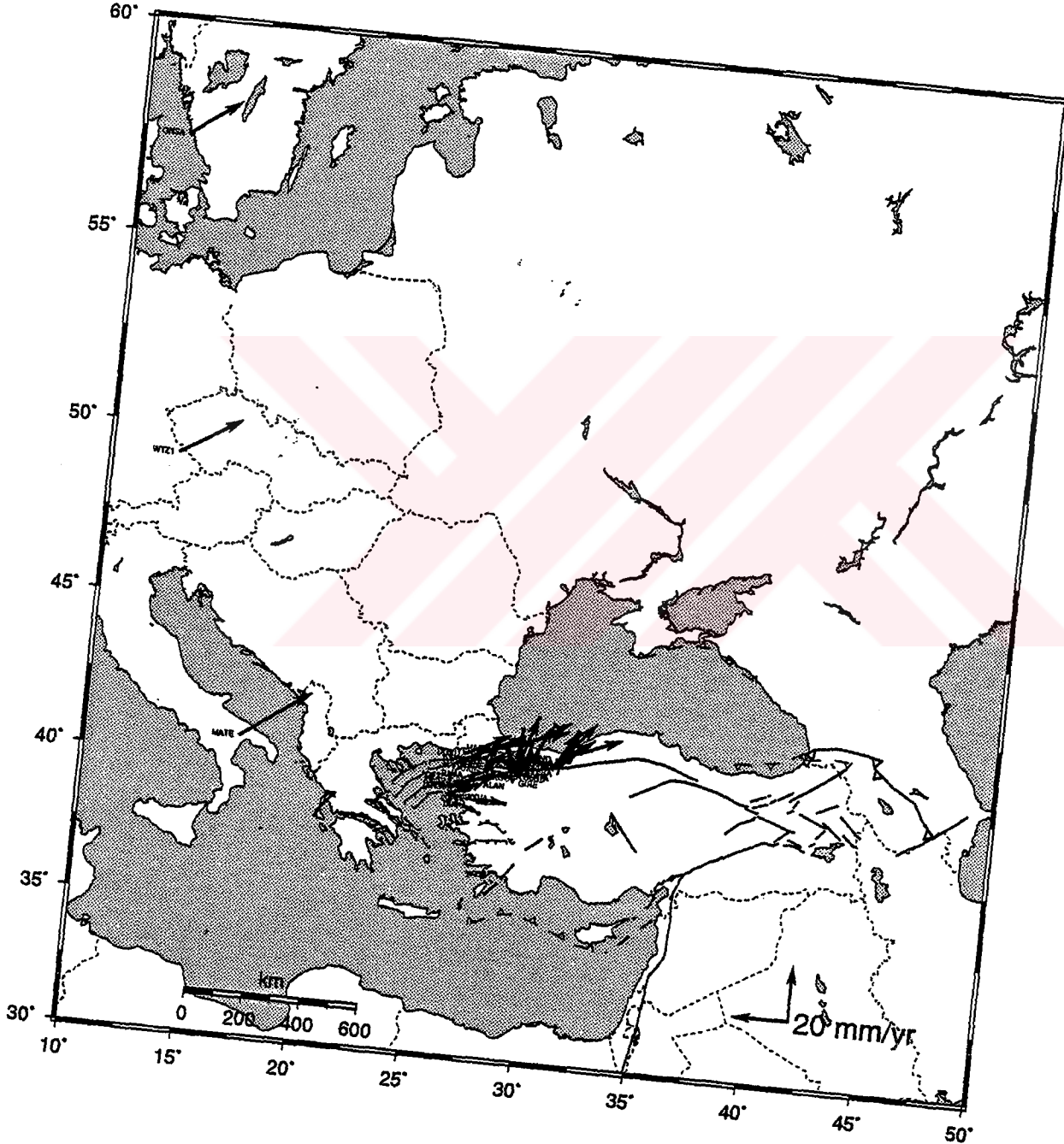
NOKTA	V _N (mm/yıl)	V _E (mm/yıl)	V _U (mm/yıl)	
ONSA	13.0	17.7	-1.1	Hesap
	13.0	17.7	-1.1	Bilinen
	0.0	0.0	0.0	FARK
MATE	23.6	23.8	12.9	Hesap
	17.3	24.6	-1.6	Bilinen
	6.3	-0.8	14.5	FARK
WTZ1	18.0	26.7	12.7	Hesap
	13.4	21.4	-4.0	Bilinen
	4.6	5.3	16.7	FARK
Fark ORT	3.6	1.5	10.4	
Fark RMS	4.5	3.1	12.8	

Tablo-3.19'dan Kuzey (N) ve Doğu (E) koordinat bileşenleri için bilinen ve hesaplanan koordinat farklarının RMS'I sırasıyla 9.3 ve 4.8 mm, aynı değer Yükseklik (U) bileşeni için 23.9 mm olarak hesaplanmıştır. Koordinatlar seçilen jeodezik datuma bağlı olduklarından ve hesaplanan koordinatların datumu bir tek nokta ile belirlendiğinden ağ bu noktaya göre dönüklük içermekte ve yalnızca GPS ölçülerinden belirlenen ölçek ile ITRF94 koordinat sisteminin ölçeği arasında bir fark oluşmaktadır. Bu nedenle hesaplanan değerlerin datumdan bağımsız bir parametre ile kontrol edilebilmesi için bazvektör uzunlukları Tablo-3.20'de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmadan bilinen ve hesaplanan baz vektör uzunlukları arasındaki fark

ortalama olarak 7.6 mm olarak bulunmuştur. Buradan ITRF94 ile GPS arasındaki ölçek yaklaşık olarak 5.3×10^{-9} (5.3 ppb) olarak elde edilebilir. Tablo-3.21 ve Tablo-3.31'de hesaplanan ve bilinen hızlar karşılaştırılmış olup hızların farkı, farkların ortalaması ve RMS değerleri verilmektedir. Tablo-3.21 ve Tablo-3.31'den X,Y eksenlerindeki hız bileşenlerine ait farkların RMS değerinin sırasıyla 5.3 ve 5.4 mm, N,E eksenlerindeki hız bileşenleri için aynı değerin 3.6 ve 1.5 mm olarak hesaplanması, bunlara karşılık Z ve U hız bileşenlerine ait RMS değerinin sırasıyla 15.0 ve 12.8 mm olarak hesaplanmasından yatay hızların düşey hızlara göre daha iyi belirlendiği sonucu çıkarılabilir.

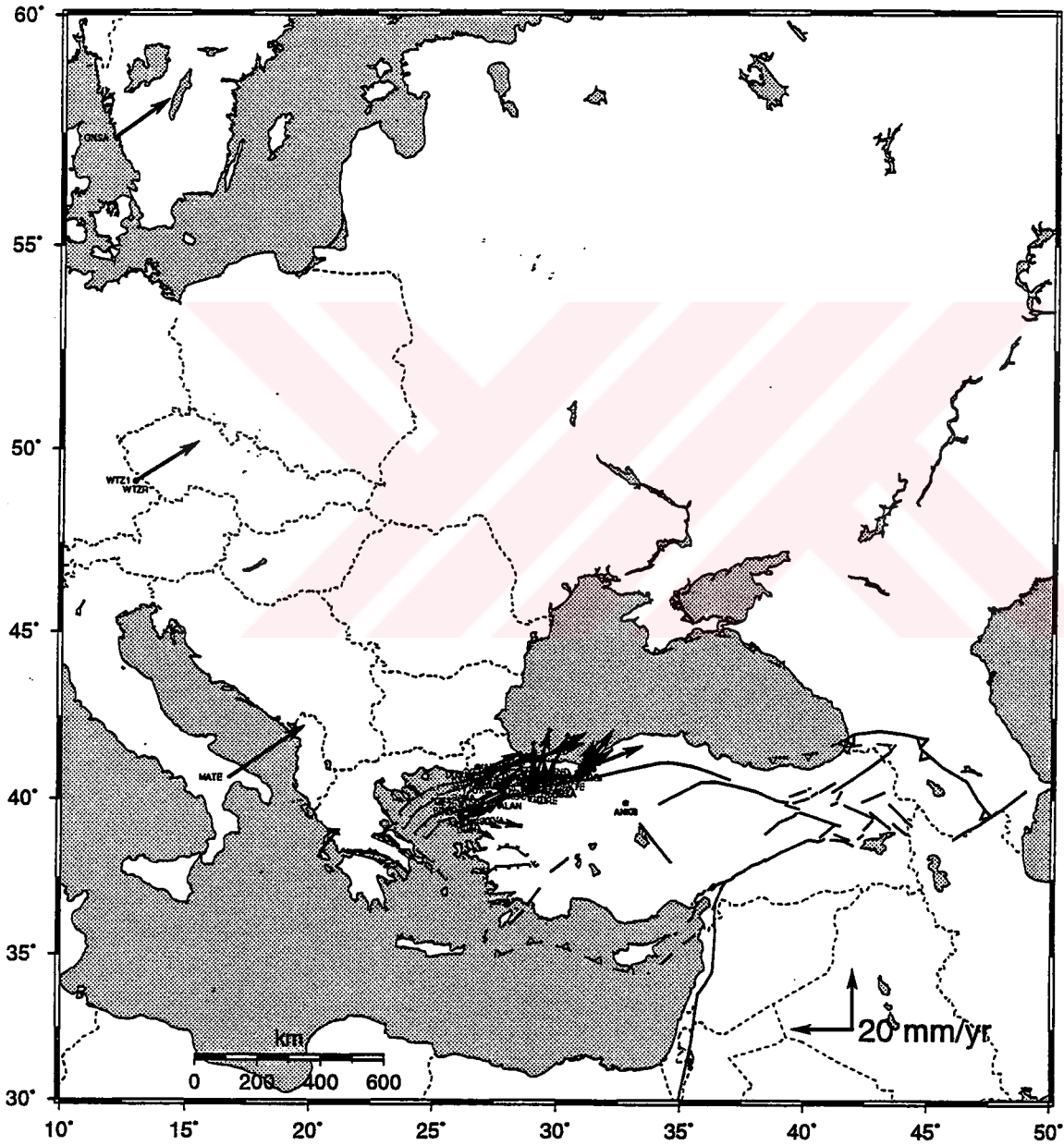
Ayrıca yıllık kampanyaların ITRF94 koordinat sisteminde ve ölçü kampanyası epokunda çözümleri sonunda elde edilen koordinatların yıllık değişimleri ile yerdeğiştirme vektörleri hesaplanabilir. Şekil-3.20'de bu şekilde hesaplanan yıllık yerdeğiştirmeler verilmektedir. Bu şekilde yalnızca her üç kampanyada da ölçülmüş olan noktalar verilmektedir. Yalnızca iki kampanyada ölçülmüş olan noktaların hızları basit olarak yerdeğiştirme vektörünün zaman aralığına bölümü ile hesaplanabilmektedir. Ancak iki epoktan fazla gözlenen noktalar için hız vektörü doğrusal değişim modeli ile hesaplanmaktadır. Şekil-3.20'de yalnızca gerçek yerdeğiştirme vektörleri yıllık olarak verilmektedir. Noktaların 1992, 1994 ve 1996 yıllarındaki konumları ayrı ayrı gösterilmektedir.

Üç IGS noktasının (Onsa, Mate ve Wtz1) ITRF94 (1993.0) koordinatları ve bu koordinat sisteminde verilen hızları sabit tutularak (sıkı koşullu) bir çözüm yapılmış ve Şekil-3.15(a-b)'de verilmektedir. Bu şekilde gösterilen yatay nokta hızları ITRF94 ile tanımlanan mutlak plaka hareketlerini göstermektedir. Marmara bölgesindeki noktaların Avrasya plakasına göre ITRF94 hız alanı içerisindeki yatay hızları verilmektedir.

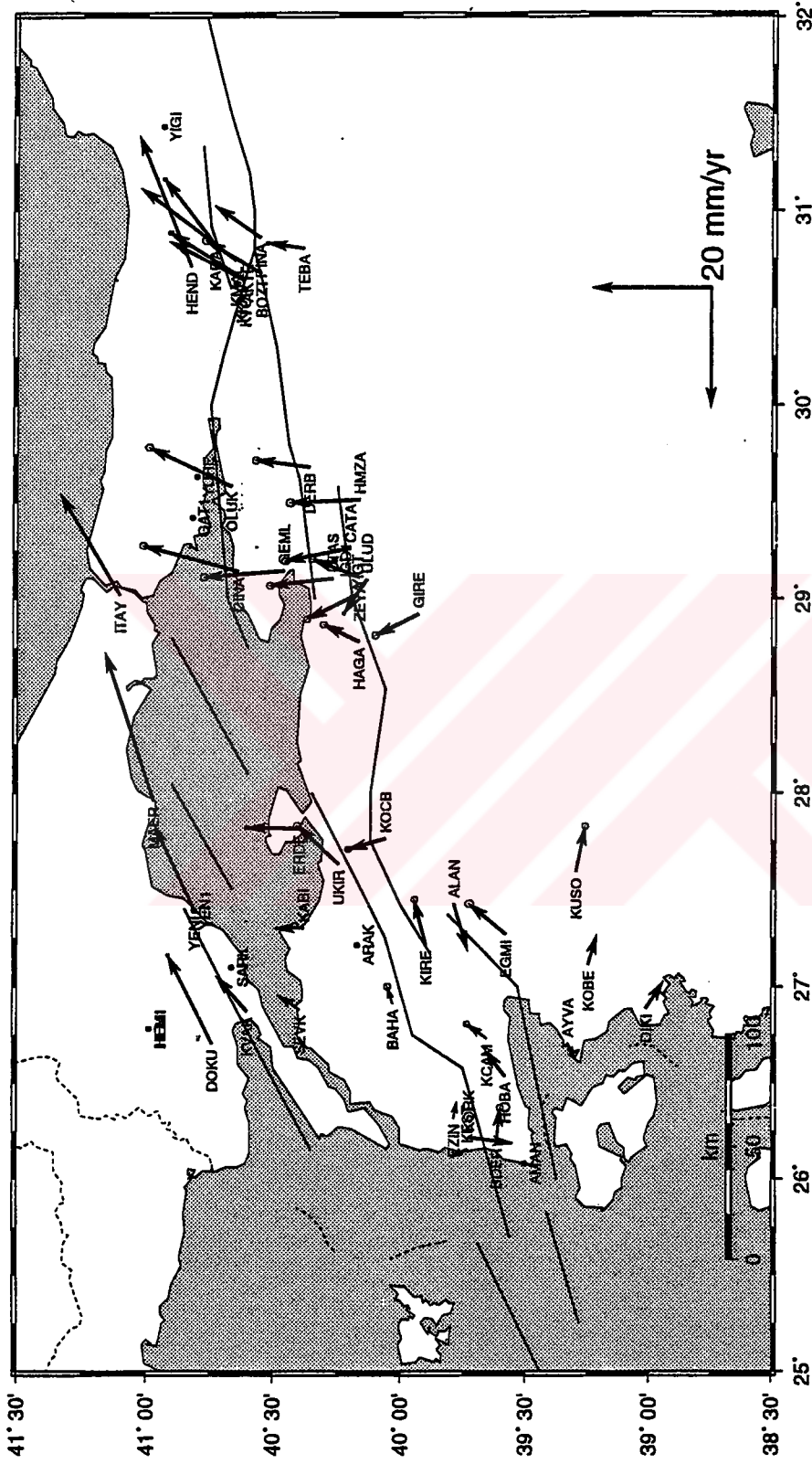


Şekil - 3.15.a :
ONSA, MATE ve WTZ1 nokta koordinatları ve hızları sıkı koşullu (ITRF94) olarak belirlenen hız alanı

Üç IGS noktasının (Onsa, Mate ve Wtz1) ITRF94 (1993.0) koordinatları ve bu koordinat sisteminde verilen hızları üzerine NNT ve NNR koşulları konularak bir çözüm yapılmış ve Şekil-3.16(a-b)'da verilmektedir. Bu çözümde datumu belirleyen üç IGS noktasının oluşturduğu koordinat sisteminde ve hız modelinde nokta koordinatları ve hızları belirlenmiş olup kampanya çözümleri zorlanmadan bu datuma uydurulmuştur.. Bu şekilde gösterilen yatay nokta hızları ITRF94 ile tanımlanan mutlak plaka hareketlerini göstermektedir.



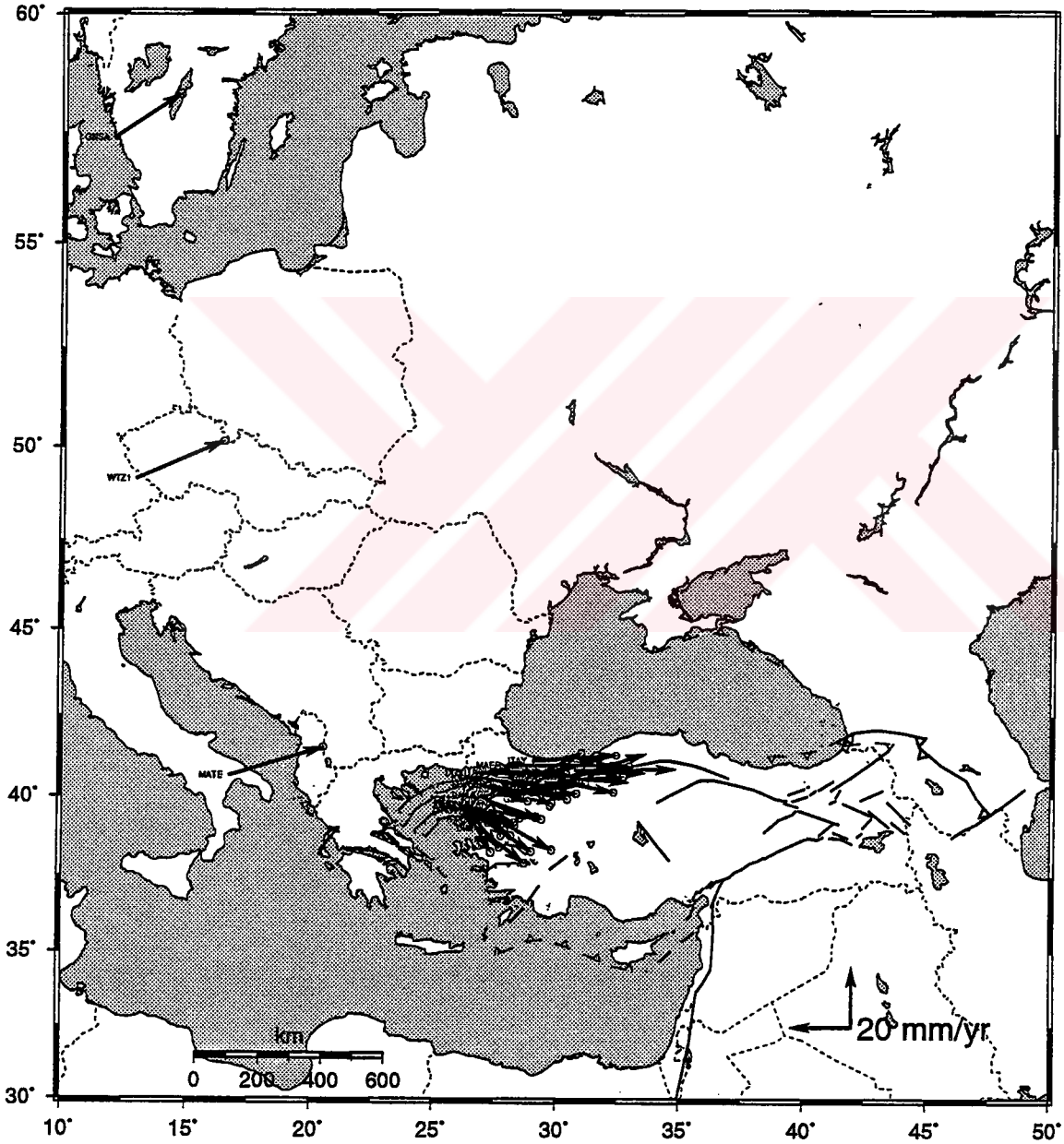
Şekil - 3.16.a :
ONSA, MATE ve Wtz1 nokta koordinatları ve hızları için (ITRF94) NNT+NNR
koşulu ile belirlenen hız alanı



Şekil -3.16.b :

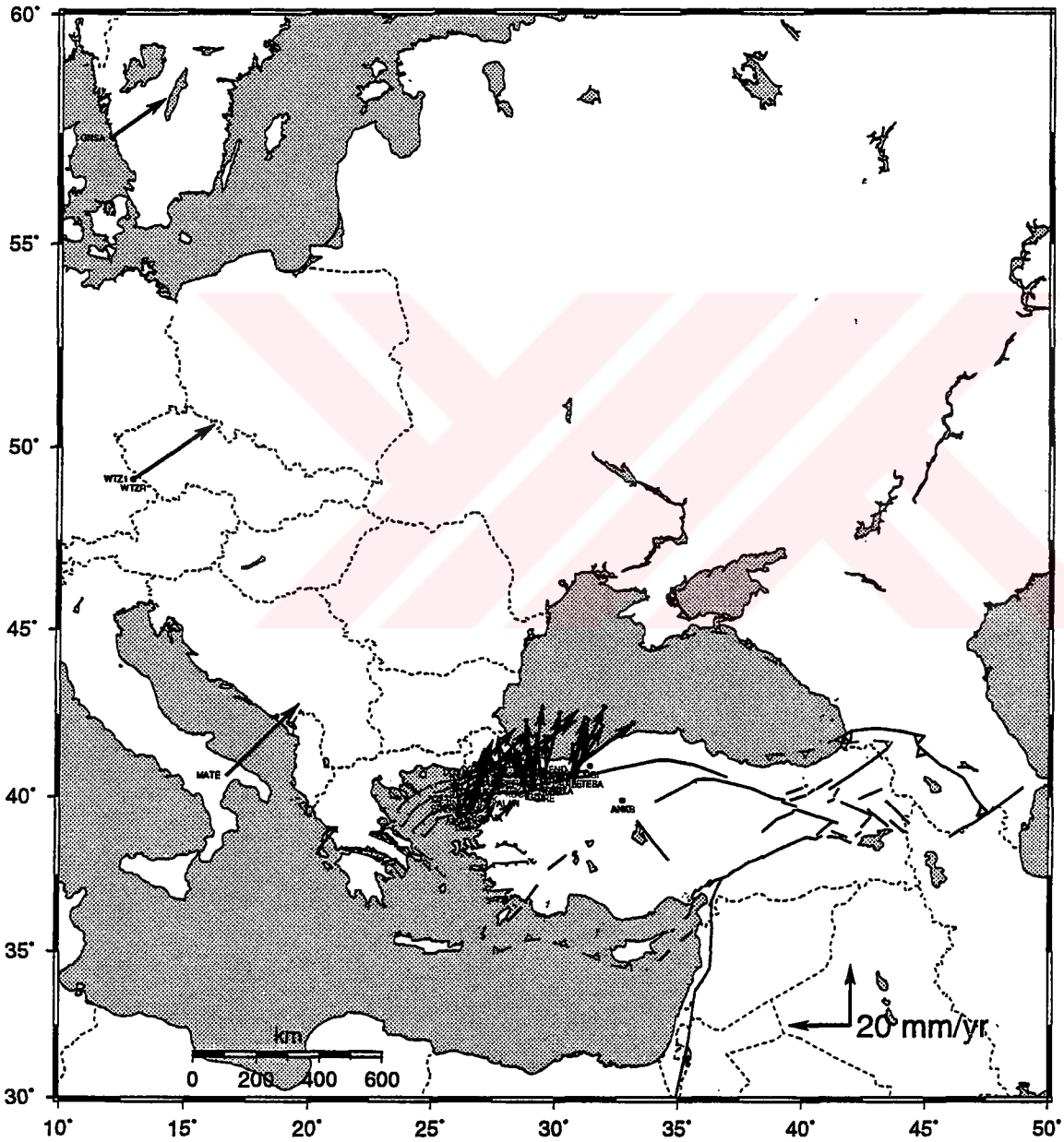
ONSA, MATE ve WTZ1 nokta koordinatları ve hızları için (ITRF94) NNT+NNR koşulu ile belirlenen hız alanı

Üç IGS noktasının (Onsa, Mate ve Wtz1) ITRF94 (1993.0) koordinatları sabit ve bu noktaların hızları bilinmeyen olarak alınan bir çözüm yapılmış ve Şekil-3.17(a-b)'de verilmektedir. Bu çözümde datumu belirleyen üç IGS noktasının oluşturduğu koordinat sisteminde koordinatlar hesaplanmış olup noktaların hızları da serbest olarak belirlenmiştir. Bu şekilde hesaplanan nokta hızları ITRF94 hız alanının yalnızca GPS ölçüleri kullanılarak ve üç epok çözüm ile deneysel bir gerçekleştirilmesidir.



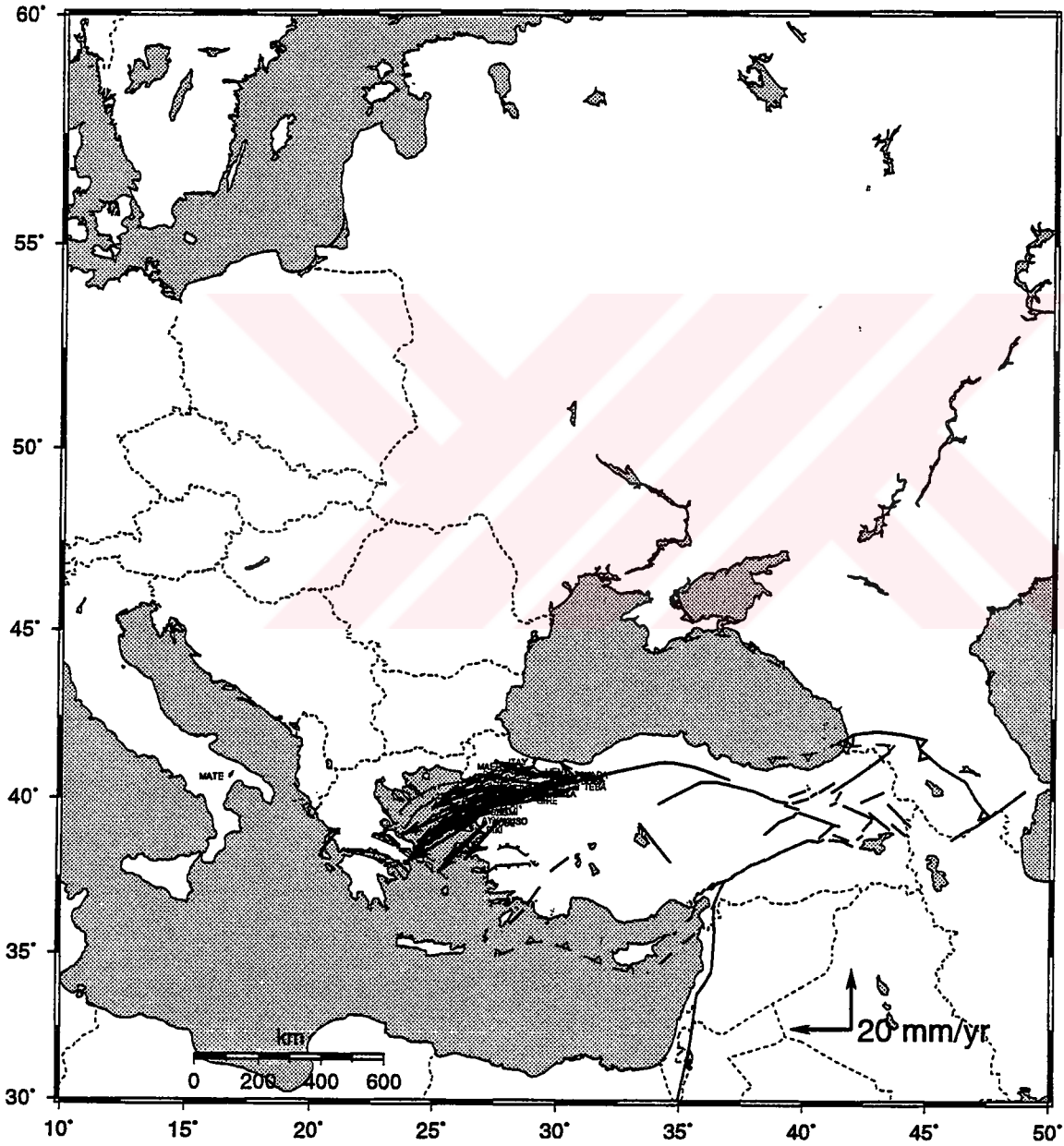
Şekil - 3.17.a :
ONSA, MATE ve WTZ1 nokta koordinatları (ITRF94) sabit ve hızların serbest olarak belirlendiği hız alanı

Sonuçların kontrolu amacıyla bir IGS noktasının (Onsa) ITRF94 (1993.0) koordinatları ve hızı sabit olarak alınan bir çözüm yapılmış ve Şekil-3.18(a-b)'de verilmektedir. Bu çözümde datumu belirleyen bir IGS noktasının oluşturduğu koordinat sisteminde koordinatlar ve hızlar hesaplanmış olup, datum tek nokta ile belirlendiğinden dönüklükler kontrol edilememektedir. Bu da sonuç koordinat sisteminin Onsa noktası etrafında dönüklüğüne neden olmaktadır.



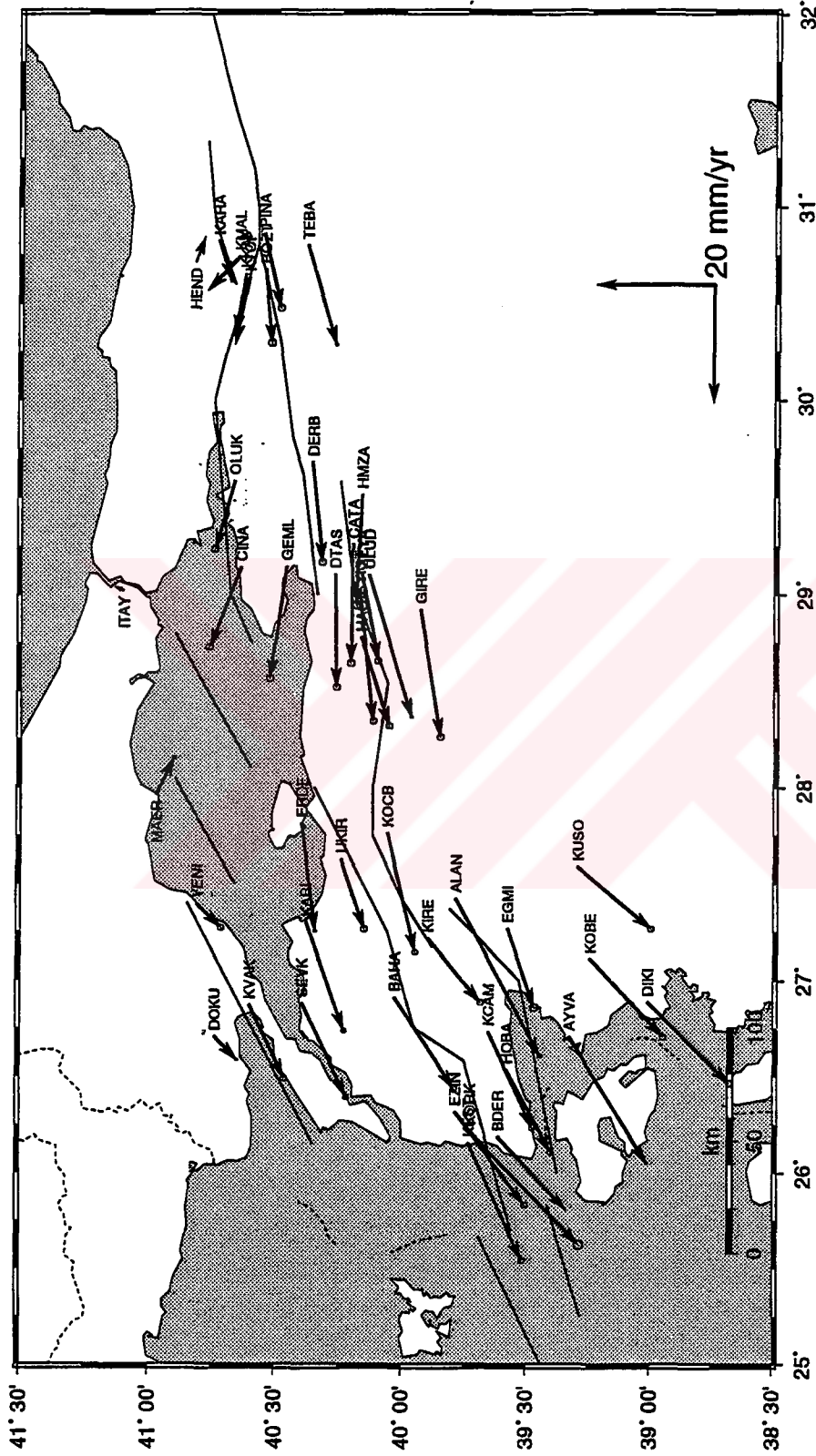
Şekil - 3.18.a :
ONSA IGS nokta koordinatları (ITRF94) için NNT koşulu ile ve ITRF94 hızı sabit olarak belirlenen hız alanı

Üç IGS noktasının (Onsa, Mate ve Wtz1) ITRF94 (1993.0) koordinatları sabit ve buna ek olarak bu üç noktayla birlikte Marmara bölgesindeki bir noktanın (Itay) hızı sabit (sıfır) tutularak (sıkı koşullu) bir çözüm yapılmış ve Şekil-3.19(a-b)'de verilmektedir. Bu şekilde gösterilen yatay nokta hızları Marmara bölgesindeki noktaların Avrasya plakası ile birlikte hareket ettiği varsayılan Itay noktasına göre hesaplanan yatay hareketlerini göstermektedir.



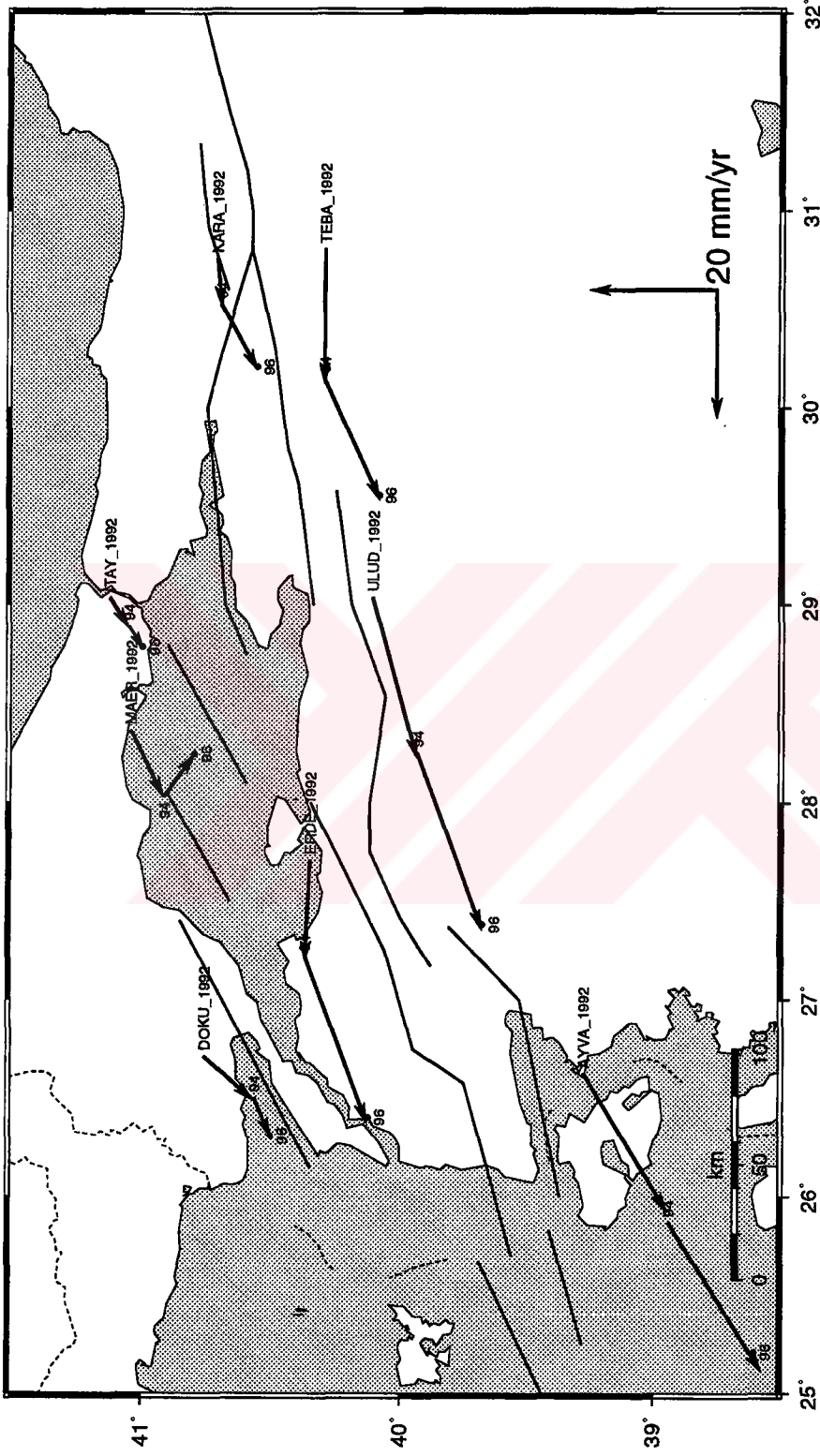
Şekil - 3.19.a :

ONSA, MATE ve WTZ1 nokta koordinatları (ITRF94) sabit ve ITAY noktası hızı sabit (sıfır) olarak belirlenen hız alanı



Şekil - 3.19.b :

ONSA, MATE ve WTZ1 nokta koordinatları (ITRF94) sabit ve ITAY noktası hızı sabit (sıfır) olarak belirlenen hız alanı



Şekil-3.20 : Her üç GPS kampanyasında da ölçülen noktaların yıllık yerdeğiştirmeleri

3.3.2 GPS bazvektörleri ile üç boyutta ağ sıklaştırması yöntemiyle birleştirme ve irdeleme

Global Positioning System Üç-Boyutta yüksek duyarlıklı baz vektörleri sağlamaktadır. Bu bazvektörleri herhangi bir oturumdaki GPS ölçülerinin değerlendirilmesi ile ve belirli bir koordinat sisteminde elde edilir. GPS bazvektörleri ile üç boyutta ağ sıklaştırmasında bazvektörlerinin sıklaştırılacak ağ koordinat sistemine dönüşümü probleminin de çözülmesi gerekmektedir. Bir GPS bazvektörü koordinat eksenlerinin ölçek ve dönüklükleri hakkında bilgi taşımasına rağmen kayıklıklar hakkında bilgi içermez.

GPS bazvektör bileşenleri ile istenen bir koordinat sistemindeki (örneğin yerel datum) koordinatların birleştirilmesi için uygulanabilecek bir yöntem üç boyutta benzerlik dönüşümünden (Helmert dönüşümü) türetilmiştir. GPS ile elde edilen bazvektörü (XYZ) koordinat sisteminde ve yerel datumda bu vektör (UVW) ile gösterilsin, bu iki vektör arasında;

$$\Delta \underline{U} = (1 + k)(\underline{I} + \underline{\Omega})\Delta \underline{X} \quad (3.3)$$

ilişkisi vardır (Vincenty, 1982, 1987; Steeves, 1984; Ayhan ve Kılıçoğlu, 1996; Kılıçoğlu, 1995). Burada ;

$$\Delta X_{ij} = X_j - X_i = \begin{bmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{ij} \quad (3.4)$$

ile gösterilir. Bazvektörü koordinat sisteminin başlangıç noktasının kayıklığı hakkında bilgi taşımadığından bazvektörleri ile yalnızca dönüklükler (ϵ , ψ , ω) ve ölçek (k) belirlenebilir. (3.3) eşitliğinde $\underline{I}$ (3x3) birim matris ve $\underline{\Omega}$ dönüklük matrisi

$$\underline{\Omega} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega & \psi \\ \omega & 0 & -\epsilon \\ \psi & \epsilon & 0 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

ile tanımlıdır. Burada ϵ , ψ , ω sırasıyla X, Y, Z eksenlerindeki dönüklükleri göstermektedir. (3.3) eşitliği Taylor serilerine açılarak doğrusallaştırıldığında bir ΔX bazvektör ölçüsü için düzeltme denklemi;

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{ij} + \begin{bmatrix} v_{\Delta X} \\ v_{\Delta Y} \\ v_{\Delta Z} \end{bmatrix}_{ij} = - \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix}_j + \begin{bmatrix} 0 & \Delta Z & -\Delta Y \\ -\Delta Z & 0 & \Delta X \\ \Delta Y & -\Delta X & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon \\ \psi \\ \omega \end{bmatrix} + k \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

bulunur. Her bazvektörü için yazılan düzeltme denklemleri topluca matris gösterimi ile

$$e + y = X\beta \quad (3.7)$$

yazılabilir. (3.3) ve (3.5) eşitliklerinden görüleceği gibi ölçülen GPS bazvektörleri ile sıklaştırılacak ağ koordinatları aynı koordinat sisteminde ise dönüşüm parametrelerinin ($\varepsilon, \psi, \omega, k$) hesabına gereksinim bulunmamaktadır. Ancak iki koordinat sistemi farklı ise bu dönüşüm parametreleri hesaplanmalıdır.

Böyle bir ağ dengelemesi (sıklaştırması) Marmara GPS kampanyalarının herbirinde uygulanmış ve her kampanyada elde edilen günlük bazvektörleri topluca dengelenerek her kampanyada oluşturulan ağ analiz edilmiştir. Her kampanya için yapılan işlemler aşağıda sıralanmaktadır:

- Öncelikler her günlük çözümden elde edilen bağımsız bazvektörleri ve bunlara ilişkin varyans-kovaryans matrisi GPS değerlendirme sonuçlarından elde edilmiştir. Bu çözümler her yıla ait uydu yörüngesinin hesaplandığı koordinat sisteminde ve ölçü epokundadır.
- Günlük çözümlerden elde edilen tüm bağımsız bazvektörleri ile topluca ağ dengelemesi uygulanmıştır. Bu ağ dengelemesi aşağıdaki şekillerde uygulanmıştır.
 - a) Her yıla ilişkin koordinat sisteminde ve ölçü epokunda bir nokta koordinatı (İtay) sabit alınarak (dönüşüm parametresine gerek yok) serbest çözüm gerçekleştirilmiştir.
 - b) (a) seçeneğinde olduğu gibi ve üç IGS noktasının (Onsa, Mate, Wtz1) koordinatları sabit alınarak dayalı dengeleme gerçekleştirilmiştir.
 - c) Üç IGS noktasının ITRF94 (1993.0) koordinatları sabit alınmış ve dönüşüm parametreleri de belirlenerek dayalı nokta sıklaştırması yapılmıştır.

- Yukarıda belirtilen denemelerden sonra yukarıda (b) seçeneğinde gerçekleştirilen çözümlerden elde edilen nokta koordinatları, GPS kampanya çözümlerinden elde edilen koordinatlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma ile aynı sonuçların elde edilip edilmediği araştırılmaktadır. Karşılaştırma sonuçları 1992, 1994 ve 1996 yılı ağırları için sırasıyla Tablo-A.10, Tablo-A.11 ve Tablo-A.12'de verilmektedir. Bernese ile hesaplanan koordinatlarla ağ dengelemesi ile elde edilenler arasındaki farkların RMS değeri enlem, boylam ve yükseklik için olmak üzere sırasıyla 1992 yılında 5.4 mm, 8.5 mm ve 11.5 mm, 1994 yılı için 1.7mm, 2.7 mm ve 11.3 mm ve 1996 yılı için 1.9 mm, 3.3 mm ve 10.3 mm olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan iki koordinat seti arasında enlem ve boylamdaki farkın yükseklikteki farka oranla ve büyüklük olarak küçük değerler olduğu değerlendirilmektedir. Bernese ile elde edilen koordinatlar bilinen olarak kabul edildiğinde bu değerler aynı zamanda ağ dengelemesinin dış kontrolünü sağlamaktadır. Bu uygulamada bazvektörleri ile sıklaştırılacak ağ aynı datumda olduğundan dönüşüm parametreleri hesaplanmamıştır. Dönüşüm parametrelerinin istatistik olarak sıfır olup olmadıkları test edilerek belirlenmiştir.
- (c) seçeneğinden sonra 1992, 1994 ve 1996 yılları için yapılan çözümler Tablo-A.8'de verilen birleştirilmiş GPS çözümü (ITRF94 (1994.685)) ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalara ilişkin sonuçlar 1992, 1994 ve 1996 yılları için sırasıyla Tablo-A.13, Tablo-A.14 ve Tablo-A.15'de verilmektedir. Burada sıklaştırılacak ağ (ITRF94 (1994.685)) datumu ile GPS bazvektörlerinin datumu aynı olmadığından dönüşüm parametreleri de hesaplanmış olup Tablo-3.23'de verilmektedir.

Tablo-3.23 : Birleştirilmiş koordinatlarla her yıla ilişkin koordinatlar arasında hesaplanan dönüşüm parametreleri

	ε (saniye)	ψ (saniye)	ω (saniye)	k (ppm)
1992	0.0069 ± 0.00149 Anlamlı	0.0097 ± 0.00136 Anlamlı	-0.0119 ± 0.00159 Anlamlı	0.0131 ± 0.00271 Anlamlı
1994	0.0005 ± 0.00061 Anlamsız	0.0021 ± 0.00049 Anlamlı	-0.0004 ± 0.00064 Anlamsız	-0.0013 ± 0.00128 Anlamsız
1996	-0.0156 ± 0.00074 Anlamlı	-0.0049 ± 0.00051 Anlamlı	0.0156 ± 0.00069 Anlamlı	-0.0096 ± 0.00182 Anlamlı

Tablo-3.23'den görüldüğü gibi 1992 ve 1996 yılları için dönüşüm parametreleri küçük olmasına rağmen anlamlı olarak bulunmuş, buna rağmen 1994 yılı için dönüşüm parametreleri çok küçük ve istatistik olarak anlamsız bulunmuştur. bu nedenle 1994 yılı için hesaplanan dönüşüm parametreleri sıfır kabul edilmektedir.

- Bir nokta sabit çözümlerden elde edilen yıllık sonuçlardan bağımsız hız hesabı yapılmıştır. İtay noktasının birleştirilmiş çözümden elde edilen koordinatları sabit alınarak her yıla ilişkin ağ dengelenmiş ve böylece her üç ağı da aynı datumda koordinatları belirlenmiştir. Bu çözümlerden bağımsız hız hesabı yapılmış olup Tablo-A.15'de verilmektedir. Bağımsız olarak hesaplanan hızların birbirleriyle birkaç mm/yıl düzeyinde uyumlu oldukları belirlenmiştir. Bu hızların birleştirilmiş çözümden hesaplanan hızlarla olan karşılaştırılması sonucunda kuzey ve doğu bileşenleri için yaklaşık olarak 2-3 mm/yıl ve yükseklik bileşeni için 6-10 mm/yıl düzeyinde uyumlu oldukları belirlenmiştir. İtay noktasının sabit alındığı yıllık çözümler ile birleştirilmiş çözümün karşılaştırılmasından farkların RMS değeri sırasıyla enlem, boylam ve elipsoid yüksekliği için 1992 yılında 20, 28 ve 44 mm, 1994 yılında 2, 3, ve 10 mm ve 1996 yılında 12, 33 ve 43 mm olarak belirlenmiştir. Bu uygulamada dönüklükler ve ölçek kontrol edilemediğinden (tek nokta sabit) sadece yıllık ağı birleştirilmiş ağı datumundan olan kayıklıkları kontrol edilebilmiştir. 1994 yılı için elde edilen datum birleştirilmiş ağı datumuna en yakın olduğundan dönüklüklerin etkisi az olmuş ve farklar küçük çıkmıştır. 1992 ve 1996 yılları için dönüklüklerin etkisi büyük olmuş ve bu değerler büyük çıkmıştır.

Bu bölümde gerçekleştirilen GPS bazvektörleri ile üç boyutta ağ sıklaştırması benzer şekilde Bernese/Addneq yazılımı ile de gerçekleştirilmiştir. Üç IGS noktasının ITRF94 (1994.68) koordinatları (bilinen) sabit tutularak, beher ağ dönüşüm parametreleri de hesaba katılarak Addneq ile yeniden dengelenmiş ve noktaların ITRF94 (1994.685) koordinatları hesaplanmıştır. Hesaplanan nokta koordinatları ile bilinenler arasındaki farkların ortalaması ve RMS değeri hesaplanmış olup Tablo-3.24'de verilmektedir.

Tablo-3.24 : Bernese/Addneq ve bazvektörleri ile nokta sıklaştırması sonunda bilinen ve hesaplanan koordinatları arasındaki farklar

YIL		dφ (mm)	dλ (mm)	dh (mm)	dφ (mm)	dλ (mm)	dh (mm)
1992	RMS	16.1	32.8	61.5	19.0	30.0	61.0
1994	RMS	2.4	1.7	2.7	5.0	4.0	8.0
1996	RMS	14.8	40.1	82.3	10.0	53.0	58.0

Üç boyutlu benzerlik dönüşümü ile birbirlerine yakın iki koordinat sistemi arasındaki fonksiyonel ilişki araştırılmaktadır. Bilindiği gibi iki koordinat sistemi arasındaki koordinat farkları yerkabuğu üzerinde bir hareket olarak kabul edilir ve bu hareketler

yerin merkezine bağılı olarak tanımlanan kayıklıklar, dönüklükler ve ölçek parametreleri ile tanımlanabilir. Bu modelden elde edilen dönüşüm parametrelerinin duyarlı bir şekilde hesaplanabilmesi ve nokta koordinatlarına (ölçülere) gelen düzeltmelerin küçük olabilmesi için koordinat sistemini oluşturan ağ noktalarının bir bütün halinde hareket etmiş olmaları gerekmektedir.

Bu model ile tüm noktaların; dönüşüm parametrelerinin hesaplanırken dayandığı noktalar grubuna göre aynı şekilde ve datum noktalarının da katı blok harekeri gösterdikleri varsayılmaktadır. Ancak dönüşüm parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan noktalardan ayrı hareket eden nokta veya noktalar grubu var ise bu noktalar aynı parametrelerle dönüştürüldüğünde bilinen ve hesaplanan koordinatlar arasındaki farklar büyük çıkacak, veya başka bir deyişle kendi hareketine uyacaktır. Bu sıklaştırma çalışmasında Avrasya plakasında bulunan üç IGS noktasına göre datum belirlenmiş ve dönüşüm parametreleri de bu nokta koordinatlarına göre hesaplanmıştır. Avrasya plakasında bulunmayan (Kuzey Anadolu Fayının güneyi) noktalar üç IGS noktasına göre değişik hareket ettiklerinden bu noktalar için hesaplanan ve bilinen koordinatlar arasındaki farklar hareketin büyüklüğüne ve yönüne bağılı olarak belirlenmiştir.

Tablo-A.13'den görüldüğü gibi 1992 yılı için enlem ve boylam için farkların ortalaması sırasıyla -8 mm ve -27 mm olarak, 1996 yılı için bu değerler +6 mm ve +44 mm olarak hesaplanmıştır. Marmara ağ noktalarının Avrasya ile genel hareketi KuzeyDoğu (NE) yönünde pozitifdir. Yukarıdaki değerler bu genel harekete uymaktadır, bununla birlikte ölçülere gelen düzeltmeler de bu farkların içerisinde. Bu nedenle farkların sadece nokta hareketlerinden kaynaklandığını söylemek doğru olmayacaktır. 1994 yılı için ölçü epoku ile birleştirilmiş nokta koordinatlarının epoku birbirlerine çok yakın olduğundan burada nokta hareketinin etkisi yok sayılacak kadar küçük olmakta ve farklar enlem ve boylam için 1-3 mm seviyesinde olmaktadır. Dönüşüm sonunda ölçülere gelen düzeltmelerden hesaplanan birim ağırlıklı ölçünün standart sapması 1992, 1994 ve 1996 yılları için sırasıyla 29.2 mm, 1.4 mm ve 41.7 mm olarak hesaplanmaktadır. 1994 yılı ağı için sağlanan uyumun 1992 ve 1996 yılları için sağlanamadığı gözlenmektedir. Ancak eldeki veriler sıklaştırma sonunda 1992 ve 1996 yıllarındaki sonuçların neden kötümser olduklarını göstermesi ve sebeplerini açıklaması açısından önemli kabul edilebilir. Buradan nokta sıklaştırmasının yapılabilmesi için sıklaştırılacak ağın bir bütün olarak (katı

blok hareketi) hareket etmesi ya da nokta hareketlerinin hesaba katılması gerekmektedir. Diğer bir deyişle yer kabuğunda hareket eden nokta ve plakalar belirli yaklaşıklıkla belirlenebilir ve bu ağın sıklaştırılması için nokta hareketlerinin de hesaba katılması gerekir.

- Her yıla ilişkin bazvektör bileşenleri ile oluşturulan ağdaki üçgen kapanmaları hesaplanmış olup sonuçlara ilişkin özet bilgiler Tablo-3.25'de verilmektedir.

Tablo-3.25 : Beher yıla ilişkin hesaplanan üçgen kapanmaları

		RMS (ΔN)	RMS (ΔE)	RMS (ΔU)
1992	mm	25.500	20.500	16.400
	ppm	0.071	0.060	0.080
1994	mm	12.900	11.300	12.300
	ppm	0.071	0.061	0.067
1996	mm	11.400	12.400	14.600
	ppm	0.015	0.036	0.020

Tablo-3.25'de verilen üçgen kapanmaları ölçülerin duyarlılıkları ile ilgili bir bilgi verme açısından önemli kabul edilmektedir. Üçgen kapanmaları yapılan ölçülerin duyarlılığı ile birlikte bir noktada birden fazla alet kurulması sonucunda oluşabilen merkezleme hatalarını da içermektedir.

- Her yıla ilişkin serbest çözüm ile her ağ ayrı ayrı analiz edilmiştir. Bu analiz ile ağın iç geometrisine ilişkin kontroller yapılabilmektedir.

Tablo-3.26 : Serbest dengellemeler ilişkin istatistik bilgiler

	1992	1994	1996
Dengeleme öncesi birim ağırlıklı ölçünün standart sapması (σ_0) (m)	0.013	0.008	0.008
Apriori duyarlılıkların çarpılması için faktör	12	31	20
Dengeleme sonrası birim ağırlıklı ölçünün standart sapması ($\hat{\sigma}_0$) (m)	0.0127	0.0079	0.0078
Helmert Hata elipsoid M_p (ortalama) (m)	0.067	0.061	0.029

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada 1992, 1994 ve 1996 yıllarında ölçülen üç GPS kampanyası IGS ve IERS ürünleri de kullanılarak Bernese V4.0 GPS yazılımı ile değerlendirilmiştir. Aynı ayrı değerlendirilen kampanyalar Bernese yazılımı içerisindeki Addneq modülü ile birleştirilmiş ve istenen epokta ve datumda nokta koordinatları ile noktaların doğrusal hızları belirlenmiştir.

Değerlendirmede Mate, Onsa ve Wtz1 IGS noktalarına ait GPS ölçüleri, IGS uydu yörüngeleri, IERS ve IGS yer dönme parametreleri, IGS uydu saat katsayıları ve ITRF nokta koordinatları da kullanılmıştır.

1992 yılı ölçü kampanyası CODE tarafından üretilen uydu yörünge bilgisi ve IERS tarafından üretilen yer dönme parametreleri kullanılarak değerlendirilmiş ve noktaların ITRF91 koordinat sisteminde ve 1992.67 epokunda koordinatları hesaplanmıştır. Ayrıca serbest dengeleme (gevşek koşullu çözüm) ile normal denklemler elde edilmiştir.

1994 yılı ölçü kampanyası IGS tarafından üretilen uydu yörünge bilgisi ve IERS tarafından üretilen yer dönme parametreleri kullanılarak değerlendirilmiş ve noktaların ITRF92 koordinat sisteminde ve 1994.6 epokunda koordinatları hesaplanmıştır. Ayrıca serbest dengeleme (gevşek koşullu çözüm) ile normal denklemler elde edilmiştir.

1996 yılı ölçü kampanyası IGS tarafından üretilen uydu yörünge bilgisi ve yer dönme parametreleri kullanılarak değerlendirilmiş ve noktaların ITRF94 koordinat sisteminde ve 1996.7 epokunda koordinatları hesaplanmıştır. Ayrıca serbest dengeleme (gevşek koşullu çözüm) ile normal denklemler elde edilmiştir.

Tek tek kampanyaların değerlendirilmesi sonucunda elde edilen serbest normal denklemler seçilen datumda birleştirilerek noktaların doğrusal hızları ile seçilen datumda ve epokta nokta koordinatları belirlenmiştir.

IGS noktalarının ITRFyy koordinat sistemlerinden birinde ve verilen epoktaki koordinatları, ITRFyy hız modeli ile istenen epoka kaydırılmıştır.

Bir GPS kampanyasının değerlendirilmesinden sonra iki çeşit kontrol (sınıflandırma) yapılmıştır. Birincisi, ağın iç geometrisinin kontrolüdür. İç geometri kontrolü için lup kapanmaları ile serbest veya minimum koşullu dengeleme sonrasında elde edilen günlük tekrarlılıklar ve serbest dengeleme sonuçları gibi datumdan bağımsız bilgiler kullanılmıştır. Geometrik kontrol özellikle yüksek duyarlık gerektiren temel ağların kurulması, global veya bölgesel yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi çalışmalarında önem kazanmaktadır. İkinci kontrol ise ağın dış kontrolüdür. Bu kontrol konuya ilişkin yöntem uygun olarak kontrol noktalarının sabit veya sıkı koşullu olarak tanımlandığı dayalı dengeleme sonuçlarına dayandırılmıştır. Burada seçilen datuma bağlı olarak elde edilen parametreler (koordinatlar gibi) değerlendirilmektedir. Uygun bir datum tanımı yapılarak sıkı koşullu dengeleme sonrasında bilinen koordinatlarla hesaplanan koordinatlar arasındaki farklardan yararlar ağı dış kontrolü sağlanmıştır. Aşağıdaki tablo her yıla ait ağı geometrik ve dış kontrolünü göstermektedir.

Tablo-4.1 : Ağı geometrik ve dış kontrolü

(mm)	İÇ GEOMETRİ			DIŞ KONTROL		
	N	E	U	N	E	U
1992	5	5	13	2	15	8
1994	2	2	9	9	8	9
1996	2	2	7	14	18	16

Tablo-4.1'den görüldüğü gibi IGS ve IERS ürünlerinin kullanımına bağlı olarak ağların iç geometrisinde bir iyileşme görülmektedir. Ancak seçilen datuma bağlı bir parametre olan koordinatların karşılaştırılmasında aynı şeyleri söylemek olanaklı değildir. Bilinen nokta koordinatları ile hesaplananlar arasındaki farkın büyük olmasının nedenleri arasında aşağıdaki nedenler sayılabilir.

Dış kontrol sağlayacak noktanın az olması dolayısıyla datum sadece bir nokta ile tanımlanmış, bu da ağıdaki dönüklüklerin kontrolsüz kalmasına neden olmuştur. Ayrıca ITRF noktalarındaki yerel bağlantılardan kaynaklanan hatalar ve ITRF koordinat sistemlerinin birkaç ölçü tekniğinden elde edilen verilerin

birleştirilmesinden (heterojen veri) oluşturulması da farkların büyük olmasında etkili olmaktadır.

Tek tek kampanyalar Onsa noktasının ITRF94 (1993.0) koordinatları ve ITRF94 hızı sabit alınarak birleştirilmiş ve buradan ağın dış kontrolü hesaplanmıştır. Dış kontrol için fazla nokta olmadığından, uygun bir datum tanımlamamış olmasına rağmen, ağın datumu tek nokta ile belirlenmiştir. Buna göre hesaplanan ve bilinen koordinatların arasındaki farklardan hesaplanan RMS, kuzey, doğu ve yükseklik bileşeni için sırasıyla 9.3, 4.8 ve 23.9 mm'dir. IGS noktaları arasındaki bazvektör uzunlukları karşılaştırıldığında ise farkın RMS değeri 8.6 mm (5.9 ppb) olmuştur.

Beher kampanyaya ait günlük normal denklemlerin birleştirilmesiyle elde edilen kampanya çözümleri için hesaplanan birim ağırlıklı ölçünün varyansı (σ_o), çözümün kalitesi kadar kullanılan alıcıların kalitesi hakkında da bir fikir sağlamaktadır. Ayrıca aynı çözümde elde edilen ve koordinatların tamamı için geçerli olmak üzere hesaplanan birim ağırlıklı koordinatın varyansı (σ_c) da hesaplanmıştır. Bilindiği gibi, genellikle, birim ağırlıklı ölçünün varyansının çok küçük olması nedeniyle, koordinatların dengeleme sonrası varyans kovaryans değerleri oldukça iyimser ve gerçekten uzak olabilen değerler olmaktadır. Birim ağırlıklı koordinatın varyansı dengelenmiş koordinatların varyans kovaryans matrisinin ölçeklendirilmesi için gerçeğe yakın bir değer sağlamaktadır. Dengeleme sonrası hesaplanan kovaryans matrisinin ($r_{co} = \sigma_c / \sigma_o$) oranı ile ölçeklendirilmesinin gerçekçi sonuçlar vereceği değerlendirilmektedir.

Ayrıca kampanya çözümü için birleştirilen beher günlük çözümde elde edilen koordinatların tekrarlılıkları da varyans kovaryans matrisinin gerçeğe yakın ölçeklendirilmesi için kullanılabilir. Kampanya çözümü (birleştirme) ile noktaların birleştirilmiş koordinatları ve varyans kovaryans matrisleri elde edilmektedir, bu şekilde ve her bir koordinat için elde edilen varyans (σ_f) olarak isimlendirilebilir. Günlük çözümlerdeki koordinatların tekrarlılıklarından elde edilecek koordinat varyansı (σ_m) koordinatların ortalama farkları yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada, her günlük çözümün birleştirmede tanımlanan datumda yeniden çözüldüğüne dikkat edilmelidir. Bu şekilde her nokta koordinatı için (σ_f) ve (σ_m) değerleri ve (σ_m / σ_f) oranı hesaplanmıştır. Hesaplanan bu oranın ortalaması (r_{mf})

sonuç varyans kovaryans matrisinin ölçeklendirilmesi için kullanılabilir. Tablo-4.2'de beher kampanya çözümüne ilişkin hesaplanan değerler verilmektedir.

Tablo-4.2 : Kampanyalarda elde edilen varyans değerleri

Kampanya	σ_o (m)	σ_c (m)	r_{co}	r_{mf}
1992	0.0034	0.0168	4.94	20
1994	0.0036	0.0217	6.03	13
1996	0.0035	0.0271	7.74	5
ORT.			6.24	13

Ayrıca birleştirilmiş ağıın dış kontrolünün devamı olarak hesaplanan nokta hızlarıyla bilinenler karşılaştırılmış olup farkların RMS değeri hızların kuzey, doğu ve yükseklik bileşenleri için sırasıyla 4.5, 3.1 ve 12.8 mm/yıl olarak belirlenmiştir. Buradan nokta hızlarının yatay bileşenlerinin duyarlı ve ITRF hız modeline uygun şekilde belirlendiği, buna karşılık düşey hız bileşeninin duyarlı olarak belirlenemediği anlaşılmaktadır.

Bölüm-3.3.2'de verilen nokta sıklaştırması uygulamalarından elde edilen sonuçlara göre sıklaştırma için en uygun durumların aşağıdaki özellikleri taşıması gerektiği söylenebilir.

- Sıklaştırılacak ağıın sabit bir hızla hareket ediyor olması (katı blok) gerekmektedir.
- Ağıın datumu belirleyen parçasının hareketine uymayan noktaların hareketlerinin modellendirilmesi gerekir.
- Ağıın datumunu belirleyecek noktaların hareketlerinin birbirlerine uyumlu olması gerekir.
- İki ağ arasında dönüşüm parametrelerinin hesaplanması ile nokta hareketleri için pratik sonuçlar bulunabilir. Ancak burada noktalara gelecek düzeltmeler ile nokta hareketlerini birbirlerinden ayırma problemi doğmaktadır.

- Yukarıdaki sonuçlardan hareketle bir GPS kampanyasının değerlendirilirken sabit alınacak nokta koordinatları, değerlendirmede kullanılan (sabit alınan) uydu yörünge koordinat sisteminde ve ölçülerin yapıldığı epokta olmalıdır. Bu çalışmada bir çok yerde belirtildiği gibi bu kurala uyulmuştur.
- Üç boyutta benzerlik dönüşümünün katı blok üzerinde bulunan koordinat sistemlerinde gerçekleştirmenin uygun olacağı değerlendirilmektedir. Buna uymayan ağlarda bağıl hareketin de modellendirilmesi gerekmektedir.
- Doğrudan normal denklemlere koşulların konması ve S-transformasyonu ile elde edilen sonuçlarla, bazvektör bileşenlerinin sıklaştırılması ile elde edilen sonuçlar benzerdir.
- ITRF koordinat sistemlerinin belirlenmesi veya sıklaştırılmasında da bu çalışmada elde edilen sonuçlara benzer olarak nokta hızları da hesaba katılmaktadır. Bölgesel ağların sıklaştırılmasında da bu çalışmada elde edilen sonuçlara uyulmasının yararlı olacağın değerlendirilmektedir.
- Sıklaştırma alanlarının büyüklüğü ağdaki deformasyonlar ve hareketler de gözönüne alınarak seçilmeli ve nokta sıklaştırmaları katı blok hareketi gösteren bölgelerde gerçekleştirilmelidir.

Değişik zamanlarda ölçülen GPS ağlarının birleştirilmesinin irdelenmesi ile ilgili olarak, üç IGS noktasının ITRF94 (1993.0) koordinatları ve ITRF94 hızlarının sabit alındığı birleştirme dengelemesi ile elde edilen hızlara bakıldığında (Tablo-A.9) genel olarak Avrasya plakasının Onsa, Wtz1, Mate ve Itay noktaları benzer yön ve büyüklükte kuzey batıya doğru hareket ettikleri, bununla birlikte Anadolu plakasının kuzeyinde (Kuzey Anadolu Fayının kuzeyinde) kalan noktaların Avrasya plakası ile birlikte hareket ettikleri gözlenmektedir.

Marmara bölgesinin Avrasya plakasına göre hareketini belirlemek ve bugüne dek yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırmak üzere, Avrasya plakasında bulunan Onsa, Mate, Wtz1 ve Itay noktalarının birbirlerine göre bağıl hızları sıfır alınmış ve 3 IGS noktasının ITRF94 hızları sabit alınarak hız modeli belirlenmiştir.

Bu şekilde hesaplanan hızların gösterildiği şekile (Şekil-3.19b) bakıldığında Marmara'nın kuzeyinde bulunan Doku, Yeni, Maer noktalarında küçük hareketler gözlenmektedir.

Bu çalışmada bulunan nokta yatay hızlarının benzeri diğer çalışmalardan elde edilenlerle uyumlu oldukları görülmektedir (Straub v.d., 1997; Straub, 1996, Smith v.d., 1990)

GPS ölçüleri istenilen epokta toplanabilmekte ve değerlendirilebilmektedir. Bu değerlendirmelerden elde edilen nokta koordinatları doğrudan ağ noktalarındaki hareketlerin incelenmesinde kullanılabilir ve bu hareketler belirlenirken bir plaka hareketi modeli kullanılmasını gerektirmez. Bu sadece GPS ile oluşturulmuş bir referans koordinat sistemi oluşturmanın bir avantajıdır.

Sadece GPS ölçüleri kullanılarak bir ağın oluşturulması ve yaşatılmasının gerekli olduğu düşünülmektedir. Bu durum özellikle mm seviyesinde doğrulukla deformasyonlarının izlenmesinin amaçlandığı projeler için uygun görülmektedir. Tablo-3.10 ve 3.11'den görülebileceği gibi ITRF92 içerisinde IGS noktalarının dış kontrolü ancak 1-2 cm doğrulukla sağlanabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Aksoy, A. (1987a)** :Jeodezik Değerlerin Matematik-İstatistik Testlerle İrdelenmesi. Türkiye 1nci Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 23-27 Şubat 1987, İstanbul, s:559-592.
- Aksoy, A. (1987b)** : Ülke Nirengi Ağı Sıklaştırılmasında Günümüz Yaklaşımları. Türkiye 1nci Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 23-27 Şubat 1987, İstanbul, s:359-370.
- Aksoy, A. (1994)** : Lineer Modellerde Parametre Tahmini ve Hipotez Testleri. Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ashkenazi, V., R.M.Bingley, G.M. Whitmore, J.F. Baker (1993)** : Monitoring changes in mean-sea-level to millimeters using GPS. Geophysical Research Letters, vol 20, no 18, pp:1951-1954.
- Ashkenazi, V., G.A. Beamson, R.M. Bingley, A.H. Dodson, M.P. Stewart, T.F. Baker (1994)** : UKGAUGE : The United Kingdom Tide Gauge Monitoring Project. International Symposium on Marine Positioning INSMAP94, Hannover, Germany.
- Ashkenazi, V., R.Bingley, B.Cold, M.Cory (1996)** : Results and analysis of the EUREF EIR/GB 95 GPS campaign. Report on the symposium of the IAG Subcommission for the EUREF held in Ankara, 22-25 May 1996, pp: 152-157, Eds (E. Gubler, H.Hornik).
- Ayan, T. (1981)** : Jeodezik Ağların Optimizasyonu. Doçentlik tezi, İTÜ, İstanbul.
- Ayan, T. (1994)** : Nirengi Ağlarının Analizi. Ders notları, İTÜ, İstanbul.
- Ayhan, M.E., A. Kılıçoğlu (1995)** : Ankara GPS Test Ağında GPS Bazvektörlerinin Üç Boyutta nokta Sıklaştırması. TUJJB, Ankara.
- Bock, Y. (1982)** : The use of baseline measurements and geophysical models for the estimation of crustal deformations and the terrestrial reference system. Report no 337, Reports of the Dept. of Geod. Sci. and Surv., OSU. USA.
- Brockmann,E. (1996)** : Combination of Solutions for Geodetic and Geodynamic Applications of the Global Positioning System (GPS), Ph.D.Dissertation, Astronomical Institute, University of Berne, Switzerland.
- Brockmann, E., and W.Gurtner (1996)** : Combination of GPS solutions for densification of the European Network : Concepts and results from 5 European Associated Analysis Centers of the IGS. Report on the symposium of the IAG

- Subcommission for the EUREF held in Ankara, 22-25 May 1996, pp: 152-157, Eds (e. Gubler, H.Hornik).
- Boucher, C., Z.Altamimi, L.Duhem (1994) :** Results and Analysis of the ITRF93. IERS Technical Note 18. Observatoire de Paris.
- Boucher, C., Z.Altamimi, M.Feissel, P.Sillard (1995) :** Results and Analysis of the ITRF94. IERS Technical Note 20. Observatoire de Paris.
- Demirel, H. (1987a):** Nirengi Ağlarının Dengelenmesi ve Sonuçlarının Test Edilmesi. Harita Dergisi, Ocak 1987, Sayı 08, s:1-18.
- Demirel, H. (1987b) :** S-Transformasyonu ve Deformasyon Analizi. Türkiye 1nci Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 23-27 şubat 1987, s:593-608.
- Demirel, H. (1987c) :** Jeodezik Ağlarda Datum Tanımları ve Dengeleme Sonuçlarına Etkileri. Prof. Burhan Tansuğ Fotogrametri ve Jeodezi Sempozyumu. 8-9 Ekim 1987, İstanbul. s: 269-277.
- Demirel, H. (1992) :** Sıklaştırma ağlarında datum tanımlama ve bağlantı noktalarının test edilmesi. Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, Sayı 72, s:47-55.
- Dixon, T.H. (1991) :** An introduction to the Global Positioning System and some geological applications. Reviews of Geophysics, 29, pp: 249-276.
- FGCC (1989):** Geometric Geodetic Accuracy Standards and Specifications for using GPS Relative Positioning Techniques, DMA, USA.
- IGS (1995) :** IGS Terms of Reference. International GPS Service for Geodynamics, Resource Information, pp: 5-8. International Association of Geodesy, International Union of geodesy and Geophysics, July 1995.
- Jackson, J., D.McKenzie (1988) :** The relationship between plate motions and seismic moment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East. Geophysical Journal 93, pp:45-73.
- Kılıçoğlu, A. (1995) :** Jeodezi'de Dönüşümler. Y.Lisans Tezi. İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Koch, H.R. (1987) :** Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear models. Springer Verlag.
- Malys, S. (1988) :** Dispersion and correlation among transformation parameters relating two satellite reference frames. Report No 392, OSU.
- McCarthy, D.D. (1996) :** IERS Conventions, IERS Technical Note 21, July 1996, Observatoire de Paris.
- Mervart, L. (1996) :** Ambiguity resolution techniques in geodetic and geodynamic applications of the GPS. Ph.D.Thesis, AIUB. Bern.

- Mervart, L., G.Beutler, M.Rothacher, U.Wild (1995):** Ambiguity resolution strategies using the results of the International GPS Geodynamics Service (IGS). Bulletin Geodesique, Vol 68, No 1, Springer.
- Mueller, I. (1988) :** Reference Coordinate Systems : An Update. OSU, Ohio.
- Mueller, I. (1993) :** The International GPS Service for Geodynamics : An Introduction. Proceedings of the 1993 IGS Workshop. Page 1, 25-26 May, AIUB, Berne.
- Noomen, R., B.A.C.Ambrosius, K.Herzberger, D.C.Kuijper, G.-J.Mets, B.Overgaauw, K.F.Wakker, T.A.Springer (1994):** Rigid Block Deformations in Southeast Europe. Proceedings of the first Turkish International Symposium on deformations. İTÜ, İstanbul.
- Noomen, R., T.A.Springer, B.A.C.Ambrosius, K.Herzberger, D.C.Kuijper, G.-J.Mets, B.Overgaauw, K.F.Wakker (1996) :** Crustal Deformations in the Mediterranean Area Computed from SLR and GPS Observations. Journal of Geodynamics, Vol 21, No 1, pp: 73-96.
- Oral, B., R.E.Reilinger, M.N.Toksöz, R.W.King, A.A.Barka, İ.Kınık, O.Lenk (1995) :** Global Positioning System offers evidensce of plate motions in Eastern Mediterranean, EOS, Transactions, AGU, Vol 76, No 2, pp:9-11.
- Öztürk, E. (1987) :** Jeodezik Ağlarda Duyarlık ve Güven Ölçütleri. Türkiye 1nci Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara 23-27 Şubat 1987, s:641-699.
- Reilinger, R., S.C.McClusky, M.B.Oral, R.W.King, M.N.Toksöz (1997):** Global Positioning System measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone. JGR, vol 102, No B5, pp: 9983-9999.
- Rothacher, M., G.Mader (1996) :** E-Mail message about phase center corrections. Bernese Software Electronic Mail System, Message Number 006. AIUB, Berne.
- Rothacher, M., L.Mervart (Eds) (1996) :** Bernese GPS Software Version 4.0. AIUB, Berne.
- Smith, D.E., R.Kolenkiewicz, P.J.Dunn, J.W.Robbins, M.H.Torrence, S.M.Klosko, R.G.Willamson, E.C.Pavlis, N.B.Douglas, S.K.Fricke (1990):** Tectonic motion and deformation from Satellite Laser Ranging to LAGEOS. Journal of Geophysical Research, Vol 95, No B13, pp:22013-22041.
- Steeves, R.R. (1984) :** Mathematical models for use in the readjustment of the North American Geodetic Networks. Geodetic Survey of Canada, Technical Report no 1.

- Straub, C. (1996) :** Recent Crustal Deformation and Strain Accumulation in the Marmara Sea Region, NW Anatolia, inferred from GPS Measurements. PhD Thesis. IGP, ETHZ Mitt., 58
- Straub, C., H.-G. Kahle (1993) :** Global Positioning System (GPS) Estimates of Crustal Deformations in the Marmara Sea Region, Northwestern Anatolia. Earth and Planetary Sciences 121 , pp:495-502. Elsevier.
- Straub, C., H.-G. Kahle (1993) :** Global Positioning System (GPS) Estimates of Crustal Deformations in the Marmara Sea Region, Northwestern Anatolia. Earth and Planetary Sciences 121 , pp:495-502. Elsevier.
- Straub, C., H.-G. Kahle, C.Schindler (1997) :** Global Positioning System (GPS) and Geological estimates of the tectonic activity in the Marmara Sea Region, NW Anatolia. Journal of Geophysical Research, Vol 102, No B12, pp:27587-27601.
- Şerbetçi, M. (1987) :** Jeodezik Ağların Birleştirilmesi. Türkiye 1nci Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 23-27 Şubat 1987, İstanbul, s:343-357.
- Vanicek, P. (ed), 1987 :** Four-dimensional geodetic positioning. Report of the IAG SSG 4.96, Manuscripta Geodaetica, vol 12, pp:147-222.
- Vincenty, T. (1982) :** Methods of adjusting space systems data and terrestrial measurements. Bulletin Geodesique, vol 56, no 3, pp:231-241.
- Vincenty, T. (1987) :** On the use of GPS baseline vectors in densification adjustments. Surveying and Mapping, vol 47, no 2, pp:103-108.
- Wessel, P., W.H.F.Smith (1991) :** Free Software helps map and display data. EOS Trans. Amer. Geophys. U., vol 72, pp:441-446.
- Wessel, P., W.H.F.Smith (1995) :** New version of the Generic Mapping Tools Released. EOS Trans. Amer. Geophys. U., vol 76, pp:329.
- Westaway, R. (1994) :** Present-day kinematics of the Middle-East and eastern Mediterranean, Journal of Geophysical Research, vol 99, No B6, pp:12071-12090.
- Wolf, H. (1975) :** Ausgleichungsrechnung, Formeln zur praktischen anwendung, pp : 188-191, Dümmlers Verlag. Bonn.

EK-A : 1992 - 1996 YILLARI ARASINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN GPS KAMPANYALARININ DEĞERLENDİRİLMELERİNE VE BİRLEŞTİRİLMESİNE İLİŞKİN SONUÇLAR

Tablo-A.1: Marmara 1992 noktaları

GUN NOKTA	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250
BOZT	X	X									
KDER	X	X	X								
KZIM	X	X									
PINA	X	X	X								
ULUD	X	X	X	X	X	X					
DOKU	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ITAY	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
GATE	X	X	X								
KKAP	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
KMAL	X	X									
KTOP	X	X	X								
TEBA	X	X									
IKAN		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CINA			X	X							
OLUK			X	X							
DERB			X	X							
GEML			X	X							
CATA				X	X						
DTAS				X	X						
HMZA				X	X						
IGDI				X	X						
ZEYA					X	X					
GIRE					X	X					
HAGA					X	X					
KOCB					X	X	X				
YIGT					X	X					
BAHA						X	X				
KIRE						X	X				
UKIR						X	X				
KUSO							X	X			
EGMI							X	X			
ERDE							X	X	X	X	X
KCAM							X	X			
BDER								X	X		
KOBE								X	X		
HOB A								X	X		
DIKI								X	X		
KABI									X	X	X
EZIN									X	X	X
KORK									X		
SEVK									X	X	X
HEMI										X	X
KEST										X	X
MAER										X	
SARK										X	X
YEMM										X	X
KVAK										X	X
AYVA											X

**Tablo-A.2a: Marmara 1992 noktaları ITRF91 (1992.67)
elipsoidal koordinatları**

NOKTA	ENLEM			BOYLAM			E.YÜK. (m)
BOZT	40	33	5.594690	30	40	44.886126	815.2176
KDER	40	44	5.185875	30	49	35.824779	649.6515
KZIM	40	49	42.333739	30	42	50.362676	358.0782
PINA	40	33	17.478160	30	51	43.818448	796.4398
ULUD	40	8	8.655218	29	6	7.166540	1668.7754
DOKU	40	44	21.381695	26	42	23.191102	132.1499
ITAY	41	6	16.054422	29	1	10.860010	146.0501
GATE	40	49	16.751601	29	25	21.467780	343.8831
KKAP	40	37	39.299576	30	39	19.136134	158.0209
KMAL	40	39	5.695290	30	44	41.622146	1218.4052
KTOP	40	36	51.329368	30	38	17.171094	226.1913
TEBA	40	23	8.683231	30	48	15.858769	984.1214
IKAN	41	3	49.268378	29	3	50.175376	166.7889
CINA	40	38	22.095322	29	8	35.267126	170.0466
OLUK	40	40	1.698825	29	35	6.691717	390.7927
DERB	40	21	41.934581	29	40	52.963839	588.9680
GEML	40	27	34.439236	29	8	45.869082	406.5480
CATA	40	11	59.092333	29	15	39.679932	360.4161
DTAS	40	16	13.406243	29	6	21.226518	156.2714
HMZA	40	9	49.829801	29	30	49.697964	310.3909
IGDI	40	15	46.883818	29	12	.982269	176.7675
ZEYA	40	9	55.339137	29	6	38.889971	813.7694
GIRE	39	55	48.163748	28	55	21.225507	460.2165
HAGA	40	10	2.764223	28	46	43.136446	207.5737
KOCB	40	3	30.894566	27	45	48.442940	415.3785
YIGT	40	10	19.728654	29	1	25.185578	663.7213
BAHA	40	1	45.813625	26	54	36.804532	258.9068
KIRE	39	53	50.153547	27	13	2.889569	969.8430
UKIR	40	14	43.150007	27	37	45.892855	136.8657
KUSO	39	17	41.880316	27	35	24.668937	385.7012
EGMI	39	34	35.607416	27	16	9.887450	270.6429
ERDE	40	24	.870467	27	48	58.930609	79.0639
KCAM	39	39	10.646713	26	43	56.456365	1276.9415
BDER	39	36	50.857367	26	11	22.130159	243.0611
KOBE	39	14	39.576823	27	6	44.586713	751.8515
HOBA	39	34	46.931921	26	32	6.361424	482.9260
DIKI	39	0	36.403922	26	53	5.669535	306.2755
KABI	40	22	51.566761	27	18	4.450859	52.9410
EZIN	39	47	6.112960	26	19	2.454378	142.4768
KORK	39	43	32.714770	26	12	55.915739	198.0895
SEVK	40	23	44.793106	26	52	47.144102	75.1619
HEMI	40	59	12.363604	26	46	58.689092	304.6343
KEST	39	43	50.704496	26	9	24.776103	75.6177
MAER	40	58	14.212923	27	57	36.013113	39.5405
SARK	40	39	41.879863	27	6	1.835569	253.2904
YENI	40	48	38.653325	27	23	34.091290	294.8427
KVAK	40	36	2.635568	26	52	16.723655	52.9310
AYVA	39	19	35.045151	26	42	26.477236	116.7431

Tablo-A.2b: Marmara 1992 noktaları ITRF91 (1992.67) dik koordinatları

NOKTA	X (m)	Y (m)	Z (m)
BOZT	4174396.8391	2476519.8230	4125241.3948
KDER	4156519.0790	2480400.5826	4140573.4864
KZIM	4155356.3897	2468642.5559	4148258.6254
PINA	4166247.2300	2489713.0811	4125507.7321
ULUD	4267667.2423	2375547.3319	4090595.4075
DOKU	4323348.6870	2175026.9441	4140614.3407
ITAY	4208814.7715	2334874.6386	4171267.4719
GATE	4210375.7741	2374616.2590	4147652.1601
KKAP	4170270.8734	2471728.7204	4131225.6118
KMAL	4165600.9714	2477769.6614	4133938.7126
KTOP	4171886.6551	2470993.1236	4130146.8166
TEBA	4179348.1583	2491827.0602	4111341.9016
IKAN	4209624.8705	2339577.9655	4167867.9285
CINA	4233303.4540	2360402.0807	4132235.2743
OLUK	4213370.9941	2392087.7258	4134710.1236
DERB	4228627.8221	2410145.6343	4109047.1930
GEML	4244682.6105	2367032.8754	4117208.5296
CATA	4256184.7324	2384653.6652	4095183.6597
DTAS	4258062.2365	2370581.0138	4101040.2414
HMZA	4247828.0077	2404656.7354	4092105.1775
IGDI	4254626.9074	2377857.1969	4100429.2509
ZEYA	4264876.7848	2374853.3051	4092559.7198
GIRE	4287136.1949	2368829.5164	4072327.7990
HAGA	4278036.9800	2349795.1558	4092343.7415
KOCB	4326029.8896	2277331.8296	4083233.6058
YIGT	4267959.1070	2368073.1053	4093037.8423
BAHA	4361215.0532	2213549.2449	4080651.6304
KIRE	4358147.3232	2241463.5037	4069862.7616
UKIR	4319311.1383	2260905.5600	4098903.1409
KUSO	4380854.1686	2289299.8142	4017957.1037
EGMI	4375870.5320	2255597.6823	4042031.0419
ERDE	4302026.2774	2269772.1571	4111981.4921
KCAM	4392682.1534	2212397.2916	4049207.9291
BDER	4415200.3000	2171541.0824	4045227.7855
KOBE	4403212.7013	2254438.9640	4013836.0081
HOB	4404365.7945	2199305.7276	4042435.5009
DIKI	4426456.4674	2244203.7056	3993382.1810
KABI	4323472.3663	2231628.6363	4110336.3989
EZIN	4399408.9268	2175981.0347	4059763.6602
KORK	4407083.2543	2170037.9719	4054739.3135
SEVK	4338837.5640	2199291.2807	4111601.2949
HEMI	4304502.8699	2172755.1377	4161513.8483
KEST	4408899.4156	2165327.7440	4055087.7565
MAER	4259824.8721	2261176.1337	4159985.7005
SARK	4313374.0758	2207313.4674	4134156.7699
YENI	4292491.2967	2224332.1503	4146730.6328
KVAK	4325962.2023	2191963.0867	4128893.7092
AYVA	4413445.9272	2220441.9385	4020487.0485

Tablo-A.3 : Marmara 1994 noktaları

NOKTA	GUN	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279
AKTE		X	X									
ITAY		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ULUD		X	X	X	X	X	X					X
BOZT		X	X									
KZIM		X	X									
DERB		X	X	X								
AYVA		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
KDER		X	X									
MAER		X	X								X	X
TEBA		X	X									
KKAP		X	X									
KMAL		X	X									
PINA		X	X									
WTZI		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
MATE		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ONSA		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ANKS			X	X			X	X			X	X
KTOP			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
YIGI			X	X								
CINA				X	X							X
CATA				X	X							
GEML				X	X							
YUHE				X	X							X
DOKU				X	X	X	X	X	X	X	X	
DTAS				X	X							
GATE				X	X							
HMZA				X	X							
IGDI				X	X							
OLUK				X	X							
ZEYA					X	X						
ARAK						X	X	X				
GIRE						X	X					
BAHA						X	X	X		X		
KOCB						X	X					
KABI						X	X				X	X
ERDE						X	X	X				X
HAGA						X	X					
YIGT						X	X					
UKIR						X	X					
KIRE							X	X				
ALAN								X	X			
EGMI								X				
KCAM								X	X	X		
KUSO								X	X			
HOBA								X	X	X		
KOBE								X	X			
DIKI								X	X			
AMAN									X	X	X	
BDER									X	X		
EZIN									X			
KORK										X	X	
SEVK										X	X	X
KEST										X	X	
SARK										X	X	X
KVAK										X	X	X
HEMI											X	
YENI											X	X

Tablo-A.4a: Marmara 1994 noktaları ITRF92 (1994.75) dik koordinatları

NOKTA	X (m)	Y (m)	Z (m)
AKTE	4170049.6945	2468886.6098	4133203.9453
ITAY	4208814.7739	2334874.6409	4171267.4657
ULUD	4267667.2861	2375547.3123	4090595.4182
BOZT	4174396.8752	2476519.8167	4125241.4170
KZIM	4155356.4061	2468642.5783	4148258.6424
DERB	4228627.8669	2410145.6254	4109047.2169
AYVA	4413445.9914	2220441.9450	4020487.0666
KDER	4156519.0974	2480400.5828	4140573.5017
MAER	4259824.8882	2261176.1336	4159985.6946
TEBA	4179348.1867	2491827.0353	4111341.9170
KKAP	4170270.9093	2471728.7197	4131225.6403
KMAL	4165600.9982	2477769.6656	4133938.7508
PINA	4166247.2595	2489713.0704	4125507.7422
14201M009	4075578.6346	931852.6522	4801570.0110
12734M008	4641949.7750	1393045.2476	4133287.2976
10402M004	3370658.7039	711876.9947	5349786.8271
ANKS	4121934.2309	2652189.9289	4069034.9588
KTOP	4171886.6722	2470993.1096	4130146.8277
YIGI	4117361.7786	2517076.8930	4157679.0353
CINA	4233303.4760	2360402.0680	4132235.2971
CATA	4256184.7664	2384653.6431	4095183.6739
GEML	4244682.6565	2367032.8637	4117208.5641
YUHE	4202720.6010	2390909.1784	4146118.1189
DOKU	4323348.7160	2175026.9631	4140614.3475
DTAS	4258062.2675	2370580.9928	4101040.2521
GATE	4210375.4761	2374620.8716	4147650.7349
HMZA	4247828.0185	2404656.7037	4092105.1725
IGDI	4254628.0046	2377857.9430	4100425.7560
OLUK	4213371.0281	2392087.7243	4134710.1539
ZEYA	4264876.8223	2374853.2969	4092559.7341
ARAK	4340293.7285	2231971.4712	4092545.8191
GIRE	4287136.2424	2368829.4999	4072327.8160
BAHA	4361215.1081	2213549.2489	4080651.6427
KOCB	4326029.9484	2277331.8246	4083233.6319
KABI	4323472.4353	2231628.6410	4110336.4308
ERDE	4302026.3279	2269772.1643	4111981.5337
HAGA	4278037.0221	2349795.1526	4092343.7554
YIGT	4267959.1762	2368073.0986	4093037.8823
UKIR	4319311.1886	2260905.5690	4098903.1657
KIRE	4358147.3203	2241463.4886	4069862.7261
ALAN	4356883.1619	2260757.0766	4060033.5592
EGMI	4375870.5733	2255597.6837	4042031.0556
KCAM	4392682.2222	2212397.3015	4049207.9581
KUSO	4380854.2223	2289299.8284	4017957.1105
HOB A	4404365.8216	2199305.7231	4042435.4935
KOBE	4403212.7553	2254438.9737	4013836.0136
DIKI	4426456.5324	2244203.7199	3993382.1927
AMAN	4426444.3886	2166726.1495	4035481.4796
BDER	4415200.3413	2171541.0885	4045227.7802
EZIN	4399408.9562	2175981.0277	4059763.6448
KORK	4407083.3213	2170037.9764	4054739.3110
SEVK	4338837.6254	2199291.2874	4111601.3176
KEST	4408899.4744	2165327.7416	4055087.7734
SARK	4313370.1288	2207311.4770	4134161.6873
KVAK	4325962.2723	2191963.1063	4128893.7485
HEMI	4304502.8377	2172755.1290	4161513.6712
YENI	4292491.3425	2224332.1757	4146730.6608

Tablo-A.4b : Marmara 1994 noktaları ITRF92 (1994.75) elipsoidal koordinatları

NOKTA	ENLEM			BOYLAM			E.YÜK.(m)
AKTE	40	39	2.566790	30	37	39.872639	202.9144
ITAY	41	6	16.054201	29	1	10.860047	146.0484
ULUD	40	8	8.654881	29	6	7.164917	1668.8042
BOZT	40	33	5.594650	30	40	44.885111	815.2532
KZIM	40	49	42.333614	30	42	50.363141	358.1086
DERB	40	21	41.934448	29	40	52.962570	589.0098
AYVA	39	19	35.044365	26	42	26.476275	116.8012
KDER	40	44	5.185914	30	49	35.824385	649.6735
MAER	40	58	14.212479	27	57	36.012787	39.5474
TEBA	40	23	8.683366	30	48	15.857246	984.1403
KKAP	40	37	39.299633	30	39	19.135334	158.0626
KMAL	40	39	5.695699	30	44	41.621717	1218.4492
PINA	40	33	17.477990	30	51	43.817414	796.4614
14201M009	49	8	39.206187	12	52	44.041163	666.0558
12734M008	40	38	56.866599	16	42	16.043940	535.6617
10402M004	57	23	43.070320	11	55	31.852077	45.5419
ANKS	39	53	15.042017	32	45	30.888685	974.8283
KTOP	40	36	51.329480	30	38	17.170207	226.2043
YIGI	40	56	13.183700	31	26	19.674534	822.5451
CINA	40	38	22.095607	29	8	35.266202	170.0714
CATA	40	11	59.092290	29	15	39.678416	360.4397
GEML	40	27	34.439361	29	8	45.867698	406.5966
YUHE	40	48	10.102887	29	38	7.283367	377.6895
DOKU	40	44	21.381132	26	42	23.191271	132.1805
DTAS	40	16	13.406155	29	6	21.225107	156.2912
GATE	40	49	16.674125	29	25	21.645464	344.4697
HMZA	40	9	49.829807	29	30	49.696573	310.3829
IGDI	40	15	46.769661	29	12	.987179	175.5173
OLUK	40	40	1.698964	29	35	6.690945	390.8343
ZEYA	40	9	55.338891	29	6	38.888895	813.8006
ARAK	40	10	14.821898	27	12	51.252003	80.2680
GIRE	39	55	48.163470	28	55	21.223933	460.2531
BAHA	40	1	45.812875	26	54	36.803634	258.9535
KOCB	40	3	30.894177	27	45	48.441598	415.4333
KABI	40	22	51.566217	27	18	4.449697	53.0101
ERDE	40	24	.870484	27	48	58.929882	79.1275
HAGA	40	10	2.763827	28	46	43.135470	207.6096
YIGT	40	10	19.728445	29	1	25.183914	663.7908
UKIR	40	14	43.149600	27	37	45.892204	136.9190
KIRE	39	53	50.152860	27	13	2.889059	969.8129
ALAN	39	47	4.888564	27	25	28.171230	609.6066
EGMI	39	34	35.606987	27	16	9.886710	270.6804
KCAM	39	39	10.646075	26	43	56.455439	1277.0108
KUSO	39	17	41.879375	27	35	24.668423	385.7475
HOBÄ	39	34	46.931279	26	32	6.360747	482.9385
KOBE	39	14	39.575885	27	6	44.586046	751.8956
DIKI	39	0	36.402902	26	53	5.668845	306.3329
AMAN	39	30	2.571717	26	4	53.602539	183.5609
BDER	39	36	50.856412	26	11	22.129625	243.0884
EZIN	39	47	6.112095	26	19	2.453566	142.4848
KORK	39	43	32.713422	26	12	55.914667	198.1357
SEVK	40	23	44.792454	26	52	47.143179	75.2206
KEST	39	43	50.703844	26	9	24.774921	75.6683
SARK	40	39	42.094156	27	6	1.836687	253.1413
KVAK	40	36	2.635034	26	52	16.723052	53.0108
HEMI	40	59	12.359968	26	46	58.689383	304.4935
YENI	40	48	38.652903	27	23	34.091354	294.9006

Tablo-A.5 : Marmara 1996 noktaları

GUN	261	262	263	264	265	266
NOKTA						
ANKR	X	X	X	X	X	X
ITAY	N	N	N	N	N	N
KIT3	X		X	X		X
MATE	X	X	X	X	X	X
ONSA	X	X	X	X	X	X
WTZ1	X	X	X	X	X	X
WTZR	X	X	X	X	X	X
ZIMM	X	X	X	X	X	X
AYVA	X	X	X	X	X	
DOKU	X	X	X	X	X	X
KDER	X	X				
TEBA	X	X	X	X	X	X
ULUD	X	X				
AKTA		X				
AKTE		X				
ERDE			X	X		
MAER			X	X		
ALAN					X	X
YENI					X	X

Tablo-A.6a: Marmara 1996 noktaları ITRF94 (1996.72) elipsoidal koordinatları

NOKTA	ENLEM			BOYLAM			EYÜK.(m)
ANKR	39	53	14.531772	32	45	30.491362	976.0416
ITAY	41	6	16.055074	29	1	10.861481	145.9342
12334M001	39	8	5.158530	66	53	7.594481	622.5072
12734M008	40	38	56.867951	16	42	16.045517	535.6541
10402M004	57	23	43.071230	11	55	31.854254	45.5533
14201M009	49	8	39.207533	12	52	44.043785	666.0438
14201M010	49	8	39.109340	12	52	44.066869	666.0274
14001M004	46	52	37.545694	7	27	54.989070	956.3458
AYVA	39	19	35.044531	26	42	26.475981	116.6909
DOKU	40	44	21.382022	26	42	23.192471	132.0642
KDER	40	44	5.186539	30	49	35.825209	649.5642
TEBA	40	23	8.683797	30	48	15.857315	984.0197
ULUD	40	8	8.655239	29	6	7.164247	1668.6812
AKTA	40	39	3.135704	30	37	40.612404	190.1965
AKTE	40	39	2.823777	30	37	40.609881	190.0000
ERDE	40	24	.870889	27	48	58.929383	79.0209
MAER	40	58	14.213216	27	57	36.015072	39.3592
ALAN	39	47	4.888705	27	25	28.170525	609.5059
YENI	40	48	38.712206	27	23	34.107573	295.4389

Tablo-A.6b: Marmara 1996 noktaları ITRF94 (1996.72) dik koordinatları

NOKTA	X (m)	Y (m)	Z (m)
ANKR	4121948.6109	2652187.9543	4069023.6598
ITAY	4208814.6669	2334874.6198	4171267.4109
12334M001	1944945.3506	4556652.2097	4004325.9572
12734M008	4641949.7328	1393045.2736	4133287.3243
10402M004	3370658.6792	711877.0266	5349786.8519
14201M009	4075578.5845	931852.6952	4801570.0291
14201M010	4075580.7066	931853.6604	4801568.0322
14001M004	4331297.2139	567555.7403	4633133.8311
AYVA	4413445.9154	2220441.8989	4020487.0007
DOKU	4323348.6086	2175026.9406	4140614.2923
KDER	4156519.0056	2480400.5505	4140573.4450
TEBA	4179348.0996	2491826.9852	4111341.8489
ULUD	4267667.2054	2375547.2492	4090595.3473
AKTA	4170022.6993	2468890.8253	4133208.9749
AKTE	4170027.9950	2468893.8918	4133201.5467
ERDE	4302026.2544	2269772.1123	4111981.4741
MAER	4259824.7244	2261176.1072	4159985.5883
ALAN	4356883.0985	2260757.0248	4060033.4981
YENI	4292490.4677	2224332.1506	4146732.3972

Tablo-A.12 : 1996 yılı Bernese kampanya çözümü ile sıklaştırma sonuçlarının farkı (m)

Sıra No	Nokta adı	dX	dY	dZ	dφ	dλ	d <h></h>
1	ANKR	.0004	.0058	.0018	-.0008	.0047	.0038
2	ITAY	.0028	.0070	.0039	-.0009	.0048	.0070
3	AYVA	.0007	-.0015	-.0008	-.0006	-.0017	-.0005
4	DOKU	.0069	.0023	.0049	-.0010	-.0010	.0087
5	KDER	.0024	-.0042	.0001	.0001	-.0048	.0000
6	TEBA	.0088	.0051	.0062	-.0019	-.0001	.0118
7	ULUD	.0080	.0025	.0040	-.0022	-.0017	.0089
8	ERDE	.0155	.0134	.0117	-.0040	.0046	.0228
9	ALAN	.0080	.0036	.0041	-.0025	-.0005	.0094
	N	9	9	9	9	9	9
	ORT.	.0059	.0038	.0040	-.0015	.0005	.0080
	RMS	.0075	.0061	.0053	.0019	.0033	.0103

Tablo-A.7: Yıllara göre ölçü yapılan noktalar

	1992	1994	1996
BOZT	W	W	
KDER	W	W	W
KZIM	W	W	
PINA	W	W	
ULUD	W	W	W
DOKU	W	W	W
ITAY	W	W	W
GATE	W		
KKAP	W	W	
KMAL	W	W	
KTOP	W	W	
TEBA	W	W	W
IKAN	W		
CINA	W	W	
OLUK	W	W	
DERB	W	W	
GEML	W	W	
CATA	W	W	
DTAS	W	W	
HMZA	W	W	
IGDI	W		
ZEYA	W	W	
GIRE	W	W	
HAGA	W	W	
KOCB	W	W	
YIGT	W	W	
BAHA	W	W	
KIRE	W	W	
UKIR	W	W	
KUSO	W	W	
EGMI	W	W	
ERDE	W	W	W
KCAM	W	W	
BDER	W	W	
KOBE	W	W	
HOB A	W	W	
DIKI	W	W	
KABI	W	W	
EZIN	W	W	
KORK	W	W	
SEVK	W	W	
HEMI	W		
KEST	W	W	
MAER	W		W
SARK	W		
YENI	W		W
KVAK	W	W	
AYVA	W	W	W
AKTE		W	W
MAEE		W	
14201M009		W	W
12734M008		W	W
10402M004		W	W
ANKS		W	
YIGI		W	
YUHE		W	
GATT		W	
IGDD		W	
ARAK		W	
ALAN		W	W
AMAN		W	
SARR		W	
HEMM		W	
YEMM		W	
ANKR			W
12334M001			W
14201M010			W
14001M004			W
AKTA			W

Tablo-A.8a: ITRF94 (1994.685) koordinat sisteminde nokta koordinatları (Birleştirilmiş)

No	Isim	X (m)	Y (m)	Z (m)
48	BOZT	4174396.8707	2476519.8209	4125241.4237
111	KARA	4156519.0950	2480400.5868	4140573.5063
96	HEND	4155356.4024	2468642.5820	4148258.6494
176	PINA	4166247.2555	2489713.0750	4125507.7496
219	ULUD	4267667.2793	2375547.3140	4090595.4218
65	DOKU	4323348.7083	2175026.9649	4140614.3565
106	ITAY	4208814.7710	2334874.6456	4171267.4753
79	GATE	4210375.8875	2374616.2912	4147652.2369
128	KKAP	4170270.9050	2471728.7240	4131225.6469
131	KMAL	4165600.9943	2477769.6698	4133938.7572
138	KTOP	4171886.6679	2470993.1132	4130146.8361
208	TEBA	4179348.1851	2491827.0422	4111341.9215
302	KA1	4209624.9833	2339577.9960	4167867.9986
55	CINA	4233303.4708	2360402.0715	4132235.3044
167	OLUK	4213371.0225	2392087.7273	4134710.1611
60	DERB	4228627.8620	2410145.6297	4109047.2241
81	GEML	4244682.6505	2367032.8670	4117208.5710
53	CATA	4256184.7605	2384653.6466	4095183.6813
69	DTAS	4258062.2616	2370580.9963	4101040.2596
97	HMZA	4247828.0133	2404656.7073	4092105.1804
100	IGDI	4254627.0206	2377857.2287	4100429.3258
235	ZEYA	4264876.8165	2374853.2996	4092559.7412
84	GIRE	4287136.2363	2368829.5027	4072327.8228
92	HAGA	4278037.0165	2349795.1553	4092343.7628
134	KOCB	4326029.9416	2277331.8270	4083233.6381
232	YIGT	4267959.1701	2368073.1015	4093037.8891
36	BAHA	4361215.1015	2213549.2515	4080651.6500
124	KIRE	4358147.3156	2241463.4917	4069862.7347
216	UKIR	4319311.1825	2260905.5713	4098903.1723
1	ONSA	3370658.6966	711876.9994	5349786.8312
3	MATE	4641949.7736	1393045.2479	4133287.3078
5	WTZI	4075578.6254	931852.6559	4801570.0213
139	KUSO	4380854.2165	2289299.8311	4017957.1187
71	EGMI	4375870.5676	2255597.6866	4042031.0632
73	ERDE	4302026.3183	2269772.1605	4111981.5279
118	KCAM	4392682.2163	2212397.3047	4049207.9664
40	BDER	4415200.3367	2171541.0922	4045227.7901
133	KOBE	4403212.7498	2254438.9767	4013836.0221
98	HOBÄ	4404365.8168	2199305.7267	4042435.5028
61	DIKI	4426456.5269	2244203.7229	3993382.2015
107	KABI	4323472.4290	2231628.6440	4110336.4379
77	EZIN	4399408.9513	2175981.0313	4059763.6544
136	KORK	4407083.3160	2170037.9803	4054739.3210
187	SEVK	4338837.6195	2199291.2907	4111601.3258
295	HEM1	4304502.9877	2172755.1727	4161513.9263
122	KEST	4408899.4694	2165327.7457	4055087.7829
142	MAER	4259824.8828	2261176.1392	4159985.7025
179	SARK	4313374.1972	2207313.5029	4134156.8505
224	YENI	4292491.3365	2224332.1784	4146730.6678
140	KVAK	4325962.2662	2191963.1093	4128893.7563
32	AYVA	4413445.9848	2220441.9478	4020487.0737
16	AKTE	4170049.6881	2468886.6133	4133203.9512
25	ANKS	4121934.2238	2652189.9315	4069034.9654
230	YIGI	4117361.7719	2517076.8960	4157679.0415
234	YUHE	4202720.5933	2390909.1808	4146118.1251
279	GAT1	4210375.4680	2374620.8737	4147650.7408
300	IGDI	4254627.9965	2377857.9451	4100425.7620
28	ARAK	4340293.7202	2231971.4729	4092545.8244
20	ALAN	4356883.1562	2260757.0804	4060033.5680
22	AMAN	4426444.3814	2166726.1523	4035481.4872
379	SAR1	4313370.1212	2207311.4798	4134161.6943
95	HEM1	4304502.8294	2172755.1324	4161513.6770
24	ANKR	4121948.6044	2652187.9613	4069023.6586
2	KIT3	1944945.3439	4556652.2161	4004325.9552
5	WTZR	4075580.7264	931853.6368	4801568.0172
4	ZIMM	4331297.2084	567555.7470	4633133.8315
424	YENI	4292490.4624	2224332.1581	4146732.3977

Tablo-A.8b: ITRF94 (1994.685) koordinat sisteminde nokta koordinatları (Birleştirilmiş)

No	İsim	Enlem			Boylam			Elip.Yük.
48	BOZT	40	33	5.594850	30	40	44.885366	815.2563
111	KARA	40	44	5.186027	30	49	35.824583	649.6765
96	HEND	40	49	42.333813	30	42	50.363356	358.1122
176	PINA	40	33	17.478194	30	51	43.817668	796.4654
219	ULUD	40	8	8.655077	29	6	7.165122	1668.8026
65	DOKU	40	44	21.381483	26	42	23.191486	132.1818
106	ITAY	41	6	16.054442	29	1	10.860282	146.0546
79	GATE	40	49	16.751057	29	25	21.466601	344.0200
128	KKAP	40	37	39.299827	30	39	19.135584	158.0658
131	KMAL	40	39	5.695881	30	44	41.621957	1218.4523
138	KTOP	40	36	51.329727	30	38	17.170435	226.2083
208	TEBA	40	23	8.683432	30	48	15.857531	984.1449
302	IKAI	41	3	49.267678	29	3	50.174172	166.9205
55	CINA	40	38	22.095846	29	8	35.266436	170.0740
167	OLUK	40	40	1.699211	29	35	6.691175	390.8365
60	DERB	40	21	41.934670	29	40	52.962829	589.0128
81	GEML	40	27	34.439610	29	8	45.867946	406.5983
53	CATA	40	11	59.092544	29	15	39.678665	360.4419
69	DTAS	40	16	13.406413	29	6	21.225355	156.2934
97	HMZA	40	9	49.830060	29	30	49.696816	310.3860
100	IGDI	40	15	46.883275	29	12	.981106	176.9031
235	ZEYA	40	9	55.339147	29	6	38.889119	813.8023
84	GIRE	39	55	48.163724	28	55	21.224161	460.2544
92	HAGA	40	10	2.764084	28	46	43.135684	207.6116
134	KOCB	40	3	30.894433	27	45	48.441823	415.4335
232	YIGT	40	10	19.728697	29	1	25.184146	663.7922
36	BAHA	40	1	45.813151	26	54	36.803858	258.9546
124	KIRE	39	53	50.153131	27	13	2.889268	969.8163
216	UKIR	40	14	43.149854	27	37	45.892410	136.9199
1	ONSA	57	23	43.070561	11	55	31.852444	45.5420
3	MATE	40	38	56.866875	16	42	16.043970	535.6675
5	WTZI	49	8	39.206604	12	52	44.041446	666.0582
139	KUSO	39	17	41.879661	27	35	24.668634	385.7496
71	EGMI	39	34	35.607254	27	16	9.886926	270.6823
73	ERDE	40	24	.870557	27	48	58.929926	79.1159
118	KCAM	39	39	10.646360	26	43	56.455670	1277.0131
40	BDER	39	36	50.856711	26	11	22.129848	243.0927
133	KOBE	39	14	39.576173	27	6	44.586262	751.8982
98	HOBİ	39	34	46.931564	26	32	6.360970	482.9423
61	DIKI	39	0	36.403195	26	53	5.669061	306.3357
107	KABI	40	22	51.566481	27	18	4.449930	53.0114
77	EZIN	39	47	6.112391	26	19	2.453793	142.4888
136	KORK	39	43	32.713734	26	12	55.914910	198.1397
187	SEVK	40	23	44.792734	26	52	47.143417	75.2230
295	HEM1	40	59	12.362943	26	46	58.688158	304.7768
122	KEST	39	43	50.704138	26	9	24.775169	75.6723
142	MAER	40	58	14.212718	27	57	36.013104	39.5510
179	SARK	40	39	41.879222	27	6	1.834561	253.4371
224	YENİ	40	48	38.653161	27	23	34.091575	294.9021
140	KVAK	40	36	2.635310	26	52	16.723285	53.0127
32	AYVA	39	19	35.044639	26	42	26.476503	116.8021
16	AKTE	40	39	2.567015	30	37	39.872908	202.9155
25	ANKS	39	53	15.042277	32	45	30.888938	974.8290
230	YİGİ	40	56	13.183941	31	26	19.674794	822.5460
234	YÜHE	40	48	10.103156	29	38	7.283617	377.6894
279	GAT1	40	49	16.674398	29	25	21.645714	344.4691
300	IGD1	40	15	46.769935	29	12	.987425	175.5166
28	ARAK	40	10	14.822168	27	12	51.252229	80.2664
20	ALAN	39	47	4.888854	27	25	28.171480	609.6097
22	AMAN	39	30	2.572016	26	4	53.602779	183.5617
379	SAR1	40	39	42.094443	27	6	1.836938	253.1417
95	HEMİ	40	59	12.360233	26	46	58.689671	304.4929
24	ANKR	39	53	14.531775	32	45	30.491760	976.0396
2	KİT3	39	8	5.158415	66	53	7.594842	622.5085
5	WTZR	49	8	39.108679	12	52	44.065519	666.0253
4	ZİMM	46	52	37.545810	7	27	54.989416	956.3430
424	YENİ	40	48	38.712245	27	23	34.107963	295.4383

Tablo-A.9 : ITRF94 hız alanı (mm/yıl)

No	İsim	Ölçü Say.	V _x V _N	σV _x σV _N	V _y V _E	σV _y σV _E	V _z V _U	σV _z σV _U	V _{xvz} Azimut
48	BOZT	2	-41.12 9.86	1.51 .27	-16.82 6.51	.89 .24	-24.63 -49.40	1.48 2.27	50.80 56.55
111	KARA	3	-47.23 9.02	.67 .13	-13.95 12.22	.40 .12	-29.18 -55.19	.66 1.01	57.24 36.42
96	HEND	2	-50.51 9.20	1.48 .26	-3.04 23.19	.88 .26	-26.70 -51.49	1.46 2.23	57.22 21.65
176	PINA	2	-44.01 8.06	1.39 .24	-18.82 6.42	.85 .23	-29.98 -55.53	1.37 2.10	56.48 51.44
219	ULUD	3	-38.64 4.36	.57 .11	-26.87 -4.68	.32 .10	-33.78 -57.58	.55 .84	57.93 137.04
65	DOKU	3	-50.49 8.12	.44 .09	-7.53 15.97	.23 .08	-31.04 -56.99	.43 .65	59.74 26.97
106	ITAY	3	-54.63 10.49	.39 .09	-9.53 18.17	.22 .08	-31.78 -60.37	.39 .59	63.91 30.01
79	GATE	1	.00 .00	131.31 131.44	.00 .00	131.31 130.93	.00 .00	131.31 131.31	.00 27.74
128	KKAP	2	-38.85 12.59	.92 .18	-13.00 8.63	.55 .15	-17.77 -41.97	.90 1.38	44.66 55.58
131	KMAL	2	-45.35 16.40	1.60 .27	-11.54 13.26	.97 .27	-16.91 -45.06	1.57 2.41	49.76 51.04
138	KTOP	2	-50.05 13.17	1.23 .22	-20.81 7.60	.73 .21	-28.67 -59.40	1.23 1.86	61.31 60.00
208	TEBA	3	-44.86 6.55	.62 .12	-24.33 2.07	.38 .11	-34.77 -61.37	.61 .93	61.75 72.45
302	İKA1	1	.00 .00	131.31 131.43	.00 .00	131.31 130.93	.00 .00	131.31 131.31	.00 39.04
55	CİNA	2	-48.02 16.58	1.59 .25	-20.59 5.41	.89 .23	-22.75 -54.25	1.55 2.37	56.99 71.94
167	OLUK	2	-42.23 14.41	1.54 .25	-15.20 7.63	.88 .23	-18.99 -45.92	1.50 2.30	48.73 62.11
60	DERB	2	-36.49 9.46	1.51 .24	-18.20 2.25	.87 .23	-22.19 -45.39	1.46 2.25	46.42 76.60
81	GEML	2	-36.57 13.98	1.47 .25	-20.34 .05	.85 .24	-17.32 -43.08	1.43 2.19	45.29 89.81
53	CATA	2	-41.75 11.39	1.60 .26	-24.71 -1.15	.91 .24	-26.08 -53.88	1.54 2.38	55.08 95.78
69	DTAS	2	-43.66 10.87	1.52 .24	-24.47 -1.14	.86 .23	-28.15 -56.38	1.47 2.25	57.42 90.74
97	HMZA	2	-52.93 12.10	1.74 .28	-29.37 .51	.98 .27	-35.25 -68.99	1.65 2.56	70.05 87.57
100	İGDI	1	.00 .00	131.31 131.45	.00 .00	131.31 130.94	.00 .00	131.31 131.31	.00 44.55
235	ZEYA	2	-40.43 8.33	1.35 .23	-17.83 4.09	.75 .20	-26.23 -50.54	1.28 1.98	51.38 63.84
84	GİRE	2	-34.78 7.77	1.44 .24	-22.19 -2.60	.81 .21	-24.33 -47.19	1.35 2.11	47.90 108.52
92	HAGA	2	-37.56 6.35	1.35 .23	-16.13 3.95	.75 .20	-26.04 -47.89	1.28 1.98	48.47 58.14
134	KOCB	2	-31.22 6.74	1.18 .20	-17.34 -8.0	.63 .18	-21.21 -40.98	1.10 1.71	41.54 96.76
232	YİGT	2	-24.04 8.89	1.38 .23	-16.99 -3.19	.76 .21	-13.07 -30.80	1.31 2.03	32.21 109.75
36	BAHA	2	-31.45 1.41	1.41 .23	-11.50 3.98	.70 .22	-26.09 -42.24	1.29 2.01	42.45 19.50
124	KİRE	2	-61.99 2.47	1.34 .22	-22.23 8.58	.68 .20	-51.37 -83.04	1.22 1.91	83.52 16.04
216	UKİR	2	-36.70 7.33	1.37 .23	-10.71 7.53	.72 .21	-22.13 -42.90	1.29 2.00	44.17 44.21
1	ONSA	3	-14.95 13.00	.01 .01	14.88 17.65	.01 .01	6.07 -1.11	.01 .01	21.95 36.37
3	MATE	3	-19.06 17.34	.01 .01	20.02 24.65	.01 .01	12.12 -1.60	.01 .01	30.18 35.12
5	WTZ1	3	-17.15 13.38	.01 .01	18.01 21.38	.01 .01	5.77 -3.95	.01 .01	25.53 32.05
139	KUSO	2	-36.96 -1.09	1.34 .23	-9.43 8.76	.70 .20	-31.79 -48.86	1.21 1.91	49.65 352.89
71	EGMİ	2	-42.26 6.68	1.70 .30	-14.92 6.10	.91 .25	-28.03 -52.08	1.59 2.47	52.86 47.64
73	ERDE	3	-35.50 9.35	.60 .12	-17.32 1.25	.32 .10	-21.32 -43.88	.57 .87	44.89 82.39

118	KCAM	2	-30.03 3.90	1.32 .22	-11.32 3.40	.65 .20	-21.38 -38.21	1.19 1.87	38.56 48.96
40	BDER	2	-46.09 -1.10	1.35 .23	-14.91 6.97	.65 .23	-39.81 -62.31	1.21 1.90	62.70 359.16
133	KOBE	2	-39.30 -1.03	1.32 .22	-13.37 6.01	.67 .20	-34.88 -53.88	1.19 1.88	54.22 350.26
98	HOB A	2	-49.20 3.88	1.25 .21	-18.44 5.49	.62 .19	-38.17 -64.59	1.14 1.78	64.94 35.27
61	DIKI	2	-32.09 -2.41	1.35 .23	-10.00 5.59	.68 .21	-29.95 -44.60	1.20 1.90	45.02 336.67
107	KABI	2	-28.70 5.16	1.01 .18	-13.73 .96	.52 .16	-20.27 -37.36	.95 1.46	37.73 79.47
77	EZIN	2	-48.77 .00	1.34 .23	-19.91 3.78	.67 .20	-43.75 -68.37	1.24 1.92	68.48 359.95
136	KORK	2	-30.79 -6.79	2.05 .32	-15.02 .13	.96 .32	-37.30 -50.18	1.78 2.84	50.64 271.07
187	SEVK	2	-33.87 4.11	1.11 .19	-13.15 3.58	.56 .18	-25.37 -43.97	1.04 1.60	44.31 48.90
295	HEMI	1	.00 .00	131.31 131.43	.00 .00	131.31 130.93	.00 .00	131.31 131.31	.00 47.13
122	KEST	2	-35.17 2.99	1.34 .23	-17.61 -3.1	.65 .21	-28.80 -48.65	1.22 1.90	48.75 95.82
142	MAER	3	-78.77 8.63	.74 .14	-12.31 26.06	.39 .12	-54.00 -92.30	.72 1.08	96.29 18.32
179	SARK	1	.00 .00	131.31 131.44	.00 .00	131.31 130.93	.00 .00	131.31 131.31	.00 48.68
224	YENI	2	-40.48 7.28	1.30 .23	-3.66 15.38	.66 .20	-22.87 -43.42	1.24 1.89	46.64 25.35
140	KVAK	2	-29.75 5.74	1.29 .22	-7.18 7.04	.64 .20	-17.98 -34.32	1.22 1.86	35.50 39.17
32	AYVA	3	-35.52 -5.1	.60 .12	-19.15 -1.15	.31 .10	-33.71 -52.57	.55 .86	52.59 204.17
16	AKTE	1	.00 .00	131.31 131.44	.00 .00	131.31 130.93	.00 .00	131.31 131.31	.00 34.04
25	ANKS	1	.00 .00	131.31 131.47	.00 .00	131.31 130.95	.00 .00	131.31 131.31	.00 43.57
230	YIGI	1	.00 .00	131.31 131.43	.00 .00	131.31 130.93	.00 .00	131.31 131.31	.00 .00
234	YUHE	1	.00 .00	131.31 131.44	.00 .00	131.31 130.93	.00 .00	131.31 131.31	.00 .00
279	GATI	1	.00 .00	131.31 131.44	.00 .00	131.31 130.93	.00 .00	131.31 131.31	.00 .00
300	IGD1	1	.00 .00	131.31 131.45	.00 .00	131.31 130.94	.00 .00	131.31 131.31	.00 .00
28	ARAK	1	.00 .00	131.31 131.46	.00 .00	131.31 130.94	.00 .00	131.31 131.31	.00 137.62
20	ALAN	2	-31.08 -1.72	.95 .18	-23.68 -6.71	.51 .14	-34.30 -51.53	.89 1.38	51.99 194.41
22	AMAN	1	.00 .00	131.31 131.48	.00 .00	131.31 130.95	.00 .00	131.31 131.31	.00 130.38
379	SAR1	1	.00 .00	131.31 131.44	.00 .00	131.31 130.93	.00 .00	131.31 131.31	.00 141.16
95	HEMI	1	.00 .00	131.31 131.43	.00 .00	131.31 130.93	.00 .00	131.31 131.31	.00 161.29
24	ANKR	1	.00 .00	131.31 131.47	.00 .00	131.31 130.95	.00 .00	131.31 131.31	.00 15.85
2	KIT3	1	.00 .00	131.31 131.49	.00 .00	131.31 130.96	.00 .00	131.31 131.31	.00 343.88
5	WTZR	1	-16.64 13.56	.01 .01	17.00 20.28	.01 .01	6.35 -3.34	.01 .01	24.62 33.76
4	ZIMM	1	.00 .00	131.31 131.25	.00 .00	131.31 130.84	.00 .00	131.31 131.31	.00 39.89
424	YENI	1	.00 .00	131.31 131.44	.00 .00	131.31 130.93	.00 .00	131.31 131.31	.00 19.47

V_x, V_y, V_z : Hız vektörünün X, Y ve Z eksenlerinde bileşeni

V_N, V_E, V_U : Hız vektörünün yerel ufuk düzleminde Kuzey, Doğu ve Yükseklik bileşenleri

V_{xyz} : Hız vektörünün toplam büyüklüğü

V_{Az} : Hız vektörüne ait hata elipsinin azimutu

Ölçü sayısı 1 olan noktalar için hız hesaplanmadığından tabloda bu noktalara ilişkin değerler anlamsızdır.

Tablo-A.10 : 1992 yılı Bernese kampanya çözümü ile sıklaştırma sonuçlarının farkı (m)

Sıra No	Nokta adı	dX	dY	dZ	dφ	dλ	dh
1	BOZT	.0036	.0078	-.0034	-.0072	.0049	.0032
2	KDER	.0023	.0082	-.0025	-.0059	.0059	.0030
3	KZIM	.0056	.0095	.0012	-.0054	.0053	.0081
4	PINA	.0023	.0112	.0007	-.0045	.0084	.0063
5	ULUD	.0044	.0102	.0010	-.0049	.0068	.0074
6	DOKU	.0030	.0072	-.0015	-.0050	.0051	.0035
7	ITAY	.0031	.0079	-.0008	-.0049	.0054	.0044
8	KKAP	.0017	.0062	-.0012	-.0039	.0045	.0027
9	KMAL	-.0003	.0083	.0028	-.0005	.0073	.0048
10	KTOP	.0067	.0149	.0076	-.0029	.0094	.0151
11	TEBA	.0074	.0095	.0027	-.0052	.0044	.0103
12	IKAN	.0028	.0066	-.0005	-.0041	.0044	.0039
13	CINA	.0273	.0369	.0256	-.0078	.0189	.0484
14	OLUK	.0244	.0325	.0209	-.0084	.0162	.0419
15	DERB	.0172	.0246	.0119	-.0085	.0129	.0284
16	GEML	.0197	.0256	.0114	-.0106	.0128	.0300
17	CATA	-.0016	-.0003	-.0110	-.0074	.0005	-.0083
18	DTAS	-.0042	.0003	-.0116	-.0066	.0023	-.0102
19	HMZA	.0017	.0099	-.0054	-.0082	.0078	.0014
20	ZEYA	.0025	.0140	.0036	-.0031	.0110	.0092
21	GIRE	.0026	.0141	.0058	-.0014	.0111	.0107
22	HAGA	.0015	.0099	.0025	-.0020	.0080	.0063
23	KOCB	.0036	.0085	.0026	-.0026	.0058	.0071
24	YIGT	-.0061	.0024	-.0035	.0000	.0051	-.0054
25	BAHA	-.0160	-.0067	-.0100	.0035	.0013	-.0197
26	KIRE	-.0051	.0004	-.0022	.0011	.0027	-.0048
27	UKIR	-.0040	.0050	.0019	.0022	.0063	.0003
28	KUSO	-.0005	.0007	.0108	.0084	.0009	.0067
29	EGMI	.0050	-.0010	.0060	.0021	-.0032	.0069
30	ERDE	-.0055	-.0133	-.0138	-.0033	-.0092	-.0174
31	KCAM	.0003	-.0086	-.0083	-.0041	-.0078	-.0081
32	BDER	-.0015	-.0094	-.0202	-.0121	-.0078	-.0171
33	KOBE	-.0050	-.0095	-.0195	-.0095	-.0062	-.0191
34	HOB A	-.0022	-.0077	-.0155	-.0085	-.0059	-.0140
35	DIKI	.0001	-.0053	-.0124	-.0082	-.0048	-.0096
36	KABI	-.0053	-.0135	-.0107	-.0011	-.0096	-.0152
37	EZIN	-.0041	-.0128	-.0113	-.0027	-.0097	-.0144
38	KORK	.0026	-.0101	-.0031	-.0010	-.0102	-.0036
39	SEVK	-.0008	-.0110	-.0070	-.0016	-.0094	-.0089
40	HEMI	-.0081	-.0153	-.0147	-.0018	-.0100	-.0203
41	KEST	-.0021	-.0088	-.0100	-.0040	-.0070	-.0108
42	MAER	.0034	-.0115	-.0025	-.0003	-.0118	-.0034
43	YENI	-.0094	-.0184	-.0155	-.0007	-.0120	-.0229
44	KVAK	-.0079	-.0165	-.0138	-.0010	-.0111	-.0200
45	AYVA	-.0015	-.0110	-.0084	-.0025	-.0092	-.0102
	N	45	45	45	45	45	45
	ORT.	.0014	.0023	-.0027	-.0037	.0011	.0001
	RMS	.0082	.0131	.0102	.0054	.0085	.0155

Tablo-A.11 : 1994 yılı Bernese kampanya çözümü ile sıklaştırma sonuçlarının farkı (m)

Sıra No	Nokta adı	dX	dY	dZ	dφ	dλ	dh
1	AKTE	-.0061	-.0050	-.0041	.0020	-.0012	-.0086
2	ITAY	-.0042	-.0040	-.0045	.0003	-.0015	-.0072
3	ULUD	-.0007	.0005	.0003	.0005	.0008	-.0001
4	BOZT	.0037	.0052	.0056	.0005	.0026	.0081
5	KZIM	.0068	.0095	.0084	-.0006	.0047	.0136
6	DERB	.0078	.0104	.0101	.0000	.0052	.0156
7	AYVA	-.0017	-.0017	-.0020	-.0001	-.0008	-.0030
8	KDER	.0058	.0060	.0061	-.0006	.0022	.0101
9	MAER	-.0036	-.0045	-.0049	-.0002	-.0023	-.0072
10	TEBA	-.0005	.0000	-.0018	-.0011	.0003	-.0015
11	KKAP	-.0009	-.0003	-.0021	-.0010	.0002	-.0021
12	KMAL	.0005	.0014	.0008	-.0001	.0009	.0014
13	PINA	.0014	.0026	.0024	.0002	.0015	.0035
14	ANKS	.0006	-.0009	.0004	.0003	-.0011	.0003
15	KTOP	-.0017	-.0032	-.0026	.0000	-.0019	-.0040
16	YIGI	-.0028	-.0067	-.0029	.0017	-.0043	-.0063
17	CINA	.0055	.0037	.0049	-.0006	.0006	.0082
18	CATA	.0037	.0038	.0054	.0008	.0015	.0074
19	GEML	.0043	.0040	.0054	.0004	.0014	.0078
20	YUHE	.0092	.0059	.0068	-.0020	.0006	.0127
21	DOKU	.0004	-.0003	-.0009	-.0008	-.0004	-.0004
22	DTAS	.0128	.0092	.0102	-.0023	.0018	.0185
23	HMZA	.0144	.0127	.0149	-.0007	.0040	.0240
24	OLUK	.0156	.0153	.0187	.0004	.0056	.0282
25	ZEYA	.0107	.0109	.0135	.0009	.0043	.0199
26	ARAK	.0048	.0042	.0046	-.0005	.0015	.0077
27	GIRE	.0087	.0097	.0111	.0006	.0043	.0166
28	BAHA	.0041	.0057	.0047	-.0004	.0032	.0078
29	KOCB	.0086	.0080	.0099	.0003	.0031	.0150
30	KABI	.0091	.0059	.0082	-.0007	.0011	.0135
31	ERDE	.0122	.0096	.0115	-.0011	.0028	.0191
32	HAGA	.0130	.0077	.0137	.0007	.0005	.0204
33	YIGT	.0108	.0077	.0122	.0008	.0015	.0179
34	UKIR	.0076	.0067	.0086	.0002	.0024	.0131
35	KIRE	.0054	.0070	.0047	-.0015	.0038	.0092
36	ALAN	-.0034	-.0037	-.0050	-.0008	-.0017	-.0068
37	BGMI	-.0017	-.0021	-.0021	.0000	-.0011	-.0032
38	KCAM	-.0046	-.0050	-.0060	-.0006	-.0024	-.0087
39	KUSO	.0031	.0055	.0025	-.0014	.0034	.0057
40	HOB A	.0027	.0051	.0021	-.0014	.0034	.0050
41	KOBE	.0071	.0110	.0071	-.0017	.0066	.0133
42	DIKI	.0028	.0052	.0034	-.0004	.0034	.0059
43	AMAN	.0062	.0039	.0037	-.0018	.0008	.0080
44	BDER	.0054	.0038	.0030	-.0018	.0010	.0069
45	EZIN	.0031	.0031	.0022	-.0010	.0014	.0046
46	KORK	.0071	.0052	.0033	-.0030	.0015	.0088
47	SEVK	.0064	.0066	.0032	-.0032	.0030	.0087
48	KEST	.0110	.0085	.0048	-.0050	.0028	.0135
49	KVAK	.0081	.0072	.0037	-.0040	.0028	.0104
50	HEMI	.0092	.0055	.0003	-.0068	.0008	.0083
51	YENI	.0043	.0015	.0011	-.0021	-.0006	.0041
	N	51	51	51	51	51	51
	ORT.	.0046	.0041	.0040	-.0008	.0014	.0071
	RMS	.0070	.0065	.0069	.0017	.0027	.0113

Tablo-A.13 : Birleştirilmiş çözüm ile 1992 yılı sıklaştırma sonuçlarının farkı(m)

Sıra No	Nokta adı	dX	dY	dZ	dφ	dλ	dh
1	BOZT	.0395	-.0019	.0300	.0013	-.0218	.0446
2	KDER	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
3	KZIM	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	PINA	.0328	-.0019	.0232	.0000	-.0185	.0357
5	ULUD	.0399	-.0216	.0102	-.0079	-.0383	.0252
6	DOKU	.0075	.0016	-.0051	-.0087	-.0019	.0023
7	ITAY	-.0004	-.0001	-.0003	.0000	.0001	-.0005
8	KKAP	.0421	.0015	.0399	.0062	-.0202	.0540
9	KMAL	.0305	.0069	.0516	.0198	-.0097	.0562
10	KTOP	.0272	-.0068	.0311	.0106	-.0197	.0354
11	TEBA	.0423	-.0185	.0271	.0032	-.0376	.0380
12	IKAN	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
13	CINA	.0469	.0095	.0523	.0100	-.0145	.0687
14	OLUK	.0576	.0180	.0578	.0054	-.0128	.0824
15	DERB	.0623	.0048	.0424	-.0043	-.0267	.0705
16	GEML	.0629	.0003	.0503	.0025	-.0304	.0745
17	CATA	.0304	-.0346	.0081	.0000	-.0450	.0126
18	DTAS	.0242	-.0340	.0033	-.0005	-.0415	.0056
19	HMZA	.0128	-.0337	-.0041	.0004	-.0356	-.0068
20	ZEYA	.0383	-.0092	.0201	-.0033	-.0267	.0351
21	GIRE	.0489	-.0186	.0244	-.0030	-.0399	.0416
22	HAGA	.0414	-.0113	.0175	-.0065	-.0298	.0349
23	KOCB	.0522	-.0194	.0218	-.0072	-.0415	.0425
24	YIGT	.0629	-.0199	.0389	.0005	-.0479	.0597
25	BAHA	.0302	-.0266	-.0052	-.0136	-.0374	.0081
26	KIRE	-.0193	-.0414	-.0484	-.0140	-.0280	-.0587
27	UKIR	.0364	-.0124	.0183	-.0032	-.0279	.0320
28	KUSO	-.0100	-.0251	-.0363	-.0151	-.0176	-.0388
29	EGMI	-.0166	-.0371	-.0310	-.0037	-.0254	-.0442
30	ERDE	-.0173	-.0471	-.0276	.0031	-.0336	-.0463
31	KCAM	.0004	-.0394	-.0339	-.0150	-.0354	-.0350
32	BDER	-.0340	-.0474	-.0819	-.0303	-.0275	-.0918
33	KOBE	-.0210	-.0419	-.0696	-.0300	-.0277	-.0733
34	HOBA	-.0398	-.0519	-.0732	-.0190	-.0287	-.0920
35	DIKI	-.0027	-.0316	-.0544	-.0318	-.0270	-.0472
36	KABI	.0037	-.0455	-.0239	-.0068	-.0421	-.0289
37	EZIN	-.0410	-.0613	-.0790	-.0198	-.0368	-.0997
38	KORK	.0001	-.0488	-.0604	-.0327	-.0438	-.0551
39	SEVK	-.0047	-.0438	-.0330	-.0096	-.0369	-.0397
40	HEMI	-.1025	-.0619	-.2380	-.1013	-.0091	-.2462
41	KEST	-.0129	-.0537	-.0483	-.0146	-.0425	-.0580
42	MAER	-.0475	-.0477	-.0561	-.0002	-.0199	-.0853
43	YENI	-.0229	-.0293	-.0315	-.0017	-.0155	-.0462
44	KVAK	-.0013	-.0356	-.0221	-.0056	-.0312	-.0275
45	AYVA	-.0004	-.0421	-.0401	-.0188	-.0374	-.0403
	N	45	45	45	45	45	45
	ORT.	.0106	-.0236	-.0119	-.0081	-.0265	-.0089
	RMS	.0360	.0317	.0527	.0197	.0296	.0617

Tablo-A.14 : Birleştirilmiş çözüm ile 1994 yılı sıklaştırma sonuçlarının farkı(m)

Sıra No	Nokta adı	dX	dY	dZ	dφ	dλ	dh
1	AKTE	-.0058	-.0023	-.0028	.0019	.0010	-.0065
2	ITAY	-.0004	-.0001	-.0003	.0000	.0001	-.0005
3	ULUD	-.0015	.0010	-.0017	-.0008	.0016	-.0017
4	BOZT	.0053	.0072	.0071	.0000	.0035	.0109
5	KZIM	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
6	DERB	.0072	.0110	.0099	.0000	.0060	.0153
7	AYVA	-.0053	-.0023	-.0042	.0004	.0003	-.0071
8	KDER	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
9	MAER	-.0028	-.0014	-.0026	.0001	.0001	-.0041
10	TEBA	.0039	.0041	-.0016	-.0047	.0015	.0031
11	KKAP	.0006	.0008	-.0004	-.0009	.0004	.0004
12	KMAL	.0022	.0019	.0018	-.0005	.0005	.0033
13	PINA	.0026	.0030	.0039	.0005	.0012	.0054
14	ANKS	-.0103	-.0034	.0017	.0080	.0027	-.0070
15	KTOP	-.0085	-.0036	.0006	.0064	.0012	-.0066
16	YIGI	-.0111	-.0077	-.0008	.0082	-.0008	-.0107
17	CINA	-.0033	.0017	.0049	.0051	.0031	.0016
18	CATA	-.0065	.0017	.0052	.0071	.0047	-.0003
19	GEML	-.0062	.0016	.0046	.0065	.0044	-.0005
20	YUHE	-.0029	.0024	.0057	.0052	.0035	.0027
21	DOKU	-.0109	-.0029	.0001	.0073	.0023	-.0083
22	DTAS	.0035	.0088	.0115	.0040	.0060	.0130
23	HMZA	.0059	.0120	.0166	.0056	.0075	.0191
24	OLUK	.0072	.0137	.0195	.0063	.0084	.0226
25	ZEYA	.0017	.0090	.0136	.0066	.0070	.0133
26	ARAK	-.0074	.0012	.0009	.0046	.0045	-.0040
27	GIRE	-.0020	.0062	.0091	.0062	.0064	.0068
28	BAHA	-.0085	.0004	.0012	.0057	.0042	-.0049
29	KOCB	-.0043	.0032	.0062	.0062	.0048	.0022
30	KABI	-.0029	.0024	.0056	.0052	.0035	.0025
31	ERDE	-.0037	-.0019	-.0043	-.0006	.0000	-.0060
32	HAGA	.0009	.0028	.0115	.0074	.0020	.0091
33	YIGT	-.0017	.0031	.0098	.0075	.0035	.0063
34	UKIR	-.0049	.0015	.0052	.0063	.0036	.0006
35	KIRE	-.0059	.0027	.0030	.0049	.0051	-.0012
36	ALAN	-.0134	-.0048	-.0043	.0057	.0019	-.0136
37	EGMI	-.0125	-.0049	-.0036	.0057	.0014	-.0126
38	KCAM	-.0162	-.0082	-.0078	.0056	.0000	-.0190
39	KUSO	-.0092	.0008	.0002	.0051	.0050	-.0059
40	HOB A	-.0091	.0003	-.0002	.0049	.0043	-.0063
41	KOBE	-.0058	.0056	.0041	.0048	.0076	.0006
42	DIKI	-.0099	.0007	.0010	.0061	.0051	-.0060
43	AMAN	-.0082	-.0008	-.0001	.0048	.0029	-.0060
44	BDER	-.0064	.0001	.0014	.0047	.0029	-.0035
45	EZIN	-.0088	-.0008	.0005	.0057	.0032	-.0060
46	KORK	-.0052	.0015	.0020	.0041	.0036	-.0018
47	SEVK	-.0061	.0020	.0008	.0035	.0045	-.0029
48	KEST	-.0015	.0047	.0029	.0018	.0049	.0024
49	KVAK	-.0048	.0022	.0009	.0028	.0041	-.0019
50	HEMI	-.0037	.0036	-.0030	-.0012	.0049	-.0032
51	YENI	-.0040	.0016	.0009	.0025	.0033	-.0015
	N	51	51	51	51	51	51
	ORT.	-.0039	.0016	.0027	.0038	.0032	-.0004
	RMS	.0066	.0046	.0060	.0048	.0039	.0079

Tablo-A.15: Birleştirilmiş çözüm ile 1996 yılı sıklaştırma sonuçlarının farkı(m)

Sıra No	Nokta adı	dX	dY	dZ	dφ	dλ	dh
1	ANKR	-.1340	-.0374	-.0931	.0138	.0411	-.1617
2	ITAY	-.0004	-.0001	-.0003	.0000	.0001	-.0005
3	AYVA	-.0543	.0402	-.0022	.0176	.0603	-.0249
4	DOKU	-.0180	.0215	-.0064	-.0007	.0273	-.0090
5	KDER	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
6	TEBA	-.0533	.0395	-.0244	-.0020	.0612	-.0353
7	ULUD	-.0573	.0509	-.0136	.0059	.0723	-.0281
8	ERDE	-.0524	.0506	-.0178	.0012	.0692	-.0288
9	ALAN	-.0648	.0485	-.0069	.0172	.0729	-.0314
	N	9	9	9	9	9	9
	ORT.	-.0483	.0237	-.0183	.0059	.0449	-.0355
	RMS	.0617	.0373	.0331	.0096	.0529	.0584

EK-B : AĞ ANALİZİ İLE İLGİLİ GRAFİKLER

Tam mertebeli Gauss-Markoff modelinin çözümü ve dengeleme sonrası hesaplanan büyüklükler aşağıda verilmektedir.

$$e + y = X\beta$$

Dengelenmiş bilinmeyen parametreler

$$\hat{\beta} = (X^T P X)^{-1} X^T P y$$

Birim ağırlıklı ölçünün dengeleme sonrası varyansı

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{e^T P e}{n - u}$$

Bilinmeyen parametrelerin varyans kovaryans matrisi

$$\Sigma_{\hat{\beta}} = \hat{\sigma}_o^2 (X^T P X)^{-1} = \hat{\sigma}_o^2 Q_{\hat{\beta}}$$

Dengelenmiş ölçülerin kofaktörler matrisi

$$Q_{\hat{y}} = X (X^T P X)^{-1} X^T$$

Düzeltilmeler vektörünün kofaktörler matrisi

$$Q_{\hat{e}} = P^{-1} - X (X^T P X)^{-1} X^T = P^{-1} - Q_{\hat{y}}$$

Serbestlik derecesi

$$\text{iz}[Q_{\hat{e}} P] = n - u = f$$

Ölçülere ilişkin kısmi serbestlik derecesi (kısmi redundans)

$$\text{diag}[Q_{\hat{e}} P] = r_i$$

$$\text{diag}[Q_{\hat{e}} P] = 1 - p_i q_{\hat{y}_{ii}} = r_i$$

Bir ölçü ile ortaya çıkarılabilecek en büyük hata miktarı (iç güven ölçütü)

$$|\nabla y_i| = \sigma_o \sqrt{\frac{\lambda_o}{(P - P X (X^T P X)^{-1} X P)_{ii}}}$$

$$|\nabla y_i| = \sigma_i \sqrt{\frac{\lambda_o}{r_i}}$$

Varyans Faktörü (σ_F)

$$\sigma_F = \sqrt{\frac{(v_{\Delta X}^2 + v_{\Delta Y}^2 + v_{\Delta Z}^2)}{(r_{\Delta X} + r_{\Delta Y} + r_{\Delta Z})}}$$

$v_{\Delta X}$, $v_{\Delta Y}$, $v_{\Delta Z}$: Bazvektör bileşenleri için düzeltmeler

$r_{\Delta X}$, $r_{\Delta Y}$, $r_{\Delta Z}$: Bazvektör bileşenleri için kısmi redundanslar

Yukarıda verilen büyüklükler hesaplanmış ve bağımsız yada birbirleriyle ilişkilendirilerek ağda bazı analizler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla her ağ için aşağıda verilen grafikler çizilmiştir (y : yatay eksen, x : düşey eksen).

- Bazvektör uzunluğuna karşılık (y) her bazvektörünün dengeleme öncesi toplam standart sapması (x) (**Şekil-B.1**).
- Noktalara karşılık (y) noktalara bağlı bazvektörlerinin dengeleme öncesi standart sapmalarının ortalaması (x) (**Şekil-B.2**).
- Bazvektör uzunluğuna (y) karşılık her bazvektörüne ilişkin hesaplanan varyans faktörü (x) (**Şekil-B.3**).

Varyans faktörü bir bazvektöründe bileşenler için hesaplanan düzeltmelerin kareleri toplamının bazvektörünün toplam kısmi serbestlik derecesine oranıdır. Bu değer ağda homojen olması beklenir.

- Bazvektörlerinin dengeleme öncesi standart sapmalarına karşılık (y) varyans faktörü (x) (**Şekil-B.4**).
- Bazvektör uzunluğuna (y) karşılık bazvektörlerinin dengeleme sonrası standart sapması (x) (**Şekil-B.5**).

Bu grafikte bazvektör uzunluğuna karşılık bazvektör bileşenlerinin dengeleme sonrası standart sapmalarının toplamı çizdirilmektedir. Böylece iki değişken arasında bir ilişkinin olup olmadığı ve dengeleme sonrası bazvektör bileşenlerinin standart sapmalarının ne düzeyde oldukları görülebilecektir.

- Bazvektör uzunluğuna (y) karşılık bazvektörü için toplam kısmi redundans (x) (**Şekil-B.6**).

Bu grafikte bazvektör uzunluğuna karşılık, o bazvektörünün bileşenlerinin kısmi redundanslarının toplamı çizdirilmektedir. Kısmi redundans bir ölçünün kontrol edilebilirliğini ve dengelemeye olan katkısını göstermektedir ve en çok 1 değerini alabilir. Bir bazvektörü için üç bileşenin toplamı olarak bu rakam 3 olabilir. Kısmi redundansların ağda belli bir değerden az olmaması ve homojen olması beklenir.

- Bazvektörlerinin dengeleme sonrası standart sapmalarına (y) karşılık bazvektörlerinde toplam redundans (x) (Şekil-B.7).

Bu grafikte her bazvektörü için bileşenlerinin dengeleme sonrası standart sapmalarının toplamına karşılık, aynı bileşenlerin kısmi redundanslarının toplamı çizdirilmektedir. Bir ölçünün dengelemeye olan katkısı veya kontrol edilebilirliği ile dengeleme sonrası elde edilecek standart sapması arasında bir ilişkinin olması beklenir. Kısmi redundans arttıkça ölçünün dengeleme sonrası duyarlılığının artması beklenir, diğer bir deyişle bir ölçünün dengelemeye katkısı veya kontrol edilebilirliği az ise dengeleme sonrası elde edilecek duyarlılık azalır.

- Bazvektörlerine (y) karşılık büyükten küçüğe sıralanmış toplam kısmi serbestlik dereceleri (x) (Şekil-B.8).
- Bazvektörlerinin dengeleme sonrası toplam standart sapmasına (y) karşılık iç güven ölçütleri (x) (Şekil-B.9).

Bu grafikte her bazvektöründe bileşenlerin dengeleme sonrası standart sapmalarının toplamına karşılık bazvektör bileşenleri için hesaplanan ortaya çıkarılabilecek en büyük hata miktarının toplamı çizdirilmektedir. Bir bazvektörünün toplam standart sapması arttıkça o ölçü ile belirlenebilecek en büyük hata miktarı da artacaktır. İç güven ölçütleri dizayn matrisine ve dengeleme öncesi birim ağırlıklı ölçünün varyansına bağlı olarak hesaplandığından dengeleme yapılmadan da belirlenebilir. Seçilen a priori varyansa bağlı olarak büyüklüğü değişebilir, bu nedenle büyüklük olarak değil a priori standart sapma ile oranı şeklinde değerlendirilmesi daha doğru olacaktır.

- Bazvektörlerinde toplam kısmi redundansa karşılık (y) bazvektörlerinin toplam iç güven ölçütleri. (Şekil-B.10).

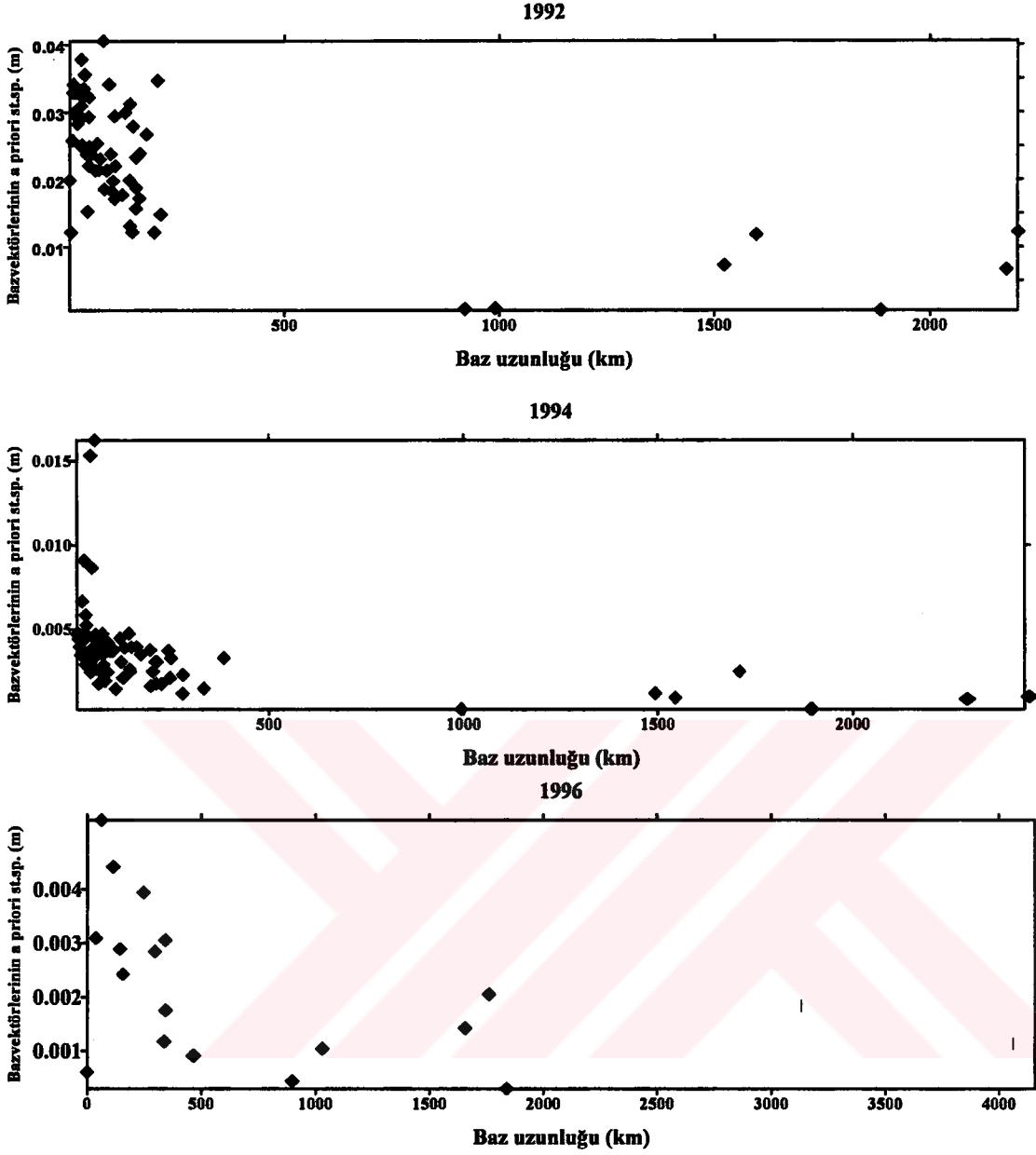
Bu grafikte bazvektörlerinde; bileşenlerine ilişkin hesaplanan kısmi redundansların toplamına karşılık bileşenler için hesaplanan belirlenebilecek en büyük hata miktarları toplamı çizdirilmektedir. Bir jeodezik ağda kısmi redundans arttıkça o ölçü ile belirlenebilecek en büyük hata miktarının azalması beklenir.

- Noktalara (y) karşılık noktalar için hesaplanan toplam redundans (x) (Şekil-B.11).

Bu grafikte her noktaya karşılık gelen ve noktaya bağlı bazvektörlerine ait kısmi redundans toplamlarının ortalaması çizdirilmektedir. Bu değerin her nokta için benzer olması ağda homojen bir yapının olduğunu gösterebilir. Bu grafikte noktalar numara sırasındadır.

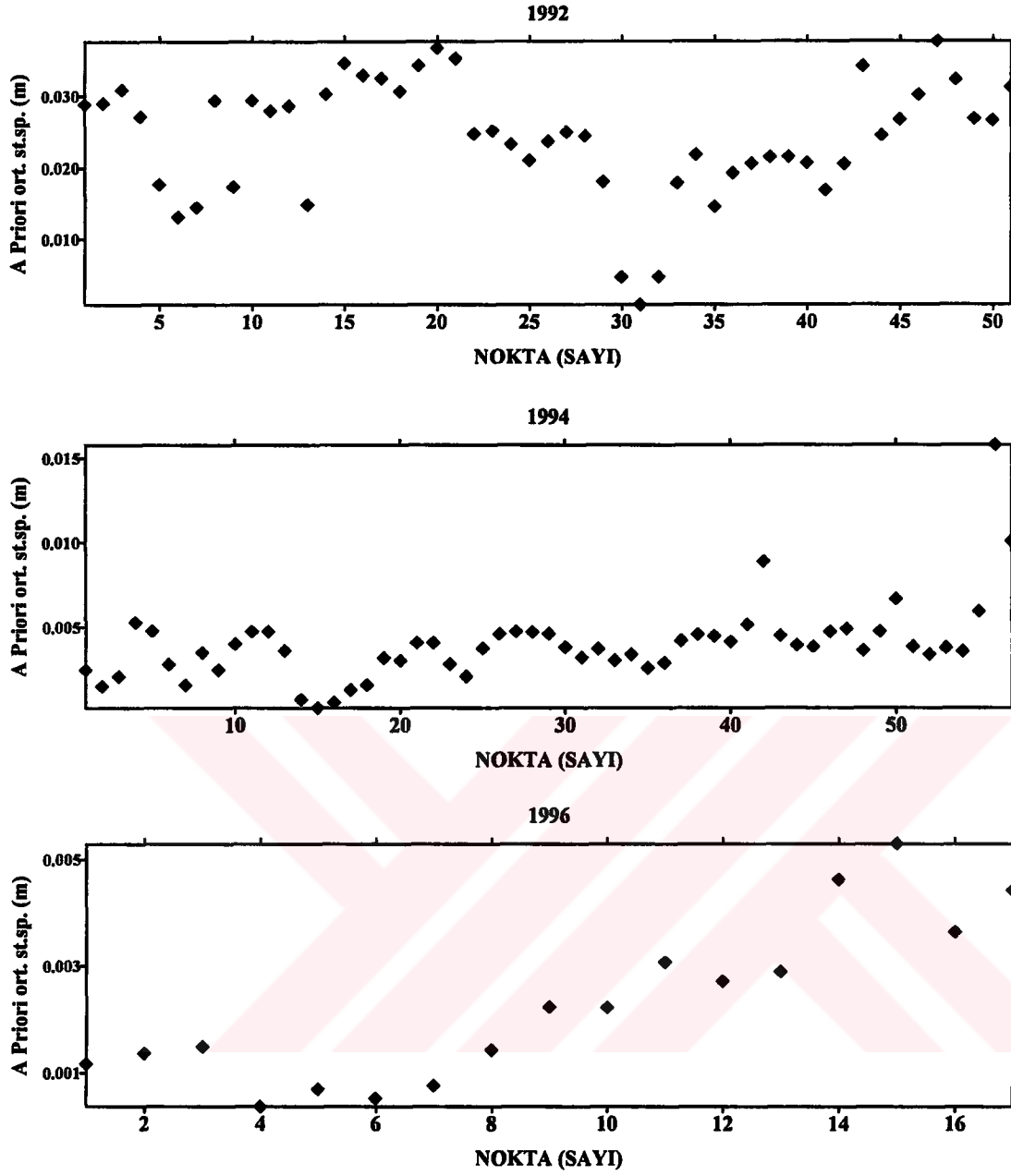
- Noktaya bağlı bazvektör sayısına (y) karşılık nokta ortalama kısmi serbestlik derecesi (x) (Şekil-B.12).
- Bazvektörlerine (y) karşılık iç güven ölçütleri toplamı (x). (Şekil-B.13).

Bu grafikte her bazvektörü için hesaplanan iç güven ölçütü toplamı çizdirilmektedir. Bu değerin ağda homojen olması beklenir. Bu grafikte bazvektörleri dengelemeye girdikleri sıradadır.



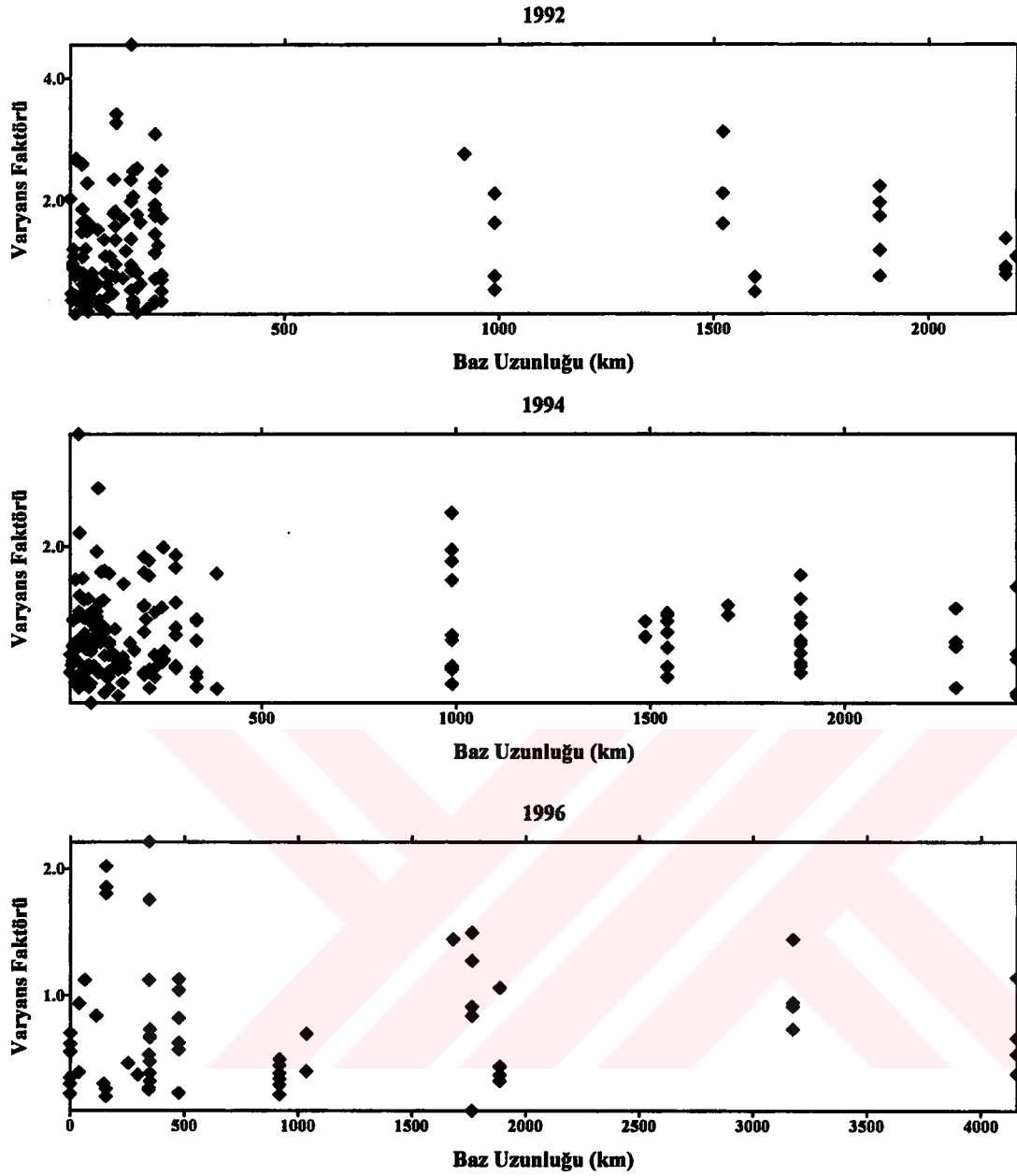
Şekil - B.1 : Bazvektörlerinin uzunluklarına (km) karşılık a priori standart sapmaları (m).

Bazvektörlerinin dengeleme öncesi standart sapmalarının bazvektör uzunluğu ile doğrusal bir ilişkisinin olmadığı gözlenmektedir. Ancak şekilden görüldüğü gibi 1992 yılından 1996 yılına gidildikçe bazvektörlerinin apriori standart sapmalarında anlamlı bir iyileşmenin olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni olarak GPS alıcılarındaki gelişmeler, IGS ürünlerinin kullanılması, uydu yörüngelerinin ve yer dönme parametrelerinin daha duyarlı bir şekilde belirlenmesi ve alıcı faz merkez kayıklıklarının modellendirilmiş olması sayılabilir. 1992 yılında 20.2 ± 9.8 mm (min: 0.6; max: 40.5) olan a priori duyarlık, 1994 yılında 2.8 ± 2.1 mm (min: 0.2; max: 16.2) ve 1996 yılında 1.6 ± 1.2 mm (min: 0.3; max: 5.3) olmaktadır.



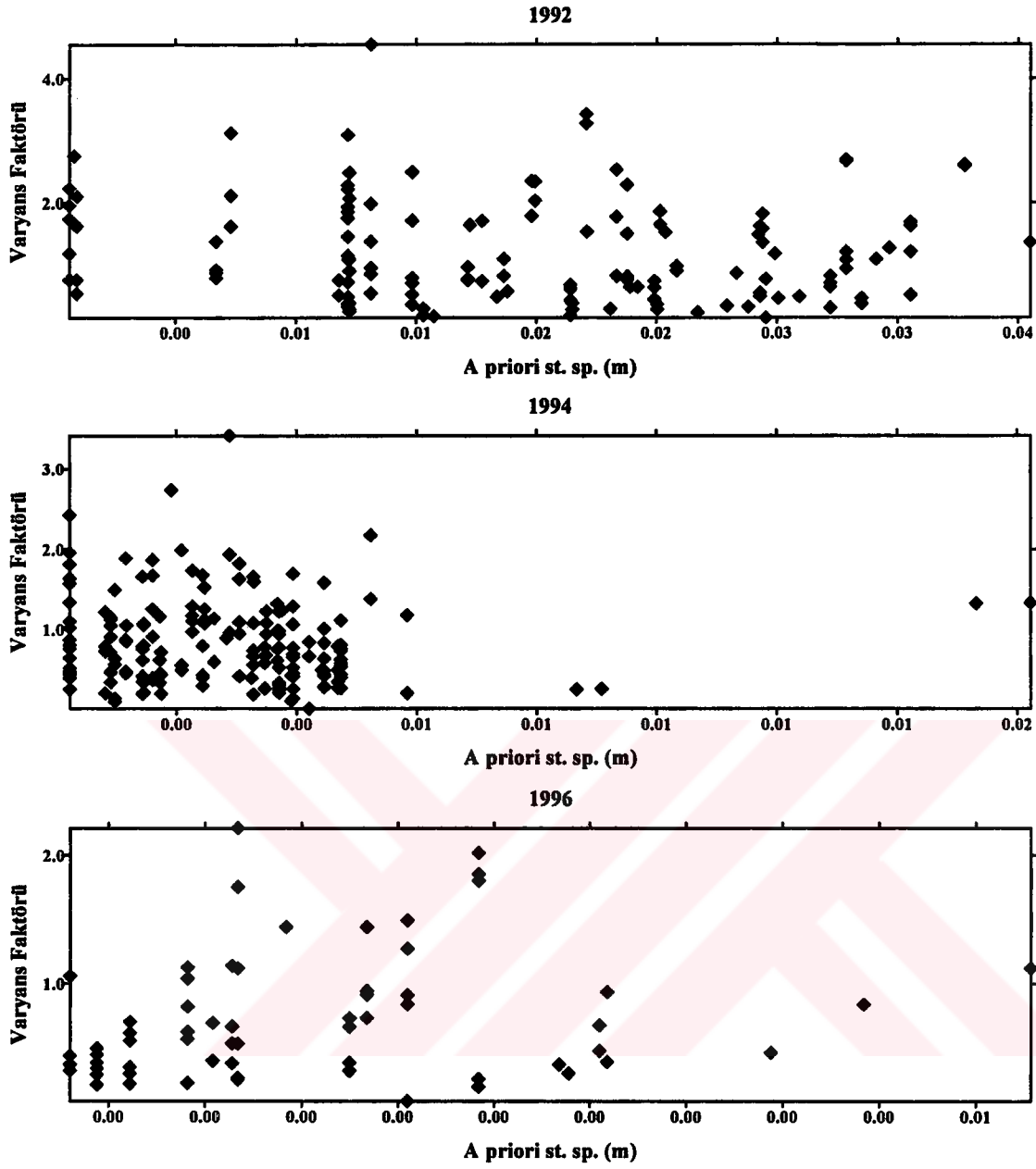
Şekil - B.2 : Noktalara bağlı bazvektörlerinin a priori standart sapmalarının ortalaması

Noktaya bağlı bazvektörlerinin toplam standart sapmasının ortalaması hesaplanmış ve her nokta için bir a priori duyarlık ölçütü belirlenmiştir. Bu değerler ağda homojen olarak dağılmalıdır. 1992 yılında noktalar için hesaplanan dengeleme öncesi duyarlık ölçütü ortalama 24.2 ± 8.2 mm (min: 0.7; max: 37.6), 1994 yılı için 3.9 ± 2.3 mm (min: 0.2; max: 15.8) ve 1996 yılı için 2.3 ± 1.5 mm (min: 0.3; max: 5.2) olmaktadır. 1992 yılından 1996'ya gelindiğinde noktaların dengeleme öncesi duyarlık ölçütlerinin Şekil-5.20.a için verilenlere benzer nedenlerle anlamlı şekilde iyileştiği gözlenmektedir



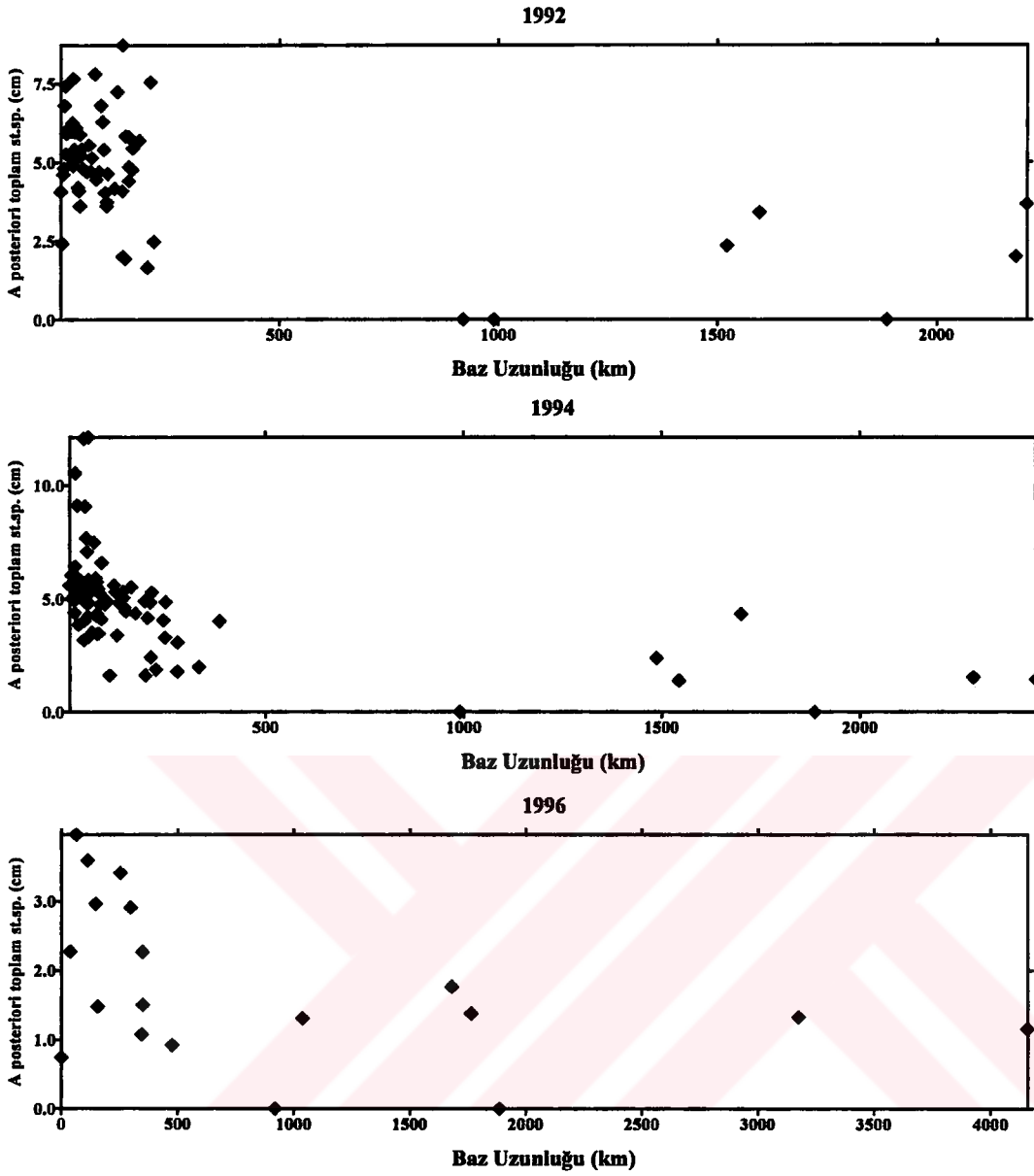
Şekil - B.3 : Bazuzunluğuna karşılık varyans faktörü

Varyans faktörünün bazvektör uzunluğuna bağlı olarak bir değişim göstermediği gözlenmektedir. Varyans faktörünün her bazvektörü için aldığı değerlerin ortalaması 1992 yılı için 1.1 ± 0.8 cm (min: 0.1; max: 4.6), 1994 yılı için 0.8 ± 0.5 cm (min: 0.01; max: 3.4) ve 1996 yılı için 0.7 ± 0.5 cm (min: 0.09; max: 2.2) olmaktadır. Görüldüğü gibi bu değer her yıl için benzer değerler almaktadır (1.1, 0.8 ve 0.7) ve her ağ içerisinde homojen bir dağılım göstermektedir.



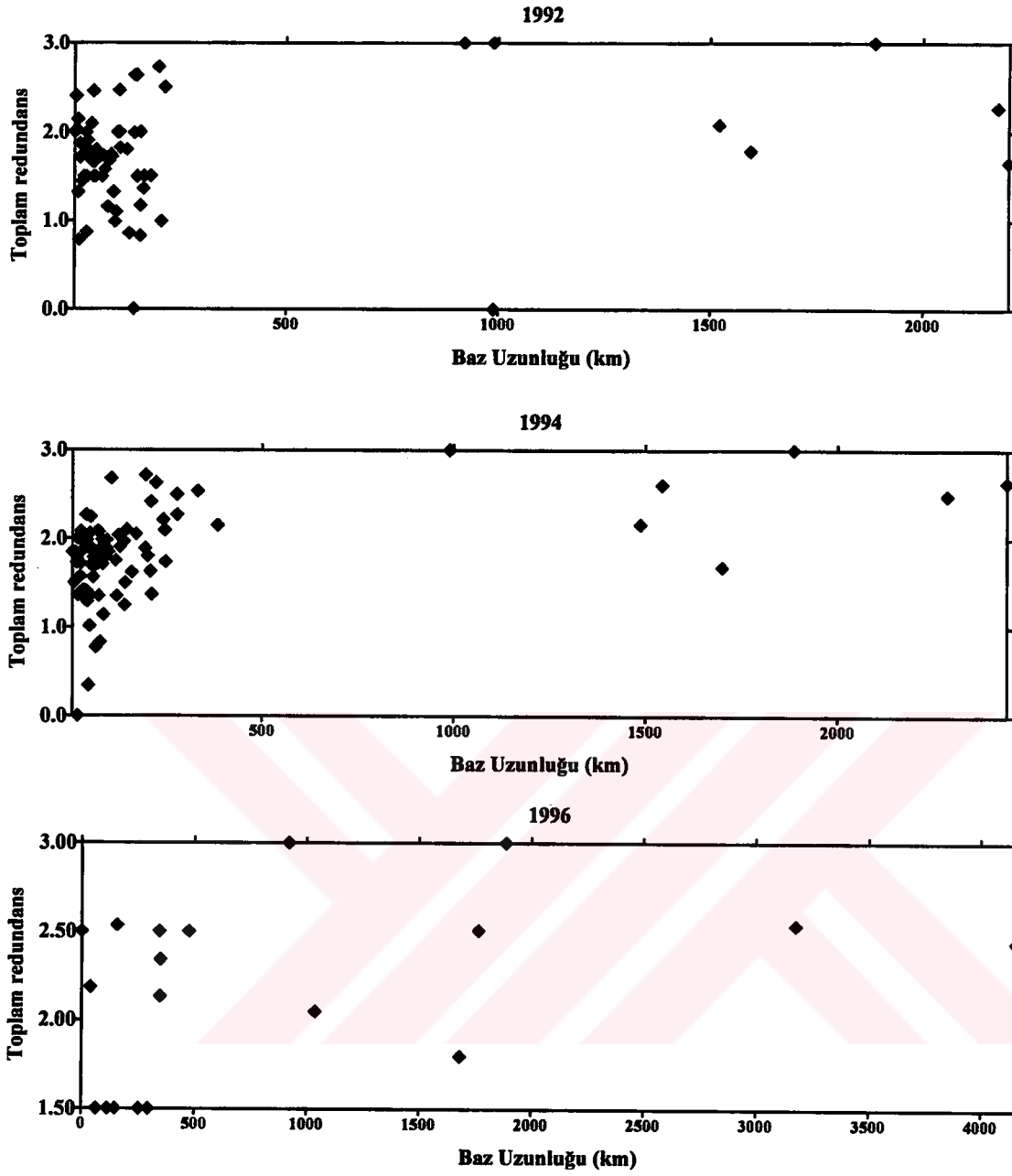
Şekil - B.4 : Bazvektörlerinin a priori standart sapmalarına karşılık varyans faktörü

Dengeleme öncesi bazvektörlerinin standart sapmaları ile doğrusal bir ilişkinin olmadığı gözlenmektedir. Ancak zamanla varyans faktöründe çok belirli olmayan bir azalma görülmektedir (1.1, 0.8 ve 0.7).



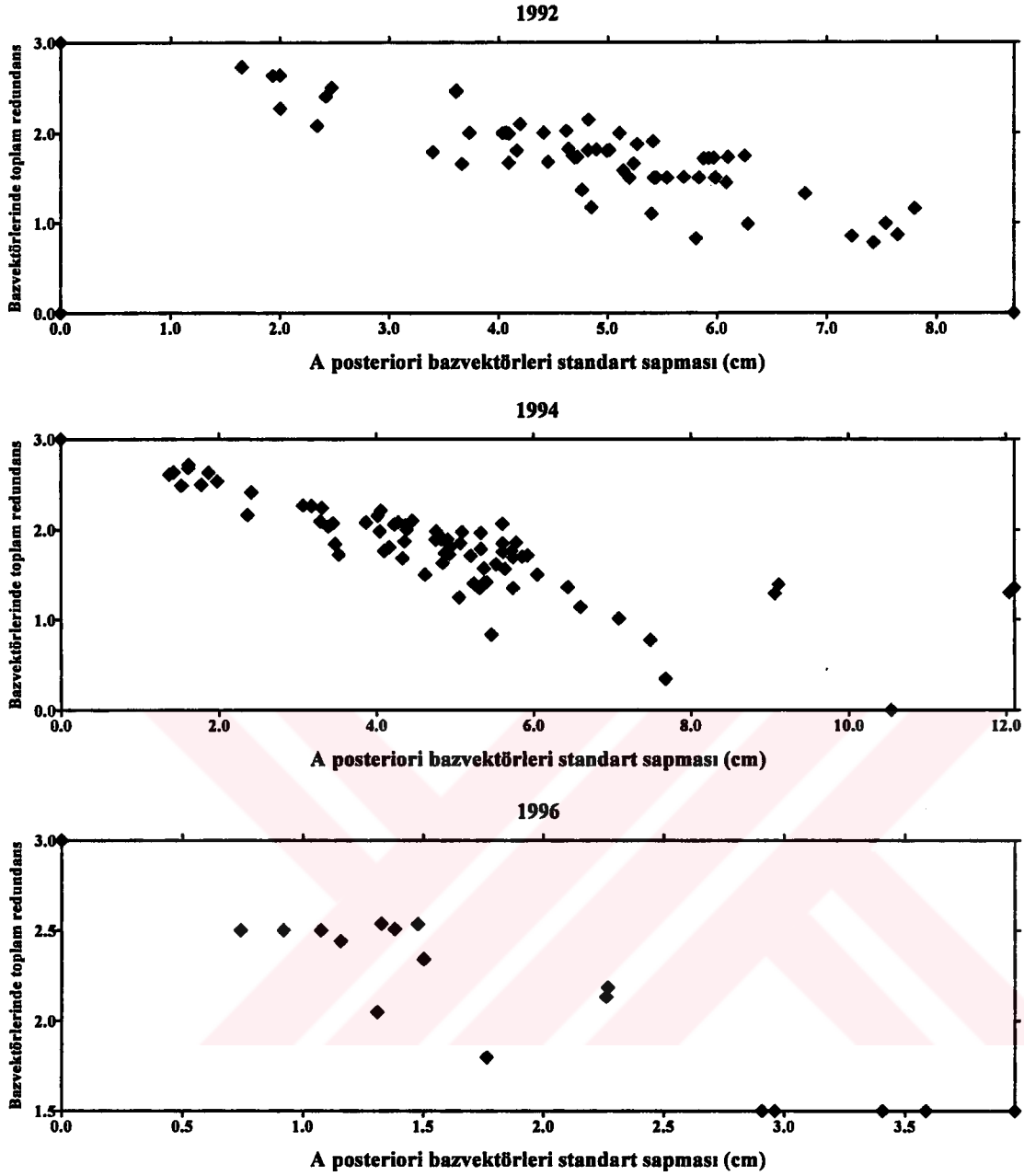
Şekil - B.5 : Bazvektör uzunluğuna karşılık bazvektörlerinin a posteriori standart sapmaları

Bazvektörlerinin dengeleme sonrası toplam standart sapmalarının 1-8 cm arasında olduğu, aralarında belirli bir ilişkinin görülmemiş olduğu ve uzun bazlarda daha küçük değerler aldığı gözlenmektedir. Bazvektörleri için standart sapma baz uzunluğuna bağlı ve bağlı olmayan iki parçada değerlendirildiğinde, uzunluğa bağlı olmayan kısmın aletlerin nokta üzerine merkezleme hatalarından kaynaklanmakta olduğu değerlendirilebilir. Uzun bazlarda IGS noktaları olduğundan ve bu noktalarda merkezleştirme problemi olmadığından (sabit istasyon ve faz merkez kayıklıkları model ile düzeltilmiştir), bu bazvektörleri için standart sapmanın küçük çıktığı değerlendirilmektedir. Dengelenmiş bazvektörlerinin standart sapmaları 1992 yılı için 3.9 ± 1.9 cm (min: 0.01; max: 8.7), 1994 yılı için 3.6 ± 2.3 cm (min: 0.01; max: 12.1) ve 1996 yılı için 1.3 ± 1.0 cm (min: 0.01; max: 3.9) olarak hesaplanmıştır.



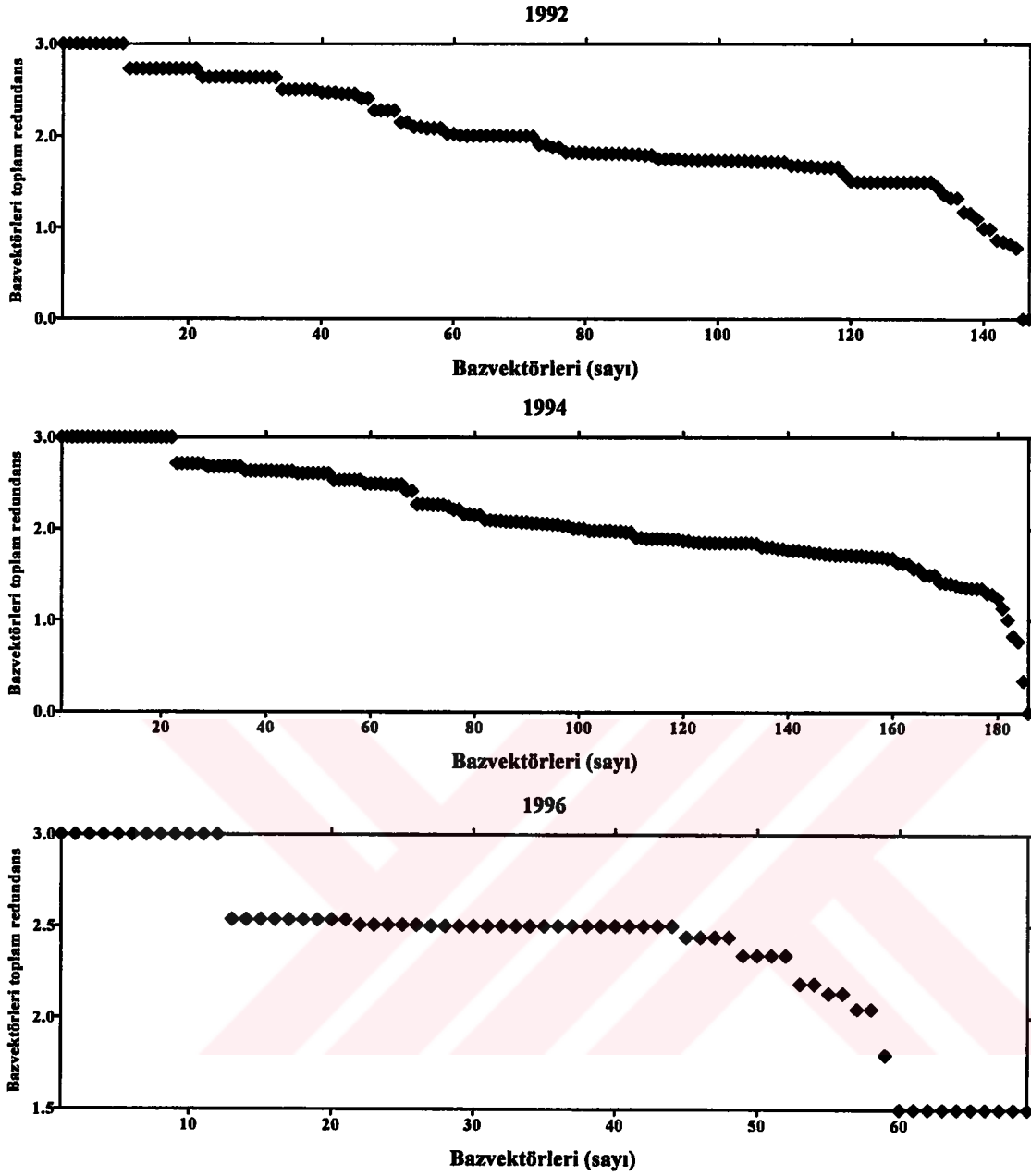
Şekil - B.6 : Bazvektör uzunluğuna karşılık bazvektörü için hesaplanan toplam redundans

Bazvektör uzunluğu ile toplam redundans arasında bir ilişkinin olmadığı gözlenmektedir. Bu sonuç ile bu çalışmada dengeleme öncesi bazvektörlerinin standart sapmalarının bazvektör uzunluğuna bağlı olmadığı onaylanmaktadır.



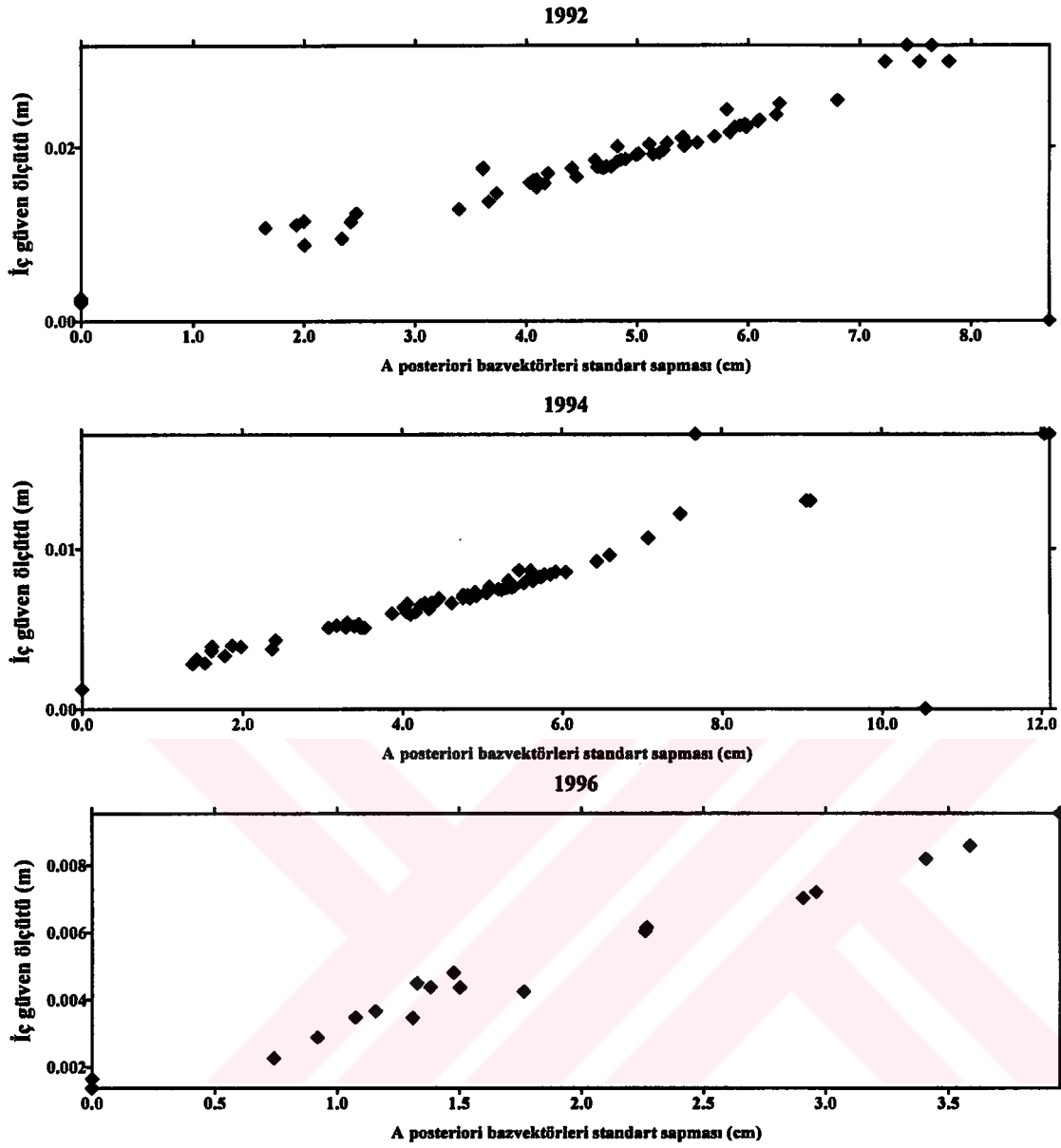
Şekil - B.7 : Bazvektörlerinin a posteriori standart sapmalarına karşılık bazvektörlerinde toplam redundans

Bazvektörlerinde toplam redundans azaldıkça dengeleme sonrası standart sapmalarının büyüdüğü gözlenmektedir. Diğer bir deyişle kısmi serbestlik derecesi az ise yani ölçünün kontrol edilebilirliği az ise dengelenmiş bazvektörlerinin duyarlılığı azalmaktadır. Üç yıl için de aynı durumun geçerli olduğu ve beklentilere uygun bir grafik olduğu değerlendirilmektedir.



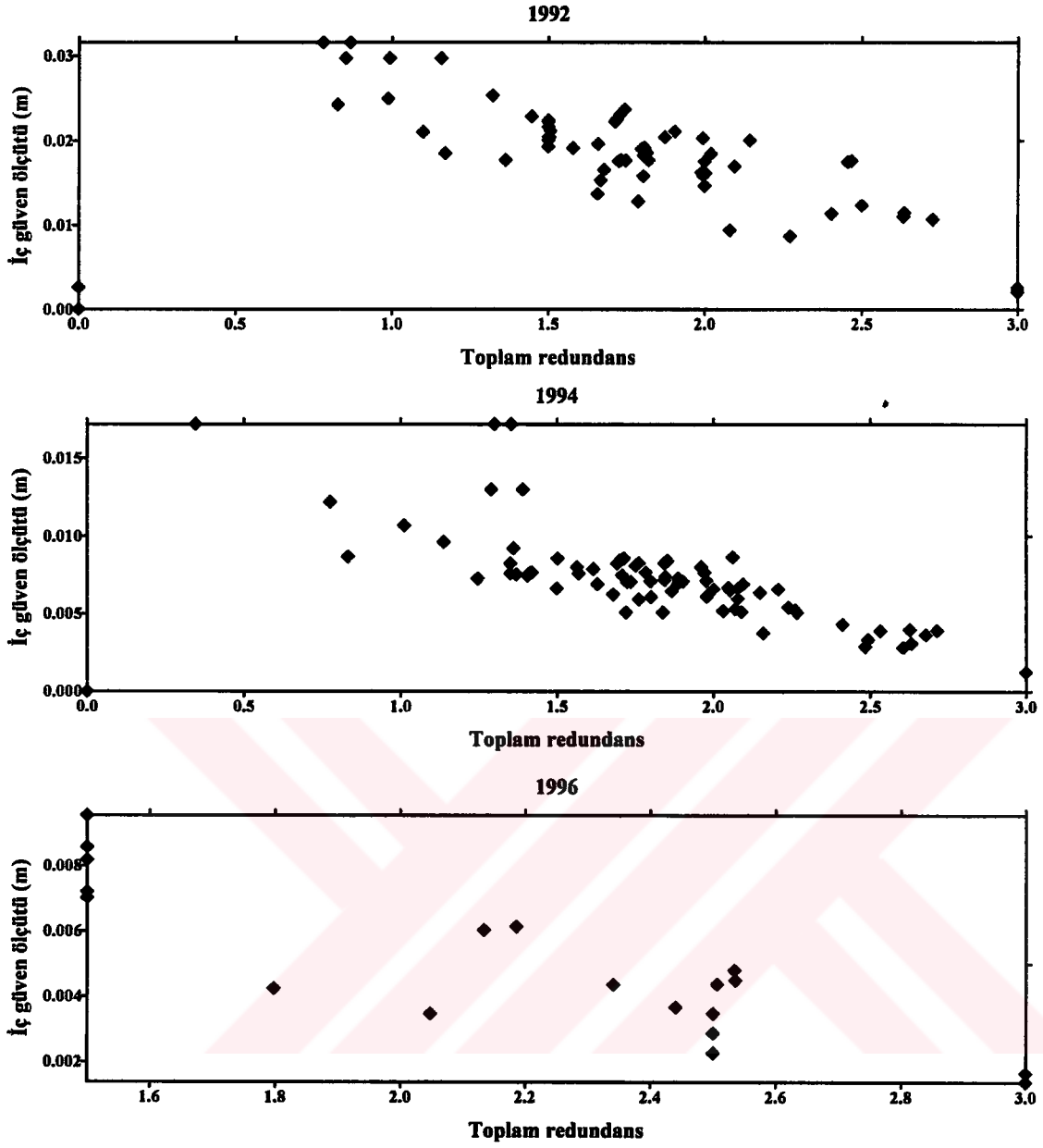
Şekil - B.8 : Bazvektörlerine karşılık toplam redundans (sıralanmıştır).

Bazvektörlerinde kısmi serbestlik derecelerinin toplamı büyükten küçüğe doğru sıralanmış olarak gösterilmektedir. Bazvektörleri için toplam redundansların ortalaması 1992 yılı için 2.0 ± 0.6 , 1994 yılı için 2.4 ± 0.6 ve 1996 yılı için 2.4 ± 0.4 olarak belirlenmiştir. Tam kontrol %100 ($r=3$) olarak değerlendirilirse yıllık ağırlarda ortalama %60 ($r=2$) kontrol sağlandığı söylenebilir.



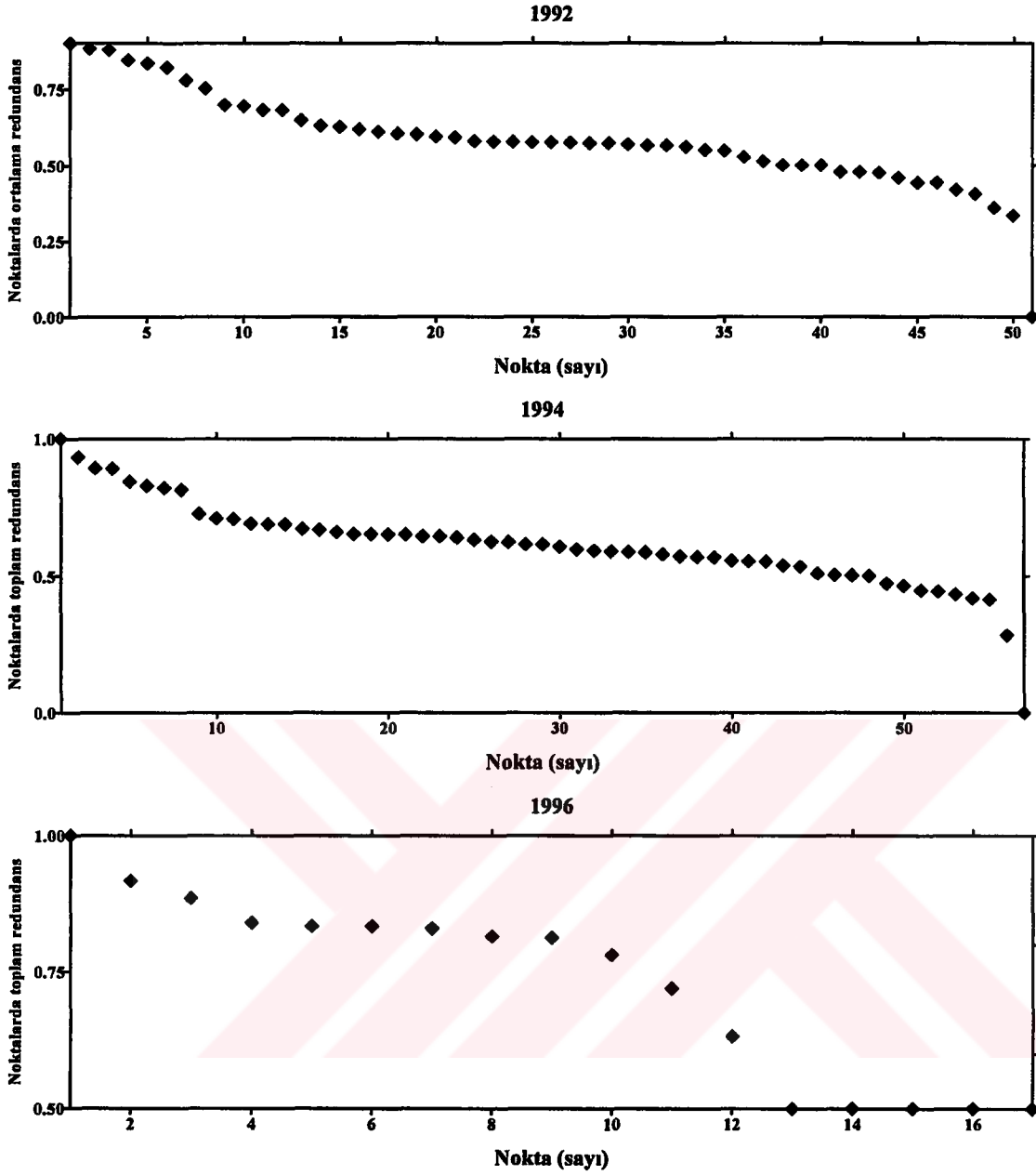
Şekil - B.9 : Bazvektörlerinin a posteriori standart sapmasına karşılık belirlenebilecek en büyük hata miktarı

Bazvektörlerinde dengeleme sonrası standart sapmaların artıkça o ölçü ile belirlenebilecek en büyük hata miktarı beklentilere uygun şekilde artmaktadır. Bu değer 1992 yılı için 16.0 ± 6.5 mm (min:0.01 ; max:31.6), 1994 yılı için 5.7 ± 2.9 mm (min:0.01 ; max:17.2), ve 1996 yılı için 4.0 ± 2.1 mm (min:1.4 ; max:9.5) olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi 1992 yılından 1996'ya doğru iç güven ölçütlerinde görünür bir iyileşme sağlanmaktadır



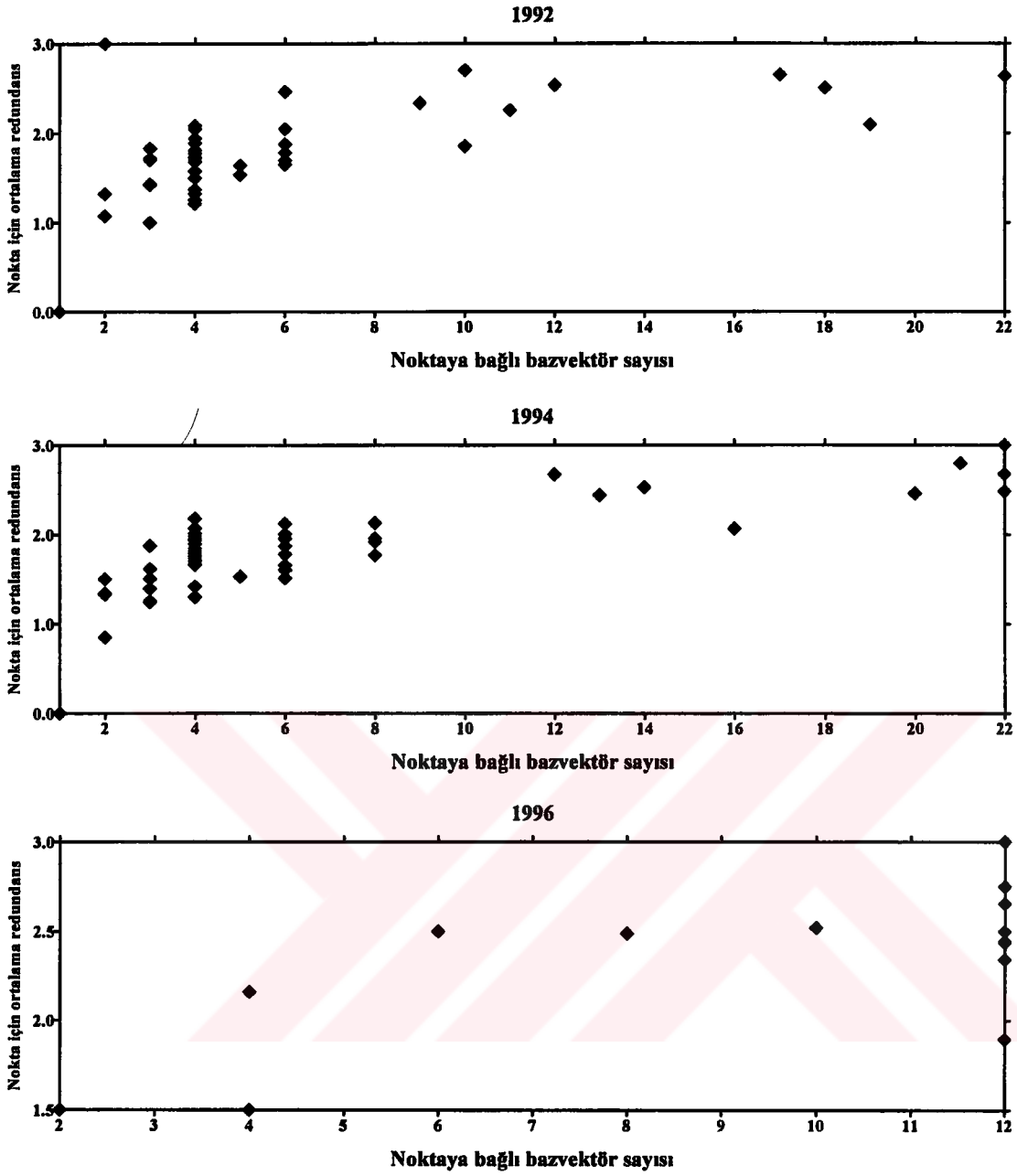
Şekil - B.10 : Bazvektörleri için hesaplanan toplam redundansa karşılık belirlenebilecek en büyük hata miktarı

Bazvektörlerinde toplam redundans arttıkça o ölçü ile belirlenebilecek en büyük hata miktarı azalmaktadır. Diğer bir deyişle bir ölçünün dengelemeye katkısı arttıkça o ölçü ile belirlenebilecek en büyük hata miktarı azalmaktadır. Dengelemeye katkısı olmayan bir ölçü ile hata belirlenemez.



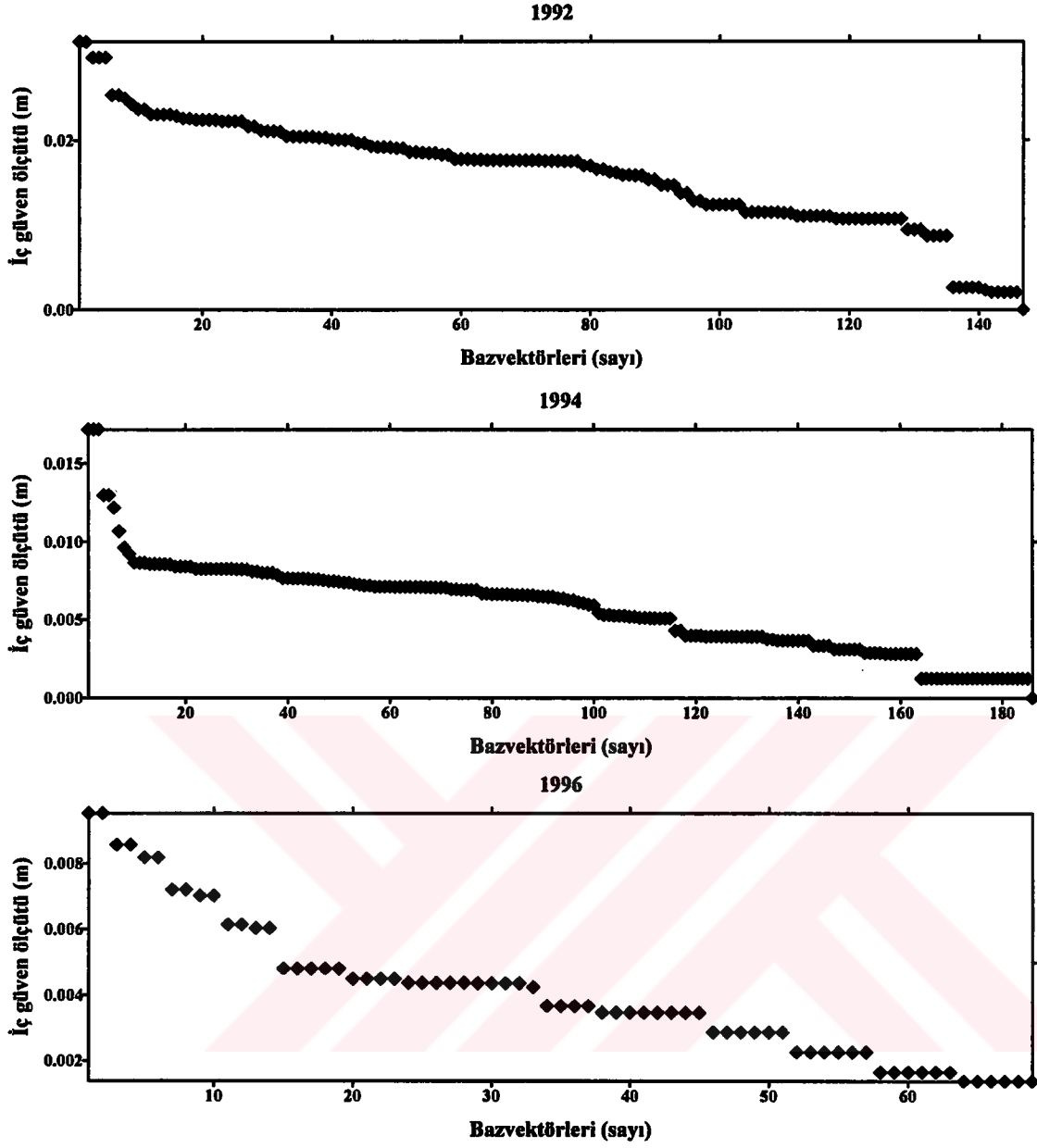
Şelil - B.11 : Noktalarda toplam redundans (sıralanmıştır).

Noktaya bağlı bazvektörlerinin kısmi serbestlik dereceleri ortalamasının ağda homojen olarak dağıldığı görülmektedir. 1992'de 0.58 ± 0.16 , 1994'de 0.61 ± 0.16 ve 1996'da 0.73 ± 0.17 olarak hesaplanan nokta kısmi serbestlik derecesi veya noktanın kontrol edilebilirliği değerinin birbirlerine yakın ve uygun kontrol sağlayacak nitelikte olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil - B.12 : Noktalara bağlı bazvektör sayısına karşılık bağlı bazvektörlerinin redundanslarının ortalaması

Noktaya bağlı bazvektör sayısının nokta toplam kısmi serbestlik derecesiyle bir ilişkisinin olmadığı görülmektedir. Buradan noktaya bağlı bazvektör sayısı kaç olursa olsun, bazvektörlerinin kısmi serbestlik dereceleri homojen dağıldığından noktalar için de bu değer homojen dağılmaktadır. Ağın herhangi bir yerinde bir kontrolsüzlük göze çarpmamaktadır.



Şekil - B.13 : Bazvektörlerinde hesaplanan belirlenebilecek en büyük hata miktarı (sıralanmıştır).

Herbir bazvektörü için belirlenebilecek en büyük hata miktarının ağda homojen olarak dağıldığı gözlenmektedir. Bu değer bu şekilde büyükten küçüğe doğru sıralanmış halde verilmektedir. Şekil-5.20.i'de sayısal değerler verilmektedir.

ÖZGEÇMİŞ

Ali KILIÇOĞLU 1964 yılında Ankara'da doğmuştur. İlk ve orta okulu Ankara'da bitirdikten sonra, Kuleli Askeri Lisesi'nden 1982 ve Kara Harp Okulu'ndan 1986 yıllarında mezun olmuştur. MSB Harita Yüksek Teknik Okulu'nda 1986-1988 yılları arasında gördüğü eğitimden sonra Harita Mühendisi ünvanını almış ve Harita Genel Komutanlığı Jeodezi Dairesi Başkanlığı'nda görevlendirilmiştir. 1995 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalında Yüksek Lisans (MSc) derecesi almıştır. Yazar İngilizce bilir, evli ve bir çocuk babasıdır.

Yazarın mesleki hayatında katıldığı çalışmalar kısaca aşağıda verilmektedir. Ülke Temel Jeodezik Ağlaronda klasik yersel ve GPS ölçmeleri, GPS ile üç boyutta nokta sıklaştırması, datum dönüşümleri, GPS ölçülerinin değerlendirilmesi, mutlak ve relatif gravite ölçmeleri ve değerlendirilmesi. Yurt dışı çalışmaları olarak 1995 yılında ETH Zürih'de GPS kampanya ölçülerinin değerlendirilmesi, 1996 yılında IfAG /Almanya'da mutlak gravite ölçülerinin değerlendirilmesi ve 1999 yılında Milano'da Uluslararası Jeoid Servisi tarafından düzenlenen Jeoid Belirleme ve Kullanımı konulu kursa katılımı sayılabilir.

Halen Harita Genel Komutanlığı, Jeodezi Dairesi Başkanlığı, Jeofizik ve Nivelman Şubesi'nde görev yapmaktadır.

