

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

**MARMARA BÖLGESİ'NDE YERKABUĞU HAREKETLERİNİN
GPS VE GRAVİTE ÖLÇMELERİ (2006-2010) İLE BELİRLENMESİ**

AYŞE SELENDİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEOMATİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. UĞUR DOĞAN**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MARMARA BÖLGESİ'NDE YERKABUĞU HAREKETLERİNİN
GPS VE GRAVİTE ÖLÇMELERİ (2006-2010) İLE BELİRLENMESİ

Ayşe SELENDİ tarafından hazırlanan tez çalışması 15.06.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Uğur DOĞAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Uğur DOĞAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Şerif HEKİMOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Rahmi Nurhan ÇELİK

İstanbul Teknik Üniversitesi

Bu alışma, TÜBİTAK-ÇAYDAG (evre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Grubu) tarafından 108Y152 numaralı TÜBİTAK 1001 projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Bu çalışmada; Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Geomatik Programı, yüksek lisans bitirme tezi çalışması olarak Marmara bölgesinin yatay ve düşey yerkabuğu hareketlerinin GPS ve mutlak gravite ile izlenmesi, gerinim miktarlarının belirlenmesi ve mutlak gravite değişimleri ile GPS verilerinden elde edilen elipsoidal yükseklik değişimlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Öncelikle bu tezin oluşturulması süresince deneyimi ve bilgisi ile yol gösteren, lisans eğitimimden bu yana sürekli daha iyiye ve daha ileriye yönelik teşviklerinden dolayı Sayın hocam Doç. Dr. Uğur DOĞAN'a sonsuz saygılar sunarım.

Bitirme çalışmam sırasında 108Y152 numaralı “ Marmara Bölgesi'ndeki Düşey Yerkabuğu Hareketlerinin Mutlak Gravite ve GPS ile Araştırılması” başlıklı TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında yüksek lisans bursu almama destek veren TÜBİTAK-ÇAYDAG'a; fikir ve yorumlarıyla tezime destek veren TÜBİTAK-MAM YDBE müdür yardımcısı Sayın Doç. Dr. Semih ERGİNTAV'a desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Proje kapsamında yapılan mutlak gravite ölçme kampanyalarında deneyimlerinden yararlanma fırsatı bulduğum TÜBİTAK-UME'den Sayın Baki KARABÖCE'ye ve zorlu arazi şartlarında desteklerini esirgemeyen TÜBİTAK-MAM'da çalışan Jeofizik Mühendisi Gökhan ARSLAN'a ve Harita Yüksek Mühendisi Ali ÖZKAN'a teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca bilgilerini, tavsiyelerini ve desteklerini esirgemeyen ekip arkadaşlarım Harita Yüksek Mühendisi Bediha ÇOLAK'a (YTÜ), Harita Yüksek Mühendisi Azer ILGAR'a (YTÜ), Harita Yüksek Mühendisi Hasan Onur ÖZDİĞER'e

(YTÜ) ve Arş. Gör. Harita Yüksek Mühendisi Deniz ÖZ'e (YTÜ) katkılarından dolayı sonsuz teşekkürler.

Üniversite eğitimim boyunca benden desteklerini esirgemeyen aileme, özellikle sabrı ve öğütleriyle beni yalnız bırakmayan annem Sema TALU'ya, zor zamanlarımda verdiği cesaret ve objektif eleştirileriyle daha iyi çalışmama teşvik eden değerli arkadaşım Arş. Gör. Harita Mühendisi Emre HAVAZLI'ya (Boğaziçi Üniversitesi) manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Haziran, 2011

Ayşe SELENDİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTIMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	3
1.3 Orijinal Katkı.....	3
BÖLÜM 2	
TEKTONİK YAPI.....	5
BÖLÜM 3	
DEFORMASYON ANALİZİ.....	9
3.1 Deformasyon Ağı.....	9
3.2 Global Eşdeğerlik Testi.....	10
3.2.1 Ağ Geometrisi Her İki Periyotta Eşlenikse Global Test.....	10
3.2.2 Ağ Geometrisi Her İki Periyotta Eşlenik Olmadığı Durumda.....	12
3.3 Konum Değişimi Anlamlı Olan Noktaların Belirlenmesi (Yerelleştirme).....	12
3.3.1 S-Dönüşümü (Similarity Transformation) Yöntemiyle Yerelleştirme.....	13
3.3.2 Maksimum Aykırılık Yöntemiyle Yerelleştirme.....	15
3.3.3 Kapalı Hipotez Yöntemiyle Yerelleştirme.....	16

BÖLÜM 4

ÜÇ BOYUTLU AĞLARDA DÖNME, BENZERLİK VE ÖZDEŞLİK TESTLERİ	18
4.1 Gerinim Analizi.....	21

BÖLÜM 5

GPS ÖLÇMELERİ VE DEĞERLENDİRMELERİ	24
5.1 GPS Ölçmeleri	24
5.2 Değerlendirme Stratejisi	27
5.2.1 Kod Ölçülerinin Ön Değerlendirmesi ve Alıcı Saat Senkronizasyonu (CODSPP)	28
5.2.2 Baz Oluşturma (SNGDIF)	29
5.2.3 Faz Gözlemlerinin Ön Değerlendirmesi (MAUPRP)	30
5.2.4 Parametre Kestirimi (GPSEST)	31
5.2.5 Düzeltmelerin Hesaplanması (GPSEST I).....	32
5.2.6 İlk Çözüm (GPSEST II)	32
5.2.7 Faz Başlangıç Belirsizliği Çözümü (GPSEST III).....	33
5.2.8 Tüm Ağ Dengelemesi (GPSEST IV)	34

BÖLÜM 6

GPS İLE HIZ VE GERİNİM ALANLARININ BELİRLENMESİ.....	37
6.1 Periyotlar Arasında Dönme, Benzerlik ve Özdeşlik Testleri	37
6.2 Periyotlara İlişkin Deformasyon Analizi ve Konum Değişim Vektörlerinin Belirlenmesi	38
6.3 Hız Kestirimi.....	43
6.4 Gerinim Alanının Belirlenmesi.....	49

BÖLÜM 7

GRAVİTE ÖLÇMELERİ VE DEĞERLENDİRMELERİ.....	60
7.1 Mutlak Gravite Ölçmeleri ve Değerlendirmeleri	60
7.1.1 A-10 Mutlak Gravite Ölçeri ve Yapısı	63
7.2 Düşey Gradyent Ölçmeleri ve Değerlendirmeleri.....	70
7.3 Bağıl Gravite Ölçmeleri ve Değerlendirmeleri.....	75
7.4 Düşey Deformasyonun Gravite ve GPS ile Belirlenmesi.....	76

BÖLÜM 8

SONUÇLAR	80
KAYNAKLAR	83

EK-A

KAMPANYA NOKTALARININ YEREL KOORDİNAT SİSTEMİNDE GÜNLÜK DEĞİŞİMLERİ	88
---	----

EK-B

GÜNLÜK ÇÖZÜMLERİN FAZ BAŞLANGIÇ BELİRSİZLİĞİ ÇÖZÜMLERİ	117
ÖZGEÇMİŞ	124

SİMGE LİSTESİ

$\delta_x, \delta_y, \delta_z$	Sırasıyla x, y, z yönündeki kartezyen koordinat değişimi
I	Ölçüler matrisi
v	Düzeltilme vektörü
A	Katsayılar matrisi
P	Ağırlık matrisi
x_i	Bilinmeyenler matrisi
x_0, y_0, z_0	Ağırlık merkezi koordinatları
u_0, v_0, w_0	Ötelenme bilinmeyenleri
ω	Dönüklük
e_{xx}, e_{yy}	Sırasıyla x ve y yönündeki genişleme
e_{xy}	Açısal bozulma
γ	Kesme gerinimi
$\gamma_1, \gamma_3, \gamma_5$	Saf kesme gerinimleri
$\gamma_2, \gamma_4, \gamma_6$	Mühendislik kesme gerinimleri
α	Anlamlılık düzeyi
d	Koordinatlara ilişkin fark vektörü
Q_{dd}	Fark vektörüne ilişkin ağırlık katsayılar matrisi
d_D	Datuma giren noktalar için koordinat fark vektörü
Q_{ddD}	Datuma giren noktaların koordinat fark vektörü için ağırlık katsayılar matrisi
x_B	İncelenen nokta koordinat vektörü
x_F	Eşlenik nokta koordinat vektörü
x_N	Eşlenik olmayan nokta koordinat vektörü
$\Delta x, \Delta y$	İki boyutlu ağlarda nokta ter değişimleri
E	Gerinim tensörü
S	Simetrik gerinim tensörü
A	Asimetrik gerinim tensörü
ϵ_{\max}	Maksimum asal gerinim
ϵ_{\min}	Minimum asal gerinim
γ_1	Saf kayma
γ_2	Mühendislik kayması
ϕ	Maksimum gerinim yönü
Δ	Alan bozulması
P_i^k	i uydusundan k alıcısına olan pseudorange mesafesi
ρ_i^k	i uydusundan k alıcısına olan geometrik mesafe
c	Işık hızı

δ_k	Alıcı saat hatası
δ^i	Uydu saat hatası
V_n, V_e, V_{up}	Sırasıyla kuzey – güney, doğu – batı ve düşey yönündeki nokta hızları
g	Gravite ivmesi
P_n	Nominal basınç değeri
P_0	Ölçülen basınç değeri
h	Noktanın elipsoit yüksekliği
C_p	Barometrik basınç düzeltmesi
δ_g	Kutup gezinmesi düzeltmesi
ω	Dünyanın açısal dönme hızı
a	Referans elipsoidin küçük yarı eksen
φ, λ	Jeodezik enlem ve boylam
g_0	Jeoit yüzeyindeki gravite değeri
H	Noktanın ortometrik yüksekliği

KISALTMA LİSTESİ

AMS	Army Maps Service (ABD)
BAF	Batı Anadolu Fay
DAF	Doğu Anadolu Fay
GB	Güneybatı
GD	Güneydoğu
GMT	General Mapping Tools
GPS	Global Positioning System
HGK	Harita Genel Komutanlığı
IGS	International GNSS Service
KAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu
KB	Kuzeybatı
KD	Kuzeydoğu
MAGNET	Marmara Sürekli GPS Ağı
MAGRANET	Marmara Mutlak Gravite Ağı
MAM	Marmara Araştırma Merkezi
MTA	Maden Teknik Arama
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
QIF	Quasi Ionosphere Free
SLR	Satellite Laser Ranging
SOPAC	Scripps Orbit and Permanent Array Center
UME	Ulusal Metroloji Enstitüsü
YDBE	Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Türkiye'nin fay hatları [25]5
Şekil 2. 2	KAFZ ve Marmara Bölgesi7
Şekil 2. 3	Marmara Bölgesi deprem haritası (2006-2010).....8
Şekil 4. 1	Deformasyon öncesi ve sonrası durum a) deformasyon öncesi b) eksenlerin " ω " açısı kadar döndürüldükten sonraki durum [48].....22
Şekil 4. 2	Gerinim elipsi. $\text{sign}\lambda_1 = \text{sign}\lambda_2$, genişlemeyi (dışarı yöndeki oklar) ve sıkışmayı (içeri yöndeki oklar) gösterir [50].....23
Şekil 4. 3	Gerinim hiperbolü. $\text{sign}\lambda_1 \neq \text{sign}\lambda_2$, bir yöndeki genişlemeyi ve bir yöndeki sıkışmayı gösterir [50].....23
Şekil 5. 1	GPS kampanya noktaları ve sürekli noktalar.....24
Şekil 5. 2	Bernese 5.0 yazılımında değerlendirme diyagramı.....28
Şekil 5. 3	2006 yılı 148. GPS günü AGOK noktasının CODSP sonucunu29
Şekil 5. 4	2006 yılının 148. GPS günü için oluşturulan bazlar30
Şekil 5. 5	Parametre kestirimi diyagramı.....31
Şekil 5. 6	2006 yılı 148. GPS günü için RSRMS sonuç dosyası32
Şekil 5. 7	2006 yılı 148. GPS günü için oluşturulan troposfer dosyası33
Şekil 5. 8	2006 yılına ait günlük tekrarlılıklar35
Şekil 5. 9	2007 yılına ait günlük tekrarlılıklar35
Şekil 5. 10	2008 yılına ait günlük tekrarlılıklar35
Şekil 5. 11	2009 yılına ait günlük tekrarlılıklar36
Şekil 5. 12	2010 yılına ait günlük tekrarlılıklar36
Şekil 6. 1	2006 - 2007 periyotları arasında noktasal yer değişim vektörleri40
Şekil 6. 2	2007 - 2008 periyotları arasında noktasal yer değişim vektörleri40
Şekil 6. 3	2008 - 2009 periyotları arasında noktasal yer değişim vektörleri41
Şekil 6. 4	2009 - 2010 periyotları arasında noktasal yer değişim vektörleri41
Şekil 6. 5	Marmara Bölgesi yatay hız vektörleri ve hata elipsleri.....45
Şekil 6. 6	Marmara Bölgesi düşey hız vektörleri45
Şekil 6. 7	Faydan olan uzaklığa göre nokta hızlarının değişimi48
Şekil 6. 8	2006, 2007, 2008, 2009 ve 2010 periyotlarına ilişkin gerinim miktarları...49
Şekil 6. 9	2006 - 2010 periyotlarında fayın üstü için maksimum asal gerinim miktarları (μstrain).....50
Şekil 6. 10	2006 - 2010 periyotlarında fayın üstü için minimum asal gerinim miktarları (μstrain).....50
Şekil 6. 11	2006 - 2010 periyotlarında fayın altı için maksimum asal gerinim miktarları (μstrain)51

Şekil 6. 12	2006 - 2010 periyotlarında fayın altı için minimum asal gerinim miktarları (µstrain).....	51
Şekil 7. 1	Marmara mutlak gravite ağı ve Bursa - Uludağ kalibrasyon bazı.....	61
Şekil 7. 2	Serbest düşme yöntemi ile mutlak gravite ölçümü.....	62
Şekil 7. 3	Sarkaç yöntemiyle mutlak gravite ölçümü.....	62
Şekil 7. 4	A-10 mutlak gravite ölçeri.....	63
Şekil 7. 5	A-10 mutlak gravite ölçerin temel yapısı.....	64
Şekil 7. 6	BTLT noktasında mutlak gravite ölçümü.....	65
Şekil 7. 7	KIRT noktasında mutlak gravite ölçümü.....	65
Şekil 7. 8	CINA noktasının setlere göre gravite değişimi.....	67
Şekil 7. 9	CINA noktasına ait set düzeltmeleri.....	67
Şekil 7. 10	TUBI noktasının setlere göre gravite değişimi.....	68
Şekil 7. 11	TUBI noktasında her bir set için elde edilen düşme ölçüleri.....	69
Şekil 7. 12	Düşey gravite gradyent ölçümlerinde kullanılan platform.....	71
Şekil 7. 13	BTLT (solda) ve HAYT (sağda) düşey gradyent ölçümü.....	72
Şekil 7. 14	UME laboratuvarında düşey gradyent ölçümü.....	72
Şekil 7. 15	Marmara bölgesinde düşey gravite gradyent değerleri.....	73
Şekil 7. 16	Marmara Bölgesi'nde ölçülen düşey gravite gradyent değerleri.....	74
Şekil 7. 17	Marmara Bölgesi'nde ölçülen gradyent noktalarının deniz yükseklikleri ...	74
Şekil 7. 18	Bağlı gravite noktaları [56].....	75
Şekil 7. 19	Scientrex CG-5 model gravite ölçer.....	76
Şekil 7. 20	HSBT noktası için gravite ve elipsoidal yükseklik ilişkisi.....	77
Şekil 7. 21	Marmara Bölgesi'nin doğu kesiminde oluşturulan 1. Profil için gravite ve GPS düşey hızları.....	77
Şekil 7. 22	Marmara Bölgesi'nin batı kesiminde oluşturulan 2. Profil için gravite ve GPS düşey hızları.....	78
Şekil 7. 23	Marmara Bölgesi'nin batı kesiminde oluşturulan 3. Profil için gravite ve GPS düşey hızları.....	78

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 5. 1 Ölçme günleri.....	25
Çizelge 5. 1 Ölçme günleri (devam)	26
Çizelge 5. 2 GPS ölçme planlaması.....	27
Çizelge 6. 1 Periyotlar arasında dönme, benzerlik ve özdeğerlik testi için kurulan dengeleme modeli sonucuna göre bilinmeyenler vektörleri.....	37
Çizelge 6. 2 Periyotlar arası ön analiz sonuçlarına göre ağın durumu.....	38
Çizelge 6. 3 Periyotlara ilişkin global eş değerlik test sonuçları.....	38
Çizelge 6. 4 Nokta hareketlerine ilişkin anlamlılık test sonuçları	42
Çizelge 6. 4 Nokta hareketlerine ilişkin anlamlılık test sonuçları (devam)	43
Çizelge 6. 5 2006 - 2010 yılları yerel koordinat sistemine göre hızlar ve standart sapmaları.....	46
Çizelge 6. 6 Anadolu ve Avrasya levhasında yer alan noktaların fay hattına olan mesafelerine ortalama hız göre değişimleri.....	47
Çizelge 6. 7 Koordinat farklarına göre sonlu elemanlar yöntemi ile gerinim analizi sonuçları	52
Çizelge 6. 7 Koordinat farklarına göre sonlu elemanlar yöntemi ile gerinim analizi sonuçları (devam).....	53
Çizelge 6. 7 Koordinat farklarına göre sonlu elemanlar yöntemi ile gerinim analizi sonuçları (devam).....	54
Çizelge 6. 8 2006 - 2010 periyotlarında gerinim parametrelerinin anlamlılık testi sonuçları	55
Çizelge 6. 8 2006 - 2010 periyotlarında gerinim parametrelerinin anlamlılık testi sonuçları (devam).....	56
Çizelge 6. 8 2006 - 2010 periyotlarında gerinim parametrelerinin anlamlılık testi sonuçları (devam).....	57
Çizelge 6. 9 2006 – 2010 yıllarına göre ortalama gerinim parametreleri	58
Çizelge 6. 10 2006 – 2009 yıllarına göre Marmara Bölgesi'nin doğu kısmı için ortalama gerinim parametreleri [24].....	58
Çizelge 6. 11 2006 – 2010 yıllarına göre Marmara Bölgesi'nin doğu kısmı için ortalama gerinim parametreleri	58
Çizelge 7. 1 Marmara Bölgesi'ndeki mutlak gravite noktalarının TUBI noktasına göre gravite değerleri	70
Çizelge 7. 2 Marmara bölgesinde ölçülen düşey gravite gradyent değerleri	73

MARMARA BÖLGESİ'NDE YERKABUĞU HAREKETLERİNİN GPS VE GRAVİTE ÖLÇMELERİ (2006-2010) İLE BELİRLENMESİ

Ayşe SELENDİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Uğur DOĞAN

Bu çalışmada, Marmara Bölgesi'nde gravite ve GPS ölçme yöntemleri kullanılarak meydana gelen yatay ve düşey yerkabuğu deformasyonlarına ve gerinim birikimine ilişkin bilgilerin sağlanması amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda uygulama için Marmara Bölgesi'nde 2006-2010 yılları arasında 12 Marmara Sürekli GPS Ağı (MAGNET) noktaları ve 47 GPS kampanya noktalarında beş periyot GPS ölçmesi gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca, 2006-2010 yılları arasında bu ağın 24 noktasında bağıl gravite ve 2009-2010 yılları arasında 10 noktasında mutlak gravite ölçmeleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen ölçüler değerlendirilmiş ve jeodezik noktaların zamana bağlı yatay ve düşey konum değişimleri belirlenmiştir. Konum değişimlerinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı deformasyon analizi ile ortaya konmuştur.

Belirlenen hız değerleri Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'nin kuzeyinde yer alan (Avrasya levhasında) noktaların yaklaşık $2-3 \pm 0.1$ mm/yıl'lık batıdan doğuya doğru yatay hareket ve yaklaşık -1 ± 0.3 mm/yıl düşey hareket ettiğini göstermiştir. KAFZ'in güneyindeki Anadolu levhasında yer alan noktaların ise saat yönünün tersi şeklinde yaklaşık 15 ± 0.1 mm/yıl'lık doğudan batıya doğru yatay hareket ve yaklaşık 1 ± 0.3 mm/yıl düşey hareket ettiğini göstermiştir.

Bölgedeki gerinim birikiminin belirlenmesi amacıyla iki boyutlu olarak gerinim parametreleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerler; Avrasya levhası için asal gerinim parametreleri $\epsilon_{\max} = 0.251 \mu\text{strain}$, $\epsilon_{\min} = -0.382 \mu\text{strain}$, $\phi = 72.925$; kayma gerinim parametreleri, $\gamma_1 = -0.167 \mu\text{strain}$, $\gamma_2 = 0.382 \mu\text{strain}$, $\Delta = -0.132 \mu\text{strain}$; dönme parametresi, $\omega = 0.264 \mu\text{rad}$ 'dır. Anadolu levhası için asal gerinim parametreleri $\epsilon_{\max} =$

$0.223\mu\text{strain}$, $\varepsilon_{\min} = -0.285\mu\text{strain}$, $\varphi^\circ = 68.338$; kayma gerinim parametreleri, $\gamma_1 = -0.009\mu\text{strain}$, $\gamma_2 = 0.216\mu\text{strain}$, $\Delta = -0.062\mu\text{strain}$; dönme parametresi, $\omega = 0.093\mu\text{rad}$ 'dır.

Ayrıca, 17 Ağustos 1999 İzmit depreminden sonra Marmara Bölgesi'nde ilk defa gerçekleştirilen mutlak gravite ve düşey gradyent ölçmeleri ile bölgeye ilişkin düşey deformasyonlar belirlenmiş ve GPS ölçülerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yerkabuğu hareketi, gerinim, Marmara Bölgesi, GPS, mutlak gravite, düşey gradyent, bağıl gravite.

**DETERMINING OF THE CRUSTAL MOVEMENTS IN
MARMARA REGION WITH GPS AND GRAVITY
MEASUREMENTS (2006-2010)**

Ayşe SELENDİ

Department of Survey Engineering

MsC. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Uğur DOĞAN

The aim of this study is to provide informations about the horizontal and vertical crustal deformations and strain accumulation by using gravity and GPS measurements in Marmara Region.

For this purpose, between 2006 and 2010, five periods of GPS campaigns are performed in Marmara Region. The network consists of 59 stations, 12 of them belong to (MAGNET) Marmara Continuous GPS Network and 47 of them are GPS campaign stations.

Also, between 2006 and 2010, relative gravity measurements are carried out at 24 of the stations and absolute gravity measurements are carried out in 2009 and 2010 at 10 of the stations. The measurements are evaluated and time-depended horizontal and vertical changes are determined. The significant changes are determined by deformation analysis.

Determined velocity values show that the stations of the north side of KAFZ (Eurasian plate) move from west to east approximately $2-3\pm 0.1$ mm/yr in horizontal motion and approximately -1 ± 0.3 mm/yr in vertical motion. The stations of the south side of KAFZ (Anatolia plate) move from east to west as counter clockwise approximately 15 ± 0.1 mm/yr in horizontal motion and approximately 1 ± 0.3 mm/yr in vertical motion.

Applied strain analyse in two dimension indicates significant strain accumulation in the area. The values obtained from strain analyse are: principal strain parameters, $\epsilon_{\max} = 0.251\mu\text{strain}$, $\epsilon_{\min} = -0.382\mu\text{strain}$, $\phi^{\circ} = 72.925$; share parameters, $\gamma_1 = -0.167\mu\text{strain}$, $\gamma_2 = 0.382\mu\text{strain}$, $\Delta = -0.132\mu\text{strain}$; rotation parameter, $\omega = 0.264\mu\text{rad}$ for Eurasia plate

and principal strain parameters, $\varepsilon_{\max} = 0.223\mu\text{strain}$, $\varepsilon_{\min} = -0.285\mu\text{strain}$, $\varphi^\circ = 68.338$; shear parameters, $\gamma_1 = -0.009\mu\text{strain}$, $\gamma_2 = 0.216\mu\text{strain}$, $\Delta = -0.062\mu\text{strain}$; rotation parameter, $\omega = 0.093\mu\text{rad}$ for Anatolia plate in five periods.

Also, the vertical deformations are determined by using absolute measurements, which are the first results, and at the same time the vertical gradient measurements are determined by using relative gravimeters after 17 August 1999 Izmit earthquake in Marmara Region and compared with results of GPS measurements.

Key Words: Crustal movements, strain, Marmara Region, GPS, absolute gravity measurements, vertical gradient, relative gravity measurement.

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Jeodezik ölçme yöntemleri; deformasyon araştırmaları, yerkabuğundaki gerilmelere ve depremlere sebep olan yerkabuğu hareketlerinin yönü, büyüklüğü ve yeri ile ilgili bilgilerin elde edilmesinde sıkça kullanılmakta ve güvenilir sonuçlar vermektedir [1], [2]. Jeodezik ölçme yöntemlerinden biri olan GPS (Global Positioning System)'in kullanımı ile yüksek doğruluklu veriler (baz bileşenleri ya da nokta koordinatları) elde edilmektedir [1]. GPS ölçmeleri fay boyunca gerinim değerlerinin hesaplanmasında kullanımının yanı sıra deprem potansiyelinin olduğu varsayılan tektonik gerinim oranlarını hesaplamak için de önemli bir ölçme yöntemidir [3].

GPS ölçmelerinin hassasiyeti, noktaların bulunduğu jeodezik referans koordinatlarına göre, toplanan verinin kalitesine ve ölçme süresine bağılı olarak milimetre mertebesine ulaşmaktadır [4-5-6].

Diğer bir jeodezik ölçme yöntemi olan gravite (mutlak ve bağılı), düşey deformasyon ölçümlerinde etkili bir yöntem haline gelmiştir [7-8]. GPS ile birleştirildiğinde gravite ölçmelerinin düşey yeryuvarı hareketlerinde ve yeraltı kütle değişimlerinde önemli derecede bilgi sağladığı görülmektedir [9]. Günümüzde gravite ölçmeleri ile arazide birkaç μGal hassasiyetinde sonuçlar elde etmek mümkündür [10].

Marmara Bölgesi tektonik olarak oldukça aktif bir bölge olup meydana gelen 1999 İzmit (M_w 7.4) ve Düzce (M_w 7.1) depremleri Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'nin kuzey kolu boyunca uzanan 150 km lik parçasını kırmıştır [11]. Meydana gelen bu depremlerin öncesinde ve sonrasında Marmara Bölgesi'ne ait yatay ve düşey yerkabuğu deformasyonlarını belirlemek amacıyla GPS ve gravite ağıları kurularak birçok çalışma gerçekleştirilmiş ve sonuçlar analiz edilerek deformasyonların geometrik özelliklerine

ilişkin irdelemeler yapılmıştır [12-13-14-15]. Ayrıca, 17 Ağustos 1999 İzmit depreminden önce ve sonra yapılan GPS ölçüleri ile depremin yüzeyde yarattığı yer değiştirmeler yüksek duyarlılıkla belirlenmiş ve ters modelleme ile bu yer değiştirmelere en iyi uyan deprem kaynak mekanizması belirlenmiştir [12-16].

Marmara Bölgesi'nin doğu kesimindeki hareketler için 17 Ağustos 1999 İzmit depreminden önce Straub [17] çalışmasında, 1990, 1992 ve 1994 yıllarında elde edilen jeodezik verilerden 20mm/yıl; McClusky vd., [18], 1988-1997 yıllarında toplanan verilerle KAFZ boyunca 25mm/yıl; Ayhan vd., [19], 1992-1999 yılları arası İzmit'in çevresi için yaklaşık 11-26mm/yıl; Meade vd., [20], KAFZ'nin kuzey ve güney kıyısında 23-27mm/yıl ve 2-12mm/yıl; Denli, [21], KAFZ'nin batısında 1990 ve 1992 yılına ait kampanya verilerini kullanarak 11.3-16.9mm/yıl hız oranları belirlenmiştir. Depremden sonra yapılan çalışmalarda; 17 Ağustos 1999 İzmit depremi sonrasında ilişkin dört periyotluk GPS ölçmeleri (1999-2001) ile KAFZ'nin Gölcük-Mudanya arasında kalan kesiminde Kalman Filtreleme yöntemi kullanılarak en uygun hız modeli araştırılmış ve zamana bağlı modeller ile depremin etkisiyle oluşan deformasyonlar için doğrusal olmayan hız modelleri uygun çıkmıştır [15]. Sorensoy vd., [22], 2002, 2003 ve 2004 yıllarına ait GPS verilerinden 24mm/yıl bir hız oranı bulmuştur. Ergintav vd., [14]'te 1999 – 2005 yılları arasında gerçekleştirilen GPS ölçmeleri sonucunda bölgenin doğu kesiminde oluşturulan bir profilde fayın kilitli olduğu derinlik 3 ± 1.5 km, hız 24 ± 4 mm/yıl olarak hesaplanmış ve bölgenin batısında oluşturulan profilde ise Ganos Fayı için kilitli derinlik 17 ± 10 km ve hız 18 ± 7 mm/yıl bulunmuştur.

1999 ve 2006 yıllarında tekrarlı GPS ölçmeleri ile gerinim analizi yaparak Marmara Ereğlisi ve İzmit çevresinde en yüksek değerleri bulunurken İstanbul ve çevresinde daha düşük değerler gözlenmiştir [23]. Marmara Bölgesi'nin doğu kesiminde 2006-2009 yılları arasında dört periyot gerçekleştirilen GPS ölçmelerinden elde edilen sonuçlara göre ise KAFZ'nin kuzey kısmı yaklaşık $2-5\pm 0.6$ mm/yıl'lık bir hareketle batıdan doğuya doğru, güney kısmı yaklaşık $15-23\pm 0.6$ mm/yıl'lık bir hareketle doğudan batıya doğru hareket etmektedir. Ayrıca, bölgede yapılan gerinim analizine göre bölgede anlamlı bir gerinim birikiminin olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre KAFZ'nin kuzeyi için 0.197μ strain genişleme miktarı, -0.208μ strain sıkışma miktarı görünürken, dönüklük kuzey yönünde 50.78° ; KAFZ'nin güneyinde ise 0.200μ strain genişleme miktarı, -0.271μ strain sıkışma miktarı görünürken dönüklük kuzey yönünde 55.19° dir [24]. Ayrıca, Ergintav vd., [25]'te 17 Ağustos 1999 İzmit depreminden yedi yıl sonra

elde edilen GPS ölçmelerinden ve Ankara GPS noktasına göre KAFZ boyunca deprem sonrası 10-12mm/yıl hız değerleri belirlenmiştir.

Marmara bölgesinde yerkabuğunun içindeki düşey deformasyonlara ilişkin bilgi edinilmesini sağlayan gravite alanındaki değişimlerin belirlenmesi ise 1985-1995 yılları arasında KAFZ'ın batı bölümünde kurulan jeodezik ağda yapılan gravite ölçmeleri ile sınırlı kalmıştır [26-27-28-29-30-31].

KAFZ'ın batı kısmında 1999 depremlerinin sebep olduğu deprem sonrası deformasyonların, düşey bileşene etkisinin daha iyi anlaşılması için 2003-2005 yılları arasında bağıl gravite ve GPS çalışmaları yapılmış ve gravite ile GPS değişimleri karşılaştırılarak beklenen negatif korelasyonlar belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bölgede 10-40 $\pm 5\mu\text{Gal}$ arasında gravite değişimi saptanmıştır [9]. Ayrıca yine bu sonuçlar doğrultusunda, ağın batı ve doğu kısımlarında yükseklik, gravite ve potansiyel değişimlerinin farklı olduğu gözlenmiştir [14-32].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, Marmara Bölgesi'nde gravite ve GPS ölçme yöntemleri kullanılarak meydana gelen yatay ve düşey yerkabuğu deformasyonlarına ve gerinim birikimine ilişkin bilgilerin sağlanmasıdır.

1.3 Orijinal Katkı

Tezin amacı kapsamında; "Marmara Bölgesi'ndeki Düşey Yerkabuğu Hareketlerinin Mutlak Gravite ve GPS ile Araştırılması" (108Y152 nolu TÜBİTAK 1001 Projesi) ve "Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik- ancak tektonik rejimleri farklı – Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması" (105G019 nolu TÜBİTAK 1007 projesi) başlıklı TÜBİTAK projeleri kapsamında TÜBİTAK-MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü ve Yıldız Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü tarafından gerçekleştirilen Marmara Bölgesi için 2006 yılı başlangıç olmak üzere 2007, 2008, 2009 ve 2010 yıllarında beş periyot GPS ve bağıl gravite ölçmeleri; Haziran 2009 başlangıç olmak üzere Ekim 2009, Haziran 2010 ve Ekim 2010 yıllarında ise Mutlak Gravite ölçmeleri kullanılmıştır.

Toplanan GPS kampanya ölçmeleri için 12 tanesi Marmara Sürekli GPS Ağı (MAGNET) ve 47 tanesi de Marmara Bölgesi GPS kampanya noktası olmak üzere

toplam 59 nokta kullanılmıştır. Ayrıca, bu ağın 24 noktasında bağıl gravite ve 2009-2010 yılları arasında 10 noktasında ise mutlak gravite ölçmeleri yapılmıştır.

Bu çalışmada GPS verilerinin değerlendirilmesinde Bern Üniversitesi (İsviçre) tarafından geliştirilen BERNESE 5.0 [33] akademik yazılımı; mutlak gravite verilerinin değerlendirilmesinde Micro-g Solutions Inc. tarafından geliştirilen Windows ve DOS tabanlı bir yazılım olan ve Olivia işletim sistemi ile kullanılan Micro-g8 yazılımı [34] ve bağıl gravite ölçülerinin değerlendirilmesinde GravAP yazılımı [35] kullanılmıştır.

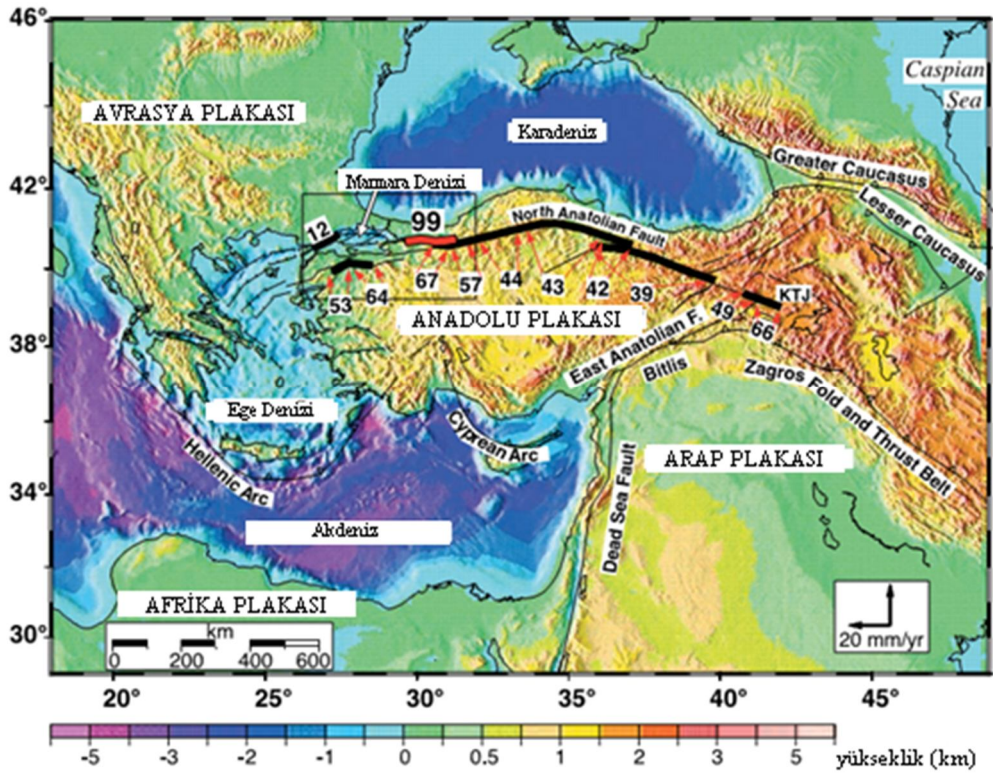
Türkiye'nin genel tektonik yapısı ve Marmara Bölgesi'nin tektonik yapısı Bölüm 2'de; bölgeye ait deformasyonların belirlenmesinde kullanılan yöntemler Bölüm 3'te; gerinim alanlarının belirlenmesi amacıyla kullanılan yöntem Bölüm 4'te; GPS ölçmeleri ve değerlendirme stratejisi Bölüm 5'te; belirlenen hız alanları ve gerinim noktalarıyla ilişkili sonuçlar Bölüm 6'da; gravite ölçmeleri, değerlendirme stratejileri, uygulamalar ve GPS ölçülerinden elde edilen sonuçları ile irdelemeler Bölüm 7'de; sonuçlar ise Bölüm 8'de verilmektedir.

Elde edilen sonuçların gösteriminde Wessel ve Smith (1995) tarafından bilimsel amaçlı kullanıcılara ücretsiz sağlanan Generic Mapping Tools (GMT) yazılımı ve Matlab2010Ra programları kullanılmıştır.

BÖLÜM 2

TEKTONİK YAPI

Türkiye, Afrika ve Avrupa tektonik levhalarının Avrasya tektonik levhası ile çarpışma bölgesinde yer alıp; yatay ve düşey yer kabuğu hareketlerinin yoğun olarak gözlemlendiği dinamik bir tektonik yapıya sahiptir. Temelde üç fay hattına sahiptir (Şekil 2.1). Saros körfezinden Marmara Denizi, Sapanca Gölü, Adapazarı, Tosya ve Erzincan üzerinden Van Gölüne kadar uzanan KAFZ; Hatay'dan Kahramanmaraş, Adıyaman, Malatya ve Elazığ ovalarından geçerek Bingöl'e kadar giden Doğu Anadolu Fay (DAF) hattı ve son olarak Ege Bölgesi'nde kuzeyden güneye doğru uzanan birden fazla fay hattından oluşan Batı Anadolu Fay (BAF) hattıdır.

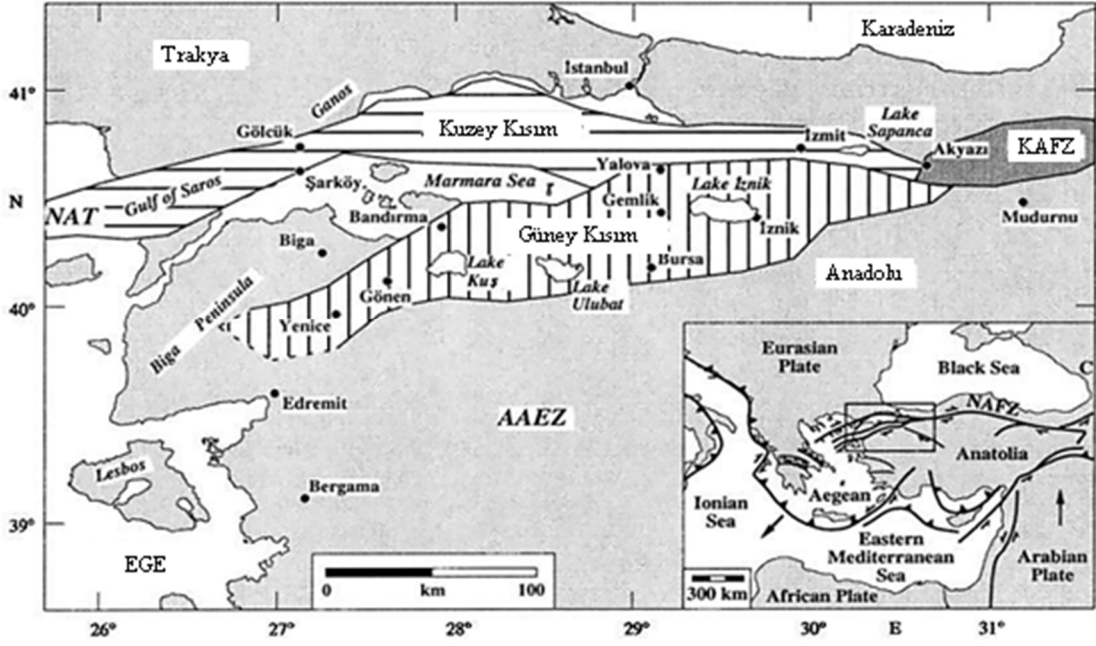


Şekil 2. 1 Türkiye'nin fay hatları [25]

Türkiye'nin geneline bakıldığında deprem alanlarını dört grupta inceleyebiliriz.

- I. **Batı Anadolu Deprem Alanı;** batı ve güney Trakya ile Batı Anadolu'nun, Düzce-Kütahya-Isparta-Kaş hattının batısında yer alan 100.000km² genişliğe sahiptir.
- II. **İç Anadolu Deprem Alanı;** İç Anadolu yayla bölgesiyle bu bölgenin kenarlarında bulunan deprem merkezlerini içerir.
- III. **Kuzey Anadolu Deprem Alanı;** Marmara deprem bölgesine bağlı olan Saros Körfezi-kuzey Marmara çukurları-İzmit Körfezi kırık bölgesinin devamında yer alır. Batı-Doğu doğrultusunda İzmit Körfezinden Aras Vadisine kadar uzanan 1300 km uzunluğunda bir arazi şerididir.
- IV. **Güneydoğu Anadolu Deprem Alanı;** Suriye çukurunun devamı olup güneybatıda İskenderun Körfezinden doğuda Van bölgesinin ötesine kadar uzanan 850 km uzunluktaki alandır [36].

Kuzey Anadolu deprem alanının kuzeybatısında yer alan Marmara Bölgesi, KAFZ'ın etkisi altındadır (Şekil 2.2). KAFZ'ın bütün parçalarında sağ yanal yatay hareketler hâkim olmasına rağmen küçük ölçülerde düşey hareketler de mevcuttur. Fayın kuzey bölgesi, güney bölgesine göre sağa ve aşağı doğru kaymaktadır (doğrultu atılımlı – sağ yönlü fay). Deprem sırasında ölçülen yatay kayma miktarı 1.5-4.3m, düşey kaymalar ise 0.40-1.00m arasındadır. KAFZ genel karakteri sebebiyle yatay yer değiştirme miktarı düşeye oranla 3-4 kat daha fazladır [37].



Şekil 2. 2 KAFZ ve Marmara Bölgesi

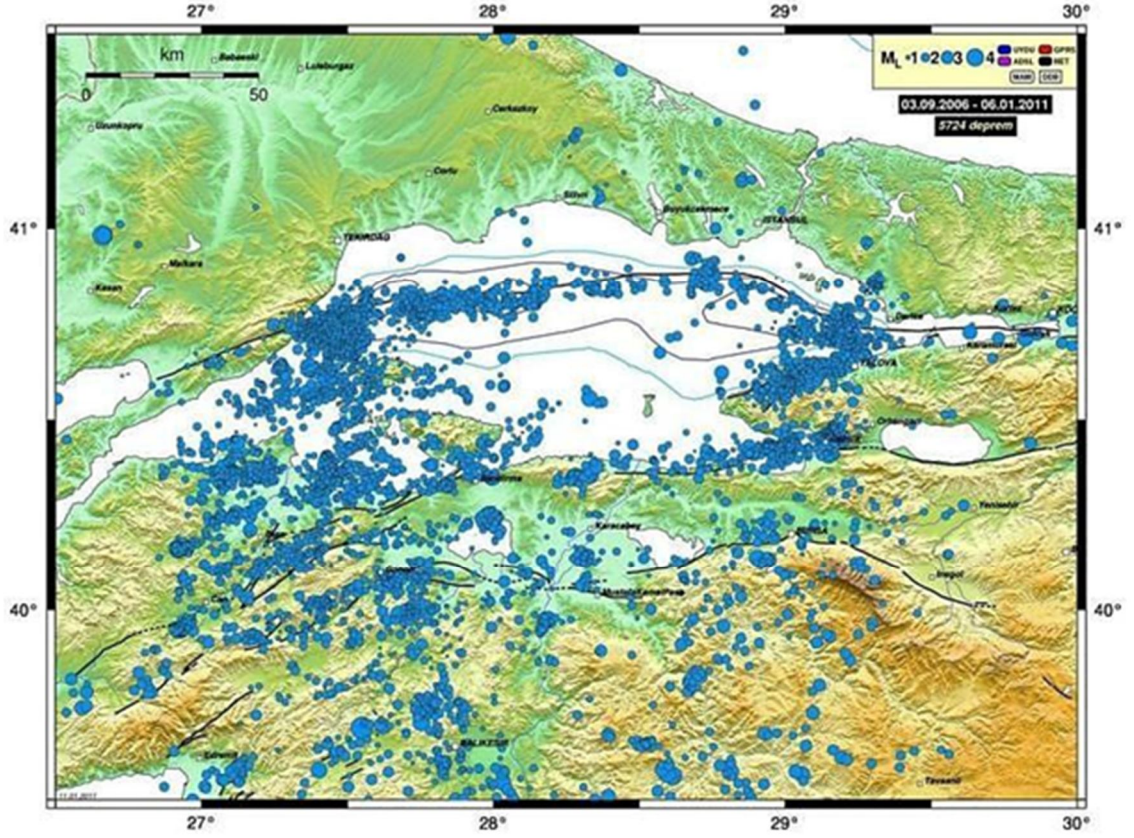
Marmara Bölgesi'nde KAFZ üç kola ayrılmaktadır. Kuzey kol; İzmit-Marmara Denizi-Saros Körfezi doğrultusunda; Merkezi kol, Gevye-İznik-Mudanya-Bandırma-Biga doğrultusunda ve Güney kol, Bursa-Manyas Gölü-Balıkesir-Edremit Körfezi doğrultusundadır [24].

İzmit Körfezi Bölgesi; karışık bir fay sistemi ile tektonik çukurlara ayrılmıştır. Bunlar batıdan doğuya doğru Kuzey Ege denizaltı çukurları (-1250 m); Saros Körfezi, Kavak, Yeniköy, Gaziköy fayları, Marmara Denizindeki üç denizaltı çukuru (-1207, -1356 ve -1070 m), İzmit Körfezi, Sapanca Gölü, Adapazarı ve Düzce ovalarıdır.

Gemlik Körfezi Bölgesi; batıda Erdek yarımadasıyla kıyı arasındaki çukurluğu, Bandırma-Mudanya arasındaki denizaltı çukurlukları ile sahildeki Neojen faylarını, Gemlik Körfezini, İznik Gölü ve Gevye ovasını kapsamaktadır. Bölgenin doğusunda yer alan Gevye, Göynük ve Mudurnu arasındaki faylarla KAF hattına bağlanmaktadır.

Bursa Bölgesi; Gönen ovasını, Manyas-Apolyont göllerini, Bursa ve Yenişehir ovalarını kapsar. Bu sistem Gönen'den güney batıya giden termal çizgi ile Edremit Körfezine doğru devam eder. Doğuda bir taraftan Yenişehir ovasından Osmaneline, diğer taraftan Bursa ovasına ve buradan Bozüyüğe (İç Anadolu Deprem Alanı) doğru faylarla uzanmaktadır [24].

Tüm bu tektonik yapı göz önüne alındığında, deprem riski oldukça fazla olan Marmara Bölgesi için yapılan çalışmalar sonucunda bölgenin 17 Ağustos 1999 İzmit ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinden sonrada deprem aktivitesinin devam ettiği Şekil 2.3'te verilen deprem haritasında görülmektedir.



Şekil 2. 3 Marmara Bölgesi deprem haritası (2006-2010)

DEFORMASYON ANALİZİ

Deformasyon analizi, zaman içerisinde isteğe bağlı değiştirilen ya da dış etkenlere göre değişmek zorunda kalan ağ geometrilerinin deformasyonlarını ve ayrıca nokta konum değişimlerini ortaya koyma yöntemidir. Genellikle uygulama bölgesinin karakterine bağlı olarak üç çeşit deformasyon modeli bulunmaktadır:

- Statik deformasyon modeli
- Kinematik deformasyon modeli
- Dinamik deformasyon modeli

Statik deformasyon modeli sonucunda iki ya da daha fazla periyot arasında bölgedeki hareket vektörleri elde edilir. En basit deformasyon uygulamasıdır ve ölçme süresince bölgedeki hareket göz ardı edilir. Çalışma bölgesindeki hız hareketleri ve ivme yönü zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlanıyorsa kinematik deformasyon modeli uygulanır. Dinamik deformasyon modeli ise bir periyot süresince değişen ve hemen ardından eski konumuna geri dönen mühendislik yapılarında (köprü vb.) kullanılmaktadır [38].

3.1 Deformasyon Ağı

Yapı ya da yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi amacıyla modern ölçme aletleriyle çok sayıda ölçülen bölgesel ağlar oluşturulmaktadır. Çalışmanın konusunu oluşturan tektonik hareketlerin belirlenmesi için oluşturulan bir deformasyon ağı ile güncel düşey ve yatay yer kabuğu hareketleri, kırılma bölgelerindeki gerinim birikimleri ve levha tektoniği kuramına yönelik bilgiler elde edilmektedir [39].

Bölgesel kabuk hareketlerini belirlemek için jeodezik ağlar, sismik yönden aktif bölgelerde kurulmaktadır. Bu ağların kurulmasındaki temel amaç, deformasyonları ve gerinim büyüklüklerini hassas ve güvenilir bir şekilde elde etmektir. Oluşturulan deformasyon ağının bir bölümünde beklenen deformasyonun ve gerinimin, ağın neresinde beklendiği veya neresinde beklenmediği ön bilgi olarak bilinmeli ve ağ tesis edilirken noktaların yerleri bu bilgiye göre seçilmelidir [40-41].

İlgilenilen hareketlerin belirlenmesi için deformasyon ağında belirli aralıklarla tekrarlı ölçmeler yapılmaktadır. Ölçme zaman aralıkları, hareketlerin gelişimi ve büyüklüğü gibi etkenler göz önüne alınarak belirlenmektedir. İstatistiksel analiz yöntemleri ile nokta konumlarında anlamlı bir değişimin olup olmadığı belirlenmektedir [39]. Deformasyon ağları doğruluk, güvenilirlik ve duyarlılık ölçütlerine uygun olarak analiz edilmelidir [42].

3.2 Global Eşdeğerlik Testi

Global test, eşlenik ağların ya da ağ bölümlerinin değişik periyotlarda aynı kalıp kalmadıklarına yöneliktir. Global test sonucunda ağın herhangi bir yerinde deformasyon olduğu kararı verilirse hangi noktaların anlamlı hareket ettiği sorusuna yanıt arama aşamasına geçilir. Bu işlem deformasyonların yerleştirilmesi olarak ifade edilir.

3.2.1 Ağ Geometrisi Her İki Periyotta Eşlenikse Global Test

İki periyotta geometrisi eşlenik (aynı noktalardan oluşan) bir konum ağında t_1 ve t_2 zamanlarında yapılan gözlemler sonucunda elde edilen ölçüler \mathbf{l}_1 ve \mathbf{l}_2 , düzeltmeler \mathbf{v}_1 ve \mathbf{v}_2 , katsayılar matrisleri \mathbf{A}_1 ve \mathbf{A}_2 , koordinat bilinmeyenlerinin kestirim değerleri \mathbf{x}_1 ve \mathbf{x}_2 ile gösterilir. Periyotlara ilişkin bilinmeyenleri arasında fonksiyonel ve ölçüler arasında korelasyon olmadığı varsayılırsa dengeleme modeli;

$$\begin{bmatrix} \mathbf{l}_1 \\ \mathbf{l}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{v}_1 \\ \mathbf{v}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{A}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{x}_2 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$\mathbf{C}_{11} = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} \mathbf{P}_1^{-1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{P}_2^{-1} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

olur.

Her iki periyot arasında anlamlı nokta hareketi olup olmadığı sorusunu yanıtlamak için iki periyot arasında eşlenik nokta koordinatlarının değişmediğini öngören;

$$H_0 : [E(x_1) - E(x_2)] = 0 \quad (3.3)$$

sıfır hipotezi kurulur. Her iki periyot için birbirinden bağımsız iki dengeleme yapılır ve dengeleme sonucunda;

$$\mathbf{x}_1 = \mathbf{Q}_{x_1x_1} \mathbf{A}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{l}_1 \quad , \quad \mathbf{Q}_{x_1x_1} = \mathbf{N}_{11}^+ = (\mathbf{A}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{A}_1)^+ \quad (3.4)$$

$$\mathbf{x}_2 = \mathbf{Q}_{x_2x_2} \mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{l}_2 \quad , \quad \mathbf{Q}_{x_2x_2} = \mathbf{N}_{22}^+ = (\mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{A}_2)^+ \quad (3.5)$$

$$\Omega = \mathbf{v}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{v}_2 \quad (3.6)$$

$$s_0^2 = \Omega / f \quad , \quad f = n_1 + n_2 - 2u + 2d \quad (3.7)$$

elde edilir.

İki periyot arasındaki koordinat farkları,

$$\mathbf{d} = \mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1 \quad (3.8)$$

ve bunlara ilişkin ağırlık katsayılar matrisi,

$$\mathbf{Q}_{dd} = \mathbf{Q}_{x_1x_1} + \mathbf{Q}_{x_2x_2} \quad (3.9)$$

olmak üzere buradan sıfır hipotezinin etkisi

$$R = \mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{d} \quad (3.10)$$

olur. Her iki periyotta ağ geometrisi ve serbest datum parametreleri aynı (sayısı d) ise R'nin serbestlik derecesi

$$h = \text{rang}(\mathbf{Q}_{x_1x_1}) = \text{rang}(\mathbf{Q}_{x_2x_2}) = u - d \quad (3.11)$$

olur [32], [33].

Test büyüklüğü,

$$\mathbf{T} = \frac{R/h}{\Omega/f} = \frac{\mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{d}}{hs_0^2} \quad (3.12)$$

şeklinde ve $T > F_{h,f,1-\alpha}$ çıkarsa ağın herhangi bir yerinde yerdeğiştirme olduğu sonucuna varılır.

3.2.2 Ağ Geometrisi Her İki Periyotta Eşlenik Olmadığı Durumda

Deformasyon uygulamalarında genellikle noktaların zarar görmesi, ağın yeni noktalarla genişletilmesi gibi nedenlerle ikinci periyotta ağ geometrisi değişebilir. Bölüm 3.2’de belirtildiği gibi deformasyon analizi her iki periyotta bulunan eşlenik noktalar için uygulanır.

Eşlenik olmayan noktalar bir blok içinde düşünülerek dengeleme modelinden indirgeme ile yok edilir. Böylece her iki periyotta eşlenik noktaların geçtiği indirgenmiş normal denklem sistemi elde edilir. Bu işlem eşlenik noktalara ilişkin kısmi iz minimum çözümüyle eşdeğerlidir [38-43].

Datuma giren koordinat bilinmeyenleri \mathbf{x}_D vektörünü oluştursun ve bunlara karşılık ağırlık katsayı matrisi \mathbf{Q}_{DD} olsun. Ağın eşlenik noktalar bölümünde global test uygulamak için her iki periyot ölçüleri aynı datumda kısmi iz minimum çözümüne göre serbest dengelenmiş olmalıdır. Her iki periyoda ilişkin dengeleme sonuçlarını $\mathbf{x}_{D1}, \mathbf{Q}_{DD1}; \mathbf{x}_{D2}, \mathbf{Q}_{DD2}$ ile gösterirsek koordinat farkları \mathbf{d}_D ve bunun ağırlık katsayı matrisi,

$$\mathbf{d}_D = \mathbf{x}_{D1} - \mathbf{x}_{D2} \quad (3.13)$$

$$\mathbf{Q}_{ddD} = \mathbf{Q}_{DD1} + \mathbf{Q}_{DD2} \quad (3.14)$$

olur. Global test işlemi Bölüm 3.2.1’de açıklandığı gibi sürdürülür;

$$R_D = \mathbf{d}_D^T \mathbf{Q}_{ddD}^+ \mathbf{d}_D \quad (3.15)$$

büyüklüğü, d ağın defekt sayısı olarak R_D ’nin serbestlik derecesi,

$$h_D = u_D - d \quad (3.16)$$

ve test büyüklüğü,

$$T = R_D / s_0^2 h_D \sim F_{h,f,1-\alpha} \quad (3.17)$$

hesaplanır. Test sonucu ağın eşlenik bölümünde deformasyon olduğu kararı verilirse hareket eden noktaların araştırılması işlemine geçilir.

3.3 Konum Değişimi Anlamlı Olan Noktaların Belirlenmesi (Yerelleştirme)

Hareket eden noktaların araştırılması S-dönüşümü, maksimum aykırılık ve kapalı hipotez yöntemleriyle yapılabilmektedir.

3.3.1 S-Dönüşümü (Similarity Transformation) Yöntemiyle Yerelleştirme

1973 yılında Baarda tarafından geliştirilen ve yeni bir dengelemeye gerek kalmadan bir datumdan diğer bir datuma dönüşümü sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem ile yer değiştirme vektörlerini ve kovaryans matrislerini ortak bir datuma dönüştürmek mümkündür.

S-Dönüşümü yönteminde temel prensip her noktanın anlamlı hareket ediyor olmasıdır. Uygulama eşlenik nokta sayısı kadar tekrarlanır. İncelenen noktanın koordinatları \mathbf{x}_B , geriye kalan eşlenik noktaların koordinatları \mathbf{x}_F , eşlenik olmayan noktaların koordinatları ve modeldeki öteki bilinmeyenler \mathbf{x}_N vektöründe toplanmış olsun. Eşlenik noktalar datum noktaları olmak üzere yapılan serbest dengeleme sonucunda bulunan bilinmeyenler vektörünü j ile tanımlarsak bu ayırıma göre;

$$\mathbf{x}^j = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_F^j \\ \mathbf{x}_B^j \\ \mathbf{x}_N^j \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

olur.

Her periyod için S-dönüşümleri uygulanır:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_F^i \\ \mathbf{x}_B^i \\ \mathbf{x}_N^i \end{bmatrix} = \mathbf{S}_i \begin{bmatrix} \mathbf{x}_F^j \\ \mathbf{x}_B^j \\ \mathbf{x}_N^j \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{FF}^i & \mathbf{Q}_{FB} & \mathbf{Q}_{FN} \\ \mathbf{Q}_{BF} & \mathbf{Q}_{BB} & \mathbf{Q}_{BN} \\ \mathbf{Q}_{NF} & \mathbf{Q}_{NB} & \mathbf{Q}_{NN} \end{bmatrix} = \mathbf{S}_i \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{FF}^j & \mathbf{Q}_{FB} & \mathbf{Q}_{FN} \\ \mathbf{Q}_{BF} & \mathbf{Q}_{BB} & \mathbf{Q}_{BN} \\ \mathbf{Q}_{NF} & \mathbf{Q}_{NB} & \mathbf{Q}_{NN} \end{bmatrix} \mathbf{S}_i^T \quad (3.20)$$

İki boyutlu (yatay kontrol ağları) için \mathbf{G}^T matrisi;

$$\mathbf{G}^T = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{p} & 0 & 1/\sqrt{p} & 0 & \dots & 1/\sqrt{p} & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{p} & 0 & 1/\sqrt{p} & \dots & 0 & 1/\sqrt{p} \\ -y'_{1_0} & x'_{1_0} & -y'_{2_0} & x'_{2_0} & \dots & -y'_{p_0} & x'_{p_0} \\ x'_{1_0} & y'_{1_0} & x'_{2_0} & y'_{2_0} & \dots & x'_{p_0} & y'_{p_0} \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

biçimindedir. \mathbf{G}^T matrisinin sıfır vektörleri ortogondur ve normlandırılmıştır ($\mathbf{G}^T \mathbf{G} = \mathbf{E}$).

(3.21)'deki x'_{i_0} , y'_{i_0} büyüklükleri ağırlık merkezine göre tanımlanmış ve normlandırılmış yaklaşık koordinatlardır ve p nokta sayısıdır:

$$\begin{aligned} x'_{i_0} &= \frac{x_{i_0} - ([x_0]/p)}{\sqrt{(x_{i_0} - ([x_0]/p))^2 + (y_{i_0} - ([y_0]/p))^2}} \\ y'_{i_0} &= \frac{y_{i_0} - ([y_0]/p)}{\sqrt{(x_{i_0} - ([x_0]/p))^2 + (y_{i_0} - ([y_0]/p))^2}} \end{aligned} \quad (3.22)$$

Kısmi iz minimum yöntemine göre dengelemede datumu tanımlayan ve \mathbf{G} matrisinden dönüştürülen bir \mathbf{B} matrisi kullanılmaktadır. Buna göre, ağın datumunu tanımlayan ve \mathbf{G} matrisinde datum tanımına katılmayan noktalara karşılık tüm elemanlar yerine "0" yazılarak \mathbf{B} matrisi oluşturulmaktadır:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{G} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

(3.21) ve (3.23) eşitlikleri kullanılarak S-dönüşüm matrisi,

$$\mathbf{S}_i = \mathbf{I} - \mathbf{G}(\mathbf{B}_i^T \mathbf{G})^{-1} \mathbf{B}_i^T \quad (3.24)$$

şeklinde dir. Böylece tüm eşlenik noktaların katıldığı j datumundan yalnızca F ile tanımlanan ve hareketsiz kaldığı varsayılan noktaların katıldığı i datumuna geçiş sağlanmıştır. Hareketsiz kaldığı varsayılan noktalara ilişkin fark vektörü \mathbf{d}_F ,

$$\mathbf{d}_F = \mathbf{x}_{F2}^i - \mathbf{x}_{F1}^i \quad (3.25)$$

ve bunun ağırlık katsayı matrisi,

$$\mathbf{Q}_{FF} = \mathbf{Q}_{FF1}^i + \mathbf{Q}_{FF2}^i \quad (3.26)$$

elde edilir. Sıfır hipotezi,

$$H_0 : E(\mathbf{x}_{F1}^i) = E(\mathbf{x}_{F2}^i) \quad (3.27)$$

öngörülerek R büyüklüğü,

$$R_F = \mathbf{d}_F^T \mathbf{Q}_{FF}^+ \mathbf{d}_F \quad (3.28)$$

ile hesaplanır.

Bu işlemler incelenen nokta \mathbf{x}_B vektörü ve öteki eşlenik noktalar \mathbf{x}_F içinde olmak üzere eşlenik nokta sayısı kadar tekrarlanır ve her tekrarda R_F değeri elde edilir. $(R_F)_{\min}$ olan nokta hareket etmiştir sonucuna varılır. $(R_F)_{\min}$ ile tekrar global test yapılır. Bu test hala başka hareketli nokta bulunduğu sonucunu verirse hareket ettiği belirlenen nokta eşlenik nokta kümesinden çıkartılarak geri kalan eşlenik noktalar için S-dönüşüm ile

nokta araştırması yinelenir [41-44].

3.3.2 Maksimum Aykırılık Yöntemiyle Yerelleştirme

Bu yöntemde noktalar hareket eden ve etmeyen noktalar olarak iki kısımda incelenir. Her iki periyotta eşlenik olan noktalar datum noktalarıdır ve hareket etmedikleri varsayılır. Fark vektörü \mathbf{d} ve \mathbf{Q}_{dd} ağırlık katsayıları matrisi alt matrislere bölünür;

$$\mathbf{d} = \begin{bmatrix} \mathbf{d}_F \\ \mathbf{d}_B \end{bmatrix} ; \quad \mathbf{Q}_{dd}^+ = \mathbf{P}_{dd} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{FF} & \mathbf{P}_{FB} \\ \mathbf{P}_{BF} & \mathbf{P}_{BB} \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

Buradan Gauss algoritmasına benzer bir dönüşüm ile,

$$\bar{\mathbf{d}}_B = \mathbf{d}_B + \mathbf{P}_{BB}^{-1} \mathbf{P}_{BF} \mathbf{d}_F \quad (3.30a)$$

$$\bar{\mathbf{P}}_B = \mathbf{P}_{FF} - \mathbf{P}_{FB} \mathbf{P}_{BB}^{-1} \mathbf{P}_{BF} \quad (3.30b)$$

elde edilir ve buna göre;

$$R = \mathbf{d}^T \mathbf{P}_{dd} \mathbf{d} = \mathbf{d}_F^T \bar{\mathbf{P}}_B \mathbf{d}_F + \bar{\mathbf{d}}_B^T \mathbf{P}_{BB} \bar{\mathbf{d}}_B \quad (3.31)$$

test büyüklüğü hesaplanır. Bu işlem her bir datum noktası için tekrar edilir ve her aşamada R test büyüklüğü hesaplanır. R_{\max} çıkan noktada anlamlı hareket olduğu kabul edilir:

$$R_{\max} = \max(R_i; i = 1, 2, \dots, p) \quad (3.32)$$

Yeniden global test yapılarak ağda başka anlamlı hareket eden nokta olup olmadığı araştırılmalıdır. Bunun için R_{\max} çıkan nokta datum noktalarından çıkartılarak (3.32) büyüklüğü tekrardan hesaplanmalıdır. Her bir yerelleştirmeden sonra \mathbf{d} fark vektörü ve \mathbf{Q}_{dd} ağırlık katsayıları matrisine S-dönüşümü uygulanmalıdır. Dönüşüm matrisi,

$$\mathbf{S}_i = \mathbf{I} - \mathbf{G}(\mathbf{G}^T \mathbf{E}_i \mathbf{G})^{-1} \mathbf{G}^T \mathbf{E}_i \quad (\mathbf{B}_i = \mathbf{E}_i \mathbf{G}) \quad (3.33)$$

şeklindedir. \mathbf{E}_i köşegen matrisinin köşegeni üzerinde kalan noktalar için “1”, konum değişimi anlamlı olan nokta için “0” yazılır. Dönüşüm sonucunda,

$$\mathbf{d}_i = \mathbf{S}_i \mathbf{d} \quad (3.34a)$$

$$(\mathbf{Q}_{dd})_i = \mathbf{S}_i \mathbf{Q}_{dd} \mathbf{S}_i^T \quad (3.34b)$$

olur. Kalan noktaların tanımladığı i. datum sonuçları,

$$\mathbf{d}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{d}_D \\ \mathbf{d}_N \end{bmatrix} = \mathbf{S}_i \begin{bmatrix} \mathbf{d}_F \\ \mathbf{d}_B \end{bmatrix} = \mathbf{S}_i \mathbf{d} \quad (3.35)$$

$$(\mathbf{Q}_{dd})_i = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{DD} & \mathbf{Q}_{DN} \\ \mathbf{Q}_{ND} & \mathbf{Q}_{NN} \end{bmatrix} = \mathbf{S}_i \mathbf{Q}_{dd} \mathbf{S}_i^T \quad (3.36)$$

biçiminde alt vektör ve matrislere ayrılabilir. \mathbf{d}_D alt vektörü sistemde kalan ve datumu belirleyen nokta koordinatlarını, \mathbf{d}_N ise hareket ettiği kanıtlanan ve datuma katılmayan bileşenleri içermektedir. Bu dönüşüm, konum değişimi anlamlı bulunan nokta koordinatlarının \mathbf{d}_B alt vektörünü oluşturduğu durumda yapılır. İlk yerleştirme adımından sonra global test için (3.30a, 3.30b) tekrar hesaplanır,

$$R^1 = \mathbf{d}_D^T \mathbf{Q}_{DD}^+ \mathbf{d}_D \quad (3.37)$$

R^1 büyüklüğünün serbestlik derecesi h^1 , hareket ettiği kanıtlanan noktanın koordinat sayısı m ise

$$h^1 = h - m \quad (3.38)$$

dir. Yeniden yapılan global test için

$$\mathbf{P} \left[\mathbf{F}^1 \frac{R^1}{s_0^2} > \mathbf{F}_{h^1, f, 1-\alpha} / \mathbf{H}_0 \right] = \alpha \quad (3.39)$$

olasılık eşitliği geçerlidir. Ağda başka deformasyonlar olduğu sonucuna varılırsa (3.29) adımıyla yerleştirme işlemine tekrardan başlanır [41].

3.3.3 Kapalı Hipotez Yöntemiyle Yerleştirme

Periyodlara ilişkin bir kovaryans matrisi bulunmuyorsa, yaklaşık olarak kestirilen diagonal bir kovaryans matrisiyle bu yöntem uygulanır. Diğer tüm bilinmeyenler için korelasyon sıfır kabul edilir.

Sıfır hipotezi düzeltme denklemlerinde göz önüne alınarak dengeleme modeli

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{v}_1 \\ \mathbf{v}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{F1} & \mathbf{A}_{B1} & \mathbf{0} & \mathbf{A}_{N1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{A}_{F2} & \mathbf{0} & \mathbf{A}_{B2} & \mathbf{0} & \mathbf{A}_{N2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_F \\ \mathbf{x}_{B1} \\ \mathbf{x}_{B2} \\ \mathbf{x}_{N1} \\ \mathbf{x}_{N2} \end{bmatrix} \quad (3.40)$$

olarak kurulur. Bu modelde \mathbf{x}_F , hareketsiz kaldığı varsayılan eşlenik noktalara ve $\mathbf{x}_{B1}, \mathbf{x}_{B2}$ ise hareketli noktaya ilişkin alt vektörlerdir. Her defasında eşlenik noktalardan biri hareketli görülerek (3.27) eşitliğinden yararlanılarak R değeri hesaplanır ve Bölüm

3.3.1’de anlatıldığı gibi R_{\min} değeri veren noktada anlamlı bir hareket olduğu yargısına varılır. Anlamlı olarak hareket ettiği düşünülen noktanın R_{\min} değeri ile global test uygulanır ve başka bir noktada deformasyon olup olmadığı araştırılır. Test sonucunda deformasyon olduğu kanısına varılırsa yerelleştirme işlemi tekrar edilir. Her defasında $R = \Omega_H - \Omega_1 - \Omega_2$ büyüklüğü hesaplanır [41-45].

**ÜÇ BOYUTLU AĞLARDA DÖNME, BENZERLİK VE
ÖZDEŞLİK TESTLERİ**

Üç boyutlu bir cisme dış kuvvet uygulandığında veya kütle içi kuvvetler söz konusu olduğunda cisim deformasyona uğrayacaktır ve gerinim alanı oluşacaktır. Gerinim alanı mevcut ise yer değiştirmenin olacağı bilinmelidir. Gerinim alanı, hareketli bölge biliniyorsa hesaplanacaktır. İleriki bölümlerde açıklanacak olan hareketli noktalarda deformasyon ve gerinim analizinden önce, ağda genel olarak gerinim, dolayısıyla yer değiştirme ve dönme olup olmadığı araştırılmıştır [41].

Testlerin esası üç boyutlu afin dönüşümünün temel eşitliklerine dayanmaktadır. Jeodezik ağın iki periyot arasında elde edilen koordinat farkları, afin dönüşüm parametreleri (dönüklük, öteleme) ve gerinim tensörü elemanlarının bir fonksiyonu olarak ifade edilir.

Ağın bir noktası için iki periyot arasındaki koordinat farkı vektörü ($\delta_x = x_2 - x_1$; $\delta_y = y_2 - y_1$; $\delta_z = z_2 - z_1$)

$$\mathbf{l}_i = \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \delta_z \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

olarak alınırsa dengeleme modeli;

$$\mathbf{l}_i + \mathbf{v}_i = \mathbf{A}_i \mathbf{x}_i \quad (4.2)$$

yazılabilir. Burada;

$$\mathbf{A}_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & Y_{i_0} & Z_{i_0} & 0 & X_{i_0} & 0 & 0 & Y_{i_0} & Z_{i_0} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -X_{i_0} & 0 & Z_{i_0} & 0 & Y_{i_0} & 0 & X_{i_0} & 0 & Z_{i_0} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -X_{i_0} & -Y_{i_0} & 0 & 0 & Z_{i_0} & 0 & X_{i_0} & Y_{i_0} \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

olur. (4.3)'te x_0, y_0 ve z_0 ağırlık merkezi koordinatları olmak üzere ağırlık merkezine indirgenmiş koordinatlar

$$x_{i_0} = x_i - x_0 \quad (4.4a)$$

$$y_{i_0} = y_i - y_0 \quad (4.4b)$$

$$z_{i_0} = z_i - z_0 \quad (4.4c)$$

ve

$$\mathbf{x}^T = [u_0 \quad v_0 \quad w_0 \quad \omega_{XY} \quad \omega_{XZ} \quad \omega_{YZ} \quad e_{XX} \quad e_{YY} \quad e_{ZZ} \quad \gamma_{XY} \quad \gamma_{XZ} \quad \gamma_{YZ}] \quad (4.5)$$

bilinmeyenler vektörüdür. Burada u_0, v_0, w_0 ötelenme bilinmeyenleri; $\omega_{XY}, \omega_{XZ}, \omega_{YZ}$ sırasıyla x, y, z eksen dönüklükleri; e_{XX}, e_{YY}, e_{ZZ} normal gerinimler ve $\gamma_{XY}, \gamma_{XZ}, \gamma_{YZ}$ kesme gerinimleri anlamındadır [41]. İki periyotta ortak noktaların tümü için (4.2) eşitliği yazılabilir ve x bilinmeyenler vektörü;

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{I}) \quad (4.6)$$

eşitliğinden elde edilir. Daha sonra

$$\mathbf{C}_{dd}^{-1} = (\mathbf{C}_{xx_1} + \mathbf{C}_{xx_2})^{-1} \quad (4.7)$$

kovaryans matrisleri elde edilir. Burada \mathbf{C}_{xx_1} birinci periyoda ilişkin kovaryans matrisi ve \mathbf{C}_{xx_2} ikinci periyoda ilişkin kovaryans matrisidir.

Her iki periyotta ağ benzer ise

$$H_0: E(e_{XX}) = E(e_{YY}) = E(e_{ZZ}) \quad (4.8a)$$

ve

$$H_0: E(\gamma_{XY}) = E(\gamma_{XZ}) = E(\gamma_{YZ}) = 0 \quad (4.8b)$$

hipotezleri geçerli olmalıdır.

Üç boyutlu ağlar için “ saf kesme gerinimleri ” ($\gamma_1, \gamma_3, \gamma_5$) ve “ mühendislik kesme gerinimleri ” ($\gamma_2, \gamma_4, \gamma_6$) olmak üzere;

$$\gamma_1 = e_{YY} - e_{XX} \quad (4.9)$$

$$\gamma_2 = \gamma_{XY} \quad (4.10)$$

$$\gamma_3 = e_{ZZ} - e_{YY} \quad (4.11)$$

$$\gamma_4 = \gamma_{xz} \quad (4.12)$$

$$\gamma_5 = e_{xx} - e_{zz} \quad (4.13)$$

$$\gamma_6 = \gamma_{yz} \quad (4.14)$$

$$\boldsymbol{\gamma} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{xx} \\ e_{yy} \\ e_{zz} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{bmatrix} = \mathbf{F}\mathbf{e} \quad (4.15)$$

$$\mathbf{C}_{\gamma\gamma} = \mathbf{F}\mathbf{C}_{ee}^{-1}\mathbf{F}^T \quad (4.16)$$

ile tanımlanır ve

$$T_{\text{benzerlik}} = \boldsymbol{\gamma}^T \mathbf{C}_{\gamma\gamma}^{-1} \boldsymbol{\gamma} \quad (4.17)$$

test istatistiği ile test edilebilir. Burada $T_{\text{benzerlik}}$, χ^2 dağılımlı ve 6 serbestlik derecelidir. Eğer;

$$T_{\text{benzerlik}} < \chi^2(6, 1 - \alpha) \quad (4.18)$$

ise benzerlik kabul edilir. Bundan sonra özdeşlik testi uygulanır. Üç boyutlu özdeşlik testi için,

$$T_{\text{özdeşlik}} = \mathbf{e}^T \mathbf{C}_{ee}^{-1} \mathbf{e} \quad (4.19)$$

olur. $T_{\text{özdeşlik}}$ yine χ^2 dağılımlı ve 6 serbestlik derecelidir. Eğer;

$$T_{\text{özdeşlik}} < \chi^2(6, 1 - \alpha) \quad (4.20)$$

ise özdeşlik kabul edilir.

$\boldsymbol{\omega}^T = [\omega_{xy} \quad \omega_{xz} \quad \omega_{yz}]$ dönüklükleri ise,

$$T_{\text{dönme}} = \mathbf{I}^T \mathbf{C}_{dd}^{-1} \mathbf{I} \quad (4.21)$$

test büyüklüğü ile test edilir. $T_{\text{dönme}}$ yine χ^2 dağılımlı ve 3 serbestlik derecelidir. Eğer;

$$T_{\text{dönme}} < \chi^2(3, 1 - \alpha) \quad (4.22)$$

ise iki ağ arasında dönüklük yoktur kararı verilir [41-46].

Burada uygulanan benzerlik ve özdeşlik testlerinin klasik uygulamalarda kullanılan diğer testlerden daha güçlü olduğu ifade edilmektedir [41-45].

4.1 Gerinim Analizi

Deformasyon çalışmalarında nokta hareketlerinin yanı sıra noktalar arasında oluşan gerinim de önemlidir. Gerinim, yeryuvarının bölgesel olarak farklı doğrultulardaki hareketi sonucu meydana gelen jeodezik bir problem olduğundan jeodezik gözlemlerle doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada GPS ile elde edilen koordinat farklarını kullanarak iki boyutlu gerinim parametreleri hesaplanmıştır. Homojen gerinim teorisine göre bağıl konum değişim vektörü,

$$\mathbf{d}_u = \delta \mathbf{F} \mathbf{r} + \mathbf{u}_0 \quad (4.23)$$

olarak verilmektedir [47]. Burada, $\mathbf{u}_0 = \begin{bmatrix} \mathbf{t}_1 \\ \mathbf{t}_2 \end{bmatrix}$ tüm noktalar için geçerli olan katı blok kuvveti hareketi (öteleme), $\delta \mathbf{F}$ bağıl konum değişim gradyent tensörü ve $\mathbf{r} = [x \ y]^T$ koordinatlarıdır [16]. Bağıl konum değişim gradyent tensörü $\delta \mathbf{F}$, simetrik ve simetrik olmayan iki matrisin toplamı şeklinde yazılabilir:

$$d\mathbf{F} = \mathbf{dR} + \mathbf{E} \quad (4.24)$$

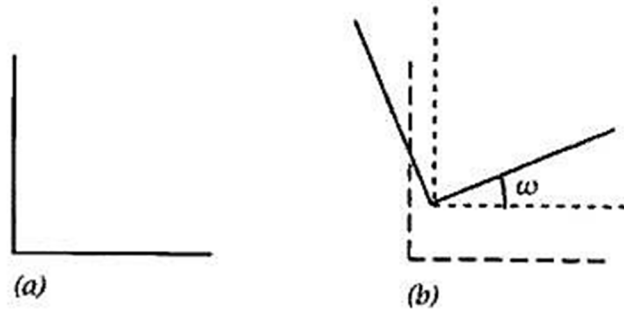
burada \mathbf{E} simetrik gerinim tensörü,

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} e_{xx} & e_{xy} \\ e_{xy} & e_{yy} \end{bmatrix} \quad (4.25)$$

\mathbf{dR} ise simetrik olmayan dönme tensörüdür:

$$d\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0 & \omega \\ -\omega & 0 \end{bmatrix} \quad (4.26)$$

Gerinim tensörü \mathbf{E} , köşegen elemanları (e_{xx} , e_{yy}) koordinat eksenleri boyunca birim uzunlukta oluşan genişlemeyi, köşegeni dışındaki elemanları (e_{xy}) ise koordinat eksenlerine göre deformasyon sonucu ortaya çıkan küçük açısız bozulmaları tanımlar. Dönme tensörü \mathbf{dR} ilgili koordinat eksenlerini içeren düzlemde deformasyon nedeniyle oluşan katı bloğun diferansiyel dönmesini gösterir (Şekil 4.1).



Şekil 4. 1 Deformasyon öncesi ve sonrası durum a) deformasyon öncesi b) eksenlerin " ω " açısı kadar döndürüldükten sonraki durum [48].

(4.23) eşitliğinde (4.25) ve (4.26) göz önüne alınır ve yeniden düzenlenirse her bir nokta için eşitlikler

$$\begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 0 & y & 1 & 0 \\ 0 & x & y & -x & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{xx} \\ e_{xy} \\ e_{yy} \\ \omega \\ t_1 \\ t_2 \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

olur [16]. Burada, x (doğu) ve y (kuzey) olmak üzere yerel koordinat sisteminin bileşenleri, δ_x ve δ_y ise iki periyot arasındaki farkını ifade etmektedir.

Gerinim tensör parametreleri En Küçük Kareler Yöntemine göre dengeleme ile belirlenir. İki boyutlu gerinim parametreleri için aşağıdaki eşitlikler geçerlidir [15], [49].

Maksimum asal gerinim:

$$\epsilon_{\max} = \frac{1}{2} \left[(e_{xx} + e_{yy}) + \sqrt{(e_{xx} - e_{yy})^2 + 4e_{xy}^2} \right] \quad (4.28)$$

Minimum asal gerinim:

$$\epsilon_{\min} = \frac{1}{2} \left[(e_{xx} + e_{yy}) - \sqrt{(e_{xx} - e_{yy})^2 + 4e_{xy}^2} \right] \quad (4.29)$$

Saf kayma (püre shear):

$$\gamma_1 = e_{xx} - e_{yy} \quad (4.30)$$

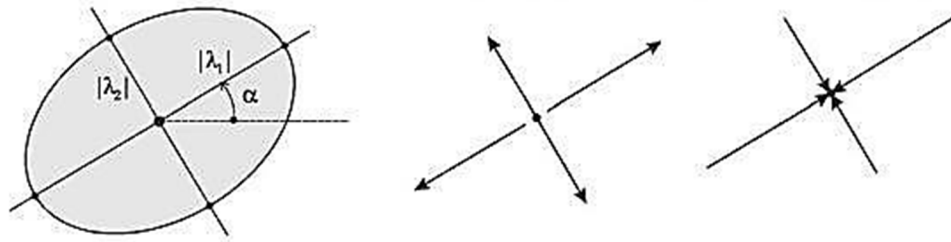
Mühendislik kayması (engineering shear):

$$\gamma_2 = 2\mathbf{e}_{xy} \quad (4.31)$$

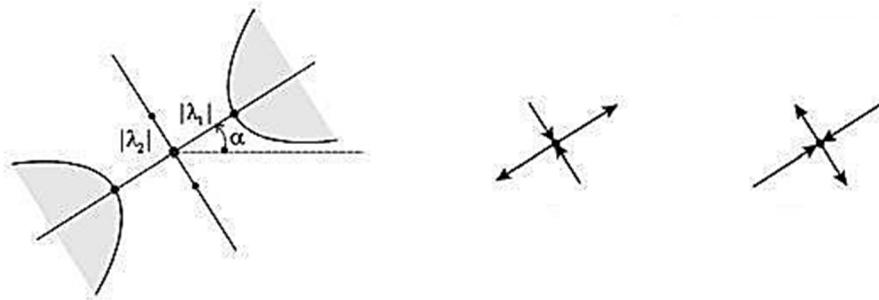
Maksimum gerinim yönü:

$$\varphi = 0,5 \tan^{-1}(\gamma_1 / \gamma_2) \quad (4.32)$$

Hesaplanan gerinim parametrelerinden minimum ve maksimum asal gerinimlerin işaretleri aynı ise deformasyon gerinim elipsi; farklı ise gerinim hiperbolü şeklinde görünür. Şayet asal gerinim elemanları pozitif ise ilgili doğrultuda genişleme; negatif ise sıkışma söz konusudur. Bölgede sıkışma görünüyorsa, gerinim hiperbolü eksenleri gerinim tensörünün öz vektörleri doğrultusundadır (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3).



Şekil 4. 2 Gerinim elipsi. $\text{sign}\lambda_1 = \text{sign}\lambda_2$, genişlemeyi (dışarı yöndeki oklar) ve sıkışmayı (içeri yöndeki oklar) gösterir [50].

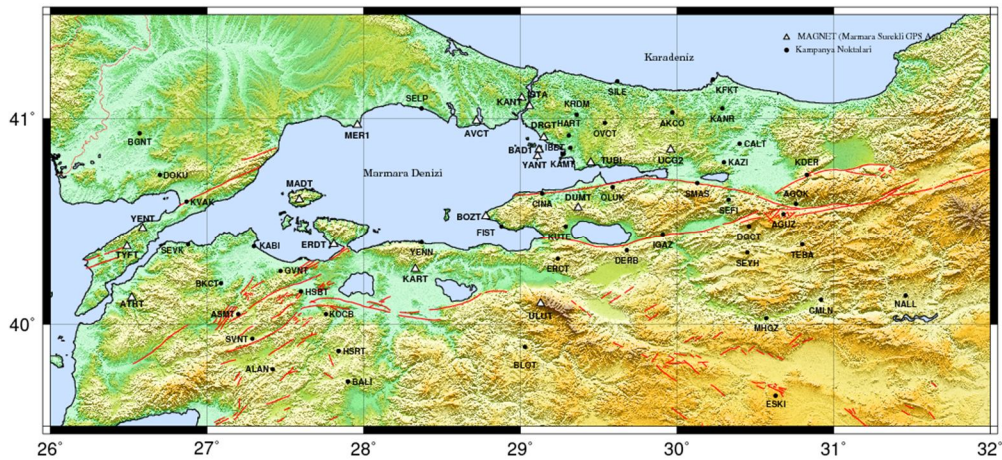


Şekil 4. 3 Gerinim hiperbolü. $\text{sign}\lambda_1 \neq \text{sign}\lambda_2$, bir yöndeki genişlemeyi ve bir yöndeki sıkışmayı gösterir [50].

GPS ÖLÇMELERİ VE DEĞERLENDİRMELERİ

5.1 GPS Ölçmeleri

“Marmara Bölgesi’ndeki Düşey Yerkabuğu Hareketlerinin Mutlak Gravite ve GPS ile Araştırılması” (108Y152 numaralı TÜBİTAK 1001 Projesi) ve “Türkiye’nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik –ancak tektonik rejimleri farklı- Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması” (105G109 numaralı TÜBİTAK 1007 Projesi) başlıklı TÜBİTAK projeleri kapsamında TÜBİTAK-MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü ile Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) Harita Mühendisliği Bölümü tarafından Marmara Bölgesinde 2006 yılı başlangıç olmak üzere 2007, 2008, 2009 ve 2010 yıllarında GPS ölçmeleri gerçekleştirilmiştir. Bölgeyi tanımlayan 59 noktadan 12 tanesi Marmara Sürekli GPS Ağı’na (MAGNET) ait olup geri kalan 47 nokta Marmara Bölgesi GPS kampanya noktalarıdır (Şekil 5.1). Periyotlara ilişkin ölçme günleri ve planlama bilgileri Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de verilmektedir.



Şekil 5. 1 GPS kampanya noktaları ve sürekli noktalar

Çizelge 5. 2 GPS ölçme planlaması

	Kampanya Noktaları					MAGNET Noktaları				
	2006	2007	2008	2009	2010	2006	2007	2008	2009	2010
Nokta Sayısı	41	41	46	46	46	12	11	12	12	12
Ölçme Süresi	10	10	10	10	10	24	24	24	24	24
Alıcı Türü	1	1	1	1	1	12456	1234	1236	1236	1236
Anten Türü	Δx	x	x	x	x	▲●■	▲●	▲●■	▲●■	▲●■
Oturum Sayısı	2	2	2	2	2	8	8	8	8	8
Frekans	L1&L2	L1&L2	L1&L2	L1&L2	L1&L2	L1&L2	L1&L2	L1&L2	L1&L2	L1&L2

Δ: Choke Ring; x: Zephyr; ▲: TRM29659.00; ●: TRM41249.00; ■: ASH700936D_M

1: Trimble 5700; 2: Trimble 4700; 3: Trimble 4000; 4: Trimble 4000SSI; 5: Trimble 4000SSE;

6: ASHTECH Z-XII3

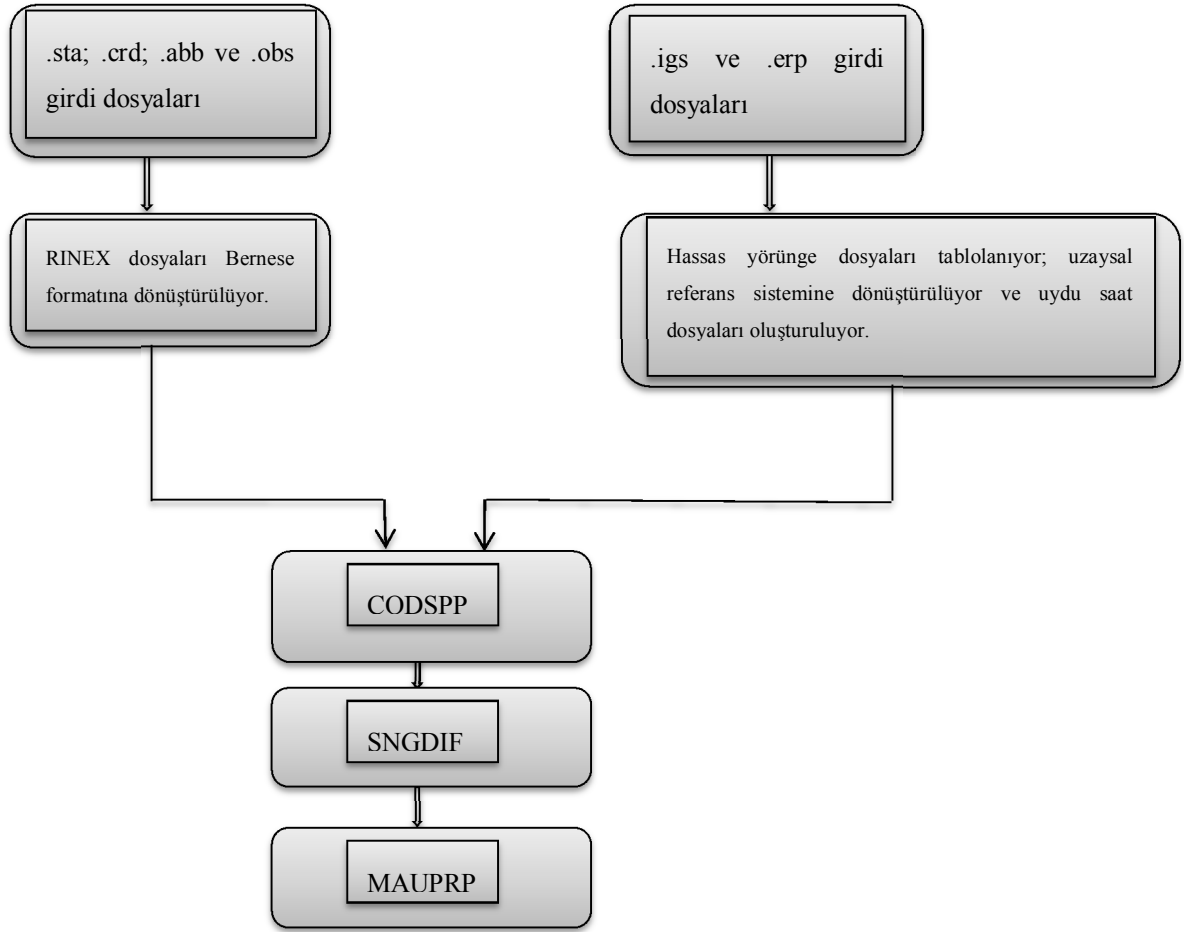
5.2 Değerlendirme Stratejisi

GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde, Bern Üniversitesi (İsviçre) tarafından geliştirilmiş ve akademik bir GPS veri değerlendirme yazılımı olan Bernese 5.0 kullanılmıştır. Bernese ile yüksek doğrulukta büyük boyutlarda GPS verileri değerlendirilebilir ve toplanan verilerde var olan pek çok hatanın kestirimi, düzeltilmesi ve modellenmesi yapılabilir.

Bernese yazılımı ile değerlendirmeye başlamadan önce bazı dosyaların hazırlanması gerekmektedir. Bunlar;

- GPS ölçülerinin bulunduğu .obs uzantılı RINEX (Receiver Independent Exchange Format) dosyaları,
- Nokta bilgilerinin bulunduğu (anten ve alıcı tipi, anten yüksekliği gibi) .sta uzantılı dosyaları,
- Noktaların yaklaşık kartezyen koordinatlarının bulunduğu .crd uzantılı dosyaları,
- Nokta isimlerinin kısaltmalarının bulunduğu .abb uzantılı (Bernesede baz oluştururken baz isimleri için bu dosyadaki kısaltmalar kullanılıyor) dosyalarıdır (Şekil 5.2).

Bu dosyaların yanı sıra IGS sitesinden elde edilen hassas yörünge bilgilerinin bulunduğu .igs ve yeryüzü dönme parametrelerinin bulunduğu .erp uzantılı dosyalar da kullanılmaktadır.



Şekil 5. 2 Bernese 5.0 yazılımında değerlendirme diyagramı

5.2.1 Kod Ölçülerinin Ön Değerlendirmesi ve Alıcı Saat Senkronizasyonu (CODSPP)

Bernese 5.0 yazılımında, CODSPP alt yazılımı ile noktaların gözlemlenen her epöğü için alıcı saat düzeltmeleri hesaplanır. CODSPP alt yazılımında ölçü olarak kod gözlemleri ve hassas yörünge dosyalarından elde edilen yörünge dosyası ile uydu saat dosyaları kullanılır. 2006 yılında 148. GPS gününe ait AGOK kampanya noktasının CODSPP sonuç dosyası örnek olarak Şekil 5.3'te verilmiştir.

```

STATION: AGOK          FILE: ${P}/MAR/OBS/AGOK1480.CZO    RECEIVER UNIT: 0
-----
RESULTS:
-----
OBSERVATIONS IN FILE: 4516
BAD OBSERVATIONS   : 0.00 %
RMS OF UNIT WEIGHT : 1.52 M
NUMBER OF ITERATIONS: 2

STATION COORDINATES:
-----
LOCAL GEODETIC DATUM: IGb00

AGOK          X          A PRIORI      NEW          NEW- A PRIORI  RMS ERROR
(MARKER)      Y          4168218.68  4168218.68    0.00          0.00
              Z          2480922.54  2480922.54    0.00          0.00
              4128074.24  4128074.24    0.00          0.00

              HEIGHT      331.65      331.65      0.00          0.00
              LATITUDE   40 35 19.907  40 35 19.907  0 0 0.000    0.00000
              LONGITUDE  30 45 39.944  30 45 39.944  0 0 0.000    0.00000

CLOCK PARAMETERS:
-----
OFFSET FOR REFERENCE EPOCH: -0.000416014 SEC

CLOCK OFFSETS STORED IN CODE+PHASE OBSERVATION FILES

```

Şekil 5. 3 2006 yılı 148. GPS günü AGOK noktasının CODSPS sonucu

5.2.2 Baz Oluşturma (SNGDIF)

Bernese 5.0 yazılımı temel olarak ikili farkları kullanır. Basit olarak, alıcılar arasında elde edilen tekli farklar kullanılarak ileride anlatılacak olan GPSEST altyazılımı ile ikili farklar oluşturulur. SNGDIF altyazılımı ile bu tekli farklar oluşturulur ve dosyaları [33].

Bu tez çalışmasında faz gözlemleri ile tekli farklar (bazlar) oluşturulmuştur. Yöntem olarak “STAR” kullanılmıştır. Bu yöntemde referans alınan bir noktadan diğer noktalara bazlar oluşturulmuştur. Çalışmada TUBI noktası referans alınmıştır.

2006 yılında 148. GPS gününe ait SNGDIF sonuç dosyası örnek olarak Şekil 5.4’te verilmiştir.

1-DIF. HEADER FILE NAMES (OUT)	1-DIF. OBS. FILE NAMES (OUT)	NR1	NR2	STAT.
\$(P)/MAR/OBS/TUAK1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUAK1480.PSO	1	2	OK
\$(P)/MAR/OBS/TUAV1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUAV1480.PSO	3	4	OK
\$(P)/MAR/OBS/TUBC1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUBC1480.PSO	5	6	OK
\$(P)/MAR/OBS/TUBL1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUBL1480.PSO	7	8	OK
\$(P)/MAR/OBS/TUBO1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUBO1480.PSO	9	10	OK
\$(P)/MAR/OBS/TUCA1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUCA1480.PSO	11	12	OK
\$(P)/MAR/OBS/TUDU1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUDU1480.PSO	13	14	OK
\$(P)/MAR/OBS/TUIT1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUIT1480.PSO	15	16	OK
\$(P)/MAR/OBS/TUKN1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUKN1480.PSO	17	18	OK
\$(P)/MAR/OBS/TUKR1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUKR1480.PSO	19	20	OK
\$(P)/MAR/OBS/TUKU1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUKU1480.PSO	21	22	OK
\$(P)/MAR/OBS/TUMD1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUMD1480.PSO	23	24	OK
\$(P)/MAR/OBS/TUMR1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUMR1480.PSO	25	26	OK
\$(P)/MAR/OBS/TUNL1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUNL1480.PSO	27	28	OK
\$(P)/MAR/OBS/TUOV1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUOV1480.PSO	29	30	OK
\$(P)/MAR/OBS/TUSK1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUSK1480.PSO	31	32	OK
\$(P)/MAR/OBS/TUSM1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUSM1480.PSO	33	34	OK
\$(P)/MAR/OBS/TUTE1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUTE1480.PSO	35	36	OK
\$(P)/MAR/OBS/TUUC1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUUC1480.PSO	37	38	OK
\$(P)/MAR/OBS/TUUL1480.PSH	\$(P)/MAR/OBS/TUUL1480.PSO	39	40	OK

Şekil 5. 4 2006 yılının 148. GPS günü için oluşturulan bazlar.

5.2.3 Faz Gözlemlerinin Ön Değerlendirmesi (MAUPRP)

Faz gözlemlerinin ön değerlendirilmesi ile,

- düşük uydu yüksekliğinde; L_1 ya da sadece L_2 frekansında ve kısa süreli alınan veriler belirlenir,
- uyumsuz ölçü belirlemek için parametrik olmayan kısımlar ayrılır,
- faz kesiklikleri belirlemek için referans olacak epok farkları hesaplanır,
- tüm veriler kontrol edilerek faz kesiklikleri olan zaman aralıkları bulunur ve mümkünse düzeltilir [33].

5.2.4 Parametre Kestirimi (GPSEST)

Bernese 5.0 yazılımında parametre kestirimi ve dengeleme En Küçük Kareler ilkesine göre yapılır. Bunun için GPSEST alt yazılımı çalıştırılır. GPSEST ile doğrusallaştırılmış gözlem eşitliklerinden parametrelerin düzeltilmeleri hesaplanır, fakat iterasyon yapılmamaktadır. Dolayısıyla iterasyon gerekiyorsa program tekrar çalıştırılmalıdır (Şekil 5.5).



Şekil 5. 5 Parametre kestirimi diyagramı

5.2.5 Düzeltmelerin Hesaplanması (GPSEST I)

Parametre kestirimlerinin ilk adımında referans noktaya göre iyonosferden bağımsız (L_3) olarak deformasyon ağına ait düzeltmeler hesaplanır. Tez çalışmasında referans noktası olarak TUBI noktasına sıkı koşul uygulanarak 1mm önsel standart sapma ön görülmüştür.

RESRMS alt yazılımında oluşturulan düzeltme dosyası analiz edilir. Bu program, noktaların ya da bazların düzeltmeleri için istatistiksel bilgileri oluşturur (Şekil 5.6). Daha sonra SATMRK alt yazılımı çalıştırılarak gözlem dosyasındaki hatalı gözlemler belirlenerek gözlem dosyasından silinir.

FILE INFORMATION AND STATISTIC:

Num	Station 1	Station 2	Total RMS	med.Resi	Sigma	numObs	nSat	nDel	ObsTyp
1	TUBI	AGOK	1.4	0.8	1.2	4388	17	2	PHASE
2	TUBI	AVCT	1.5	0.9	1.3	20260	28	43	PHASE
3	TUBI	BKCT	1.3	0.8	1.1	9735	24	11	PHASE
4	TUBI	BLOT	1.5	0.8	1.2	9905	24	15	PHASE
5	TUBI	BOZT	1.1	0.7	1.0	15160	28	8	PHASE
6	TUBI	CALT	1.6	0.9	1.3	9295	22	14	PHASE
7	TUBI	DUMT	1.2	0.6	1.0	21409	28	20	PHASE
8	TUBI	ISTA	1.2	0.7	1.0	20997	28	11	PHASE
9	TUBI	KANT	1.4	0.8	1.1	20020	28	39	PHASE
10	TUBI	KART	1.1	0.6	0.9	15380	28	7	PHASE
11	TUBI	KUTE	1.9	1.0	1.5	10439	25	31	PHASE
12	TUBI	HADT	1.3	0.7	1.1	21064	28	19	PHASE

Şekil 5. 6 2006 yılı 148. GPS günü için RSRMS sonuç dosyası

5.2.6 İlk Çözüm (GPSEST II)

Atmosfer dosyalarının (iyonosfer, troposfer) oluşturulması ve ilk ağ dengelemesini yapmak için GPSEST alt yazılımı tekrar çalıştırılır. Tez çalışmasında atmosfer dosyası olarak sadece troposfer dosyası oluşturulmuştur (Şekil 5.7); iyonosfer dosyası Bernese'in internet sayfasından elde edilmiştir [51].

A PRIORI MODEL: -15		MAPPING FUNCTION: 4		GRADIENT MODEL: 0		MIN. ELEVATION: 10		TABULAR INTERP	
STATION NAME	FLG	YYYY MM DD HH MM SS	YYYY MM DD HH MM SS	MOD_U	CORR_U	SIGMA_U	TOTAL_U	CORR_N	
TUBI	P	2006 05 28 00 00 00		2.2474	0.29051	0.00648	2.53792		
TUBI	P	2006 05 28 02 00 00		2.2474	0.19852	0.00406	2.44593		
TUBI	P	2006 05 28 04 00 00		2.2474	0.14355	0.00255	2.39096		
TUBI	P	2006 05 28 06 00 00		2.2474	0.18785	0.00135	2.43526		
TUBI	P	2006 05 28 08 00 00		2.2474	0.17369	0.00142	2.42110		
TUBI	P	2006 05 28 10 00 00		2.2474	0.18706	0.00206	2.43447		
TUBI	P	2006 05 28 12 00 00		2.2474	0.09284	0.00191	2.34025		
TUBI	P	2006 05 28 14 00 00		2.2474	0.15513	0.00132	2.40254		
TUBI	P	2006 05 28 16 00 00		2.2474	0.14072	0.00235	2.38813		
TUBI	P	2006 05 28 18 00 00		2.2474	0.12350	0.00269	2.37091		
TUBI	P	2006 05 28 20 00 00		2.2474	0.13602	0.00322	2.38343		
TUBI	P	2006 05 28 22 00 00		2.2474	0.15608	0.00504	2.40349		
TUBI	P	2006 05 29 00 00 00		2.2474	0.06088	0.00691	2.30829		

Şekil 5. 7 2006 yılı 148. GPS günü için oluşturulan troposfer dosyası

5.2.7 Faz Başlangıç Belirsizliği Çözümü (GPSEST III)

Gözlem eşitliklerindeki faz başlangıç belirsizliği parametreleri gerçekte tam sayılardır. Fakat bu parametreler, hassas bir şekilde ayırt edilemeyen birçok terim içerirler (alıcı ve uydu saat hataları, alet gecikmeleri ve alıcı ile uydu arasında değişen faz).

Faz başlangıç belirsizliğinin çözümünde birçok yöntem kullanılır. Bunlardan bazıları oldukça karmaşık iken bazıları ise oldukça basittir. Tüm yöntemler temel olarak iki adımdan oluşur:

- Faz başlangıç belirsizlikleri, diğer parametreler ile birlikte gerçek sayılar olarak kestirilir,
- Faz başlangıç belirsizliğinin tam sayı değerleri, a) dan elde edilen sonuçlar (gerçek faz başlangıç belirsizliği değerleri ve varyans-kovaryans matrisleri) kullanılarak analiz edilir ve istatistiksel testlerle sonuçların güvenilir olup olmadığı araştırılır.

Bernese 5.0 yazılımında faz başlangıç belirsizliği çözümü için,

- ✓ ROUND
- ✓ SEARCH
- ✓ SIGMA
- ✓ QIF (Quasi Ionosphere Free)

algoritmaları bulunmaktadır [33].

Tez çalışmasında faz başlangıç belirsizliği çözümü QIF algoritmasına göre yapılmıştır. GPSEST II adımından elde edilen kestirilmiş ve modellenmiş parametreler (troposfer ve koordinat dosyaları) kullanılmıştır. Faz başlangıç belirsizlikleri L_1 ve L_2 frekanslarında her bir baz için ayrı ayrı çözümlenmiştir.

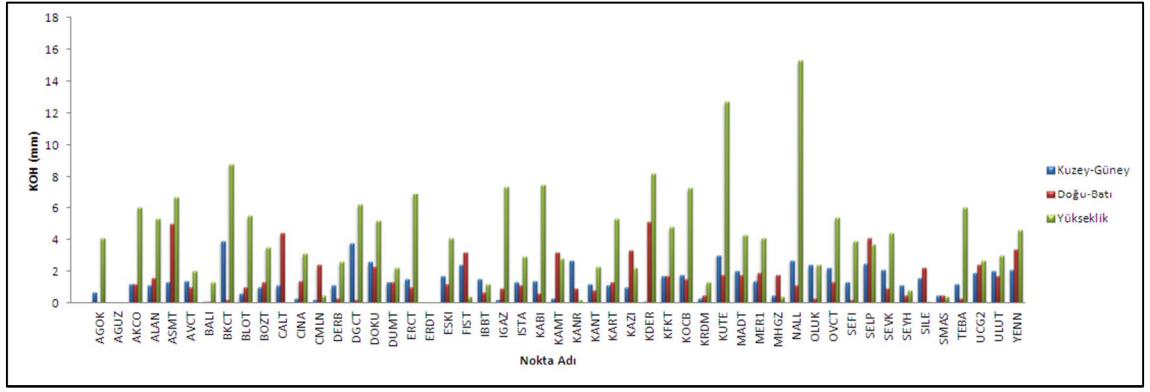
5.2.8 Tüm Ağ Dengelemesi (GPSEST IV)

Faz başlangıç belirsizliklerinin çözümünden sonra tüm ağın değerlendirilmesi yapılır. İyonosferden bağımsız olarak tek noktaya göre sıkı koşul uygulanarak ağ dengelenmesi gerçekleştirilmiştir.

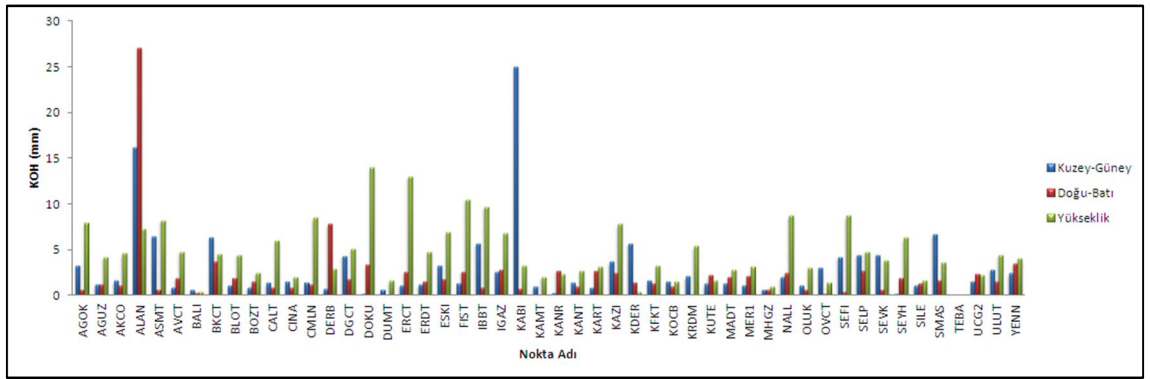
GPS ölçülerinin günlük değerlendirme stratejisi aşağıdaki gibidir:

- ✓ Tek nokta çözümü uygulanmış ve iyonosferden bağımsız olarak L_3 frekansı kullanılmış,
- ✓ IGS (International GNSS Service) sitesinden duyarlı GPS yörünge ve yer dönme parametreleri kullanılmış,
- ✓ Uydu yükseklik açısı 10^0 alınmış,
- ✓ SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) sitesinden TUBI noktasının 2000.0 epöğünde ITRF2005 koordinatına sıkı koşul uygulanmıştır. Tüm nokta koordinatları için 1mm standart sapma öngörülmüş,
- ✓ Bazlar tek noktaya bağlı olarak (TUBI) STAR yöntemine göre oluşturulmuş,
- ✓ Faz başlangıç belirsizliği çözümünde (ambiguity) QIF yöntemi kullanılmış,
- ✓ Troposfer modeli olarak NIELL kullanılmıştır.

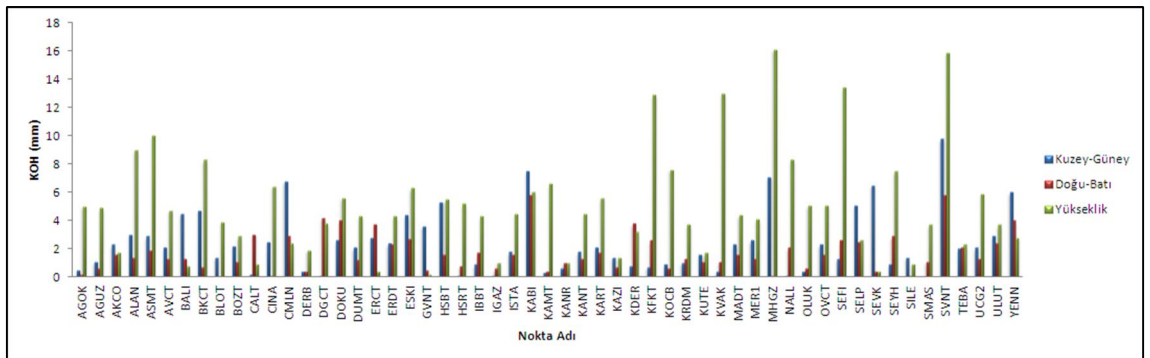
ADDNEQ altyazılımı ile günlük değerlendirmelerden elde edilen normal denklemlerin birleştirilmesi ve çözümü yapılmıştır. Yukarıda belirtilen değerlendirme stratejisi her periyot için ayrı ayrı uygulanmıştır. Normal denklemlerin birleştirilmesi sonucu her periyot için günlük tekrarlılıklar (Karesel Ortalama Hatalar (KOH)) hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 5.8-5.12'de gösterilmektedir. Ayrıca noktaların yerel koordinat sistemi farkları 2006 yılının ilk gün koordinatı başlangıç alınarak zaman serileri oluşturulmuş ve Ek A'da gösterilmiştir.



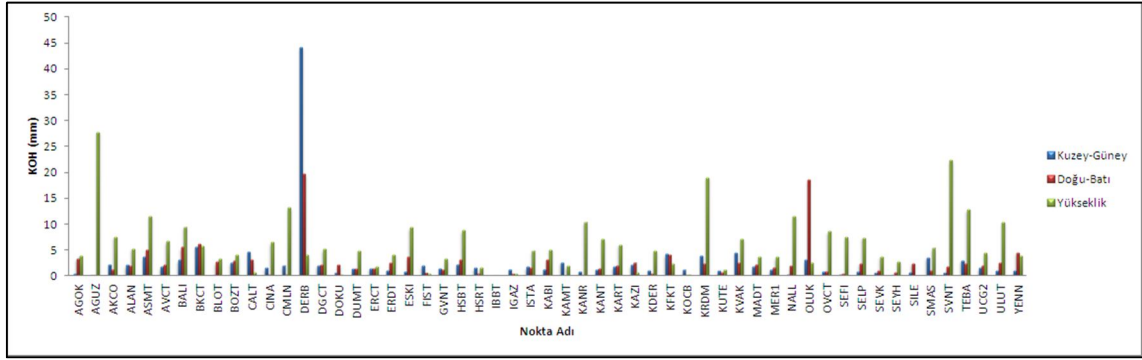
Şekil 5. 8 2006 yılına ait günlük tekrarlılıklar



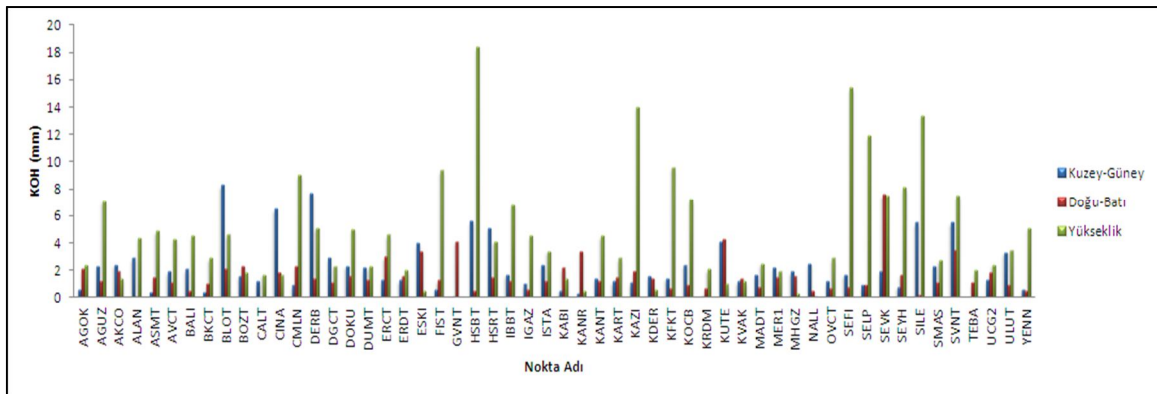
Şekil 5. 9 2007 yılına ait günlük tekrarlılıklar



Şekil 5. 10 2008 yılına ait günlük tekrarlılıklar



Şekil 5. 11 2009 yılına ait günlük tekrarlılıklar



Şekil 5. 12 2010 yılına ait günlük tekrarlılıklar

2006 yılı için ortalama tekrarlılık değerleri kuzey-güney bileşeninde 1.42mm, doğu-batı bileşeninde 1.51mm ve yükseklik bileşeninde 3.96mm iken faz başlangıç belirsizliği çözümü %70-%100 arasındadır. 2007 yılı için ortalama tekrarlılık değerleri kuzey-güney bileşeninde 2.90mm, doğu-batı bileşeninde 2.15mm ve yükseklik bileşeninde 4.67mm iken faz başlangıç belirsizliği çözümü %65-%100 arasındadır. 2008 yılı için ortalama tekrarlılık değerleri kuzey-güney bileşeninde 2.41mm, doğu-batı bileşeninde 1.73mm ve yükseklik bileşeninde 5.05mm iken faz başlangıç belirsizliği çözümü %75-%100 arasındadır. 2009 yılı için ortalama tekrarlılık değerleri kuzey-güney bileşeninde 2.52mm, doğu-batı bileşeninde 2.57mm ve yükseklik bileşeninde 6.05mm iken faz başlangıç belirsizliği çözümü %65-%100 arasındadır. 2010 yılı için ortalama tekrarlılık değerleri kuzey-güney bileşeninde 2.19mm, doğu-batı bileşeninde 1.60mm ve yükseklik bileşeninde 4.65mm iken faz başlangıç belirsizliği çözümü %60-%100 arasındadır. Günlük çözümlerden elde edilen faz başlangıç belirsizliği çözümleri her nokta için Ek B’de verilmiştir.

**GPS İLE HIZ VE GERİNİM ALANLARININ
BELİRLENMESİ**

6.1 Periyotlar Arasında Dönme, Benzerlik ve Özdeşlik Testleri

Çalışma bölgesinde gerinim ve hareketli noktalarda deformasyon analizinden önce periyotlar arasında ağda genel olarak dönme, benzerlik ve özdeşlik olup olmadığını belirlemek amacıyla ön analiz yapılmıştır. İki periyotta ortak noktalara ait üç boyutlu kartezyen koordinatlarla (4.2) dengeleme modeli kurulmuştur. Dengeleme modeline göre periyotlar arasında yapılan değerlendirmeler Çizelge 6.1’de; (4.8a) ve (4.8b) H_0 hipotezleri ile $T_{benzerlik} < \chi^2_{(6,1-\alpha)}$, $T_{özdeşlik} < \chi^2_{(6,1-\alpha)}$ ve $T_{dönme} < \chi^2_{(3,1-\alpha)}$ test istatistiklerinin geçerli olup olmadığı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6.2’de verilmektedir.

Çizelge 6. 1 Periyotlar arasında dönme, benzerlik ve özdeşlik testi için kurulan dengeleme modeli sonucuna göre bilinmeyenler vektörleri

Parametreler	2007 - 2006	2008 - 2007	2009 - 2008	2010 - 2009
$u_0 \pm su_0$	-0,02955 ±0,01328m	-0,00293 ±0,00835m	0,00110 ±0,01055m	-0,01050 ±0,01075m
$v_0 \pm sv_0$	-0,00885 ±0,01116m	0,00458 ±0,00804m	0,00652 ±0,01014m	-0,00058 ±0,01029m
$w_0 \pm sw_0$	-0,02304 ±0,01302m	0,00226 ±0,00831m	0,00468 ±0,01048m	-0,00444 ±0,01067m
$\omega_{xy} \pm s\omega_{xy}$	-7,1450E-07 ±3,6010E-07rad	-3,7820E-07 ±2,4850E-07rad	-4,7590E-07 ±3,3200E-07rad	-1,0537E-06 ±3,3700E-07rad
$\omega_{xz} \pm s\omega_{xz}$	4,8000E-09 ±4,8330E-07rad	2,0590E-07 ±3,4210E-07rad	-4,8160E-07 ±4,4490E-07rad	4,6620E-07 ±4,6520E-07rad
$\omega_{yz} \pm s\omega_{yz}$	5,9480E-07 ±4,0770E-07rad	3,2260E-07 ±2,9130E-07rad	4,9600E-08 ±3,9480E-07rad	1,1363E-06 ±3,9890E-07rad
$\epsilon_{xx} \pm s\epsilon_{xx}$	0,1947 ±2,9915µstrain	-0,2972 ±1,8828 µstrain	-3,7856 ±2,7939 µstrain	4,6803 ±2,9121 µstrain
$\epsilon_{yy} \pm s\epsilon_{yy}$	0,7778 ±0,9695 µstrain	0,3388 ±0,6292 µstrain	-0,5442 ±0,9259 µstrain	2,4885 ±0,9448 µstrain
$\epsilon_{zz} \pm s\epsilon_{zz}$	0,1394 ±2,8203 µstrain	-0,6082 ±1,7529 µstrain	-2,7611 ±2,5631 µstrain	3,9971 ±2,6572 µstrain
$\gamma_{xy} \pm s\gamma_{xy}$	0,7547 ±1,6675 µstrain	0,2172 ±1,0636 µstrain	-1,5365 ±1,5788 µstrain	3,5497 ±1,6278 µstrain
$\gamma_{xz} \pm s\gamma_{xz}$	0,2672 ±2,8649 µstrain	-0,3403 ±1,7849 µstrain	-3,1615 ±2,6401 µstrain	4,4399 ±2,7444 µstrain
$\gamma_{yz} \pm s\gamma_{yz}$	0,6462 ±1,6071 µstrain	0,0017 ±1,0162 µstrain	-1,3668 ±1,4987 µstrain	3,2210 ±1,5415 µstrain

Çizelge 6. 2 Periyotlar arası ön analiz sonuçlarına göre ağıın durumu

Periyotlar	Ortak Nokta Sayısı	Serbestlik derecesi	$\chi^2_{(6,1-\alpha)}$	$T_{benzerlik}$	Hipotez	$T_{özdeşlik}$	Hipotez	$\chi^2_{(3,1-\alpha)}$	$T_{dönme}$	Hipotez
2006-2007	52	144	12,5916	3,8846E-27	Geçerli	82,5370	Geçersiz	7,8147	0,0132	Geçerli
2007-2008	52	144	12,5916	4,2831E-27	Geçerli	286,7806	Geçersiz	7,8147	0,0097	Geçerli
2008-2009	58	162	12,5916	-9,9748E-25	Geçerli	144,9290	Geçersiz	7,8147	0,1711	Geçerli
2009-2010	58	162	12,5916	2,4591E-25	Geçerli	165,4571	Geçersiz	7,8147	0,1850	Geçerli

Çizelge 6.2'ye göre, periyotlar arasında anlamlı bir dönmenin olmadığı ve ağıların benzer olduğu fakat bir deformasyon sonucu özdeş olmadığı görülmektedir.

6.2 Periyotlara İlişkin Deformasyon Analizi ve Konum Değişim Vektörlerinin Belirlenmesi

Periyotlar arasında anlamlı bir hareket olup olmadığını belirlemek amacıyla global eşdeğerlik testi yapılarak nokta konumlarının değişmediği varsayımına dayanan H_0 hipotezi (3.3) kurulmuş ve hipotezin geçersiz olduğu sonucuna varılmıştır. Periyotlara ilişkin global eşdeğerlik test sonuçları Çizelge 6.3'te verilmektedir. Ayrıca periyotlar arasında elde edilen yer değişimleri Şekil 6.1-6.4'te gösterilmektedir.

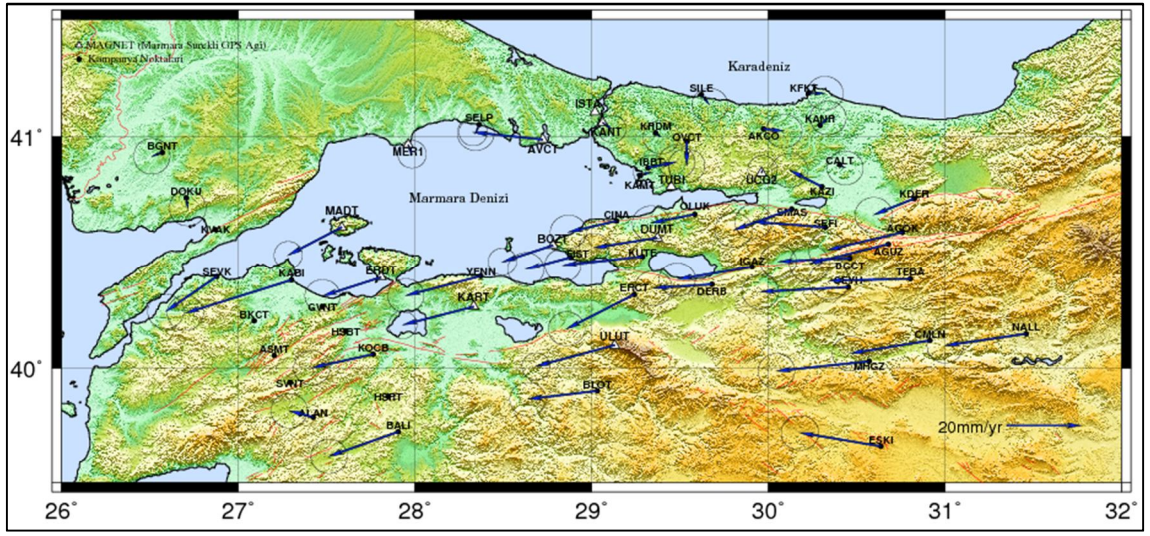
Çizelge 6. 3 Periyotlara ilişkin global eş değerlik test sonuçları

Periyotlar	Ω_1	Ω_2	S_0 (mm)	R_d	Test Değeri	$F_{(f_1, f_2, 1-\alpha)}$	Sonuç
2006-2007	632,3922	615,1600	1,117	1,1760E+06	67,0950	1,3864	Deformasyon Var
2007-2008	615,1600	881,1328	1,135	1,1681E+06	55,3019	1,3835	Deformasyon Var
2008-2009	881,1328	1078,9200	1,224	1,6937E+06	56,3848	1,3576	Deformasyon Var
2009-2010	1078,9200	925,0000	1,166	1,8142E+06	60,3962	1,3576	Deformasyon Var

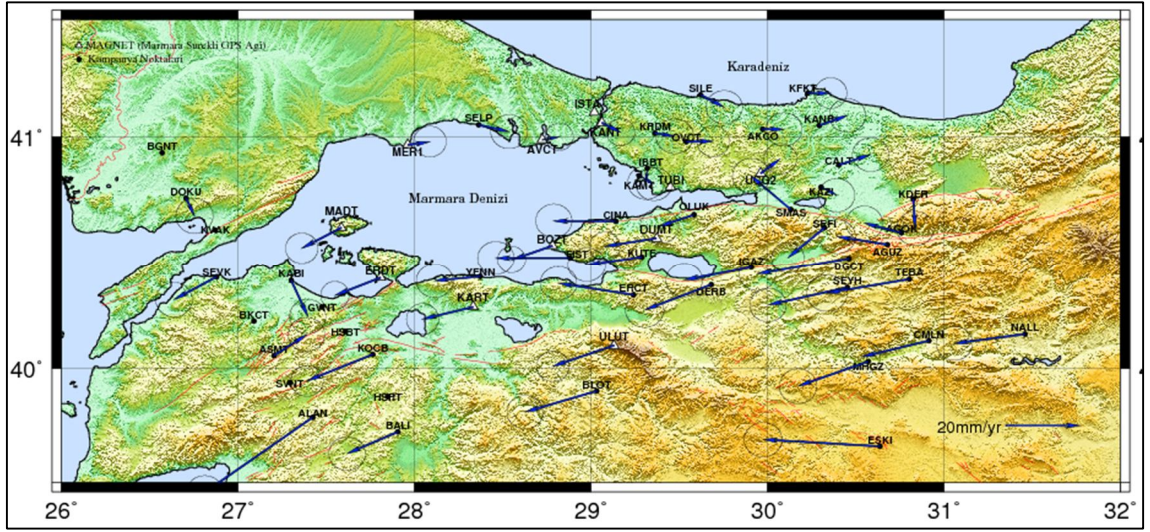
- 2006 – 2007 periyodunda ağıın genelinde en büyük yer değişim KABI ($29,95 \pm 0,28$ mm) noktasında iken en küçük değişim CALT ($1,74 \pm 0,27$ mm) noktasında gözlenmiştir. Fayın üst kısmındaki noktalar doğu-güneydoğu yönünde iken fayın alt kısmındaki noktalar batı-güneybatı yönüne hareket etmektedir.
- 2007 – 2008 periyodunda ağıın genelinde en büyük yer değişim DGCT ($25,04 \pm 0,27$ mm) noktasında iken en küçük değişim IBBT ($3,83 \pm 0,27$ mm) noktasında gözlenmiştir. Fayın üst kısmındaki noktalar doğu-güneydoğu yönünde iken fayın alt kısmındaki noktalar batı-güneybatı yönüne hareket etmektedir.

- 2008 – 2009 periyodunda ağın genelinde en büyük yer değişim DERB ($29,22 \pm 0,28\text{mm}$) noktasında iken en kk değişim IBBT ($1,13 \pm 0,30\text{mm}$) noktasında gözlenmiştir. Fayın st kısmındaki noktalar doğu-güneydoğu yönünde iken fayın alt kısmındaki noktalar batı-güneybatı yönüne hareket etmektedir.
- 2009 – 2010 periyodunda ağın genelinde en büyük yer değişim HSBT ($32,70 \pm 0,28\text{mm}$) noktasında iken en kk değişim DOKU ($1,19 \pm 0,28\text{mm}$) noktasında gözlenmiştir. Fayın st kısmındaki noktalar doğu-güneydoğu yönünde iken fayın alt kısmındaki noktalar batı-güneybatı yönüne hareket etmektedir.

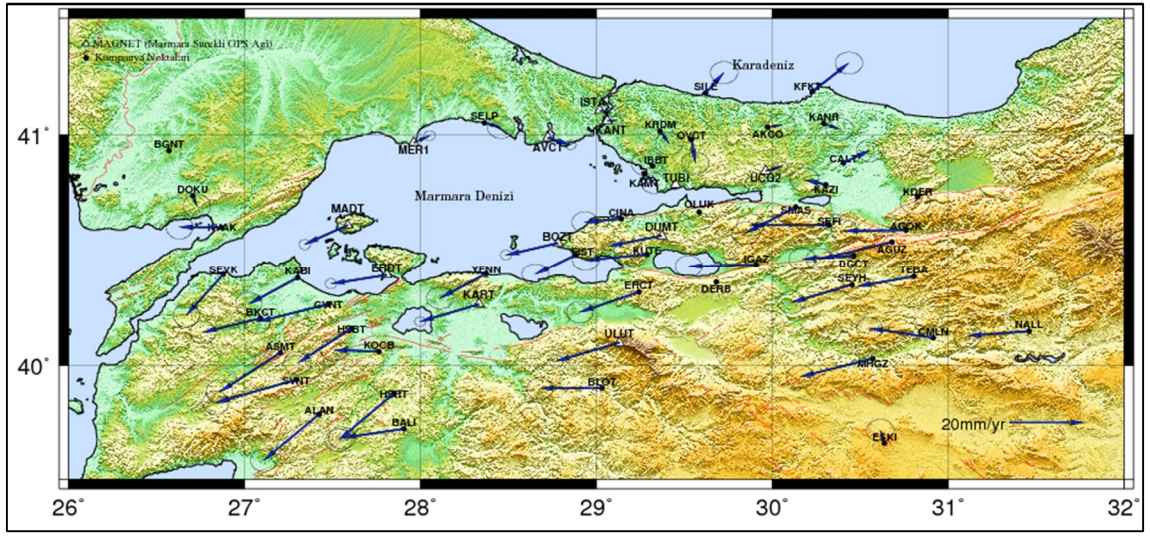
Periyotlar arasında anlamlı bir hareket olduğu sonucuna varıldıktan sonra noktalara ilişkin hareket vektörlerinin anlamlı olup olmadıkları test edilmiş ve izelge 6.4'e göre bölgede yer alan noktalarda anlamlı nokta hareketleri gözlenmiştir.



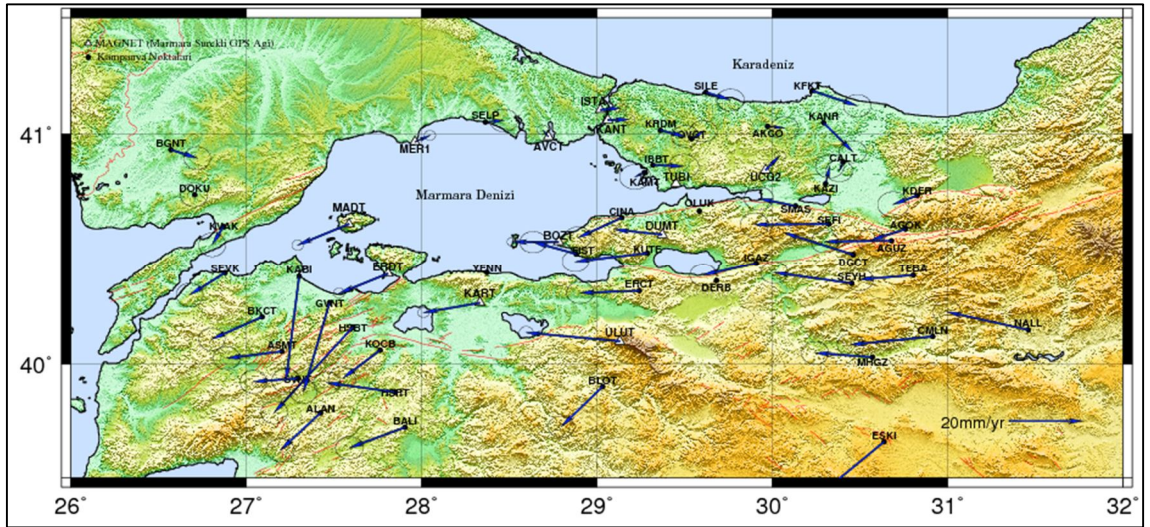
Şekil 6. 1 2006 - 2007 periyotları arasında noktasal yer değışim vektörleri



Şekil 6. 2 2007 - 2008 periyotları arasında noktasal yer değışim vektörleri



Şekil 6. 3 2008 - 2009 periyotları arasında noktasal yer değışim vektörleri



Şekil 6. 4 2009 - 2010 periyotları arasında noktasal yer değışim vektörleri

Çizelge 6. 4 Nokta hareketlerine ilişkin anlamlılık test sonuçları

Nokta Adı	2006-2007 Periyodu			2007-2008 Periyodu			2008-2009 Periyodu			2009-2010 Periyodu		
	Test Değeri	$F_{2,f,1-\alpha}$	Karar	Test Değeri	$F_{2,f,1-\alpha}$	Karar	Test Değeri	$F_{2,f,1-\alpha}$	Karar	Test Değeri	$F_{2,f,1-\alpha}$	Karar
AGOK	10,1611	3,059	Geçersiz	5,2333	3,059	Geçersiz	7,4248	3,052	Geçersiz	5,0585	3,052	Geçersiz
AGUZ	10,0816	3,059	Geçersiz	6,9470	3,059	Geçersiz	9,2997	3,052	Geçersiz	8,0414	3,052	Geçersiz
AKCO	2,8420	3,059	Geçerli	2,9438	3,059	Geçerli	2,7055	3,052	Geçerli	1,8767	3,052	Geçerli
ALAN	3,3571	3,059	Geçersiz	17,9013	3,059	Geçersiz	9,9974	3,052	Geçersiz	5,9872	3,052	Geçersiz
ASMT	22,7603	3,059	Geçersiz	5,2924	3,059	Geçersiz	9,0789	3,052	Geçersiz	7,2934	3,052	Geçersiz
AVCT	12,1795	3,059	Geçersiz	3,0601	3,059	Geçersiz	3,8708	3,052	Geçersiz	1,3182	3,052	Geçerli
BALI	9,9742	3,059	Geçersiz	7,5599	3,059	Geçersiz	7,7134	3,052	Geçersiz	7,6796	3,052	Geçersiz
BGNT	1,4611	3,059	Geçerli	19,8786	3,059	Geçersiz	6,0173	3,052	Geçersiz	3,7265	3,052	Geçersiz
BKCT	11,9135	3,059	Geçersiz	17,7249	3,059	Geçersiz	8,7684	3,052	Geçersiz	6,1064	3,052	Geçersiz
BLOT	9,5865	3,059	Geçersiz	10,2454	3,059	Geçersiz	8,4258	3,052	Geçersiz	6,8030	3,052	Geçersiz
BOZT	9,1984	3,059	Geçersiz	7,5806	3,059	Geçersiz	8,3404	3,052	Geçersiz	8,1039	3,052	Geçersiz
CALT	0,8864	3,059	Geçerli	4,6065	3,059	Geçersiz	2,7780	3,052	Geçerli	1,5483	3,052	Geçerli
CINA	6,8197	3,059	Geçersiz	8,6194	3,059	Geçersiz	5,1845	3,052	Geçersiz	5,3651	3,052	Geçersiz
CMLN	10,8986	3,059	Geçersiz	9,4178	3,059	Geçersiz	8,6540	3,052	Geçersiz	10,3190	3,052	Geçersiz
DERB	7,7497	3,059	Geçersiz	9,3894	3,059	Geçersiz	13,9458	3,052	Geçersiz	3,8408	3,052	Geçersiz
DGCT	9,7703	3,059	Geçersiz	12,6822	3,059	Geçersiz	7,0931	3,052	Geçersiz	8,8507	3,052	Geçersiz
DOKU	1,4022	3,059	Geçerli	2,6291	3,059	Geçerli	1,0076	3,052	Geçerli	0,5527	3,052	Geçerli
DUMT	10,2842	3,059	Geçersiz	8,4553	3,059	Geçersiz	8,6707	3,052	Geçersiz	8,0391	3,052	Geçersiz
ERCT	10,3898	3,059	Geçersiz	10,4554	3,059	Geçersiz	7,8601	3,052	Geçersiz	7,7856	3,052	Geçersiz
ERDT	8,6983	3,059	Geçersiz	8,4007	3,059	Geçersiz	8,9896	3,052	Geçersiz	9,1176	3,052	Geçersiz
ESKI	10,8542	3,059	Geçersiz	15,5515	3,059	Geçersiz	1,6049	3,052	Geçerli	11,5428	3,052	Geçersiz
FIST	6,3621	3,059	Geçersiz	10,2165	3,059	Geçersiz	5,6655	3,052	Geçersiz	6,5697	3,052	Geçersiz
GVNT	-	-	-	-	-	-	8,8931	3,052	Geçersiz	12,5605	3,052	Geçersiz
HSBT	-	-	-	-	-	-	7,2366	3,052	Geçersiz	15,3824	3,052	Geçersiz
HSRT	-	-	-	-	-	-	7,0931	3,052	Geçersiz	9,9604	3,052	Geçersiz
IBBT	3,9906	3,059	Geçersiz	1,9502	3,059	Geçerli	0,4960	3,052	Geçerli	2,7917	3,052	Geçerli
IGAZ	10,3555	3,059	Geçersiz	9,3306	3,059	Geçersiz	8,5364	3,052	Geçersiz	8,0175	3,052	Geçersiz
ISTA	-	-	-	-	-	-	1,9358	3,052	Geçerli	3,1510	3,052	Geçersiz
KABI	15,0469	3,059	Geçersiz	5,4262	3,059	Geçersiz	7,7496	3,052	Geçersiz	12,1537	3,052	Geçersiz
KAMT	1,6836	3,059	Geçerli	2,3537	3,059	Geçerli	1,0282	3,052	Geçerli	0,9372	3,052	Geçerli
KANR	1,5237	3,059	Geçerli	4,1230	3,059	Geçersiz	2,0249	3,052	Geçerli	5,6125	3,052	Geçersiz
KANT	2,0358	3,059	Geçerli	3,6961	3,059	Geçersiz	1,7844	3,052	Geçerli	3,4205	3,052	Geçersiz
KART	12,6087	3,059	Geçersiz	7,9141	3,059	Geçersiz	9,9106	3,052	Geçersiz	9,7877	3,052	Geçersiz
KAZI	4,8867	3,059	Geçersiz	2,4322	3,059	Geçerli	2,3270	3,052	Geçerli	1,7554	3,052	Geçerli
KDER	5,7823	3,059	Geçersiz	3,9564	3,059	Geçersiz	1,8090	3,052	Geçerli	3,8581	3,052	Geçersiz
KFKT	2,2282	3,059	Geçerli	3,4708	3,059	Geçersiz	3,7121	3,052	Geçersiz	5,3940	3,052	Geçersiz
KOCB	8,5036	3,059	Geçersiz	10,7105	3,059	Geçersiz	6,5206	3,052	Geçersiz	5,2698	3,052	Geçersiz
KRDM	0,9892	3,059	Geçerli	2,6695	3,059	Geçerli	0,6629	3,052	Geçerli	4,1136	3,052	Geçersiz
KUTE	11,0200	3,059	Geçersiz	7,4645	3,059	Geçersiz	7,7732	3,052	Geçersiz	8,9189	3,052	Geçersiz
KVAK	-	-	-	-	-	-	4,4361	3,052	Geçersiz	3,6649	3,052	Geçersiz
MADT	10,4172	3,059	Geçersiz	6,8280	3,059	Geçersiz	7,4924	3,052	Geçersiz	9,4488	3,052	Geçersiz
MER1	1,8014	3,059	Geçerli	3,4166	3,059	Geçersiz	3,1786	3,052	Geçersiz	2,4376	3,052	Geçerli
MHGZ	12,4795	3,059	Geçersiz	9,8513	3,059	Geçersiz	8,5705	3,052	Geçersiz	8,7289	3,052	Geçersiz
NALL	10,9921	3,059	Geçersiz	9,7218	3,059	Geçersiz	8,1358	3,052	Geçersiz	9,1448	3,052	Geçersiz
OLUK	6,0156	3,059	Geçersiz	4,7899	3,059	Geçersiz	9,6231	3,052	Geçersiz	5,6110	3,052	Geçersiz
OVCT	3,2773	3,059	Geçersiz	4,1210	3,059	Geçersiz	1,6118	3,052	Geçerli	1,5385	3,052	Geçerli

Çizelge 6. 4 Nokta hareketlerine ilişkin anlamlılık test sonuçları (devam)

Nokta Adı	2006-2007 Periyodu			2007-2008 Periyodu			2008-2009 Periyodu			2009-2010 Periyodu		
	Test Değeri	$F_{2,f,1-\alpha}$	Karar	Test Değeri	$F_{2,f,1-\alpha}$	Karar	Test Değeri	$F_{2,f,1-\alpha}$	Karar	Test Değeri	$F_{2,f,1-\alpha}$	Karar
SEFI	9,7452	3,059	Geçersiz	7,1861	3,059	Geçersiz	9,6926	3,052	Geçersiz	8,8504	3,052	Geçersiz
SELP	1,2816	3,059	Geçerli	4,2290	3,059	Geçersiz	1,4456	3,052	Geçerli	2,8301	3,052	Geçerli
SEVK	8,3948	3,059	Geçersiz	6,5402	3,059	Geçersiz	6,6168	3,052	Geçersiz	5,3459	3,052	Geçersiz
SEYH	11,9258	3,059	Geçersiz	11,1361	3,059	Geçersiz	7,9058	3,052	Geçersiz	9,8714	3,052	Geçersiz
SILE	1,8112	3,059	Geçerli	3,6243	3,059	Geçersiz	3,4162	3,052	Geçersiz	2,5554	3,052	Geçersiz
SMAS	8,2518	3,059	Geçersiz	6,9153	3,059	Geçersiz	6,3691	3,052	Geçersiz	5,1792	3,052	Geçersiz
SVNT	-	-	-	-	-	-	8,2598	3,052	Geçersiz	7,3699	3,052	Geçersiz
TEBA	10,0085	3,059	Geçersiz	10,3684	3,059	Geçersiz	7,5814	3,052	Geçersiz	6,9620	3,052	Geçersiz
UCG2	0,5249	3,059	Geçerli	3,7148	3,059	Geçersiz	3,1748	3,052	Geçersiz	2,9217	3,052	Geçerli
ULUT	14,2197	3,059	Geçersiz	9,8795	3,059	Geçersiz	9,8134	3,052	Geçersiz	15,1232	3,052	Geçersiz
YENN	10,5946	3,059	Geçersiz	6,2238	3,059	Geçersiz	6,9597	3,052	Geçersiz	14,7337	3,052	Geçersiz

6.3 Hız Kestirimi

Koordinatlara göre hız modelinde, jeodezik ağıın herhangi bir P noktasının t_0 zamanındaki koordinatları x_0, y_0, z_0 ; hız vektörlerinin bileşenleri $u_{x_0}, u_{y_0}, u_{z_0}$ olsun.

Buna göre P noktasının t_k zamanındaki koordinatları,

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{x}_0 + (t_k - t_0)\mathbf{u}_{x_0} \quad (6.1)$$

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{y}_0 + (t_k - t_0)\mathbf{u}_{y_0} \quad (6.2)$$

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{z}_0 + (t_k - t_0)\mathbf{u}_{z_0} \quad (6.3)$$

olur.

t_0 zamanındaki yaklaşık koordinatlar $\mathbf{x}_{0,0}$ olmak üzere,

$$\mathbf{v}_k = \delta\mathbf{x}_0 + (t_k - t_0)\mathbf{u}_0 - \mathbf{l}_k \quad (6.4)$$

düzeltilme denklemleri çıkar. Burada,

$$-\mathbf{l}_k = \mathbf{x}_{0,0} - \mathbf{x}_k \quad (6.6)$$

ölçü vektörüdür. Stokastik model,

$$\mathbf{C}_{xx} = \sigma_0^2 \mathbf{Q}_{xx} \quad (6.6)$$

şeklindedir.

Hız kestirimi için,

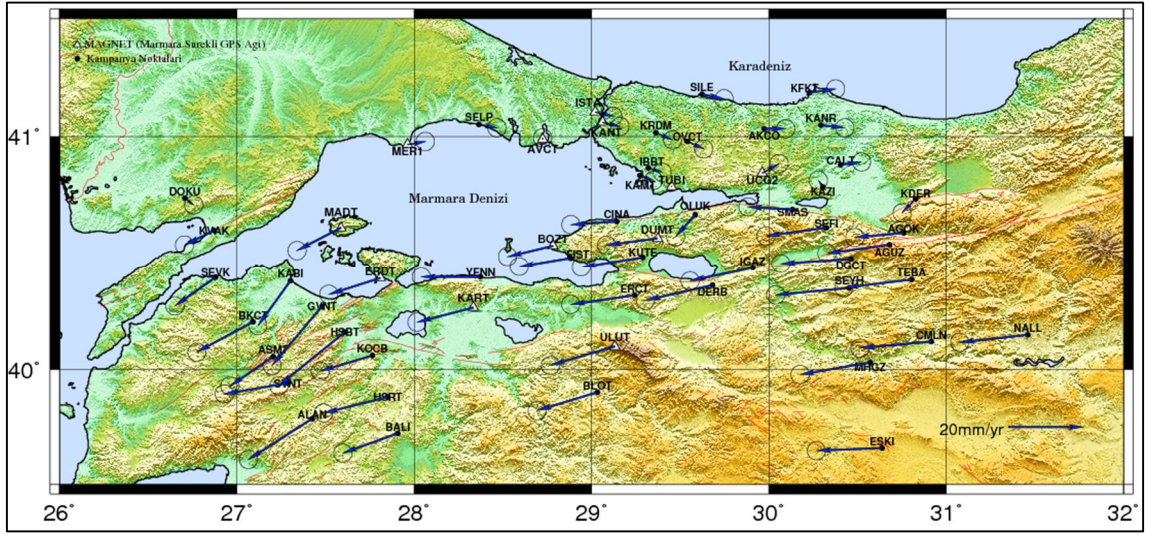
- Koordinatlar için datum parametreleri belirlenmeli,
- Hızlar için datum parametreleri belirlenmeli,
- Her epoktaki ölçüler aynı doğrulukta olmalı,
- Dengelemeli çözüm için en az 3 periyot ölçü olmalı,
- Periyotlar için ayrı dengelemeler yapılarak uyuşumsuz ölçüler çıkartılmalı,
- Stokastik modeller gerçeğe uygun ön görülmelidir [24-52].

Bu çalışmada, TUBI noktası sabit alınarak 2006 yılı başlangıç olmak üzere 2007, 2008, 2009 ve 2010 yılları için her bir noktanın yatay ve düşey hız değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 6.5). GVNT, HSBT, HSRT, KVAK ve SVNT noktaları 2008 yılında ölçülmeye başlandığından bu noktalara ait hız değerleri üç periyoda aittir. Elde edilen hız değerleri ile standart sapmaları GMT programında çizilerek Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da verilmiştir.

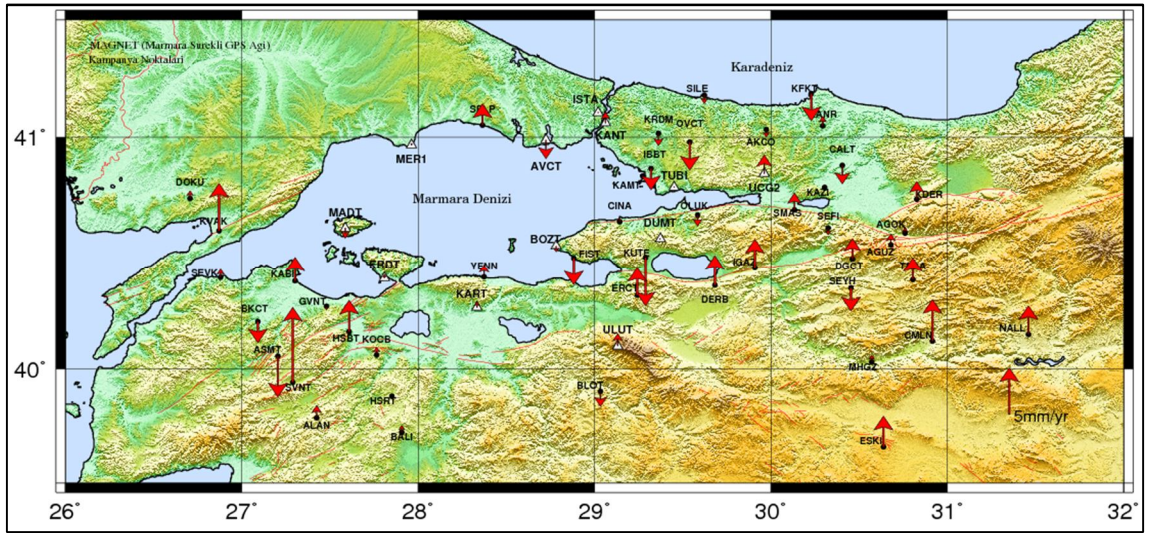
Şekil 6.5'e göre, bölgede KAFZ boyunca noktaların yatay hızlarının homojen olmadığı, KAFZ'ın kuzey kısmındaki Avrasya levhasında yer alan noktaların yaklaşık $2-3\pm 0.1$ mm/yıl'lık bir hızla batıdan doğuya doğru hareket ettiği, KAFZ'ın güneyindeki Anadolu levhasında yer alan noktalar ise saat yönünün tersi şeklinde doğudan batıya doğru yaklaşık olarak 15 ± 0.1 mm/yıl'lık bir hızla hareket etmektedir. Fayın her iki bölgesinde 17 Ağustos 1999 İzmit depreminin deprem sonrası (post seismic) etkilerinin devam ettiği görülmektedir.

Şekil 6.6'ya göre, bölgede noktaların düşey hızlarının da homojen olmadığı görülmektedir. KAFZ boyunca Avrasya levhasında yer alan noktalar düşeyde ortalama $-0.33\pm 0,3$ mm/yıl büyüklüğünde; Anadolu levhasında yer alan noktalar ise ortalama $0,70\pm 0,3$ mm/yıl büyüklüğünde hareket etmektedir.

Avrasya levhası batıdan doğuya olan bu hareketiyle Marmara ve Ege bölgesinde açılıma neden olmaktadır. Bu sebeple Anadolu levhasında yer alan nokta hızlarının doğudan batıya doğru arttığı düşünülmektedir. Düşey hızlara bakıldığında ise Avrasya levhasında çökme görünürken Anadolu levhasında yükselme görünmektedir. Dolayısıyla Avrasya levhası batıdan doğuya doğru bir hareketle Anadolu levhasının altına girmekte olduğu söylenebilir.



Şekil 6. 5 Marmara Bölgesi yatay hız vektörleri ve hata elipsleri



Şekil 6. 6 Marmara Bölgesi düşey hız vektörleri

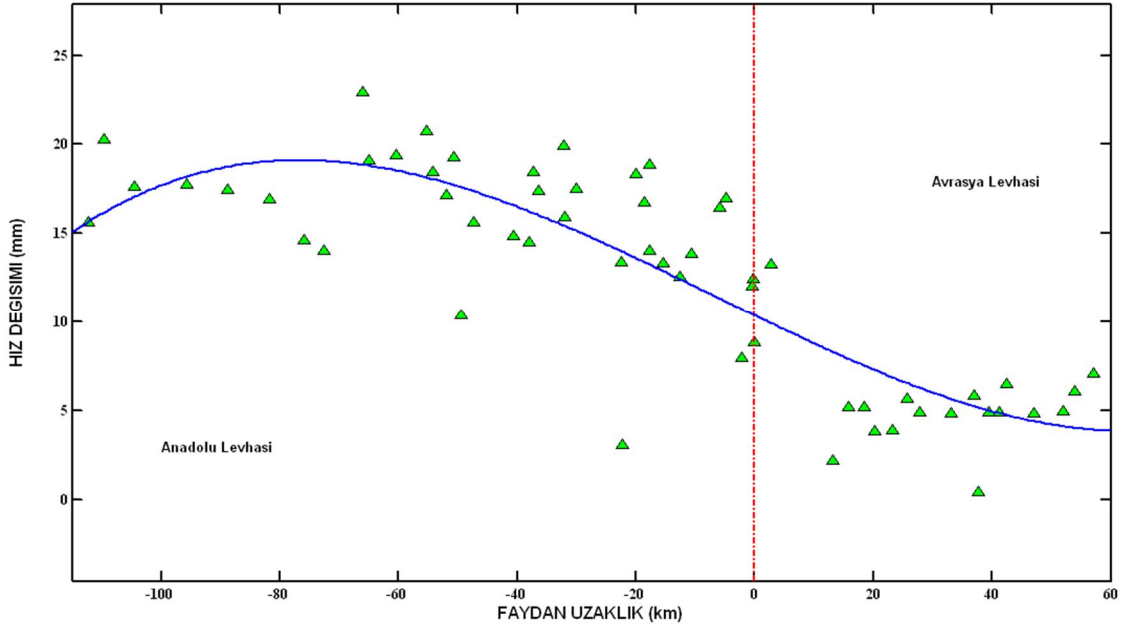
Çizelge 6. 5 2006 - 2010 yılları yerel koordinat sistemine göre hızlar ve standart sapmaları.

Nokta Adı	V _n (mm/yıl)	V _e (mm/yıl)	V _{up} (mm/yıl)	Nokta Adı	V _n (mm/yıl)	V _e (mm/yıl)	V _{up} (mm/yıl)
AGOK	-1,5±0,1	-13,6±0,1	0,6±0,3	MHGZ	-3,1±0,1	-19,7±0,1	0,7±0,3
AGUZ	-17,2±0,1	-2,6±0,1	1,2±0,3	NALL	-2,3±0,1	-18,7±0,1	3,1±0,3
AKCO	-0,5±0,1	5,5±0,1	-0,8±0,3	OLUK	-6,3±0,1	-5,6±0,1	-1,2±0,3
ALAN	-11,3±0,1	-17,5±0,1	1,3±0,3	OVCT	-2,4±0,1	4,1±0,1	-3,0±0,3
ASMT	-8,2±0,1	-11,8±0,1	-4,4±0,3	SEFI	-2,6±0,1	-16,7±0,1	-0,7±0,3
AVCT	0,1±0,1	-0,3±0,1	-2,0±0,3	SELP	-1,3±0,1	4,5±0,1	2,3±0,3
BALI	-5,6±0,1	-15,0±0,1	0,7±0,3	SEVK	-8,1±0,1	-11,2±0,1	0,9±0,3
BKCT	-8,5±0,1	-15,3±0,1	-2,3±0,3	SEYH	-2,3±0,1	-20,1±0,1	-2,5±0,3
BLOT	-5,2±0,1	-16,5±0,1	-1,6±0,3	SILE	-1,5±0,1	5,5±0,1	-0,9±0,3
BOZT	-3,3±0,1	-12,6±0,1	-0,6±0,3	SMAS	0,2±0,1	-12,3±0,1	1,8±0,3
CALT	0,4±0,1	5,2±0,1	-2,0±0,3	SVNT	-3,7±0,1	-16,9±0,1	8,1±0,3
CINA	-1,3±0,1	-12,7±0,1	0,4±0,3	TEBA	-2,5±0,1	-18,5±0,1	2,4±0,3
CMLN	-2,0±0,1	-19,6±0,1	4,5±0,3	UCG2	2,2±0,1	4,1±0,1	2,0±0,3
DERB	-4,5±0,1	-18,4±0,1	3,2±0,3	ULUT	-5,6±0,1	-17,6±0,1	1,3±0,3
DGCT	-1,6±0,1	-19,3±0,1	2,2±0,3	YENN	-0,4±0,1	-16,2±0,1	1,3±0,3
DOKU	-2,3±0,1	2,2±0,1	0,8±0,3				
DUMT	-2,1±0,1	-14,1±0,1	-0,1±0,3				
ERCT	-2,8±0,1	-17,6±0,1	3,0±0,3				
ERDT	-4,7±0,1	-14,1±0,1	0,4±0,3				
ESKI	-1,1±0,1	-18,0±0,1	3,3±0,3				
FIST	-2,7±0,1	-14,2±0,1	-2,9±0,3				
GVNT	-16,6±0,1	-12,8±0,1	-0,4±0,3				
HSBT	-15,4±0,1	-17,6±0,1	3,4±0,3				
HSRT	-5,1±0,1	-17,0±0,1	-0,1±0,3				
IBBT	-1,4±0,1	3,2±0,1	-2,3±0,3				
IGAZ	-4,0±0,1	-17,5±0,1	3,1±0,3				
ISTA	-1,5±0,1	4,5±0,1	0,1±0,3				
KABI	-12,5±0,1	-9,0±0,1	2,6±0,3				
KAMT	-1,6±0,1	3,3±0,1	-0,3±0,3				
KANR	-1,0±0,1	6,0±0,1	1,0±0,3				
KANT	-1,4±0,1	4,4±0,1	1,2±0,3				
KART	-4,3±0,1	-15,5±0,1	0,6±0,3				
KAZI	1,4±0,1	-1,5±0,1	0,2±0,3				
KDER	-4,0±0,1	-4,1±0,1	1,9±0,3				
KFKT	0,6±0,1	6,5±0,1	-2,9±0,3				
KOCB	-4,6±0,1	-14,3±0,1	0,8±0,3				
KRDM	-2,3±0,1	4,2±0,1	-1,3±0,3				
KUTE	-3,1±0,1	-16,8±0,1	-5,3±0,3				
KVAK	-4,9±0,1	-6,8±0,1	5,1±0,3				
MADT	-6,4±0,1	-12,1±0,1	-1,1±0,3				
MER1	0,4±0,1	4,5±0,1	0,2±0,3				

Avrasya levhasında yer alan nokta hızlarının fay hattından uzaklaştıkça arttığı, Anadolu levhasında yer alan nokta hızlarının ise homojen bir dağılımda olduğu gözlenmiştir. Buna göre nokta hızlarının fay hattına olan mesafelerine göre değişimleri Çizelge 6.6 ve Şekil 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6. 6 Anadolu ve Avrasya levhasında yer alan noktaların fay hattına olan mesafelerine ortalama hız göre değişimleri

Anadolu Levhası			Avrasya Levhası		
Nokta Adı	Faya Olan Mesafe (km)	Ortalama Hız (mm)	Nokta Adı	Faya Olan Mesafe (km)	Ortalama Hız (mm)
KVAK	0,02	8,81	AGOK	2,74	13,25
CINA	0,29	12,43	KAZI	13,22	2,16
SMAS	0,35	12,02	UCG2	15,77	5,15
OLUK	2,11	7,93	KDER	18,54	5,16
AGUZ	4,83	16,96	KAMT	20,30	3,83
SEFI	5,88	16,45	IBBT	23,24	3,86
DUMT	10,61	13,82	CALT	25,75	5,66
BOZT	12,67	12,54	MER1	27,88	4,87
MADT	15,43	13,28	OVCT	33,09	4,83
FIST	17,68	13,99	AKCO	36,90	5,80
DGCT	17,71	18,84	AVCT	37,62	0,40
KUTE	18,55	16,72	KRDM	39,46	4,88
TEBA	20,03	18,33	SELP	41,20	4,88
DOKU	22,35	3,06	KANR	42,48	6,44
SEVK	22,48	13,35	KANT	46,95	4,83
IGAZ	30,01	17,50	ISTA	52,05	4,92
YENN	32,02	15,90	SILE	53,97	6,02
SEYH	32,25	19,89	KFKT	57,11	7,07
ERCT	36,48	17,38			
DERB	37,24	18,46			
ERDT	37,91	14,48			
KABI	40,65	14,82			
KART	47,29	15,60			
BGNT	49,54	10,33			
CMLN	50,63	19,28			
BKCT	51,91	17,14			
NALL	54,24	18,41			
GVNT	55,26	20,72			
ULUT	60,35	19,38			
MHGZ	64,95	19,07			
HSBT	65,97	22,90			
ASMT	72,58	14,03			
KOCB	75,87	14,62			
BLOT	81,76	16,92			
SVNT	88,75	17,44			
HSRT	95,65	17,73			
ESKI	104,46	17,61			
ALAN	109,70	20,28			
BALI	112,33	15,63			



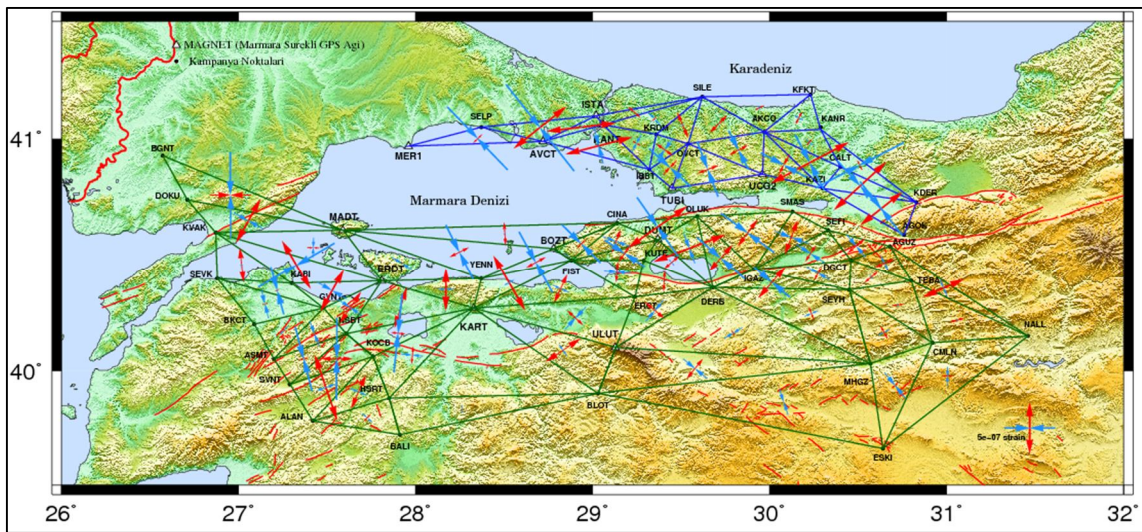
Şekil 6. 7 Faydan olan uzaklığa göre nokta hızlarının değişimi

6.4 Gerinim Alanının Belirlenmesi

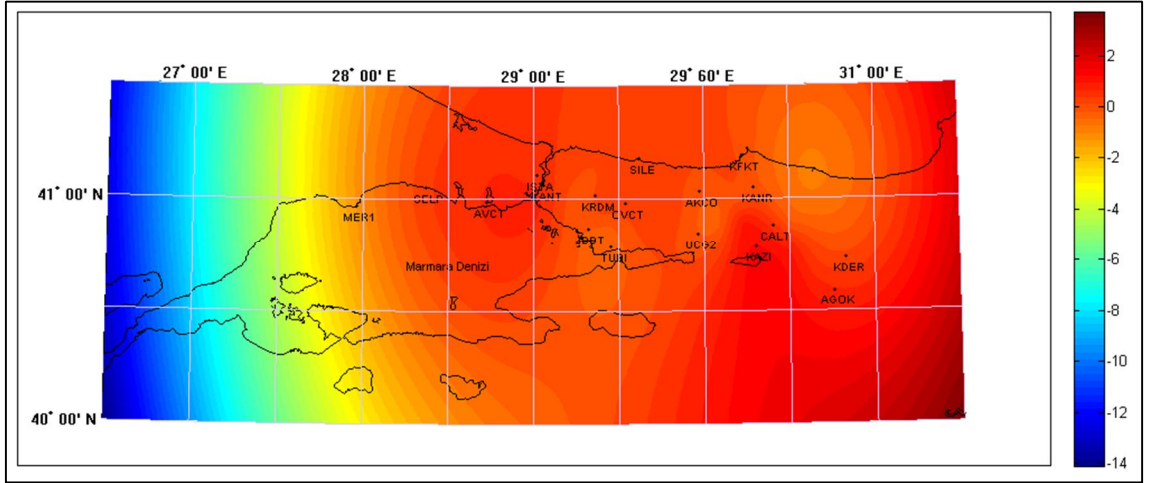
Bu çalışmada iki boyutlu olarak koordinat farklarına göre sonlu elemanlar yöntemi ile gerinim analizi yapılmıştır. Gerinim parametrelerinin hesaplanması için çalışma alanı birden fazla bölgeye ayrılarak her bölge için gerinim parametresi Bölüm 4.1’de verilen esaslara göre hesaplanmıştır. Elde edilen parametreler çalışma alanının tamamı için birleştirilerek toplam gerinim miktarı belirlenmiştir [53]. Buna göre Marmara Bölgesi’nde yer alan noktalarda oluşturulan üçgenlerdeki homojenlik üzerinde fayın etkisini azaltmak için bölge KAFZ’ın üst kısmı ve alt kısmı olarak ayrılıp, çok küçük üçgenlemeye sebep olan noktalar kullanılmamıştır. Gerinim analizi için delaunay yöntemiyle üçgenler oluşturulmuştur.

Koordinat farklarına göre sonlu elemanlar yönteminde tüm bölgenin homojen deformasyon karakterli olduğu kabul edilir ve yeterli sayıda nokta içermesi koşulu ile her alt bölge için farklı gerinim parametreleri belirlenmektedir. Buna göre çalışma bölgesi üçgenlere ayrılarak her üçgenin ağırlık merkezi kartezyen koordinatlarından yararlanılarak, üçgenin kapladığı alan için geçerli olan gerinim parametreleri (4.27) eşitliğine göre 2006, 2007, 2008, 2009 ve 2010 periyotları için En Küçük Kareler yöntemiyle dengelemeli olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.9).

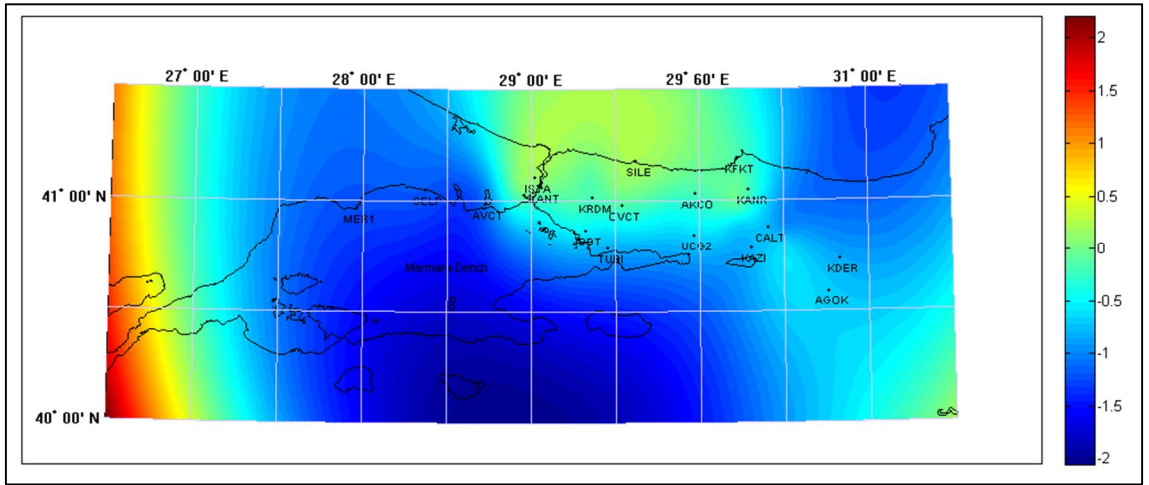
Üçgen köşe nokta isimleri, üçgenlerin ağırlık noktalarının coğrafi koordinatları, gerinim parametreleri ve parametrelerin standart sapmaları ile parametrelerin anlamlılık test sonuçları Çizelge 6.7 ve 6.8’de, Şekil 6.17 – 6.20’de verilmiştir.



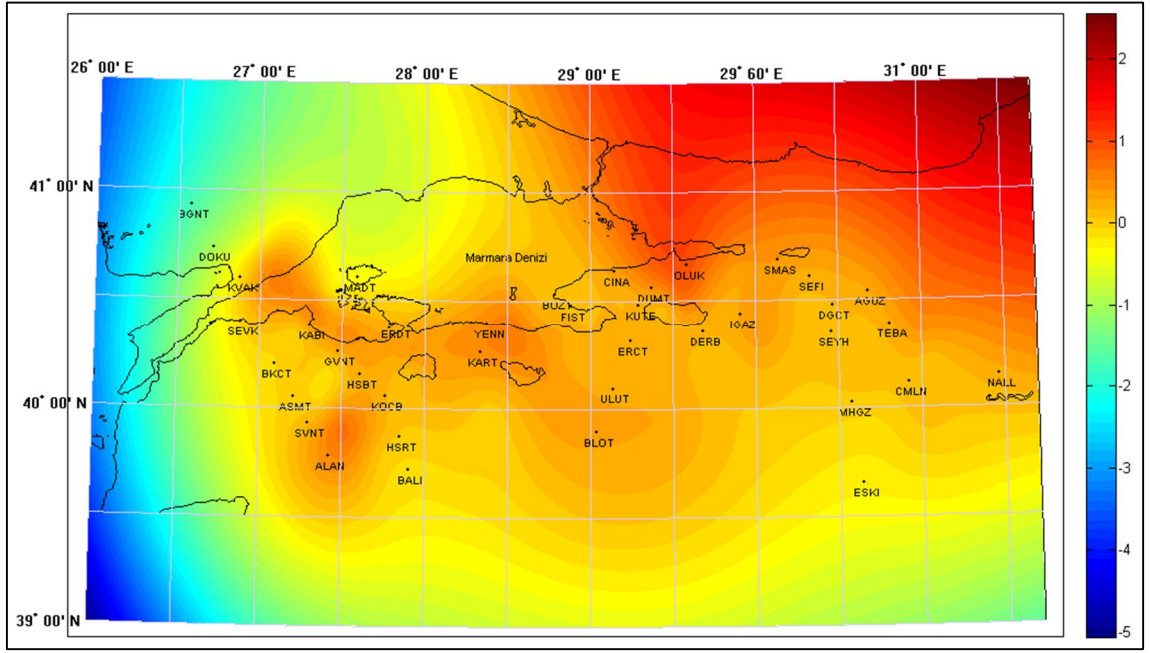
Şekil 6. 8 2006, 2007, 2008, 2009 ve 2010 periyotlarına ilişkin gerinim miktarları



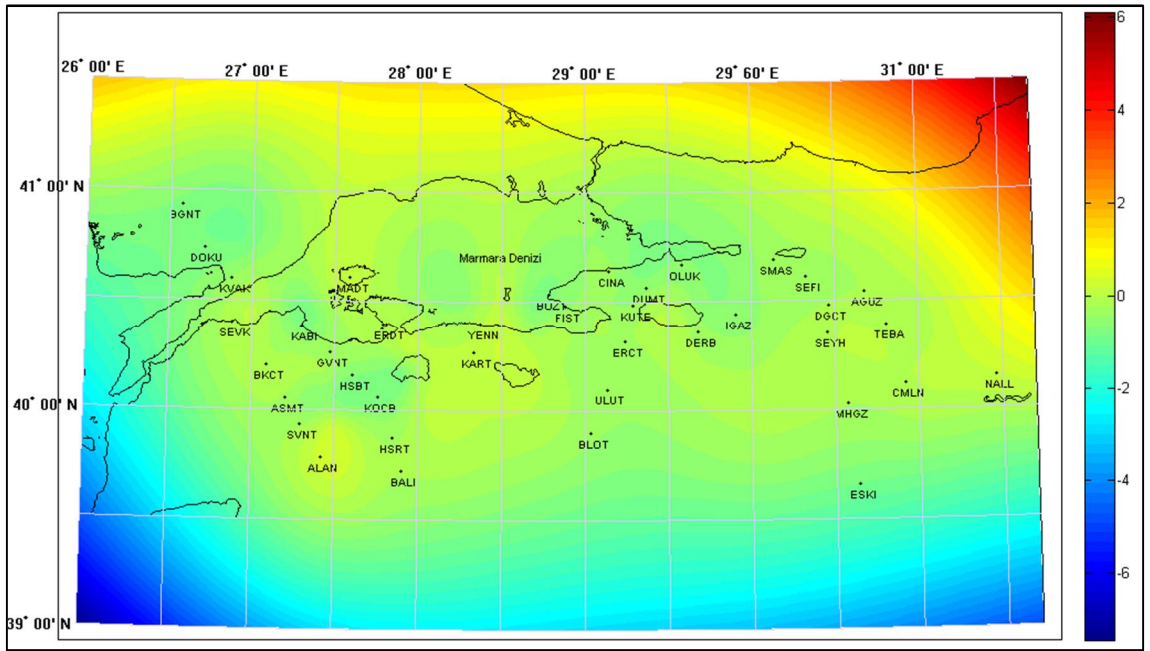
Şekil 6. 9 2006 - 2010 periyotlarında fayın üstü için maksimum asal gerinim miktarları (μstrain)



Şekil 6. 10 2006 - 2010 periyotlarında fayın üstü için minimum asal gerinim miktarları (μstrain)



Şekil 6. 11 2006 - 2010 periyotlarında fayın altı için maksimum asal gerinim miktarları (μstrain)



Şekil 6. 12 2006 - 2010 periyotlarında fayın altı için minimum asal gerinim miktarları (μstrain)

Çizelge 6. 7 Koordinat farklarına göre sonlu elemanlar yöntemi ile gerinim analizi sonuçları

Üçgen Noktaları			Enlem	Boylam	ϵ_{\max} (μstrain)	ϵ_{\min} (μstrain)	Max. Gerinim Yönü(φ°)	Saf Kayma (γ_1) (μstrain)	Mühendislik Kayması (γ_2) (μstrain)	Genişleme (Δ) (μstrain)	Dönüklük (W) (μrad)
MERI	SELP	AVCT	41,00248	28,35031	0,122±0,137	-0,851±0,213	45,963±0,084	-0,033±0,261	0,973±0,233	-0,728±0,264	0,424±0,181
SELP	AVCT	ISTA	41,04831	28,70284	0,655±0,129	-1,074±0,345	51,568±0,094	-0,393±0,338	1,684±0,345	-0,419±0,379	0,847±0,088
AVCT	ISTA	KANT	41,05131	28,93488	0,676±0,476	0,025±1,654	83,238±1,195	-0,633±1,618	0,152±1,619	0,700±1,762	0,313±0,179
AVCT	KANT	IBBT	40,97183	29,03537	0,672±0,070	-0,359±0,185	75,712±0,083	-0,906±0,198	0,493±0,174	0,313±0,195	0,381±0,081
KANT	IBBT	KRDM	40,98131	29,24824	-0,079±0,279	-0,185±0,559	118,860±3,068	-0,057±0,691	-0,090±0,589	-0,264±0,615	-0,039±0,095
KANT	KRDM	SILE	41,08578	29,34904	0,070±0,227	-0,155±0,461	46,390±1,089	-0,011±0,497	0,225±0,487	-0,085±0,534	0,102±0,106
ISTA	KANT	SILE	41,11490	29,23467	0,152±0,918	-0,001±0,626	131,084±3,782	-0,021±1,131	-0,151±1,060	0,151±1,182	-0,045±0,183
KRDM	SILE	OVCT	41,05876	29,50831	0,269±0,879	0,050±0,510	156,677±2,200	0,150±0,923	-0,159±1,047	0,320±1,023	0,149±0,105
KRDM	OVCT	IBBT	40,95428	29,40750	0,200±0,815	-0,284±0,501	125,551±0,962	-0,157±0,898	-0,458±0,958	-0,083±0,986	0,103±0,099
IBBT	OVCT	TUBI	40,87749	29,43691	-0,184±0,405	-0,553±0,986	42,458±1,288	0,033±0,943	0,368±1,084	-0,738±1,055	0,331±0,090
TUBI	UCG2	OVCT	40,87066	29,65077	0,216±0,103	-0,573±0,187	69,097±0,123	-0,588±0,219	0,526±0,191	-0,357±0,210	0,082±0,067
OVCT	UCG2	AKCO	40,95293	29,82491	0,204±0,150	-0,421±0,213	63,117±0,205	-0,370±0,276	0,504±0,236	-0,217±0,264	0,001±0,075
OVCT	AKCO	SILE	41,06424	29,71186	0,233±0,166	-0,012±0,220	45,027±0,565	0,000±0,276	0,245±0,269	0,221±0,282	-0,060±0,068
SILE	AKCO	KFKT	41,13326	29,94191	0,102±0,127	-0,043±0,280	63,901±0,954	-0,089±0,307	0,114±0,275	0,059±0,309	-0,059±0,089
KFKT	AKCO	KANR	41,08953	30,16534	0,131±0,593	-0,093±0,814	26,778±2,382	0,133±0,972	0,180±1,032	0,038±1,071	0,049±0,131
KANR	AKCO	CALT	40,98727	30,22373	0,079±0,737	-0,093±0,411	43,216±2,826	0,011±0,974	0,172±0,800	-0,015±0,884	0,020±0,142
AGUZ	CALT	KAZI	40,89959	30,22701	0,860±0,512	-0,611±0,331	62,286±0,237	-0,834±0,694	1,211±0,603	0,249±0,619	0,677±0,099
AKCO	KAZI	UCG2	40,88809	30,07964	-0,227±0,365	-0,504±0,147	28,195±0,724	0,153±0,430	0,231±0,365	-0,732±0,389	0,181±0,088
KANR	CALT	KDER	40,88768	30,50823	-0,102±1,204	-0,974±1,636	152,902±1,309	0,510±2,356	-0,707±1,917	-1,075±2,058	0,109±0,234
KAZI	CALT	KDER	40,80000	30,51152	0,695±0,276	-0,653±0,261	47,547±0,154	-0,120±0,417	1,343±0,352	0,042±0,403	1,022±0,121
KAZI	KDER	AGOK	40,70295	30,63038	0,525±0,334	-0,667±0,318	51,866±0,210	-0,283±0,510	1,158±0,428	-0,143±0,481	0,950±0,147
BGNT	DOKU	MADT	40,76102	26,95451	-0,404±0,282	-0,832±0,820	89,937±0,889	-0,428±0,910	0,001±0,762	-1,235±0,822	0,284±0,231
DOKU	MADT	KVAK	40,65044	27,05493	0,486±0,427	-0,320±0,208	29,163±0,337	0,423±0,530	0,686±0,449	0,167±0,512	0,403±0,178
KVAK	MADT	ERDT	40,53509	27,42209	-0,112±0,038	-0,190±0,066	92,451±0,425	-0,077±0,080	-0,007±0,067	-0,303±0,073	0,047±0,026
KVAK	KABI	SEVK	40,45916	27,01745	0,335±0,748	-0,021±0,453	173,958±1,125	0,349±0,914	-0,075±0,798	0,314±0,837	0,172±0,132
SEVK	KABI	GVNT	40,34743	27,21884	0,038±0,847	-0,487±1,871	74,738±1,666	-0,452±2,144	0,266±1,727	-0,449±1,978	0,381±0,262

Çizelge 6. 7 Koordinat farklarına göre sonlu elemanlar yöntemi ile gerinim analizi sonuçları (devam)

Üçgen Noktaları	Enlem	Boylam	ϵ_{max} ($\mu strain$)	ϵ_{min} ($\mu strain$)	Max. Gerinim Yönü(ϕ°)	Saf Kayma (γ_1) ($\mu strain$)	Mühendislik Kayması (γ_2) ($\mu strain$)	Genişleme (Δ) ($\mu strain$)	Dönüklük (W) (μrad)
SEVK GVNT BKCT	40,28824	27,14889	-0,046±0,333	-0,285±0,654	76,648±1,343	-0,214±0,760	0,108±0,637	-0,331±0,712	0,251±0,126
KVAK KABI ERDT	40,45830	27,32686	0,556±0,564	-0,867±0,416	149,637±0,245	0,696±0,763	-1,241±0,623	-0,311±0,707	-0,681±0,183
KABI ERDT GVNT	40,34657	27,52824	0,473±0,800	-0,329±0,731	29,083±0,747	0,423±1,121	0,682±1,058	0,144±1,188	-0,018±0,222
BKCT GVNT ASMT	40,17447	27,25682	0,070±1,122	-0,106±0,564	131,853±3,447	-0,019±1,190	-0,174±1,235	-0,036±1,292	0,161±0,138
ASMT GVNT HSBT	40,15981	27,42909	-0,083±0,623	-0,263±1,921	68,938±4,734	-0,133±1,809	0,120±1,918	-0,346±2,023	0,102±0,190
GVNT HSBT ERDT	40,27272	27,63057	0,378±0,845	-0,281±2,408	33,988±1,865	0,247±2,276	0,611±2,608	0,096±2,662	-0,110±0,219
ASMT HSBT SVNT	40,04969	27,36808	-0,080±0,685	-0,651±1,841	75,280±1,540	-0,497±1,790	0,281±1,908	-0,730±1,993	0,053±0,182
SVNT HSBT KOGB	40,05105	27,55472	0,308±0,727	-0,802±1,361	90,114±0,686	-1,111±1,448	-0,004±1,523	-0,494±1,634	-0,268±0,161
SVNT KOGB ALAN	39,92614	27,49348	0,668±0,290	0,192±0,112	161,099±0,286	0,377±0,285	-0,292±0,299	0,860±0,312	0,073±0,035
ALAN KOGB HSRT	39,90617	27,67868	0,355±0,350	-0,170±0,504	23,589±0,628	0,357±0,593	0,385±0,638	0,185±0,656	0,049±0,074
ALAN HSRT BALI	39,79386	27,72634	0,094±0,285	-0,127±0,321	44,005±1,039	0,008±0,457	0,221±0,399	-0,033±0,459	-0,112±0,077
HSBT ERDT KART	40,27264	27,91624	0,415±0,169	-0,033±0,040	16,445±0,186	0,376±0,188	0,243±0,150	0,382±0,175	0,024±0,083
HSBT KART KOGB	40,16109	27,90141	0,136±0,436	-0,776±1,114	95,903±0,656	-0,893±1,166	-0,187±1,139	-0,639±1,279	-0,410±0,198
KOGB KART HSRT	40,06636	27,98137	0,179±0,356	-0,211±0,290	5,247±0,636	0,383±0,426	0,071±0,484	-0,032±0,502	0,167±0,057
HSRT BALI BLOT	39,83202	28,26252	0,013±0,029	-0,074±0,243	82,889±1,139	-0,084±0,238	0,021±0,207	-0,061±0,245	-0,009±0,082
KART HSRT BLOT	40,01322	28,40457	0,036±0,049	0,010±0,033	13,755±1,126	0,023±0,060	0,012±0,056	0,046±0,060	-0,012±0,026
MADT ERDT YENN	40,46749	27,92272	0,010±0,840	-0,227±0,338	31,661±1,988	0,107±0,973	0,213±0,821	-0,217±0,955	-0,056±0,354
ERDT YENN KART	40,35213	28,17126	0,417±0,902	-0,154±0,259	0,290±0,731	0,570±0,944	0,006±0,833	0,263±0,935	-0,155±0,353
MADT CINA BOZT	40,59507	28,50403	0,224±0,401	-0,014±0,053	176,397±0,692	0,237±0,405	-0,030±0,337	0,210±0,400	-0,098±0,298
MADT BOZT YENN	40,51454	28,24741	0,210±0,093	-0,594±0,215	63,633±0,134	-0,487±0,234	0,640±0,208	-0,385±0,241	0,294±0,181
YENN BOZT FIST	40,47095	28,67905	0,219±0,581	-0,685±4,114	61,354±1,896	-0,489±3,843	0,761±3,732	-0,467±4,192	0,335±0,632
YENN FIST KART	40,38124	28,52922	0,622±1,756	0,113±0,492	150,264±1,550	0,258±1,714	-0,438±1,686	0,735±1,831	-0,054±0,401
KART FIST ERCT	40,35486	28,81920	0,299±0,395	-0,178±0,277	24,333±0,554	0,315±0,505	0,358±0,460	0,121±0,528	0,194±0,212
KART ERCT ULUT	40,22718	28,90240	0,211±0,246	-0,302±0,299	132,592±0,433	-0,043±0,442	-0,510±0,356	-0,091±0,418	-0,262±0,232

Çizelge 6. 7 Koordinat farklarına göre sonlu elemanlar yöntemi ile gerinim analizi sonuçları (devam)

Üçgen Noktaları	Enlem	Boylam	ϵ_{\max} (μstrain)	ϵ_{\min} (μstrain)	Max. Gerinim Yönü(φ°)	Saf Kayma (γ_1) (μstrain)	Mühendislik Kayması (γ_2) (μstrain)	Genişleme (Δ) (μstrain)	Dönüklük (W) (μrad)
BOZT CINA FIST	40,55148	28,93567	0,116±1,326	-0,529±2,863	44,704±2,418	0,007±3,112	0,645±2,980	-0,413±3,327	0,076±0,473
CINA FIST DUMT	40,56186	29,13229	0,242±0,955	-0,280±0,561	20,522±1,147	0,394±1,158	0,343±1,048	-0,037±1,203	0,233±0,331
FIST DUMT KUTE	40,51027	29,18056	0,184±1,937	-0,470±2,247	33,899±2,466	0,247±3,074	0,606±2,830	-0,285±3,249	0,319±0,546
FIST KUTE ERCT	40,42801	29,13766	0,208±1,317	-0,254±0,600	4,272±1,408	0,456±1,483	0,069±1,285	-0,046±1,424	0,050±0,293
CINA OLUK DUMT	40,62404	29,36675	0,710±0,648	-0,701±1,259	54,950±0,461	-0,480±1,377	1,326±1,332	0,009±1,426	0,890±0,309
OLUK DUMT DERB	40,53143	29,54617	0,745±0,648	-0,307±0,711	69,351±0,440	-0,790±0,990	0,694±0,925	0,438±0,935	0,616±0,238
DUMT KUTE DERB	40,47063	29,44707	0,183±2,559	-0,071±1,165	49,170±6,322	-0,037±3,183	0,252±2,783	0,112±2,883	0,209±0,441
KUTE ERCT DERB	40,38837	29,40417	0,211±1,222	-0,050±0,476	3,521±2,226	0,259±1,337	0,032±1,147	0,161±1,299	0,030±0,305
ERCT ULUT DERB	40,25931	29,35201	0,239±1,949	-0,275±0,682	130,050±1,883	-0,088±1,862	-0,506±2,044	-0,035±2,152	-0,278±0,353
ULUT MHGZ BLOT	40,00819	29,57830	0,245±0,154	-0,303±0,136	39,189±0,211	0,110±0,228	0,537±0,189	-0,058±0,225	0,265±0,281
ULUT DERB MHGZ	40,16235	29,79441	0,068±0,148	-0,204±0,086	148,475±0,301	0,124±0,179	-0,243±0,149	-0,136±0,176	-0,125±0,198
BLOT MHGZ ESKI	39,86154	30,08016	-0,002±0,049	-0,267±0,154	72,130±0,246	-0,215±0,156	0,155±0,141	-0,269±0,159	0,042±0,144
OLUK SMAS IGAZ	40,59828	29,87575	0,322±0,398	-0,652±0,374	36,280±0,296	0,292±0,573	0,929±0,526	-0,331±0,570	0,206±0,162
OLUK IGAZ DERB	40,48892	29,72487	0,340±1,765	-0,614±1,138	41,254±1,158	0,124±2,253	0,946±2,135	-0,274±2,016	0,288±0,324
DERB IGAZ SEYH	40,38342	30,01424	0,409±1,241	-0,457±1,137	40,820±1,087	0,126±1,853	0,856±1,564	-0,048±1,824	0,374±0,618
DERB SEYH MHGZ	40,24671	30,23505	0,127±0,417	-0,141±0,370	158,292±1,068	0,195±0,612	-0,184±0,515	-0,014±0,558	-0,150±0,224
SMAS SEFI IGAZ	40,57978	30,12241	0,352±1,318	-0,357±1,799	20,482±1,686	0,535±2,131	0,465±2,319	-0,005±2,396	0,314±0,302
SEFI DGCT IGAZ	40,50917	30,23165	0,187±0,897	-0,330±0,984	32,908±1,397	0,212±1,365	0,471±1,302	-0,143±1,440	0,169±0,321
IGAZ DGCT SEYH	40,42216	30,27437	0,149±1,147	-0,261±0,689	28,869±1,814	0,219±1,455	0,346±1,271	-0,112±1,433	0,104±0,412
SEFI AGUZ TEBA	40,54261	30,48911	0,222±2,283	-0,288±2,120	50,262±3,349	-0,093±3,464	0,502±2,949	-0,066±3,229	0,327±0,457
AGUZ DGCT TEBA	40,46731	30,64887	0,201±1,886	-0,163±2,472	65,500±4,241	-0,239±3,343	0,275±2,861	0,038±3,082	0,210±0,465
DGCT TEBA SEYH	40,40473	30,57320	0,177±1,496	-0,038±1,761	49,999±5,508	-0,037±2,424	0,213±2,173	0,139±2,393	0,123±0,435
SEYH TEBA CMLN	40,28476	30,72473	0,126±0,921	0,029±1,165	81,346±7,273	-0,093±1,556	0,029±1,395	0,156±1,430	0,027±0,300
SEYH CMLN MHGZ	40,16547	30,64671	0,141±0,700	-0,124±0,725	150,893±2,070	0,140±1,082	-0,225±1,008	0,017±1,023	-0,125±0,254
MHGZ CMLN ESKI	39,93446	30,70793	-0,078±0,704	-0,328±1,086	50,623±2,448	-0,049±1,211	0,245±1,323	-0,405±1,277	-0,006±0,255
TEBA NALL CMLN	40,21728	31,06021	0,137±0,489	0,033±0,769	75,233±3,990	-0,090±0,962	0,051±0,814	0,170±0,871	0,015±0,264
CMLN ESKI NALL	39,97456	31,00440	0,107±0,531	-0,181±0,732	88,936±1,652	-0,288±0,821	0,011±0,956	-0,074±0,976	-0,025±0,199
AGUZ NALL TEBA	40,35741	30,98156	0,437±4,895	-0,174±4,445	66,246±5,714	-0,413±7,515	0,450±6,087	0,263±6,530	0,254±0,700

Çizelge 6. 8 2006 - 2010 periyotlarında gerinim parametrelerinin anlamlılık testi sonuçları

Üçgen Noktaları			ϵ_{nn} (μ strain)	ϵ_{ne} (μ strain)	ϵ_{ee} (μ strain)	ϵ_{max} (μ strain)	ϵ_{min} (μ strain)	Test Değerleri					$T_{f,1-\alpha/2}$	ϵ_{nn}	ϵ_{ne}	ϵ_{ee}	ϵ_{max}	ϵ_{min}
MERI	SELP	AVCT	-0,595±0,413	0,738±0,184	-0,368±0,029	0,122±0,137	-0,851±0,213	1,441	4,013	12,805	1,936	5,763	1,975		♣			♣
SELP	AVCT	ISTA	-0,406±0,200	0,842±0,102	-0,013±0,072	0,655±0,129	-1,074±0,345	2,028	8,246	0,182	5,075	3,114	1,975	♣	♣		♣	♣
AVCT	ISTA	KANT	0,034±0,385	0,076±0,199	0,667±0,157	0,676±0,476	0,025±1,654	0,087	0,383	4,251	1,420	0,015	1,975			♣		
AVCT	KANT	IBBT	-0,296±0,174	0,247±0,080	0,609±0,045	0,672±0,070	-0,359±0,185	1,705	3,100	13,417	9,547	1,939	1,975		♣	♣	♣	
KANT	IBBT	KRDM	-0,160±0,154	-0,045±0,084	-0,104±0,104	-0,079±0,279	-0,185±0,559	1,041	0,536	1,002	0,284	0,331	1,975					
KANT	KRDM	SILE	-0,048±0,234	0,113±0,116	-0,037±0,070	0,070±0,227	-0,155±0,461	0,205	0,976	0,526	0,310	0,337	1,975					
ISTA	KANT	SILE	0,065±0,413	-0,075±0,194	0,086±0,090	0,152±0,918	-0,001±0,626	0,157	0,390	0,955	0,165	0,001	1,975					
KRDM	SILE	OVCT	0,235±0,151	-0,080±0,115	0,085±0,152	0,269±0,879	0,050±0,510	1,553	0,691	0,556	0,306	0,099	1,975					
KRDM	OVCT	IBBT	-0,120±0,177	-0,229±0,110	0,037±0,124	0,200±0,815	-0,284±0,501	0,680	2,086	0,295	0,246	0,567	1,975		♣			
IBBT	OVCT	TUBI	-0,353±0,127	0,184±0,100	-0,385±0,135	-0,184±0,405	-0,553±0,986	2,777	1,834	2,861	0,455	0,561	1,975	♣		♣		
TUBI	UCG2	OVCT	-0,472±0,133	0,263±0,064	0,116±0,051	0,216±0,103	-0,573±0,187	3,539	4,128	2,249	2,106	3,062	1,975	♣	♣	♣	♣	♣
OVCT	UCG2	AKCO	-0,293±0,150	0,252±0,071	0,076±0,062	0,204±0,150	-0,421±0,213	1,962	3,573	1,225	1,362	1,973	1,975		♣			
OVCT	AKCO	SILE	0,110±0,130	0,122±0,070	0,110±0,064	0,233±0,166	-0,012±0,220	0,845	1,747	1,721	1,400	0,055	1,975					
SILE	AKCO	KFKT	-0,015±0,191	0,057±0,090	0,074±0,061	0,102±0,127	-0,043±0,280	0,077	0,638	1,212	0,803	0,153	1,975					
KFKT	AKCO	KANR	0,085±0,244	0,090±0,145	-0,047±0,153	0,131±0,593	-0,093±0,814	0,350	0,618	0,308	0,221	0,114	1,975					
KANR	AKCO	CALT	-0,002±0,268	0,086±0,127	-0,013±0,121	0,079±0,737	-0,093±0,411	0,008	0,678	0,105	0,107	0,227	1,975					
AGUZ	CALT	KAZI	-0,293±0,154	0,605±0,088	0,542±0,115	0,860±0,512	-0,611±0,331	1,898	6,865	4,707	1,681	1,842	1,975		♣	♣		
AKCO	KAZI	UCG2	-0,289±0,152	0,115±0,079	-0,443±0,089	-0,227±0,365	-0,504±0,147	1,901	1,468	4,960	0,624	3,442	1,975			♣		♣
KANR	CALT	KDER	-0,283±0,401	-0,354±0,201	-0,793±0,232	-0,102±1,204	-0,974±1,636	0,704	1,760	3,416	0,084	0,595	1,975			♣		
KAZI	CALT	KDER	-0,039±0,264	0,672±0,116	0,081±0,062	0,695±0,276	-0,653±0,261	0,147	5,784	1,309	2,517	2,503	1,975		♣		♣	♣
KAZI	KDER	AGOK	-0,213±0,302	0,579±0,136	0,070±0,093	0,525±0,334	-0,667±0,318	0,706	4,246	0,754	1,569	2,102	1,975		♣			♣
BGNT	DOKU	MADT	-0,832±0,443	0,000±0,206	-0,404±0,152	-0,404±0,282	-0,832±0,820	1,877	0,002	2,655	1,431	1,014	1,975			♣		
DOKU	MADT	KVAK	0,295±0,392	0,343±0,170	-0,128±0,053	0,486±0,427	-0,320±0,208	0,754	2,014	2,436	1,140	1,539	1,975		♣	♣		
KVAK	MADT	ERDT	-0,190±0,046	-0,003±0,023	-0,113±0,028	-0,112±0,038	-0,190±0,066	4,165	0,143	4,074	2,941	2,873	1,975	♣		♣	♣	♣
KVAK	KABI	SEVK	0,331±0,230	-0,037±0,120	-0,017±0,127	0,335±0,748	-0,021±0,453	1,441	0,312	0,136	0,448	0,047	1,975					
SEVK	KABI	GVNT	-0,450±0,548	0,133±0,237	0,001±0,140	0,038±0,847	-0,487±1,871	0,822	0,563	0,010	0,045	0,260	1,975					
SEVK	GVNT	BKCT	-0,272±0,251	0,054±0,116	-0,059±0,095	-0,046±0,333	-0,285±0,654	1,087	0,464	0,614	0,138	0,436	1,975					
KVAK	KABI	ERDT	0,193±0,383	-0,621±0,167	-0,503±0,089	0,556±0,564	-0,867±0,416	0,503	3,725	5,665	0,987	2,081	1,975		♣	♣		♣
KABI	ERDT	GVNT	0,284±0,507	0,341±0,240	-0,140±0,127	0,473±0,800	-0,329±0,731	0,559	1,423	1,099	0,591	0,450	1,975					

♣ = parametre anlamlıdır.

Çizelge 6. 8 2006 - 2010 periyotlarında gerinim parametrelerinin anlamlılık testi sonuçları (devam)

Üçgen Noktaları			ϵ_{nn} (μ strain)	ϵ_{ne} (μ strain)	ϵ_{ee} (μ strain)	ϵ_{max} (μ strain)	ϵ_{min} (μ strain)	Test Değerleri					$T_{f,1-\alpha/2}$	ϵ_{nn}	ϵ_{ne}	ϵ_{ee}	ϵ_{max}	ϵ_{min}
BKCT	GVNT	ASMT	-0,028±0,255	-0,087±0,151	-0,008±0,163	0,070±1,122	-0,106±0,564	0,108	0,578	0,051	0,062	0,187	1,975					
ASMT	GVNT	HSBT	-0,239±0,374	0,060±0,215	-0,106±0,215	-0,083±0,623	-0,263±1,921	0,641	0,279	0,495	0,134	0,137	1,975					
GVNT	HSBT	ERDT	0,172±0,390	0,306±0,258	-0,075±0,298	0,378±0,845	-0,281±2,408	0,441	1,182	0,253	0,447	0,117	1,975					
ASMT	HSBT	SVNT	-0,614±0,348	0,140±0,204	-0,117±0,208	-0,080±0,685	-0,651±1,841	1,762	0,687	0,560	0,116	0,353	1,975					
SVNT	HSBT	KOCB	-0,802±0,333	-0,002±0,186	0,308±0,177	0,308±0,727	-0,802±1,361	2,412	0,012	1,744	0,424	0,589	1,975	♣				
SVNT	KOCB	ALAN	0,618±0,065	-0,146±0,039	0,242±0,042	0,668±0,290	0,192±0,112	9,532	3,783	5,734	2,306	1,707	1,975	♣	♣	♣	♣	
ALAN	KOCB	HSRT	0,271±0,132	0,193±0,082	-0,086±0,092	0,355±0,350	-0,170±0,504	2,048	2,346	0,939	1,013	0,338	1,975	♣	♣			
ALAN	HSRT	BALI	-0,012±0,169	0,110±0,077	-0,020±0,054	0,094±0,285	-0,127±0,321	0,073	1,425	0,372	0,330	0,395	1,975					
HSBT	ERDT	KART	0,379±0,176	0,122±0,075	0,003±0,051	0,415±0,169	-0,033±0,040	2,156	1,612	0,057	2,452	0,825	1,975	♣			♣	
HSBT	KART	KOCB	-0,766±0,461	-0,093±0,223	0,127±0,130	0,136±0,436	-0,776±1,114	1,663	0,419	0,976	0,313	0,697	1,975					
KOCB	KART	HSRT	0,176±0,109	0,035±0,068	-0,207±0,072	0,179±0,356	-0,211±0,290	1,609	0,522	2,869	0,503	0,726	1,975			♣		
HSRT	BALI	BLOT	-0,072±0,197	0,011±0,085	0,012±0,030	0,013±0,029	-0,074±0,243	0,367	0,125	0,385	0,448	0,303	1,975					
KART	HSRT	BLOT	0,034±0,046	0,006±0,025	0,012±0,028	0,036±0,049	0,010±0,033	0,753	0,231	0,415	0,729	0,317	1,975					
MADT	ERDT	YENN	-0,055±0,783	0,106±0,345	-0,162±0,211	0,010±0,840	-0,227±0,338	0,070	0,308	0,767	0,012	0,672	1,975					
ERDT	YENN	KART	0,417±0,756	0,003±0,349	-0,154±0,217	0,417±0,902	-0,154±0,259	0,551	0,008	0,708	0,462	0,594	1,975					
MADT	CINA	BOZT	0,224±0,694	-0,015±0,292	-0,013±0,076	0,224±0,401	-0,014±0,053	0,322	0,051	0,174	0,559	0,268	1,975					
MADT	BOZT	YENN	-0,436±0,418	0,320±0,188	0,051±0,103	0,210±0,093	-0,594±0,215	1,043	1,699	0,495	2,253	2,769	1,975				♣	♣
YENN	BOZT	FIST	-0,478±1,442	0,380±0,708	0,011±0,496	0,219±0,581	-0,685±4,114	0,331	0,538	0,022	0,377	0,167	1,975					
YENN	FIST	KART	0,497±0,841	-0,219±0,434	0,238±0,354	0,622±1,756	0,113±0,492	0,590	0,505	0,674	0,354	0,230	1,975					
KART	FIST	ERCT	0,218±0,492	0,179±0,226	-0,097±0,123	0,299±0,395	-0,178±0,277	0,443	0,794	0,786	0,757	0,643	1,975					
KART	ERCT	ULUT	-0,067±0,501	-0,255±0,215	-0,024±0,140	0,211±0,246	-0,302±0,299	0,134	1,185	0,172	0,857	1,008	1,975					
KART	ULUT	BLOT	0,036±0,516	0,248±0,233	0,240±0,196	0,406±0,427	-0,130±0,406	0,069	1,063	1,227	0,950	0,321	1,975					
BOZT	CINA	FIST	-0,203±1,044	0,322±0,515	-0,210±0,386	0,116±1,326	-0,529±2,863	0,195	0,626	0,544	0,087	0,185	1,975					
CINA	FIST	DUMT	0,178±0,761	0,171±0,348	-0,215±0,191	0,242±0,955	-0,280±0,561	0,234	0,492	1,125	0,254	0,498	1,975					
FIST	DUMT	KUTE	-0,019±1,276	0,303±0,588	-0,266±0,316	0,184±1,937	-0,470±2,247	0,015	0,515	0,842	0,095	0,209	1,975					
FIST	KUTE	ERCT	0,205±0,571	0,034±0,279	-0,251±0,268	0,208±1,317	-0,254±0,600	0,360	0,123	0,935	0,158	0,423	1,975					
CINA	OLUK	DUMT	-0,236±0,625	0,663±0,322	0,245±0,263	0,710±0,648	-0,701±1,259	0,377	2,058	0,931	1,095	0,557	1,975		♣			

♣ = parametre anlamlıdır.

Çizelge 6. 8 2006 - 2010 periyotlarında gerinim parametrelerinin anlamlılık testi sonuçları (devam)

Üçgen Noktaları			ϵ_{nn} (μ strain)	ϵ_{ne} (μ strain)	ϵ_{ee} (μ strain)	ϵ_{max} (μ strain)	ϵ_{min} (μ strain)	Test Değerleri					$T_{f,1-\alpha/2}$	ϵ_{nn}	ϵ_{ne}	ϵ_{ee}	ϵ_{max}	ϵ_{min}
OLUK	DUMT	DERB	-0,176±0,367	0,347±0,224	0,614±0,288	0,745±0,648	-0,307±0,711	0,479	1,549	2,135	1,149	0,431	1,975			♣		
DUMT	KUTE	DERB	0,038±0,715	0,126±0,397	0,075±0,489	0,183±2,559	-0,071±1,165	0,053	0,318	0,152	0,072	0,061	1,975					
KUTE	ERCT	DERB	0,210±0,629	0,016±0,293	-0,049±0,244	0,211±1,222	-0,050±0,476	0,334	0,055	0,201	0,173	0,105	1,975					
ERCT	ULUT	DERB	-0,062±0,701	-0,253±0,416	0,027±0,424	0,239±1,949	-0,275±0,682	0,088	0,609	0,063	0,123	0,402	1,975					
ULUT	MHGZ	BLOT	0,026±0,661	0,268±0,277	-0,084±0,066	0,245±0,154	-0,303±0,136	0,040	0,970	1,282	1,589	2,225	1,975					♣
ULUT	DERB	MHGZ	-0,006±0,455	-0,122±0,194	-0,130±0,075	0,068±0,148	-0,204±0,086	0,014	0,627	1,721	0,462	2,385	1,975					♣
BLOT	MHGZ	ESKI	-0,242±0,322	0,077±0,148	-0,027±0,076	-0,002±0,049	-0,267±0,154	0,752	0,523	0,352	0,040	1,732	1,975					
OLUK	SMAS	IGAZ	-0,019±0,311	0,465±0,161	-0,311±0,163	0,322±0,398	-0,652±0,374	0,063	2,877	1,911	0,808	1,743	1,975		♣			
OLUK	IGAZ	DERB	-0,075±0,378	0,473±0,294	-0,199±0,450	0,340±1,765	-0,614±1,138	0,198	1,611	0,443	0,192	0,539	1,975					
DERB	IGAZ	SEYH	0,039±1,413	0,428±0,605	-0,087±0,176	0,409±1,241	-0,457±1,137	0,027	0,707	0,493	0,329	0,402	1,975					
DERB	SEYH	MHGZ	0,091±0,407	-0,092±0,201	-0,104±0,210	0,127±0,417	-0,141±0,370	0,223	0,458	0,497	0,305	0,381	1,975					
SMAS	SEFI	IGAZ	0,265±0,547	0,232±0,343	-0,270±0,387	0,352±1,318	-0,357±1,799	0,485	0,679	0,699	0,267	0,199	1,975					
SEFI	DGCT	IGAZ	0,034±0,700	0,236±0,343	-0,177±0,238	0,187±0,897	-0,330±0,984	0,049	0,687	0,745	0,208	0,335	1,975					
IGAZ	DGCT	SEYH	0,053±0,894	0,173±0,404	-0,165±0,206	0,149±1,147	-0,261±0,689	0,059	0,429	0,803	0,130	0,379	1,975					
SEFI	AGUZ	TEBA	-0,080±0,862	0,251±0,420	0,014±0,411	0,222±2,283	-0,288±2,120	0,092	0,597	0,033	0,097	0,136	1,975					
AGUZ	DGCT	TEBA	-0,100±0,864	0,137±0,424	0,138±0,400	0,201±1,886	-0,163±2,472	0,116	0,324	0,346	0,107	0,066	1,975					
DGCT	TEBA	SEYH	0,051±0,888	0,106±0,428	0,088±0,331	0,177±1,496	-0,038±1,761	0,057	0,249	0,266	0,119	0,022	1,975					
SEYH	TEBA	CMLN	0,031±0,485	0,014±0,275	0,124±0,333	0,126±0,921	0,029±1,165	0,065	0,053	0,373	0,137	0,025	1,975					
SEYH	CMLN	MHGZ	0,078±0,367	-0,113±0,239	-0,061±0,340	0,141±0,700	-0,124±0,725	0,212	0,470	0,181	0,201	0,171	1,975					
MHGZ	CMLN	ESKI	-0,227±0,302	0,123±0,267	-0,178±0,402	-0,078±0,704	-0,328±1,086	0,751	0,459	0,444	0,110	0,302	1,975					
TEBA	NALL	CMLN	0,040±0,476	0,026±0,235	0,130±0,234	0,137±0,489	0,033±0,769	0,084	0,109	0,558	0,281	0,043	1,975					
CMLN	ESKI	NALL	-0,181±0,360	0,005±0,239	0,107±0,272	0,107±0,531	-0,181±0,732	0,502	0,022	0,394	0,202	0,247	1,975					
AGUZ	NALL	TEBA	-0,075±1,224	0,225±0,597	0,338±0,641	0,437±4,895	-0,174±4,445	0,061	0,377	0,528	0,089	0,039	1,975					

♣ = parametre anlamlıdır.

Uygulama sonucunda elde edilen ortalama maksimum asal gerinim, minimum asal gerinim, maksimum gerinim yönü, saf kayma, mühendislik kayması, dönüklük ve genişleme miktarı fayın alt ve üst kısmı için Çizelge 6.9’da verilmiştir. Ayrıca çalışma bölgesinin doğu kısmı için beş periyotluk gerinim analizi sonuçları ve daha önceki çalışmada [24] çalışma bölgesinin doğu kısmı için yapılan dört periyotluk gerinim analizi sonuçları Çizelge 6.10-6.11’de verilmiştir.

Çizelge 6. 9 2006 – 2010 yıllarına göre ortalama gerinim parametreleri

	ϵ_{max} (μ strain)	ϵ_{min} (μ strain)	Max. Gerinim Yönü(φ)	Saf Kayma (γ_1) (μ strain)	Mühendislik Kayması (γ_2) (μ strain)	Genişleme (Δ) (μ strain)	Dönüklük (W) (μ rad)
KAFZ'ın Üst Kısmı	0,251	-0,382	72,925	-0,167	0,382	-0,132	0,264
KAFZ'ın Alt Kısmı	0,223	-0,285	68,338	0,009	0,216	-0,062	0,093

Çizelge 6. 10 2006 – 2009 yıllarına göre Marmara Bölgesi'nin doğu kısmı için ortalama gerinim parametreleri [24]

	ϵ_{max} (μ strain)	ϵ_{min} (μ strain)	Max. Gerinim Yönü(φ)	Saf Kayma (γ_1) (μ strain)	Mühendislik Kayması (γ_2) (μ strain)	Genişleme (Δ) (μ strain)	Dönüklük (W) (μ rad)
KAFZ'ın Üst Kısmı	0,200	-0,271	55,190	0,091	0,285	-0,117	0,129
KAFZ'ın Alt Kısmı	0,197	-0,208	50,780	0,082	0,302	0,082	0,119

Çizelge 6. 11 2006 – 2010 yıllarına göre Marmara Bölgesi'nin doğu kısmı için ortalama gerinim parametreleri

	ϵ_{max} (μ strain)	ϵ_{min} (μ strain)	Max. Gerinim Yönü(φ)	Saf Kayma (γ_1) (μ strain)	Mühendislik Kayması (γ_2) (μ strain)	Genişleme (Δ) (μ strain)	Dönüklük (W) (μ rad)
KAFZ'ın Üst Kısmı	0,228	-0,452	62,312	-0,108	0,504	-0,224	0,302
KAFZ'ın Alt Kısmı	0,226	-0,254	61,785	0,122	0,223	-0,027	0,089

Elde edilen sonuçlara göre, bölgede belirli gerinim birikimi olduğu görülmektedir. Mühendislik kayma parametresinin pozitif olması KAFZ'ın sağ yanal atılımlı bir fay olduğunu göstermektedir. Maksimum ve minimum asal gerinim parametreleri KAFZ'ın, kuzeybatı – güneydoğu (KB - GD) yönünde sıkıştığını ve kuzeydoğu – güneybatı (KD - GB) yönünde genişlediğini göstererek sağ yanal atılımlı fay özelliğini ortaya koymaktadır. Dönüklük parametresinin bazı çözümlerde negatif olması saat yönünün tersi bir dönme hareketi, pozitif olması ise saat yönünde bir dönme hareketini göstermektedir [24-54].

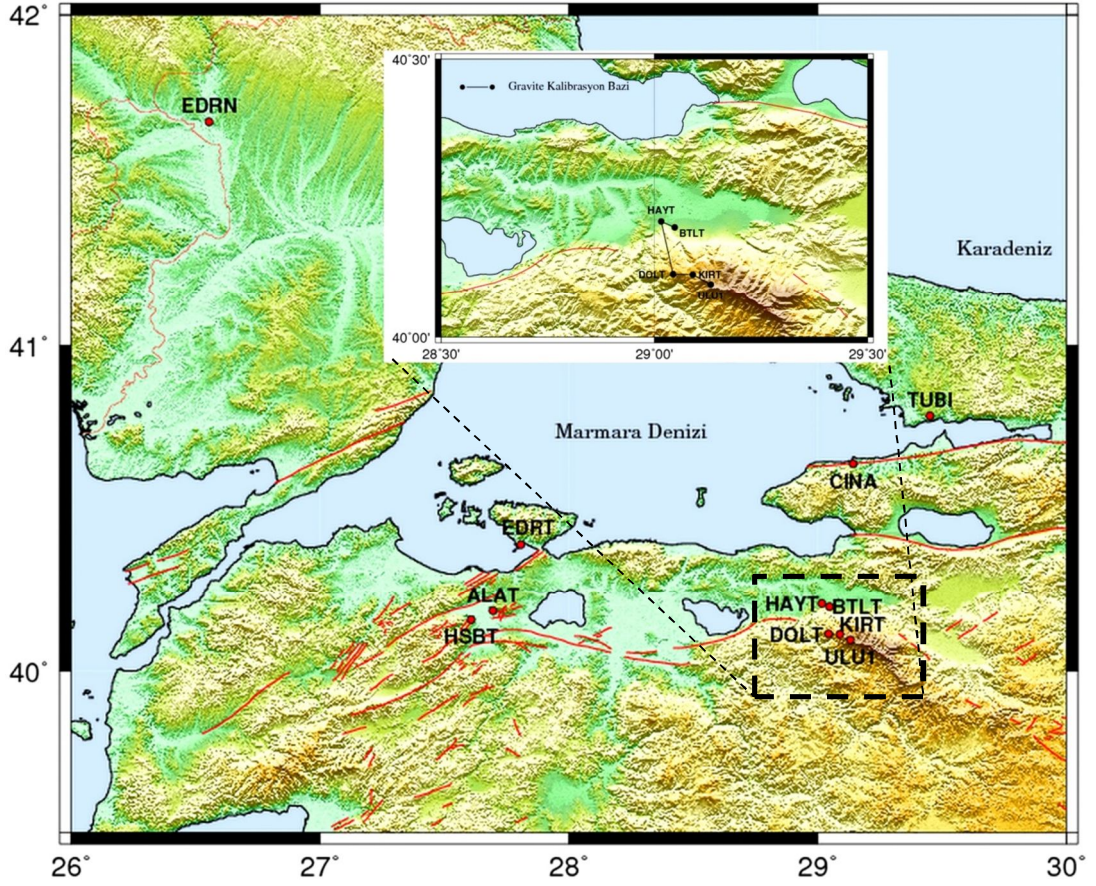
Ayrıca, uygulama sonucunda elde edilen gerinim birikimi incelendiğinde bölgede belirgin bir şekilde var olan gerinim birikiminde artış olduğu gözlenmiştir [24]. Gerinim birikimlerinin yalnızca Anadolu levhası üzerinde ve KAFZ boyunca olmaması durumu, bölgede 17 Ağustos 1999 İzmit depreminin deprem sonrası etkisinin hala sürdüğünü göstermektedir.

GRAVİTE ÖLÇMELERİ VE DEĞERLENDİRMELERİ

7.1 Mutlak Gravite Ölçmeleri ve Değerlendirmeleri

Marmara Bölgesi, 17 Ağustos 1999 ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinden sonra yatay deformasyonun yanı sıra düşey deformasyona da uğramıştır. Bölgede düşey yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi amacıyla 108Y152 TÜBİTAK 1001 Projesi olan “Marmara Bölgesi’ndeki Düşey Yer kabuğu Hareketlerinin Mutlak Gravite ve GPS ile Araştırılması” kapsamında Haziran 2009, Ekim 2009, Haziran 2010 ve Ekim 2010 tarihlerinde mutlak gravite ölçmeleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu proje ile Bursa-Uludağ arasında bağıl gravite ölçerlerin kalibrasyonlarına ve bunların zamana bağlı davranışlarının incelenmesine büyük katkı sağlaması hedeflenen bir kalibrasyon bazı oluşturulmuştur (Şekil 7.1).

Proje kapsamında mutlak gravite ölçmeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, TÜBİTAK-MAM YDBE, TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) ve Harita Genel Komutanlığı tarafından gerçekleştirilmiştir. Ölçmeler için TÜBİTAK-UME tarafından sağlanan A-10 mutlak gravite ölçer kullanılmıştır.



Şekil 7. 1 Marmara mutlak gravite ağı ve Bursa - Uludağ kalibrasyon bazı

Mutlak gravite ölçmeleri, temel ivme nicelikleri olan mesafe ve zamana bağlı olarak gerçekleştirilir. Gravite alanı içerisinde kalan ve serbest hareket gösteren bir sensör gözlemlenir. Mutlak gravite ölçme yöntemleri genel olarak ikiye ayrılır.

✓ **Serbest Düşme Yöntemi**

Serbest düşen bir cismin t_1 ve t_2 zamanlarında aldığı yol,

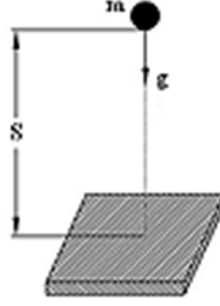
$$S_1 = \frac{1}{2} * g * t_1^2$$

$$S_2 = \frac{1}{2} * g * t_2^2 \quad (7.1)$$

Buna bağlı olarak mutlak gravite değeri,

$$g = 2 * \left[\frac{(S_1 t_2 - S_2 t_1)}{t_1 t_2 (t_2 - t_1)} \right] \quad (7.2)$$

olur (Şekil 7.2).

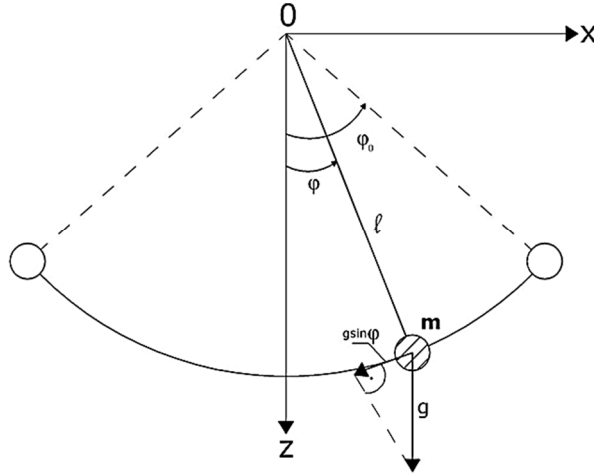


Şekil 7. 2 Serbest düşme yöntemi ile mutlak gravite ölçümü

✓ **Sarkaç Yöntemi**

Bun yöntem, gravite alanı içerisinde bilinen bir uzunluktaki sarkacın salınım zamanının gözlemlenmesi ilkesine dayanır. Aynı sarkaca ait iki farklı sarkaç boyu ℓ_1 ve ℓ_2 , salınım zamanları t_1 ve t_2 olmak üzere gravite değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır (Şekil 7.3) [55].

$$g = 4\pi^2 \left[\frac{\ell_1 - \ell_2}{t_1^2 - t_2^2} \right] \quad (7.3)$$



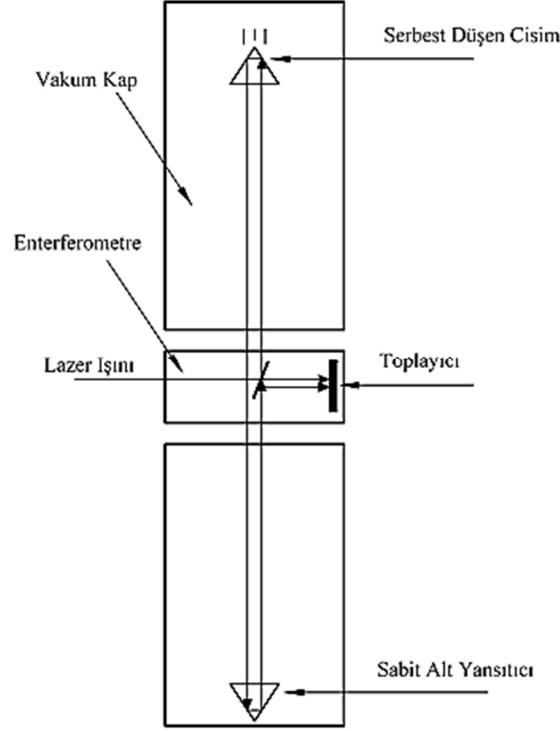
Şekil 7. 3 Sarkaç yöntemiyle mutlak gravite ölçümü

7.1.1 A-10 Mutlak Gravite Ölçeri ve Yapısı

A-10 mutlak gravite ölçeri, arazi uygulamalarında 10 saniyelik düşüş aralığında yaklaşık 30 dakika ölçüm yapıldığında 1 μGal hassasiyet ve 10 μGal doğruluk sağlamaktadır. Alet dünya çapında kullanılabilir olup ve $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ölçme yapabilme olanağı sağlamaktadır (Şekil 7.4). Temel prensibi, vakumlanmış bir kap içerisinde yansıtıcı bir cismin serbest düşmesine dayanır. Aletin orta bölümünde bulunan bir enterferometre yardımıyla oluşturulan lazer ışını serbest düşen cismin gravite ivmesinin hesaplanmasında kullanılmaktadır (Şekil 7.5) [55].



Şekil 7. 4 A-10 mutlak gravite ölçeri



Şekil 7. 5 A-10 mutlak gravite ölçerin temel yapısı

Vakumlanmış kap içerisinde bulunan mekanik bir sistem sayesinde serbest düşürülen cisim, düşeyde ortalama 7 cm yol alır. Enterferometre lazerin dalga boyunu uzun periyotta sabit tutacak hassasiyette bir sistem barındırmakta ve gravite etkisiyle düşmekte olan cismin konumunu hassas bir şekilde hesaplamak için atomik saat kullanır. Bu şekilde yer çekimi ivmesi direkt olarak hesaplanır.

Cisim düşerken enterferometrede optik saçılmalar (fringe) oluşur. Zaman ve konum çiftlerinin hassas olarak belirlenmesi için saçılmaları sayan ve zamanlarını belirleyen bir atomik saat kullanılır. Enterferometre, kutuplaşması dengelenmiş bir helyum neon (He-Ne) lazer kullanarak mesafeyi, rubidyum atomik saati ise hassas olarak zamanı belirlemeye yarar. Bu yöntemde bağıl gravite ölçerlerde olduğu gibi drift ve alet ağırlığı ilgili düzeltmeler yapılması gerekli değildir [55].

Marmara Gravite Ağı'nda (Şekil 7.1) Haziran 2009, Ekim 2009, Haziran 2010 ve Ekim 2010 yıllarında yapılan mutlak gravite ölçmeleri için her bir noktada 12 set, ve her bir set için 150 düşme (drop) ölçüsü gerçekleştirilmiştir (Şekil 7.6-7.7). Ağda yer alan CINA ve HSBT noktaları aynı zamanda Marmara Bölgesi GPS kampanya noktaları, TUBİ ise Marmara Sürekli GPS Ağı noktasıdır.



Şekil 7. 6 BTLT noktasında mutlak gravite ölçümü



Şekil 7. 7 KIRT noktasında mutlak gravite ölçümü

Mutlak gravite verilerinin değerlendirilmesinde Micro-g Solutions Inc. tarafından geliştirilen, Windows ve DOS tabanlı bir yazılım olan ve Olivia işletim sistemleri ile kullanılan Micro-g8 yazılımı kullanılmıştır [34]. Bu yazılım, veri toplama ve aynı zamanda ölçüm sonrasında toplanan veriyi değerlendirme olanağı sağlamaktadır. Veri toplama süresince yazılım alete bağlı olan bilgisayara kurulmuş olmalı (Şekil 7.6) ve ölçmeyi; başlatma, bitirme, gravite ölçüsüne etkiyen her türlü değişimi indirgeme ve ölçüm sırasında çeşitli gözlemler yapabilme olanağını sağlamaktadır.

Noktaya ait nominal basınç değerini, ölçülen gravite değerinden indirgemek için yine Micro-g8 yazılımından yararlanılır. Her noktada ölçülen gravite değeri gözlemlenen atmosferik basınç değerine bağlı olarak bir nominal basınç belirlenmekte ve düzeltme olarak gravite değerine eklenmektedir. Belirlenen setlere ait her düşüşe eklenen basınç düzeltmesi

$$P_n = 1013.25 \left[1 - 0.065 \left(\frac{H}{288.15} \right)^{5.2559} \right] \quad (7.4)$$

$$C_p = A(P_0 - P_n) \quad (7.5)$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. Burada,

P_n = Nominal basınç değeri (mBar)

H = Noktanın deniz yüksekliği (m)

A = Barometrik kabul faktörü ($\mu\text{Gal}/\text{mBar}$)

C_p = Barometrik basınç düzeltmesi (μGal)

P_0 = Ölçülen barometrik basınç (mBar) tır.

Kutup gezinmesi, dünyanın dönme eksenini ile gravite ölçümü yapılacak noktaya arasındaki mesafenin sürekli değişmesi nedeniyle merkez kaç kuvvetinin artıp azalması anlamındadır ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak düzeltme olarak ölçülere eklenmektedir:

$$\delta_g = -1.164 \cdot 10^8 \omega^2 a^2 \sin\varphi \cos\varphi (x \cos\lambda - y \sin\lambda) \quad (7.6)$$

Burada,

δ_g = Kutup gezinmesi düzeltmesi (μGal)

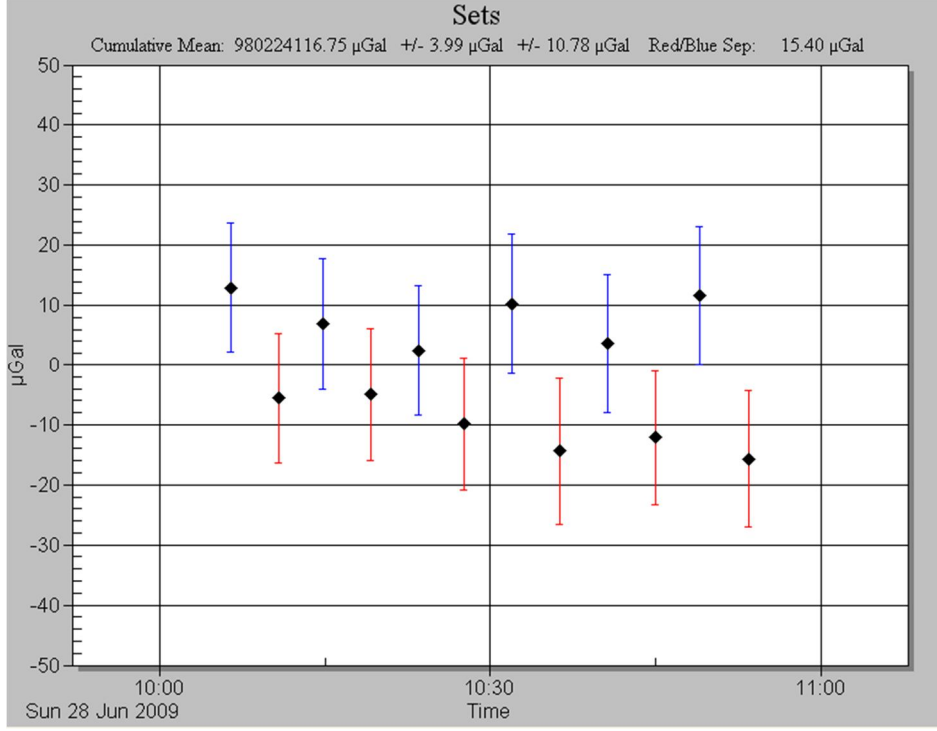
ω = Dünyanın açısal dönme hızı (rad/sn)

a = Referans elipsoidin küçük yarı eksenini (m)

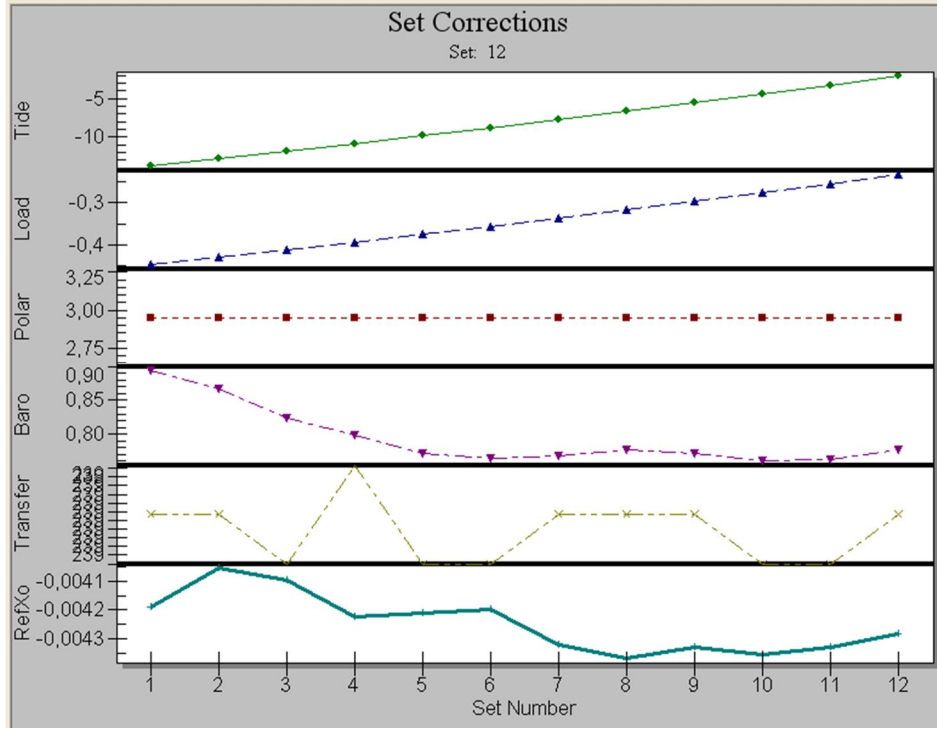
φ, λ = Jeodezik enlem ve boylam (rad)

x, y = IERS sisteminde kutup koordinatları (rad) dır.

Ayrıca, değerlendirme işleminde karasal gelgit modeli olarak ETGTAB modeli kullanılmıştır [55]. Mutlak gravite ölçülerinin değerlendirilmesi ile elde edilen sonuçlara ilişkin örnekler Şekil 7.8-7.11'de verilmektedir.

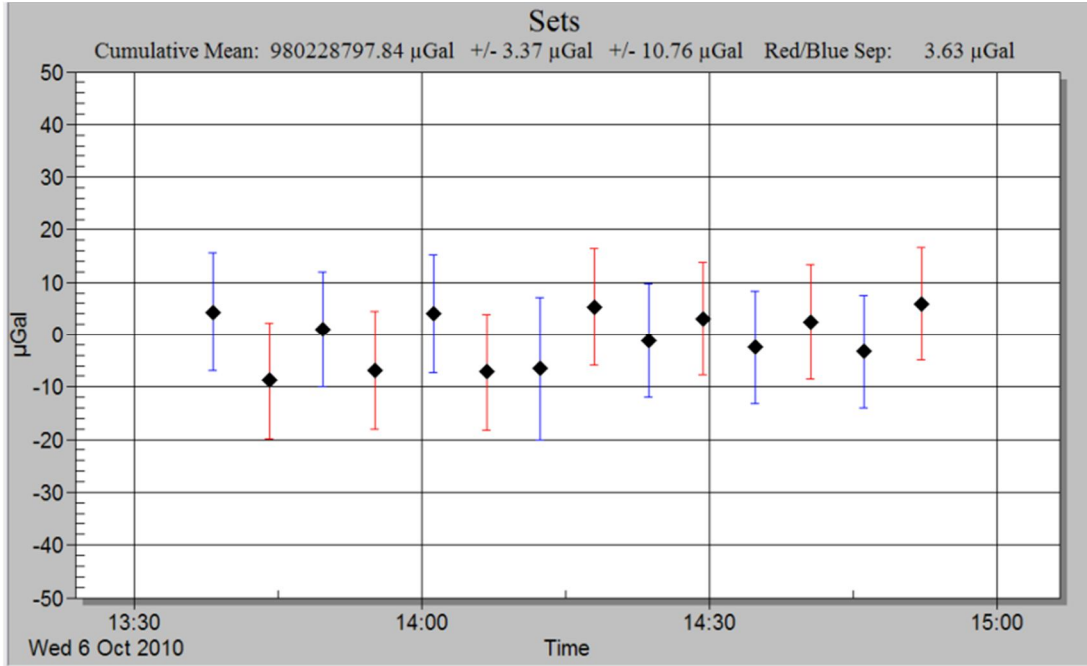


Şekil 7. 8 CINA noktasının setlere göre gravite değişimi

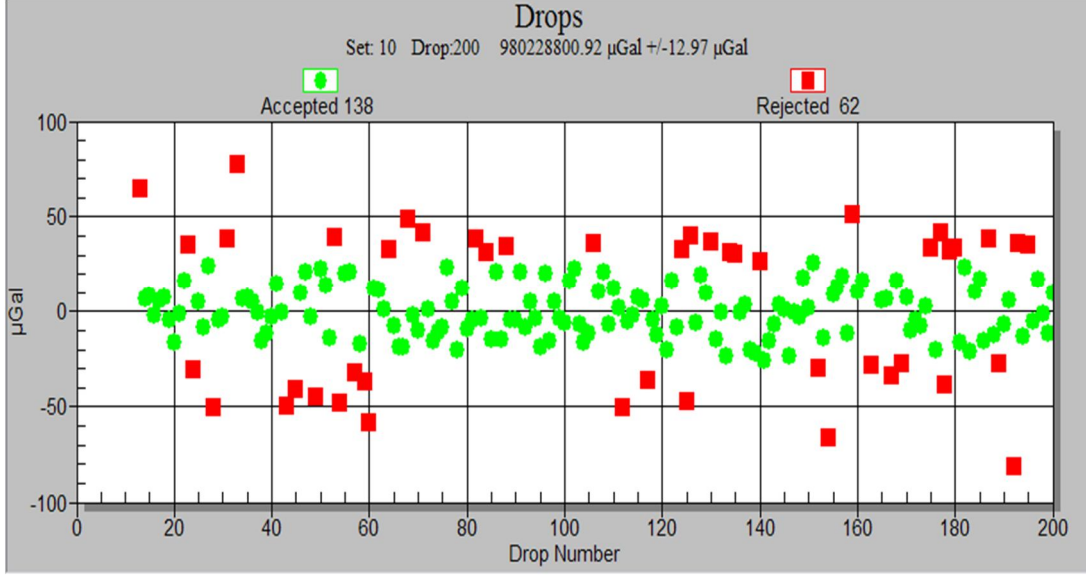


Şekil 7. 9 CINA noktasına ait set düzeltmeleri

Şekil 7.8’de görüldüğü gibi CINA noktasındaki mutlak gravite ölçmesi 12 set ve 150 düşüş olarak yapılmıştır. Şekilde lazerin mavi ve kırmızı dalga boylarına ait gravite değişimleri görülmektedir. Buna göre, setlere ait gravite değişimlerinin -15 ile +15 μ Gal’lik bir aralıkta hareket ettiği gözlenmektedir. Şekil 7.9’da CINA noktasında yapılan mutlak gravite ölçmesine ilişkin değerlendirme işlemi sonucunda her set için hesaplanan gravite düzeltmeleri görülmektedir. Buna göre, bu noktada yapılan ölçme esnasında karasal gelgit etkisinin -1 ile -15 μ Gal; okyanus yükselmesinin -0.2 ile -0.5 μ Gal arasında; kutup gezinmesinin 3 μ Gal; basınç değişiminin 0.90-0.80 μ Gal’lik bir değişime neden olduğu gözlenmektedir.



Şekil 7. 10 TUBI noktasının setlere göre gravite değişimi



Şekil 7. 11 TUBİ noktasında her bir set için elde edilen düşme ölçüleri

Şekil 7.10'da TUBİ noktasının mutlak gravite ölçmesi 12 set ve 150 düşüş olarak yapılmıştır. Şekilde lazerin mavi ve kırmızı dalga boylarına ait gravite değişimleri görülmektedir. Buna göre, setlere ait gravite değişimlerinin -10 ile $+10\mu\text{Gal}$ 'lik bir aralıkta hareket ettiği görülmektedir. Şekil 7.11'de TUBİ noktasında yapılan mutlak gravite ölçmesinin 10. setine ait düşüşler görülmektedir. Buna göre, drop dağılımı -50 ile $+50\mu\text{Gal}$ aralığında gözlenmekte ve uyuşumsuz ölçüler değerlendirmeden çıkartılmıştır.

Tüm periyotların değerlendirilmesi sonucu elde edilen noktalara ilişkin datum noktasına göre gravite değerleri ile standart sapmaları Çizelge 7.1'de verilmiştir. Çizelge 7.1'e göre yapılan dönemsel mutlak gravite ölçmelerinde haziran dönemi için en düşük gravite değişimi ERDT noktasında ($1,43\pm 3,39$), en yüksek gravite değişimi KIRT noktasında ($62,07\pm 2,67$) gözlenirken ekim dönemi için en düşük gravite değişimi DOLT ($-1,60\pm 3,16$) ve en yüksek gravite değişimi KIRT ($-107,77\pm 3,35$) noktasında gözlenmiştir.

Çizelge 7. 1 Marmara Bölgesi'ndeki mutlak gravite noktalarının TUBİ noktasına göre gravite değerleri

Nokta Adı	2009		2010	
	Haziran	Ekim	Haziran	Ekim
	dg (µGal) ± s (µGal)	dg (µGal) ± s (µGal)	dg (µGal) ± s (µGal)	dg (µGal) ± s (µGal)
CINA	-4651,69±3,48	-	-	-4615,95±2,68
ERDT	-2121,00±2,06	-	-2122,43±2,56	-
HSBT	-59432,40±2,77	-	-59435,20±1,36	-
BTLT	-92874,53±2,60	-92868,33±2,09	-92883,11±3,67	-92884,02±2,26
HAYT	-	-	-74323,22±2,21	-74324,95±1,87
DOLT	-290599,02±1,49	-290597,89±1,68	-290604,72±2,42	-290596,29±2,68
KIRT	-390459,52±1,77	-390581,74±1,29	-390521,59±2,00	-390473,97±3,09
ULU1	-507898,93±1,56	-507900,39±1,18	-	-

7.2 Düşey Gradyent Ölçmeleri ve Değerlendirmeleri

Bir noktada ölçülen gravite değerinin jeoide tam olarak indirgenmesi için gravite gradyent değerinin belirlenmesi gerekir. Ayrıca mutlak gravite ölçerlerin ölçme yüksekliğindeki gravite değerlerini yeryüzü noktasına indirgemek için de düşey gravite gradyent değerine ihtiyaç vardır. Yeryüzünde gözlenen g gravite değeri ise, jeoit yüzeyindeki g_0 değeri Taylor açılımı ile

$$g_0 = g - \frac{\delta g}{\delta h} H \dots \quad (7.7)$$

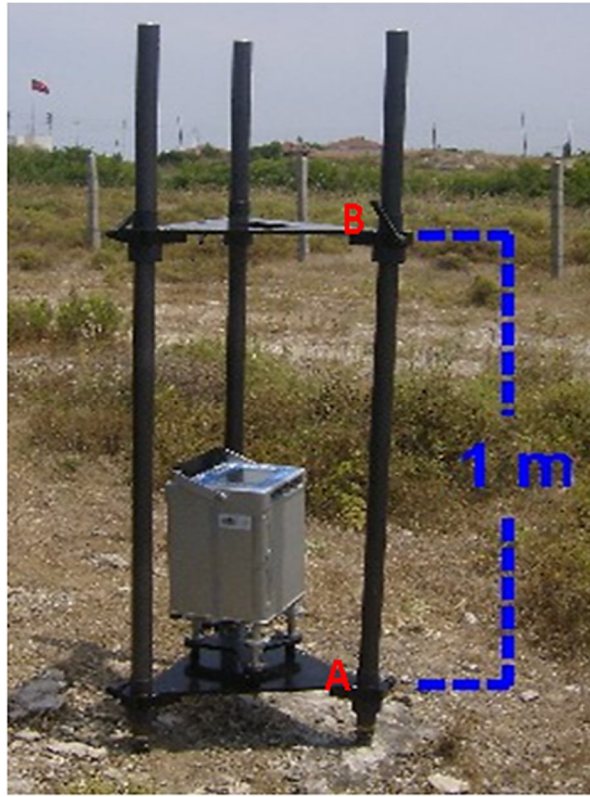
elde edilir. Burada H, gravite noktasının jeoitten olan yüksekliği ve $\frac{\delta g}{\delta h}$ ise düşey gravite gradyentidir. (7.7) eşitliğinde iki ve daha yüksek dereceden terimler göz ardı edilirse

$$g_0 = g + F \quad (7.8)$$

olur. Burada F, belirli serbest hava indirgemesi olarak tanımlanır ve teorik olarak 0.3086mGal/m'dir.

Mutlak gravite noktalarında bağıl gravite ölçerler kullanılarak düşey gravite gradyent değerleri ölçülmüştür. Ölçüm için özel olarak tasarlanan bir platform yaptırılmıştır (Şekil 7.12). Şekil 7.12'de gösterilen ve aralarındaki yükseklik farkı 1 m olan A ve B yüzeylerinde Scintrex CG 5 (model 79 ve 76) bağıl gravite ölçerler ile tekrarlı olarak

gravite okumaları yapılmıştır (Şekil 7.13 ve Şekil 7.14) [56]. Bağıl gravite ölçülerinin değerlendirilmesi Münih Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Navigasyon Enstitüsü tarafından geliştirilen GRAVAP (Gravimetric Network Adjustment Software) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [35]. Elde edilen sonuçlara göre noktanın deniz yüksekliği arttıkça düşey grdayent değerinde azalma olduğu gözlemlenmektedir. Marmara bölgesinde ölçülen düşey gravite gradyent değerleri Çizelge 7.2’de, görsel olarak Şekil 7.15’te verilmiştir.



Şekil 7. 12 Düşey gravite gradyent ölçümlerinde kullanılan platform



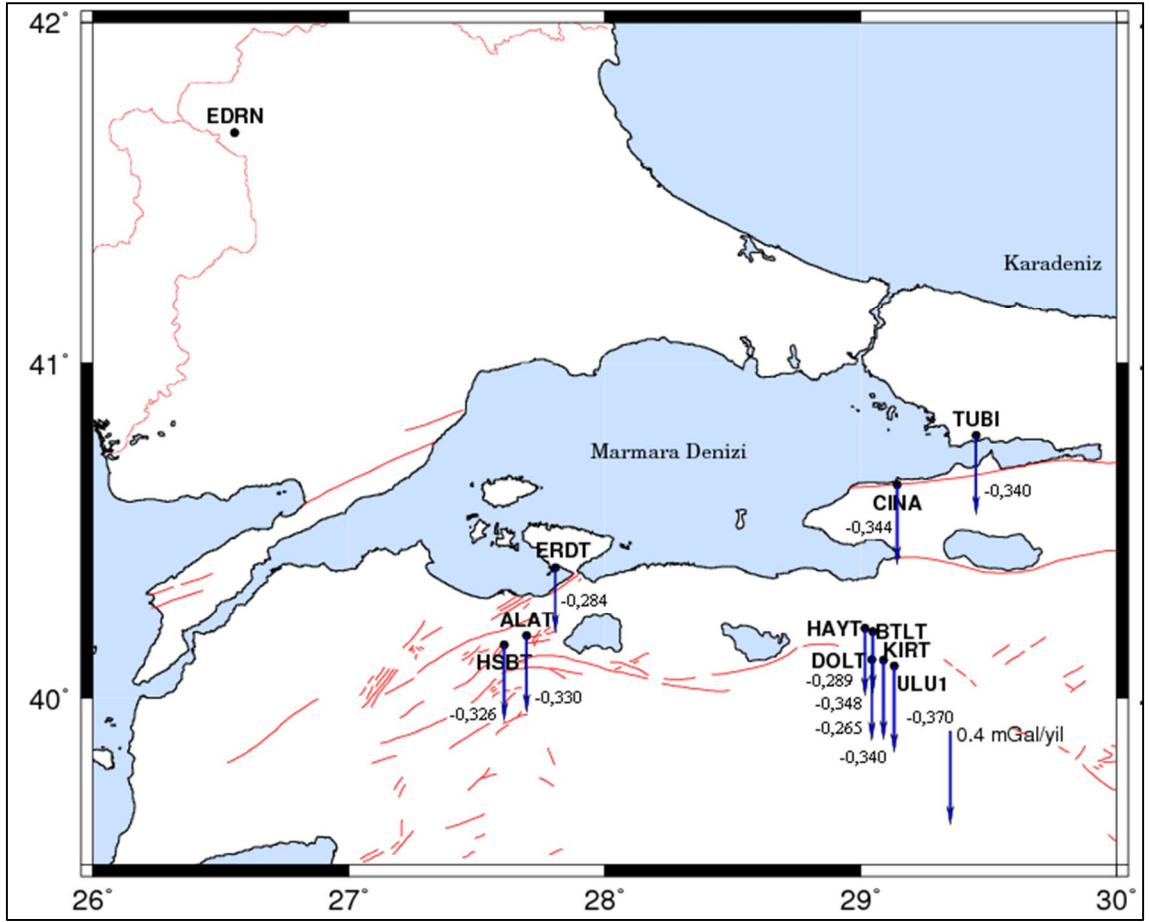
Şekil 7. 13 BTLT (solda) ve HAYT (sağda) düşey gradyent ölçümü



Şekil 7. 14 UME laboratuvarında düşey gradyent ölçümü

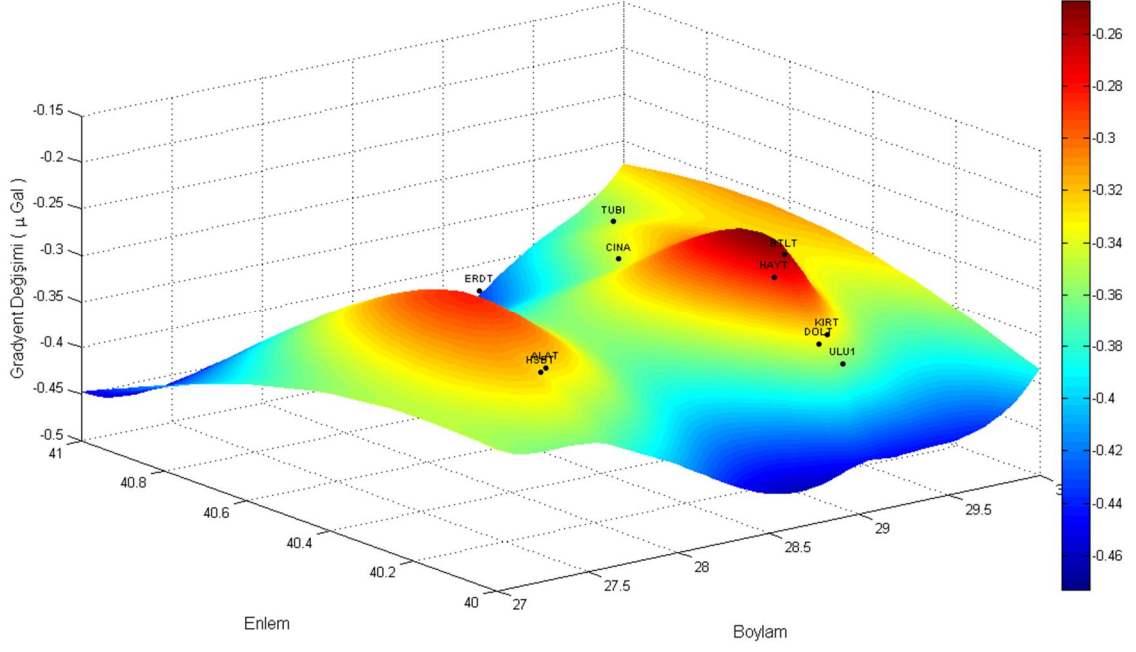
Çizelge 7. 2 Marmara bölgesinde ölçülen düşey gravite gradyent değerleri

Nokta Adı	Gradyent (mGal/m)	Deniz Yüksekliği (m)
ERDT	-0,284±0,007	53,58
ALAT	-0,330±0,050	101,29
BTLT	-0,265±0,012	128,87
CINA	-0,344±0,007	132,17
HSBT	-0,326±0,005	140,52
HAYT	-0,289±0,050	148,00
TUBI	-0,340±0,007	184,07
DOLT	-0,348±0,007	1097,89
KIRT	-0,340±0,007	1523,28
ULU1	-0,370±0,007	2019,93

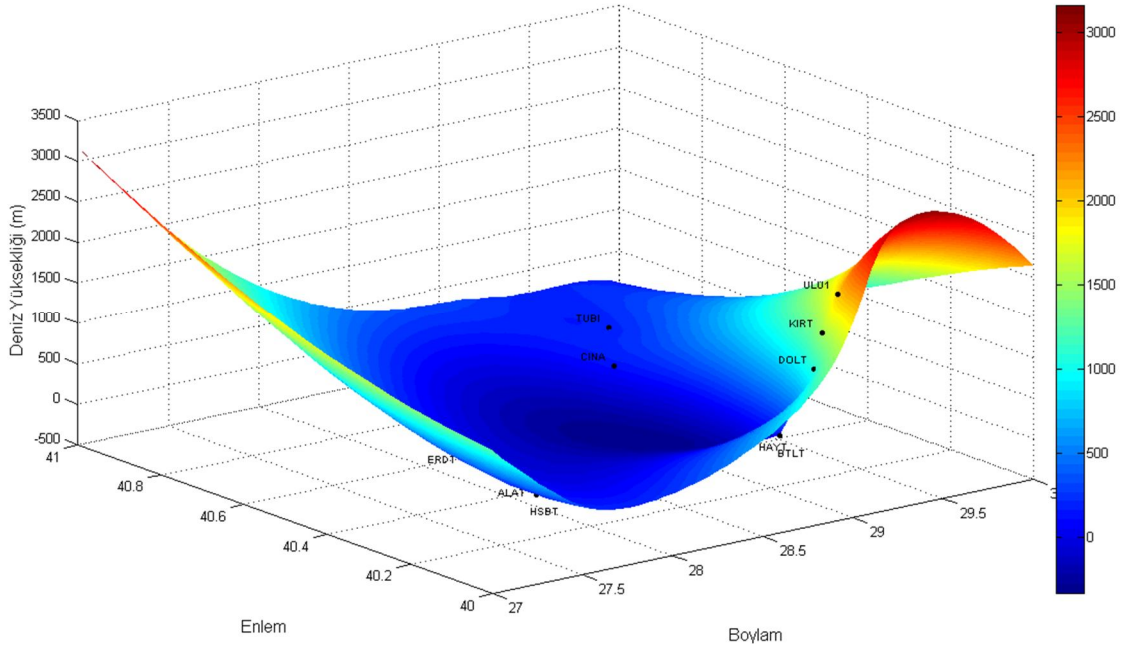


Şekil 7. 15 Marmara bölgesinde düşey gravite gradyent değerleri

Marmara Bölgesi'nde ölçülen düşey gravite gradyent değerleri ve denize olan yükseklikleri Şekil 7.16-7.17'de gösterilmiştir.



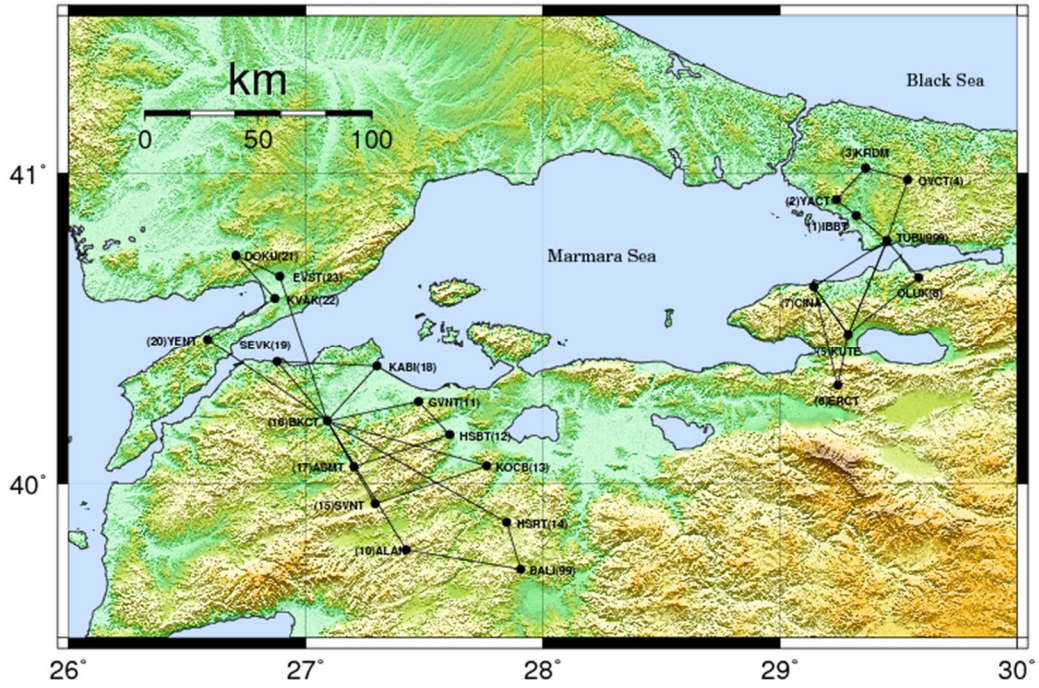
Şekil 7. 16 Marmara Bölgesi'nde ölçülen düşey gravite gradyent değerleri



Şekil 7. 17 Marmara Bölgesi'nde ölçülen gradyent noktalarının deniz yükseklikleri

7.3 Bağıl Gravite Ölçmeleri ve Değerlendirmeleri

Marmara Bölgesi'nde düşey yerkaşu hareketlerini bağıl gravite ve GPS ölçüleriyle belirlemek için "Marmara Bölgesi'ndeki Düşey Yerkaşu Hareketlerinin Mutlak Gravite ve GPS ile Araştırılması" (108Y152 numaralı TÜBİTAK 1001 projesi) ve "Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik – ancak tektonik rejimleri farklı – Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması" (105G019 numaralı TÜBİTAK 1007 projesi) isimli projeler kapsamında, TÜBİTAK – MAM YDBE ile YTÜ Harita Mühendisliği Bölümü tarafından 2006-2010 yılları arasında bağıl gravite ölçmeleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 7.18).



Şekil 7. 18 Bağıl gravite noktaları [56]

Bağıl gravite ölçmeleri, TÜBİTAK – MAM YDBE tarafından sağlanan iki adet Scientrex Autograv CG-5 model bağıl gravite ölçerleri ile yapılmıştır (Şekil 7.19).

Scientrex CG-5 gravite ölçerin doğruluğu $10\mu\text{Gal}$, duyarlılığı $1\mu\text{Gal}$ ve frekansı 6Hz'dir. Bir okuma değerinin elde edilme süresi 60 saniye olup; bir okumada toplam 3600 düşüş gerçekleştirilir. Gravite ölçer, 60 saniye ve 3600 düşme ile 1 ölçü ve standart sapmasını elde eder. Ölçmelerin ilk 10 saniyesinde belirlenen bir ortalama değerden anlamlı biçimde sapan okumalar otomatik olarak okuma grubundan çıkartılır [56]. Scientrex CG-5 model gravite ölçeri için ölçme planlaması ve değerlendirme ayrıntıları Ilgar, A. (2011) [56]'da verilmektedir.



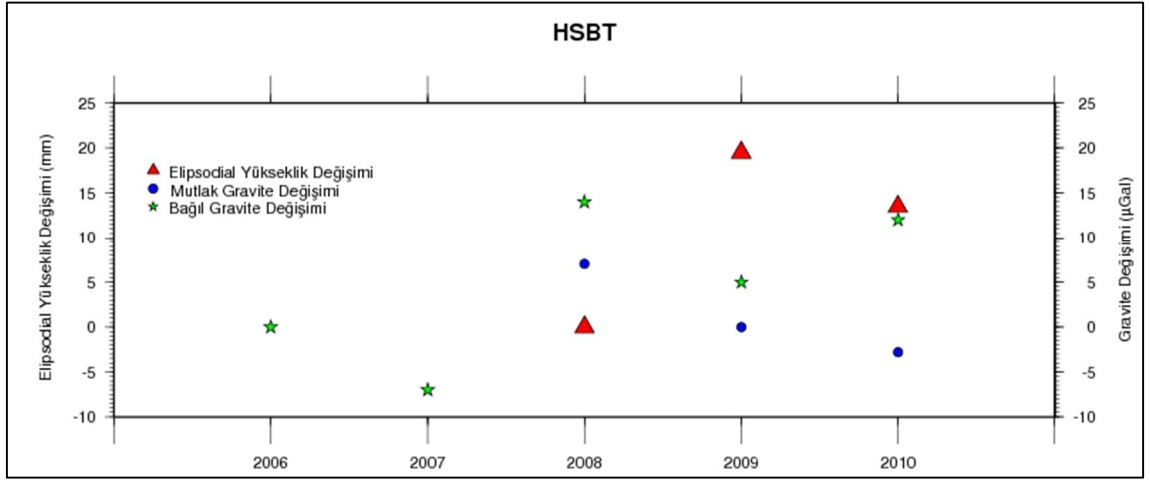
Şekil 7. 19 Scientrex CG-5 model gravite ölçer

Marmara'nın Doğu ve Batı bölgelerinin farklı tektonik yapıya sahip olmasından dolayı iki farklı gravite ağı oluşturulmuştur. Ağın özdeş noktaları aynı periyotlarda GPS ile de ölçülmektedir [56] (Şekil 7.18).

7.4 Düşey Deformasyonun Gravite ve GPS ile Belirlenmesi

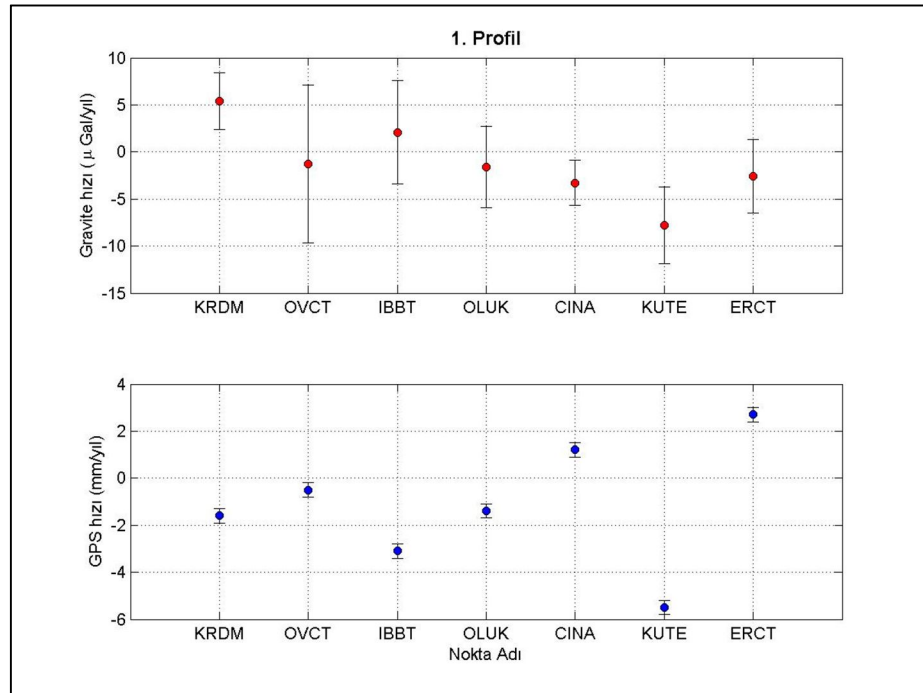
Yükseklik değişimleri ile gravite değişimleri arasında yüksek bir korelasyon bulunmaktadır. Bu ilişki serbest hava anomalisi ile tanımlanmaktadır. Gravite değişimine yükseklik değişimi sebep oluyorsa bu iki değişim arasında ters korelasyon olması beklenmektedir [56]. Bu çalışmada, bölgedeki düşey yerkabuğu hareketlerini belirlemek amacıyla beş periyot bağıl gravite ölçmesi gerçekleştirilmiş; GRAVAP yazılımından elde edilen noktaların gravite değişimleri ve bunların standart sapmaları kullanılmış ve sonuçlar Ilgar, A. (2011) [56]'dan elde edilmiştir.

Marmara Bölgesi'nin doğu kesiminde oluşturulan bağıl gravite ağına TUBI noktası datum noktası olarak tanımlandığından ve GPS ile elde edilen sonuçları, gravite sonuçları ile karşılaştırmak için TUBI noktası GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde de datum noktası seçilmiştir. Marmara Bölgesi'nin batı kesiminde ise bağıl gravite ağına BKCT noktası datum noktası olarak seçilmiştir. Marmara Bölgesi'nde, mutlak gravite, bağıl gravite ve GPS ölçmeleri gerçekleştirilen noktalara ilişkin zaman serilerinden örnek olarak Şekil 7.20'de HSBT noktasına ait sonuçlar verilmektedir.

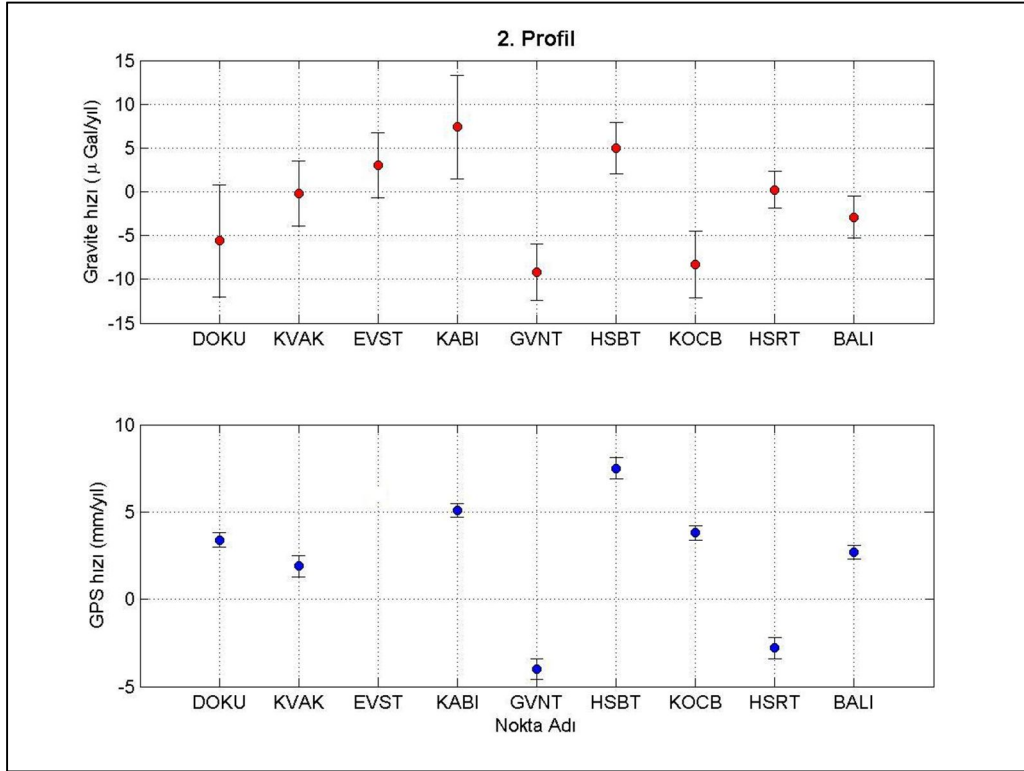


Şekil 7. 20 HSBT noktası için gravite ve elipsoidal yükseklik ilişkisi

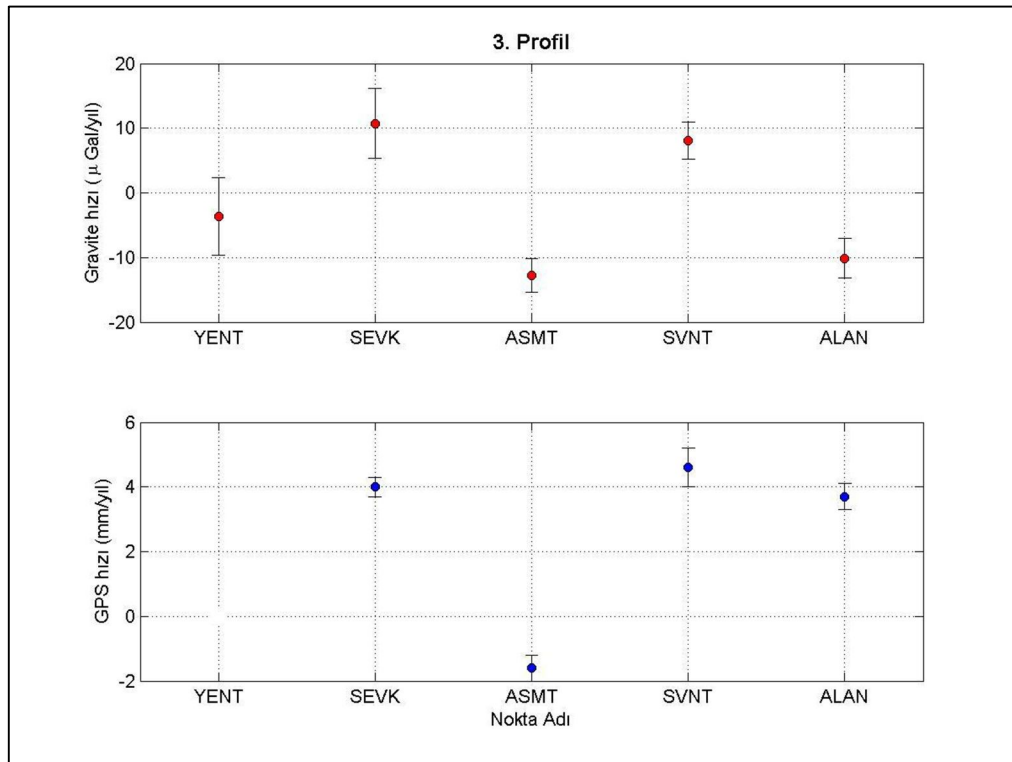
Gravite ve düşey hız değişimlerinin bölgedeki fay zonları ile olan ilişkisini ortaya koymak için bir profil boyunca noktalardaki hız değişimleri Şekil 7.21-7.23'te gösterilmektedir.



Şekil 7. 21 Marmara Bölgesi'nin doğu kesiminde oluşturulan 1. Profil için gravite ve GPS düşey hızları



Şekil 7. 22 Marmara Bölgesi'nin batı kesiminde oluşturulan 2. Profil için gravite ve GPS düşey hızları



Şekil 7. 23 Marmara Bölgesi'nin batı kesiminde oluşturulan 3. Profil için gravite ve GPS düşey hızları

Şekil 7.21'e göre Marmara Bölgesi'nin doğu kesiminde KAFZ'ın kuzeyinde yer alan noktalarda (OVCT hariç) artan yönde gravite hız değişimi görülürken, KAFZ'ın güneyinde yer alan noktalarda azalan yönde bir değişim görülmektedir. GPS düşey hızlarına bakıldığında ise ERCT, CINA, IBBT ve KRDM noktalarında gravite hızları ile negatif korelasyon görülürken, OVCT, OLUK ve KUTE noktalarında pozitif korelasyon görülmektedir [56].

Şekil 7.22 ve 7.23'e göre, Marmara Bölgesi'nin batı kesiminde yer alan noktaların çoğunda gravite hız değişiminin azalan yönde olduğu görülürken, Sarıköy Fayı ile Gönen-Yenice Fayı arasında kalan HSBT ve SVNT noktalarında artan yönde hız değişimi görülmektedir. Ayrıca, Marmara Bölgesi'nin batı kesiminde bir çok noktada gravite hız değişimi ile GPS düşey hız değişimi arasında negatif korelasyon görülmektedir; fakat istatistiksel olarak gravite değişim oranında anlamlı düşey deformasyonlar yüzeyde görülmemektedir [56].

BÖLÜM 8

SONUÇLAR

Marmara Bölgesi'nin yer kabuğu hareketlerini ve gerinim alanlarını belirlemek amacıyla 2006 - 2010 yılları arasında bölgeyi tanımlayan 59 noktadan 12 tanesi MAGNET ve 47 tanesi kampanya noktalarında gerçekleştirilen beş periyot GPS ölçüsü kullanılmıştır. GPS ölçüleri Bernese 5.0 yazılımında, IGS noktalarından biri olan TUBI noktasının 2000.0 epoğunda ITRF 2005 koordinatları üzerine sıkı koşul uygulanarak (datum tanımı) değerlendirilmiştir.

Periyotlar arasında yapılan değerlendirmeler sonucunda, periyotlar arasında anlamlı bir dönmenin olmadığı ve ağların benzer olduğu fakat bir deformasyon sonucu özdeş olmadığı görülmüştür.

Ayrıca, periyotlar arasında anlamlı bir hareket olup olmadığını belirlemek amacıyla global eşdeğerlik testi yapılarak nokta konumlarının değişmediği varsayımına dayanan H_0 hipotezi kurulmuş ve hipotezin geçersiz olduğu sonucuna varılmıştır. Periyotlar arasında anlamlı bir hareket olduğu sonucuna varıldıktan sonra noktalara ilişkin hareket vektörlerinin anlamlı olup olmadıklarını test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bölgede yer alan noktalarda anlamlı konum değişimleri gözlenmiştir.

Bölgedeki hız değişimlerinin belirlenmesi için Bernese 5.0 yazılımı kullanılmış ve zamana bağlı doğrusal hız modeli oluşturulmuştur. Hız değerleri, TUBI noktası sabit alınarak her periyoda ait dengelemeli çözümler yerel koordinat sisteminde elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bölgede KAFZ boyunca noktaların yatay hızlarının homojen olmadığı, KAFZ'in kuzey kısmındaki Avrasya levhasında yer alan noktaların yaklaşık $2.69 \pm 0.1 \text{ mm/yıl}$ 'lık bir hızla batıdan doğuya doğru hareket ettiği, KAFZ'in güneyindeki Anadolu levhasında yer alan noktalar ise saat yönünün tersi

şeklinde doğudan batıya doğru yaklaşık olarak $15.03 \pm 0.1 \text{ mm/yıl}$ 'lık bir hızla hareket ettiği belirlenmiştir. Bölgede noktaların düşey hızlarının da homojen olmadığı görülmekte ve Avrasya levhasında yer alan noktalar yaklaşık $-0.33 \pm 0.3 \text{ mm/yıl}$ 'lık bir hızla, Anadolu levhasında yer alan noktalar ise yaklaşık $0.70 \pm 0.3 \text{ mm/yıl}$ 'lık bir hızla hareket etmektedir.

Düşey hızlar incelendiğinde, Avrasya levhasında çökme görülürken Anadolu levhasında yükselme gözlenmiştir. Ayrıca, Anadolu levhasında nokta hızlarının fay hattından uzaklaştıkça arttığı ve Avrasya levhasında nokta hızlarının homojen bir dağılım gösterdiği saptanmıştır.

Bölgenin gerinim birikimlerinin belirlenmesi amacıyla koordinat farklarına göre sonlu elemanlar yöntemine göre gerinim modeli, iki boyutlu olarak yerel koordinat sisteminde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bölgeye ait beş periyoda ilişkin ortalama çekme ve sıkışma miktarları Avrasya levhası için $\epsilon_{\max} = 0.251 \text{ } \mu\text{strain}$, $\epsilon_{\min} = -0.382 \text{ } \mu\text{strain}$, maksimum gerinim yönü (φ°) = 72.925, saf kayma (γ_1) = $-0.167 \text{ } \mu\text{strain}$, mühendislik kayması (γ_2) = $0.382 \text{ } \mu\text{strain}$, genişleme (Δ) = $-0.132 \text{ } \mu\text{strain}$ ve dönüklük (ω) = $0.264 \text{ } \mu\text{rad}$ 'dır. Anadolu levhası için $\epsilon_{\max} = 0.223 \text{ } \mu\text{strain}$, $\epsilon_{\min} = -0.285 \text{ } \mu\text{strain}$, maksimum gerinim yönü (φ°) = 68.338, saf kayma (γ_1) = $0.009 \text{ } \mu\text{strain}$, mühendislik kayması (γ_2) = $0.216 \text{ } \mu\text{strain}$, genişleme (Δ) = $-0.062 \text{ } \mu\text{strain}$ ve dönüklük (ω) = $0.093 \text{ } \mu\text{rad}$ 'dır.

Bu uygulamadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, bölgede belirli bir gerinim birikimi olduğu görülmektedir. Mühendislik kayma parametresinin (γ_2) pozitif olması KAFZ'nin sağ yanal atımlı bir fay olduğunu göstermektedir. Maksimum ve minimum asal gerinim parametreleri KAFZ'nin KB – GD yönünde sıkıştığını ve KD – GB yönünde genişlediğini göstererek sağ yanal atımlı fay özelliğini ortaya koymaktadır. Dönüklük parametresinin (ω) negatif olması saat yönünün tersi, pozitif olması saat yönünde bir dönme hareketini göstermektedir [24-54].

Ayrıca, gerinim birikiminin yalnızca Anadolu levhasında ve KAFZ boyunca olmamasının sonucu olarak bölgede 17 Ağustos 1999 İzmit depreminin deprem sonrası etkisinin hala devam ettiği düşünülmektedir.

Ayrıca, Marmara Bölgesi'nde düşey yer kabuğu hareketleri Haziran 2009, Ekim 2009, Haziran 2010 ve Ekim 2010 yıllarında, Marmara Mutlak Gravite Ağı'nda ve Bursa – Uludağ arasında kurulmuş olan gravite kalibrasyon bazında gerçekleştirilen mutlak

gravite ölçmeleri ile 2006-2010 yılları arasında gerçekleştirilen bağıl gravite ölçmeleri değerlendirilmiştir. Mutlak gravite noktalarında yapılan düşey gravite gradyent değerleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlara göre bölgede teorik olarak bilinen 0.3086 mGal/m değerinden farklı gradyent değerleri belirlenmiştir.

Bölgede yapılan mutlak gravite ve bağıl gravite ölçmelerinde elde edilen sonuçlar ile GPS ölçmelerinden elde edilen yükseklikler karşılaştırılmış ve serbest hava anomalisinden kaynaklanan ters korelasyonun yakalandığı gözlenmiştir.

Marmara Bölgesi'nin doğu ve batı kesiminde yapılan bağıl gravite ölçmelerinden elde edilen hız alanları ile GPS ölçmelerinden elde edilen düşey hız alanları karşılaştırılmış ve bölgenin her iki kesiminde istatistiksel olarak anlamlı gravite değişimi olan noktalarda anlamlı düşey deformasyonlar yüzeyde görülmemiştir. Bölgede oluşan anlamlı gravite değişimlerinin yerkabuğundaki yoğunluk değişiminden kaynaklandığı ve bu değişimin kabuk kalınlığına bağlı olarak yüzeyde anlamlı olarak belirlenebilecek bir yüzey deformasyonu üretmediği sonucuna varılmıştır [56].

KAYNAKLAR

- [1] Rossikopoulos, D., Fotiou, A., Livieratos, E. ve Baldi, P., (1997), "A rigorous analysis of GPS data to detect crustal deformations. Application in the area of the Ionian Sea", *Tectonophysics*, 294:271-280.
- [2] Özener, H., Doğru Garagon, A., Turgut, B., Yılmaz, O., Ergintav, S., Çakmak, R., Sanli, U., Arpat, E., Gülen, L. ve Gürkan, O., (2005), "Kuzey Anadolu Fayı Doğu Kesiminin Kabuk Deformasyonlarının ve Blok Kinematığının GPS Ölçme Tekniği ile Araştırılması", 10. Türkiye Harita Bilimsel Teknik Kurultayı, Ankara.
- [3] Kagan, Y. Y. ve Jackson, D. D., (1999), "Worldwide Doublets of Large Shallow Earthquakes", *Bull. Seis. Soc. Amer.*, 85:9.
- [4] Prescott, W. H., (1976), "An Extension of Frank's Method for Obtaining Crustal Shear Strains from Survey Data", *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 66:1847-1853.
- [5] Eckl, M. C., Snay, R. A., Soler, T., Cline, M. W. ve Mader, G. L., (2001), "Accuracy of GPS Derived Relative Positions as a Function of Interstation Distance and Observing-Session Duration", *Journal of Geodesy*, 75, 633-640.
- [6] Doğan, U., Lachapelle, G., Fortes, L. ve Ergintav, S., (2003b), "A Study of the Tectonically Active Marmara Region, Turkey, Using GPS", *Canadian Journal of Earth Science*, 40:1191-120.
- [7] Lambert, A., Liard, J. O., Courtier, N., Goodacre, A. K., McConnell, R. K. ve Faller, J. E., (1989), "The Canadian absolute g program", *Eos Trans. AGU*, 70:1447-1460.
- [8] Larson, K. M. ve van Dam, T., (2000), "Measuring Postlogical Rebound with GPS and Absolute Gravity", *Geophysical Research Letters*, 27:3925-3928.
- [9] Ergintav, S., Doğan, U., Gerstenecker, C., Çakmak, R., Belgen, A., Demirel, H., Aydın, C. Ve Reilinger, R., (2007), "A snapshot (2003-2005) of the 3D postseismic deformation for the 1999, $M_w=7.4$ İzmit earthquake in the Marmara Region, Turkey, by first results of joint gravity and GPS monitoring", *Journal of Geodynamics*, 44:1-18.
- [10] Torge, W., (1989), *Gravimetry*, Walter de Gruyter, Berlin – New York.
- [11] Meade, B., Hager, B., McClusky, S., Reilinger, R.E., Ergintav, S., Lenk, O., Barka, A., Ozener, H., (2002), "Estimates of seismic potential in the Marmara

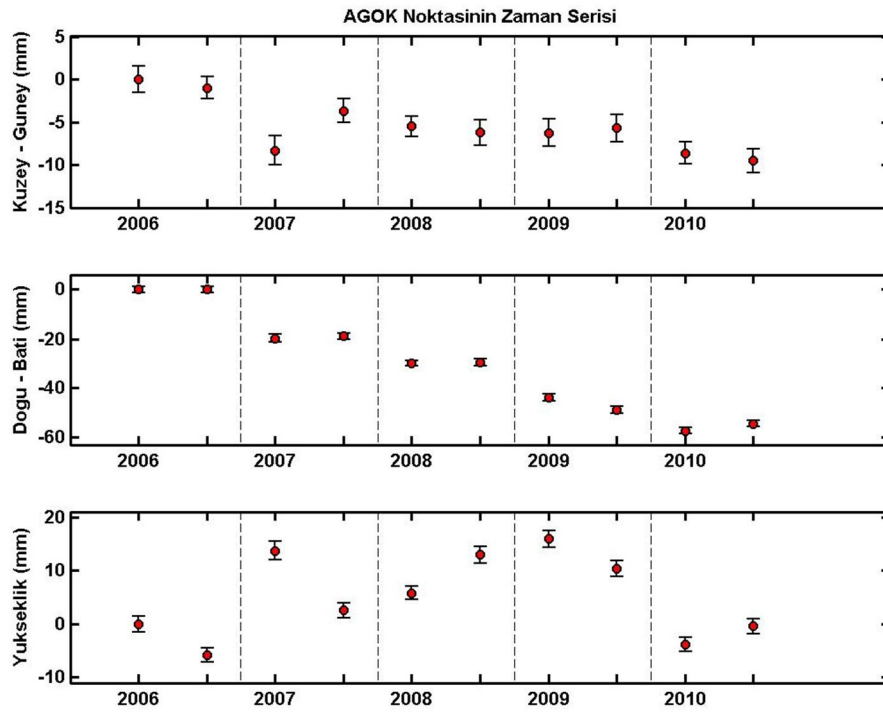
- Sea Region from Block Models of Secular Deformation Constrained by GPS Measurements”, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 92:208–215.
- [12] Reilinger, R. E., Ergintav, S. ve Bürgmann, R., (2000), “Coseismic and postseismic fault slip for the 17 August 1999, $M = 7.5$, Izmit, Turkey earthquake”, *Science*, 289:1519-1524.
- [13] Ergintav, S., Bürgmann, R., McClusky, S., Cakmak, R., Reilinger, R.E., Lenk, O., Barka, A. ve Gurkan, O., (2002), “Postseismic deformation near the Izmit earthquake 17 August, 1999”, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 92:194-207.
- [14] Doğan, U., Ergintav, S., Gerstenecker, C. ve Roedelsperger, S., (2007), “Interpretation of Postseismic GPS and Gravity Changes”, *European Geosciences Union General Assembly, Geophysical Research Abstracts*, 9(07795), 16-20 April, Vienna, Austria.
- [15] Doğan, U., (2002), 17 Ağustos 1999 İzmit Depreminden Kaynaklanan Deformasyonların Kinematik Modellerle Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [16] Aktuğ, B., (2006), Jeodezik Ölçüler İle Deprem Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] Straub, C., (1996), Recent Crustal Deformation and Strain Accumulation in the Marmara Sea Region, N. W. Anatolia, Inferred from GPS Measurement, PhD Thesis, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Zurich.
- [18] McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, K., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, M., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M. N. ve Veis, G., (2000), “Global Positioning System Constrains on Plate Kinematics and Dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus”, *Journal of Geophys. Res.*, 105:B3:5695-5719.
- [19] Ayhan, M. E., Demir C., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Altınar, Y., Barka, A. A., Ergintav, S. ve Ozener, H., (2002), “Interseismic Strain Accumulation in the Marmara Sea Region”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92:216-229.
- [20] Meade, B., Hager, B., McClusky, S., Reilinger, R.E., Ergintav, S., Lenk, O., Barka, A., Ozener, H., (2002), “Estimates of seismic potential in the Marmara Sea Region from Block Models of Secular Deformation Constrained by GPS Measurements”, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 92:208–215.
- [21] Denli, H. H., (2004), “Crustal Deformation Analysis in the Marmara Sea Region”, *Journal of Surveying Engineering*, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9453(2004)130:4(151).
- [22] Sorensen, A. A. ve Yılmaz, O., (2008), “Analysis of Strain Accumulation of the Faulting Zones by the Help of Continuous GPS Stations”, *Integrating Generations FIG Working Week, Stockholm, Sweden*, 1-12.
- [23] Deniz, İ. Ve Özener, H., (2010), “Estimation of strain accumulation of densification network in Northern Marmara Region, Turkey”, *Natural Hazardz and Earth System Sciences*, 10:2135-2143.

- [24] Çolak, B., (2010), Marmara Bölgesi'nin Doğu Kesiminde Yatay Yer kabuğu Hareketleri ve Gerinim Birikiminin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [25] Ergintav, S., McClusky, S., Hearn, E., Reilinger, R., Cakmak, R., Herring, T., Ozener, H., Lenk, O. ve Tari, E., (2009), "Seven years of postseismic deformation following the 1999, M=7.4 and M=7.2, Izmit-Duzce, Turkey earthquake sequence", *Journal of Geophysical Research*, 114.
- [26] Becker, M., Aksoy, A., Demirel, H. ve Groten, E., (1985), "High precision gravity measurements across the North Anatolian Fault zone", *Bureau Gravimetrique International, Bulletin d'Information*, 57:31-45.
- [27] Akın, D., Aksoy, A., Demirel, H. ve Gerstenecker, C., (1989), "Gravimetric levelling along the North Anatolian Fault zone between Adapazarı and Bolu", *Turkish-German Research Project*, edit. by J. Zschau and O. Ergünay, 67-73.
- [28] Demirel, H. ve Gerstenecker, C., (1990), "Secular gravity variations along the North Anatolian Fault, In R. Rummel and R.G. Hipkin(eds): *Gravity, gradiometry and gravimetry*", International Association of Geodesy, Symposia 103, New York.
- [29] Akın, D., Demirel, H. ve Gerstenecker, C., (1991), "Repeated gravity observations in the Mudurnu Valley, Turkey", In *Proceedings of the International Conference on Earthquake Prediction State of the Art*, pp. 396-402, Strasbourg.
- [30] Akın, D., Demirel, H., Friedrich ve Gerstenecker, C., (1994), "Determination of vertical strain changes using repeated gravity observations", *1st Turkish International Symposium on Deformation*, Istanbul, 380-390.
- [31] Demirel, H. Ayhan, M.E. ve Demir, C., (1994), "Gravimetric works in Turkey for the period 1990-1994", *Bureau Gravimetrique International, Bulletin d'Information*, 75:120-123.
- [32] Doğan, U., Ergintav, S., Demirel, H., Gerstenecker, C., Aydın, C., Çakmak, R. ve Belgen, A, (2006), "GPS and Gravity Measurements Along the Western Part of the North Anatolian Fault and Their Relation to Crustal Deformations", *1st International Symposium of the International Gravity Field Service, Gravity Field of the Earth*, August 28- September 01, Istanbul, Turkey, (Harita Dergisi 18. Özel Sayı).
- [33] Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P. ve Meindl, M., (2007), "Bernese GPS Software Version 5.0", *Astronomical Institute, University of Bern*.
- [34] Microg, 2008. "g8 Absolute gravity data acquisition and processing User's Manual". In: *Solutions, M.-g. (Ed.), Micro-g Solutions. Lafayette, Colorado, USA*.
- [35] GRAVAP yazılımı: <http://www.ifen.unibw-muenchen.de/software/gravap>, 2004.
- [36] Erdem, N. P. ve Lahn, E., (2001), "Türkiye Depremleri İzahlı Kataloğu", 2. Basım, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- [37] Ketin, İ., (1969), "Kuzey Anadolu Fayı Hakkında", *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 72:1-28.

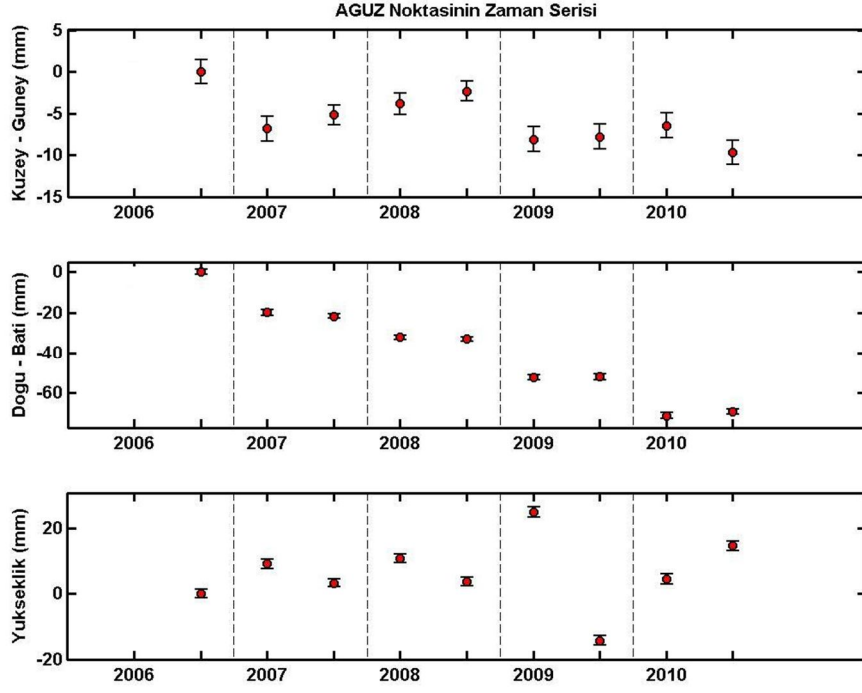
- [38] Demirel, H., (2002), Deformasyon Ölçülerinin Analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü ders notu, İstanbul.
- [39] Niemeier, W., (1985), "Deformationsanalyse", Geodatische Netzein Landes-und Ingenieurvermessung, 559-623.
- [40] Johnson, H. O. ve Wyatt, F. K., (1995), "Geodetic Network Design for Fault-Mechanics Studies", Manuscriptia Geodetica, 19:309-323.
- [41] Denli, H. H., (1998), GPS ile Marmara Bölgesindeki Yerkabuğu Hareketlerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [42] Garesimenko, M. D., Shestakov, N. V. Ve Kato, T., (2000), "On optimal geodetic network design for fault-mechanics studies", Earth Planets Space, 52:985-987.
- [43] Öz, D., (2009), Avcılar heyelan bölgesindeki deformasyonların kinematik modellerle belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [44] Caspary, W. F., (1988), Concepts of Network and Deformation Analysis, School of The University of New South Wales, Kensington, N.S.W., Australia.
- [45] Xu, P. ve Grafarend, E., (1995), "A multi-objective second order optimal design for deforming networks", Geophys. J. Int., 120:577-589.
- [46] Wells, D. E. ve Krakiwsky, E. J., (1971), "The Method of Least Squares", Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick Fredericton N. B., Lecture Notes No: 18, Canada.
- [47] Kakkuri, J. ve Chen, R. (1990), "Four Dimensional Adjustment of the Finnish First Order Triangulation: Results of a Test Computation", Lecture Notes in Earth Sciences, 29, Springer Verlag.
- [48] Middleton, G. V. ve Wilcock, P. R., (1994), Mechanics in the earth and enviromental sciences, Camridge University Press.
- [49] Frank, F. G., (1966), "Detection of Earth Strain from Survey Data", Bull. Seismol. Soc. Am., 56:35-42.
- [50] Cai J., Grafarend E. W. ve Schaffrin, B., (2005), "Statistical Analysis of the Eigenspace Components of the Two-Dimensional, Symmetric Rank-Two Random Tensor", Geophys. J. Int., 78:425-436.
- [51] BERNESE yazılımında gereken iyonosfer dosyası: <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE>, 2011.
- [52] Doğan, U., Ergintav, S., Demirel, H., Çakmak, R. ve Özener, H., (2003), "Estimation of the time-dependent crustal movements of the İzmit Eartquake", Journal of Geodynamics, 36:615-632.
- [53] Yanqiang, W., Jiang, Z., Yang, G., Wei, W. ve Liu, X., (2011), "Comparison of GPS strain rate computing methods and their relaibility", Geophysical Journal International, 185:703-717.
- [54] Feigle, K.L., King, R.W., Jordan ve T.H. (1990), "Geodetic Measurements of Tectonic Deformation in the Santa Maria Fold and Trust Belt, California", Journal of Geophysical Research, 95:2679-2699.

- [55] Özdiğer, H. O., (2010), Marmara Bölgesi'nde Mutlak Gravite Ölçme ve Değerlendirmeleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [56] Ilgar, A., (2011), Marmara Bölgesi'nde Düşey Yerkabuğu Hareketlerinin Bağlı Gravite ve GPS Ölçüleri ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

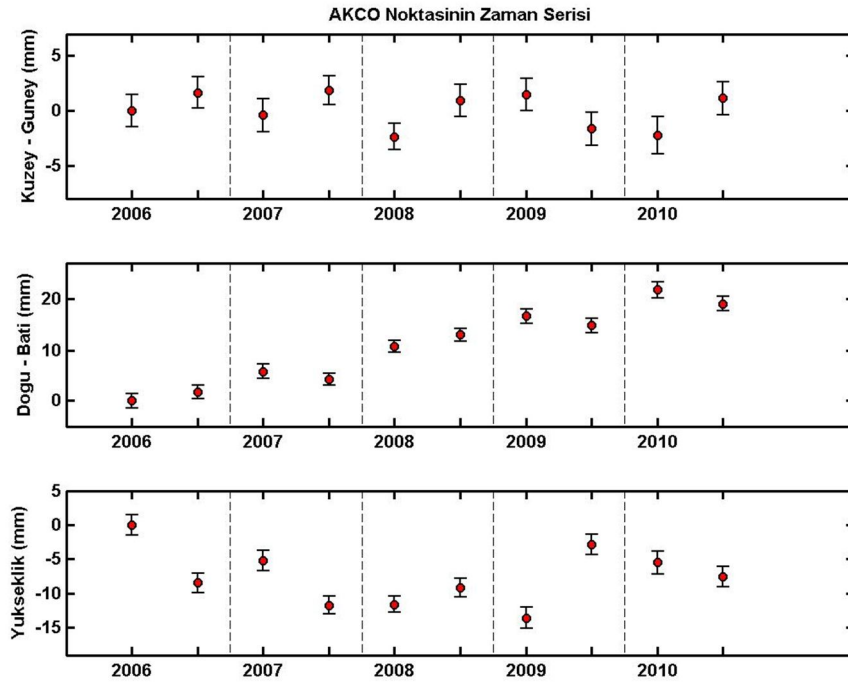
KAMPANYA NOKTALARININ YEREL KOORDİNAT SİSTEMİNDE GÜNLÜK DEĞİŞİMLERİ



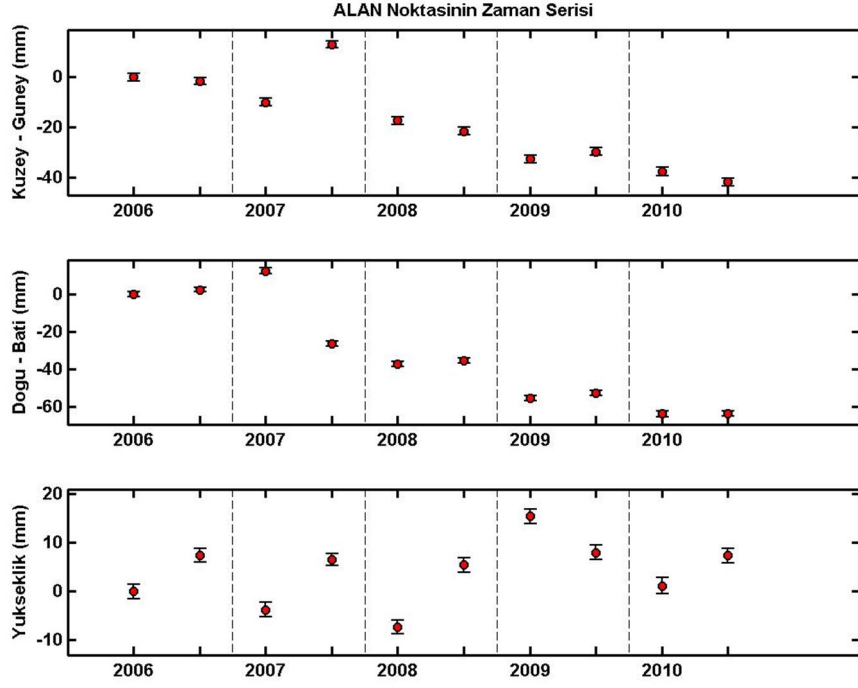
Şekil 1. 1 AGOK noktasının zaman serisi



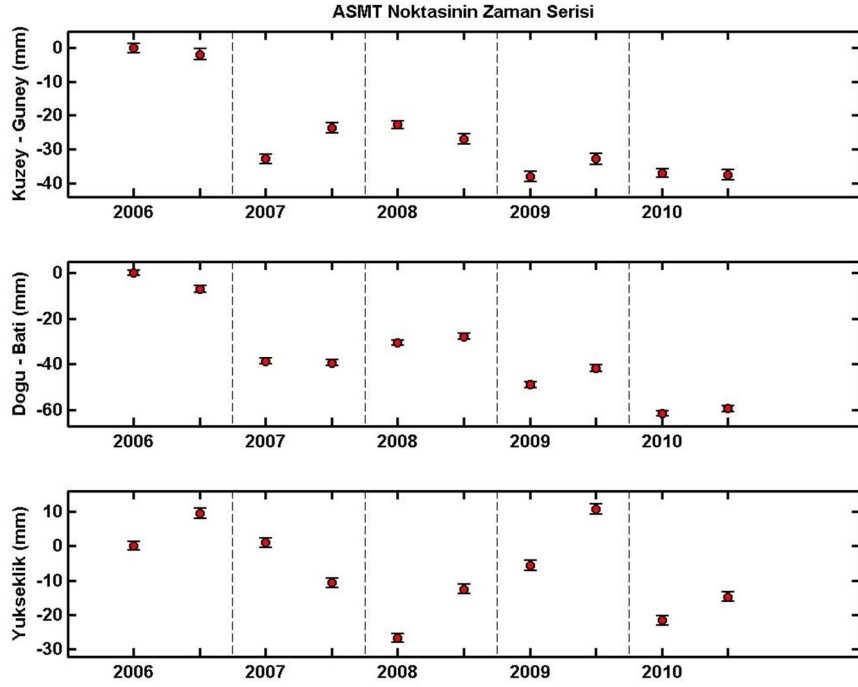
Şekil 1. 2 AGUZ noktasının zaman serisi



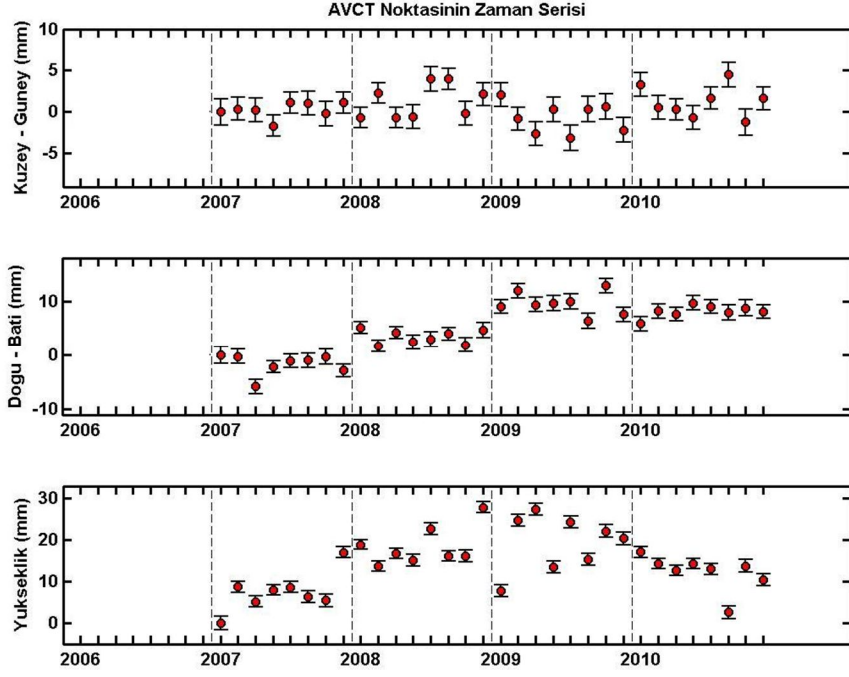
Şekil 1. 3 AKCO noktasının zaman serisi



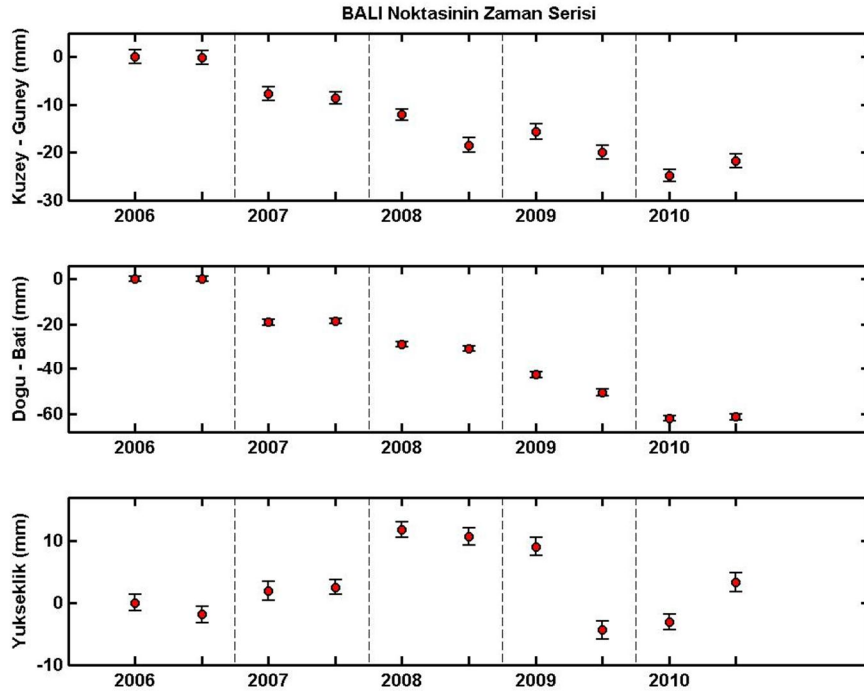
Şekil 1. 4 ALAN noktasının zaman serisi



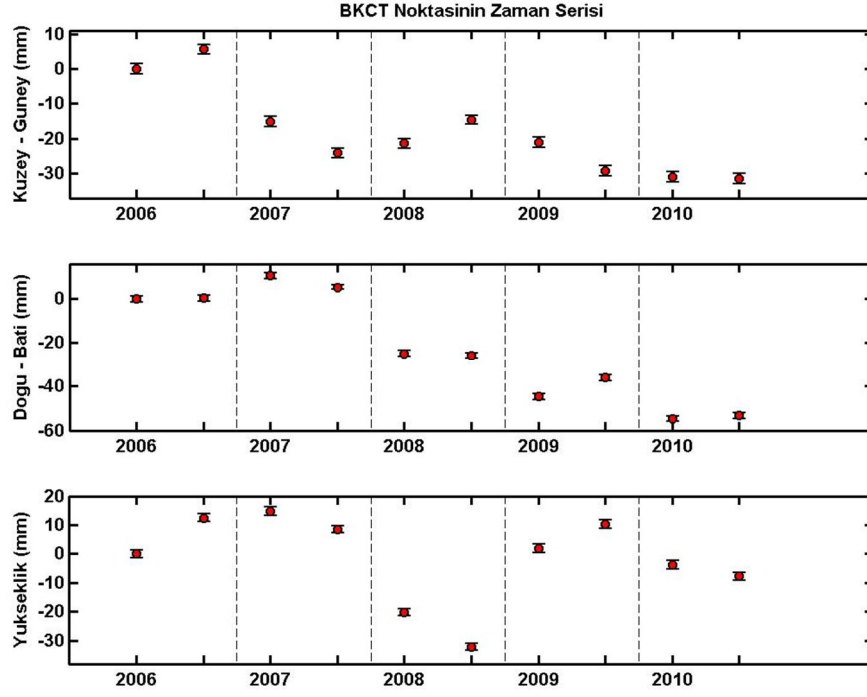
Şekil 1. 5 ASMT noktasının zaman serisi



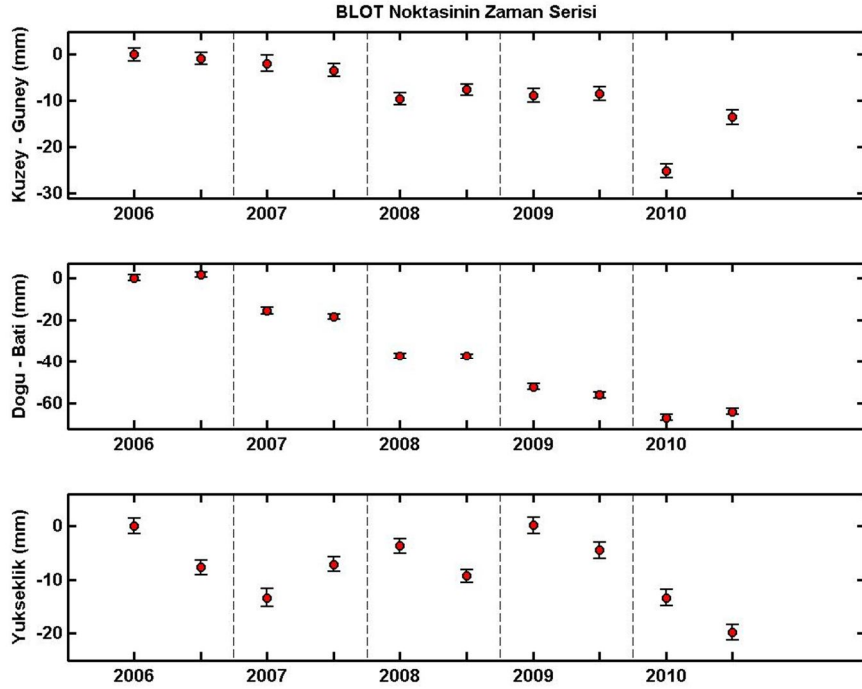
Şekil 1. 6 AVCT noktasının zaman serisi



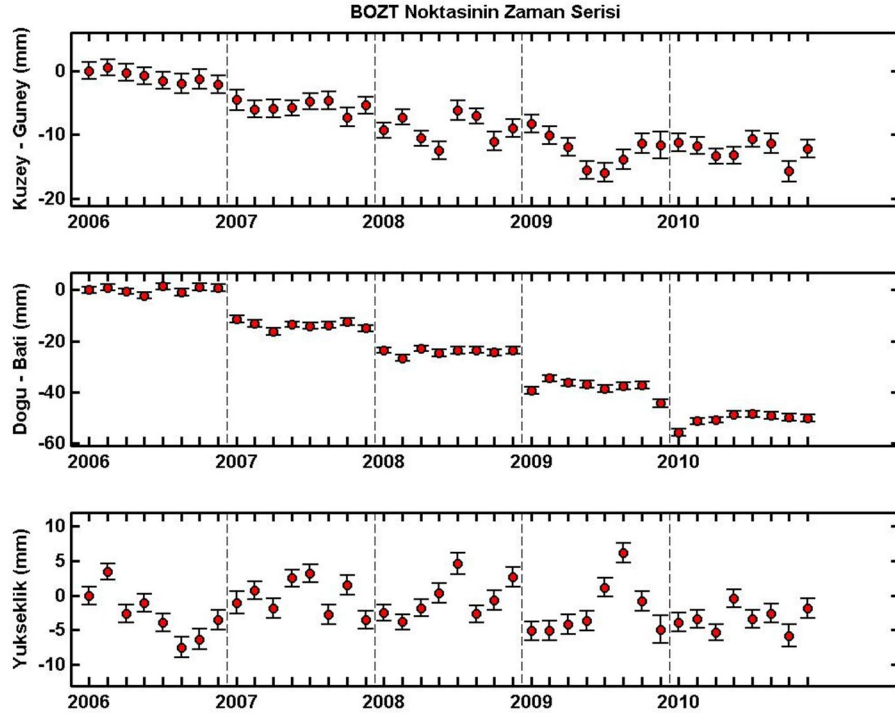
Şekil 1. 7 BALI noktasının zaman serisi



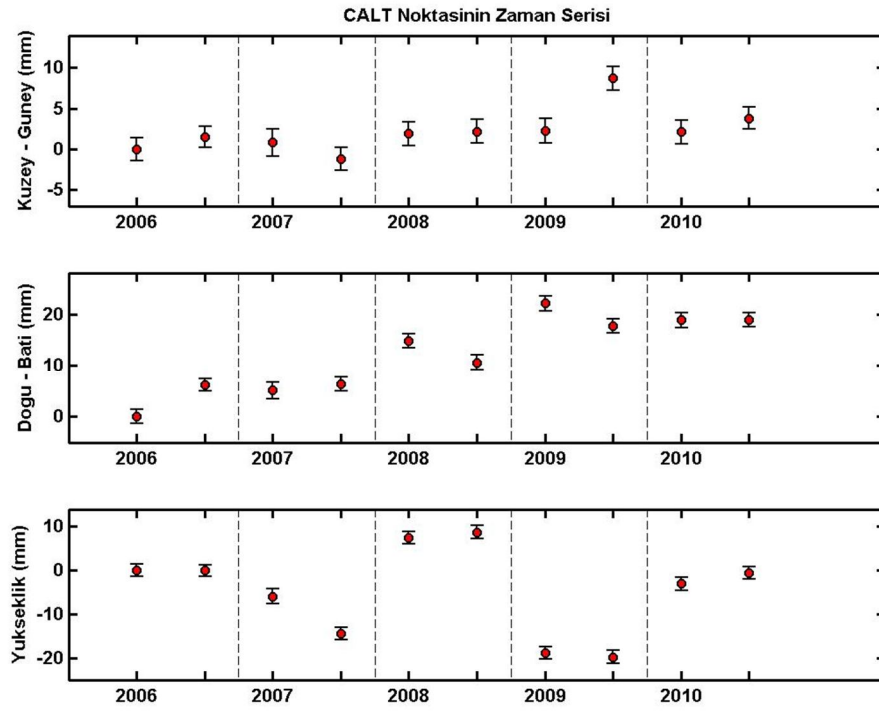
Şekil 1. 8 BKCT noktasının zaman serisi



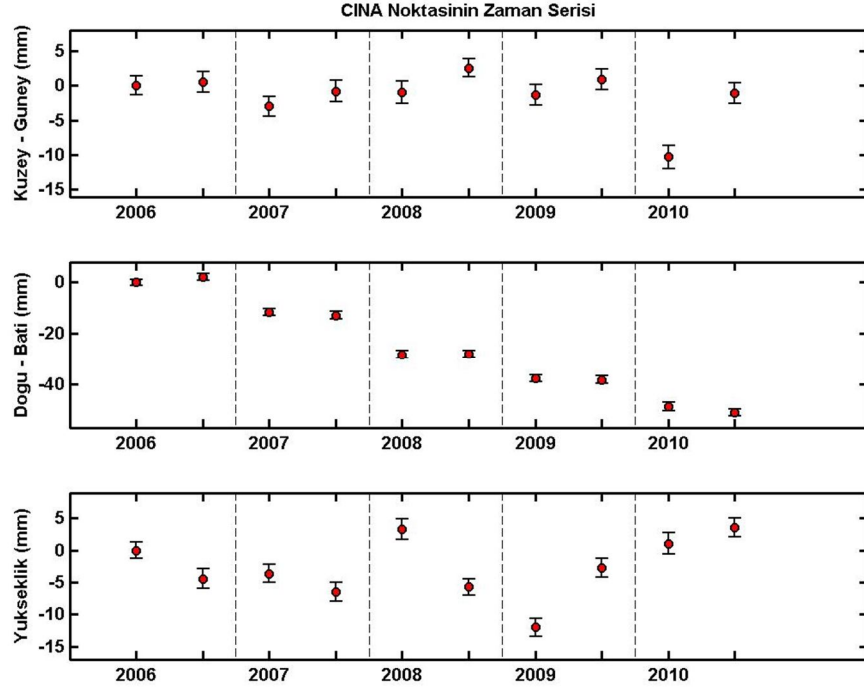
Şekil 1. 9 BLOT noktasının zaman serisi



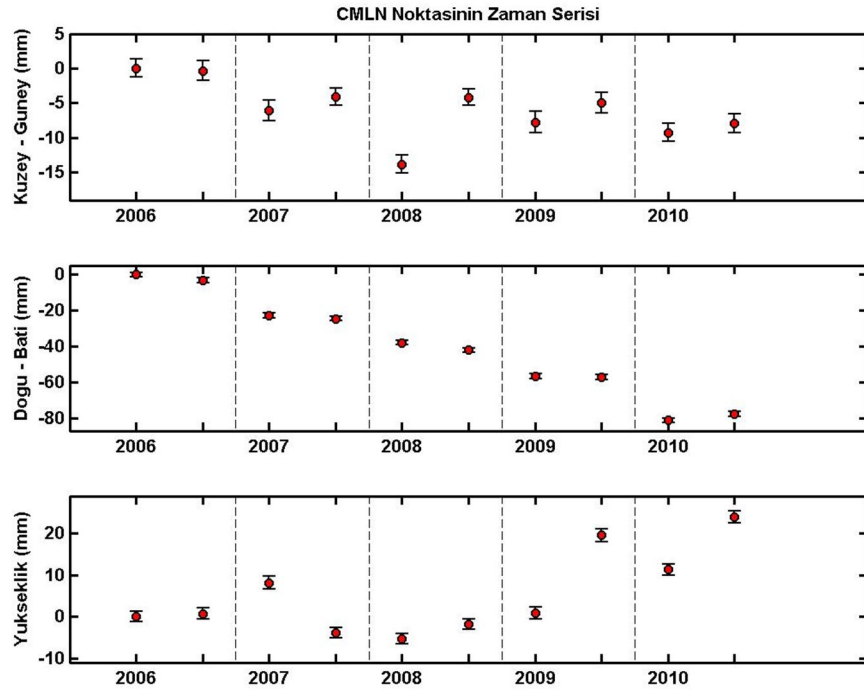
Şekil 1. 10 BOZT noktasının zaman serisi



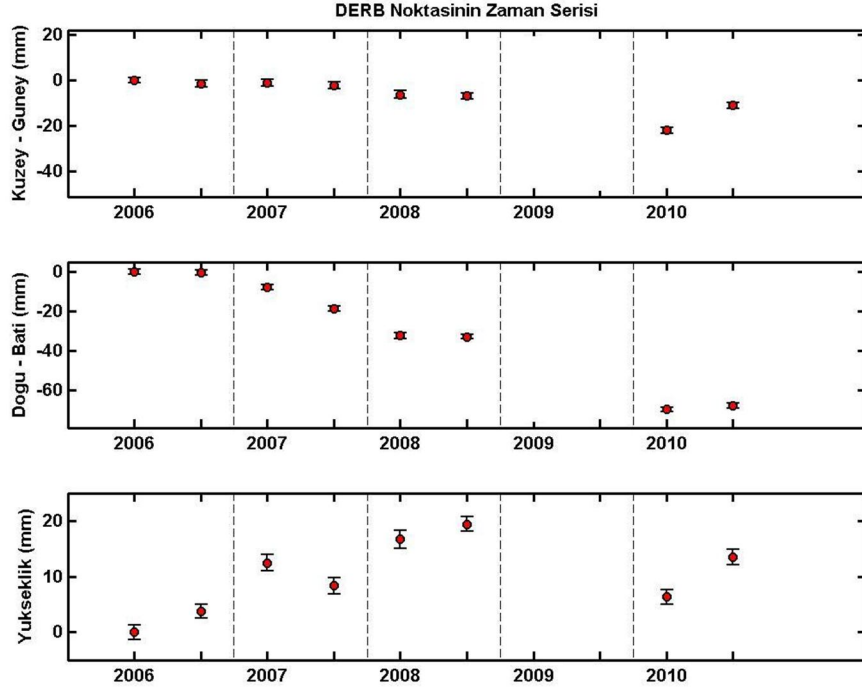
Şekil 1. 11 CALT noktasının zaman serisi



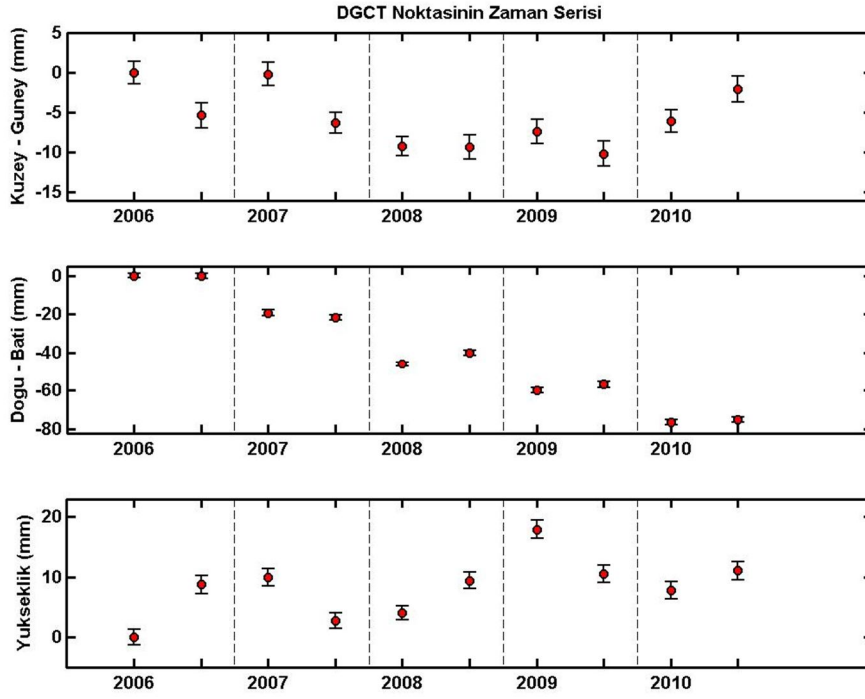
Şekil 1. 12 CINA noktasının zaman serisi



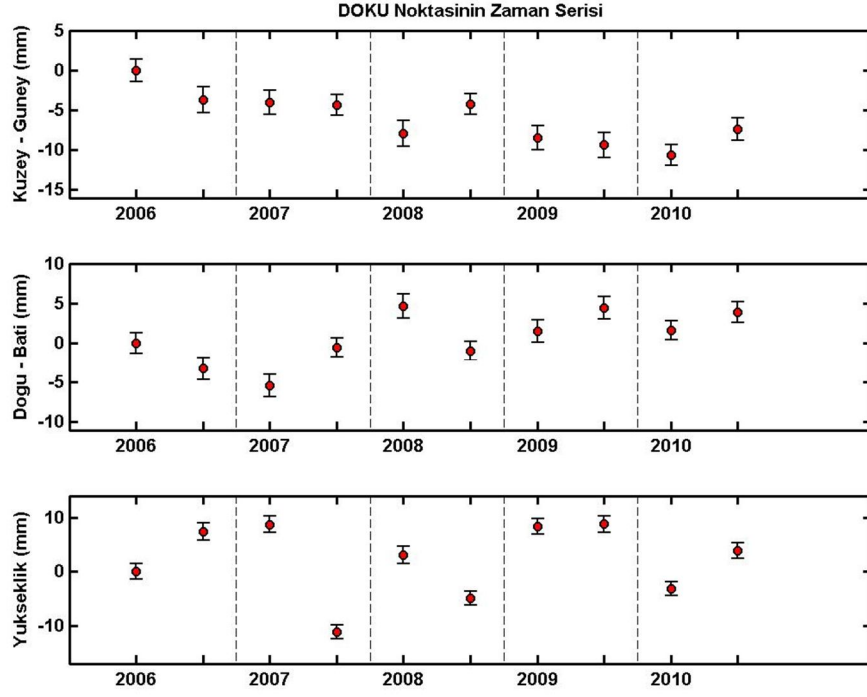
Şekil 1. 13 CMLN noktasının zaman serisi



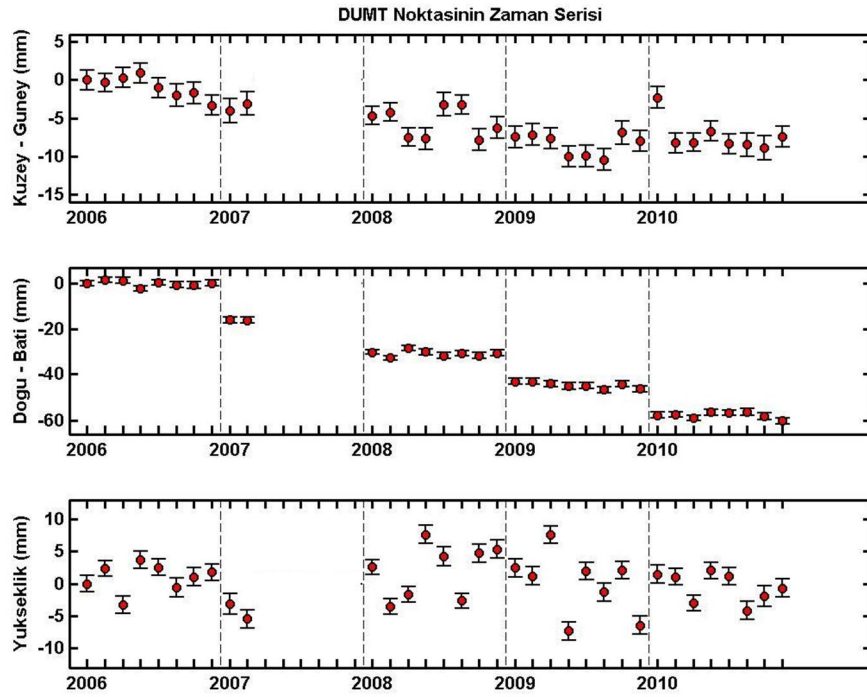
Şekil 1. 14 DERB noktasının zaman serisi



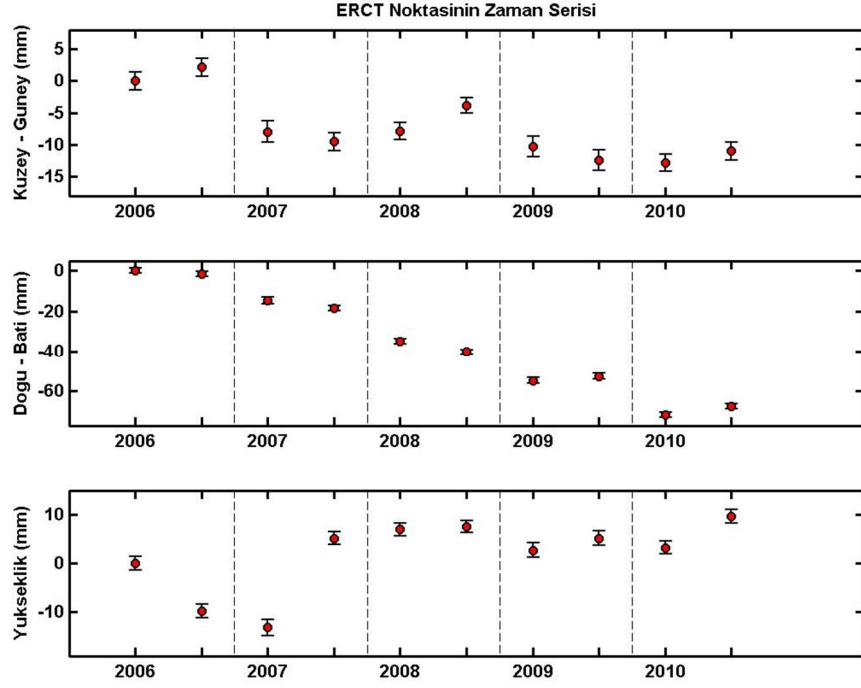
Şekil 1. 15 DGCT noktasının zaman serisi



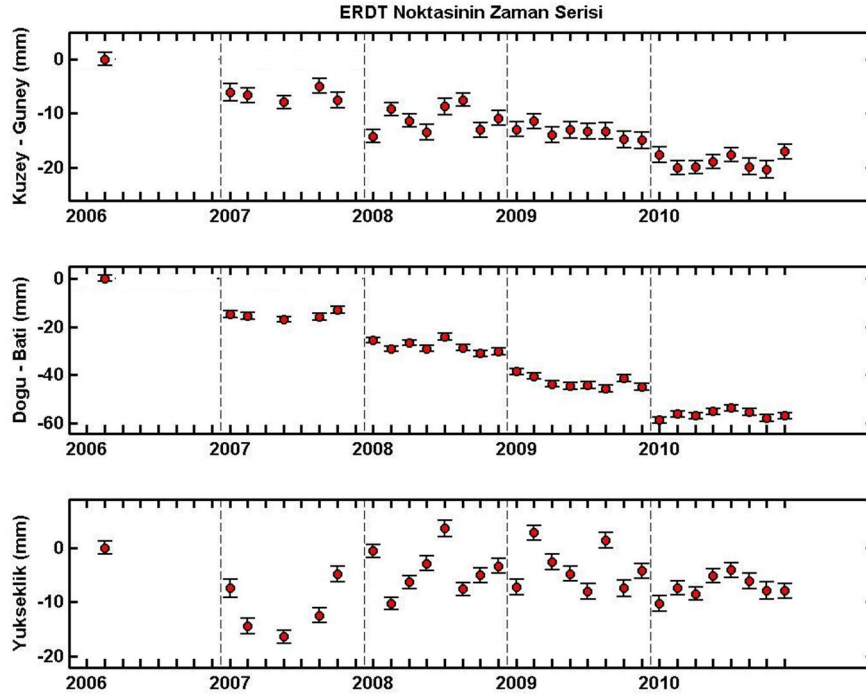
Şekil 1. 16 DOKU noktasının zaman serisi



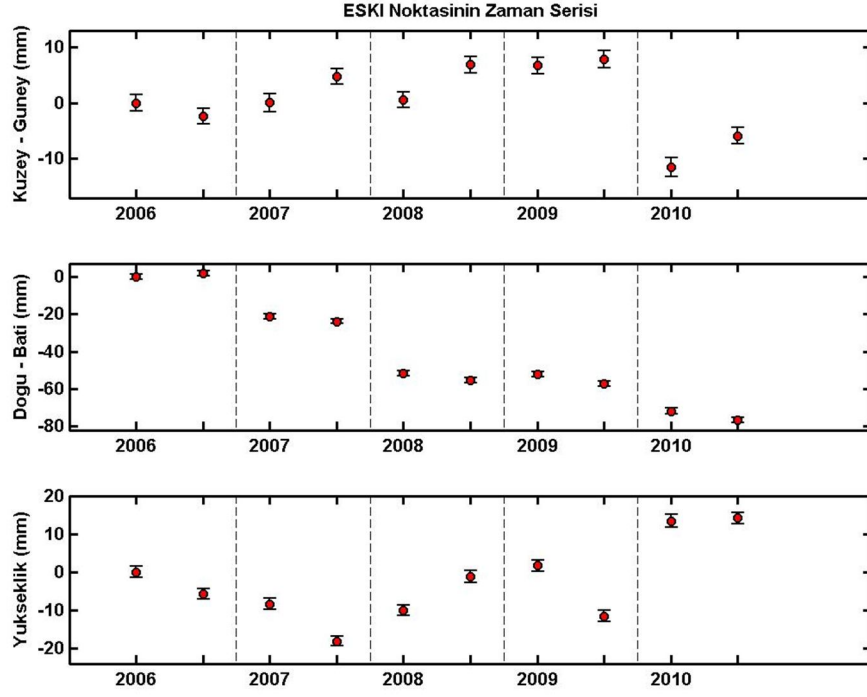
Şekil 1. 17 DUMT noktasının zaman serisi



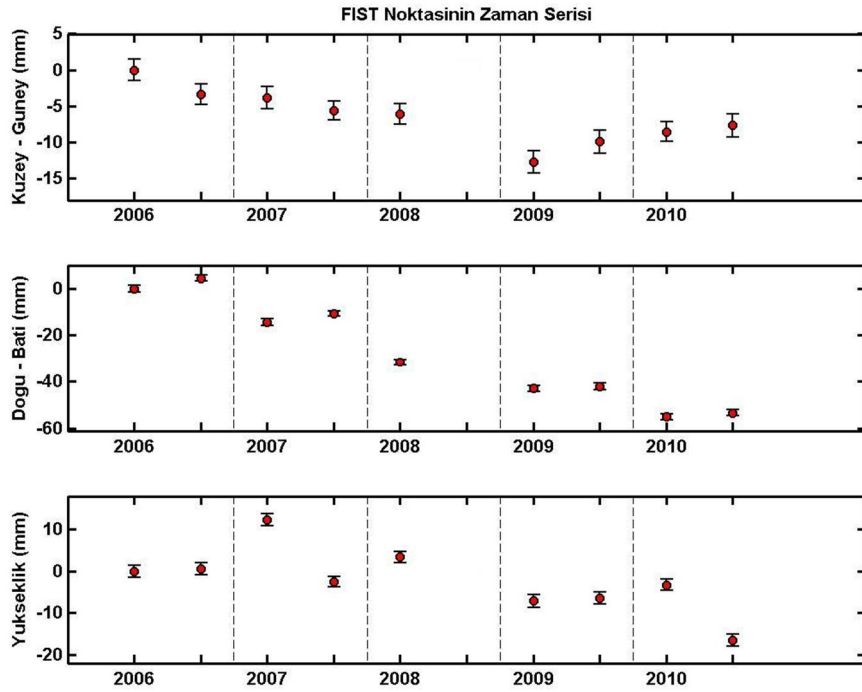
Şekil 1. 18 ERCT noktasının zaman serisi



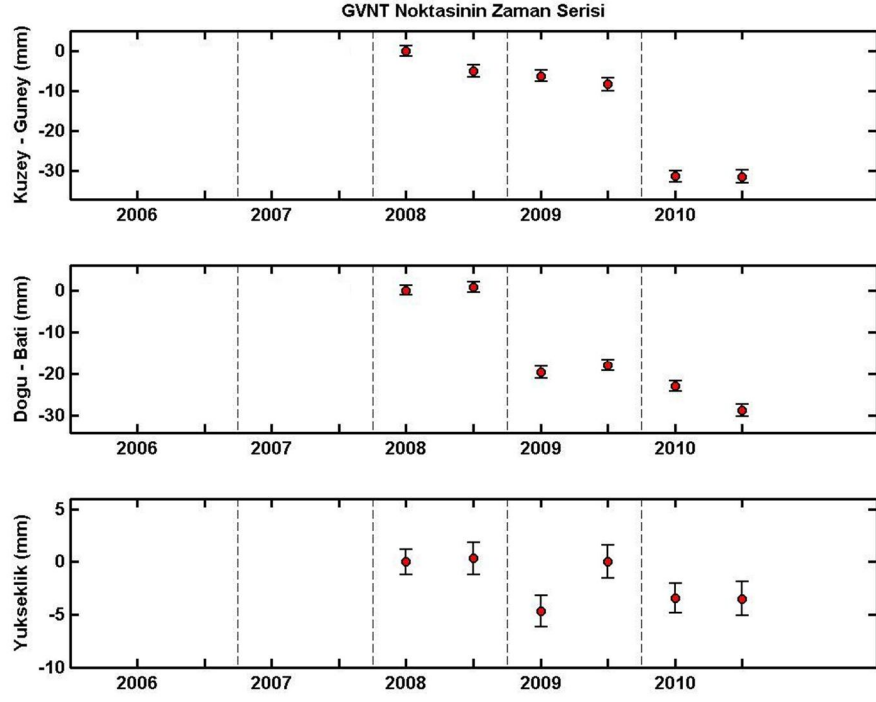
Şekil 1. 19 ERDT noktasının zaman serisi



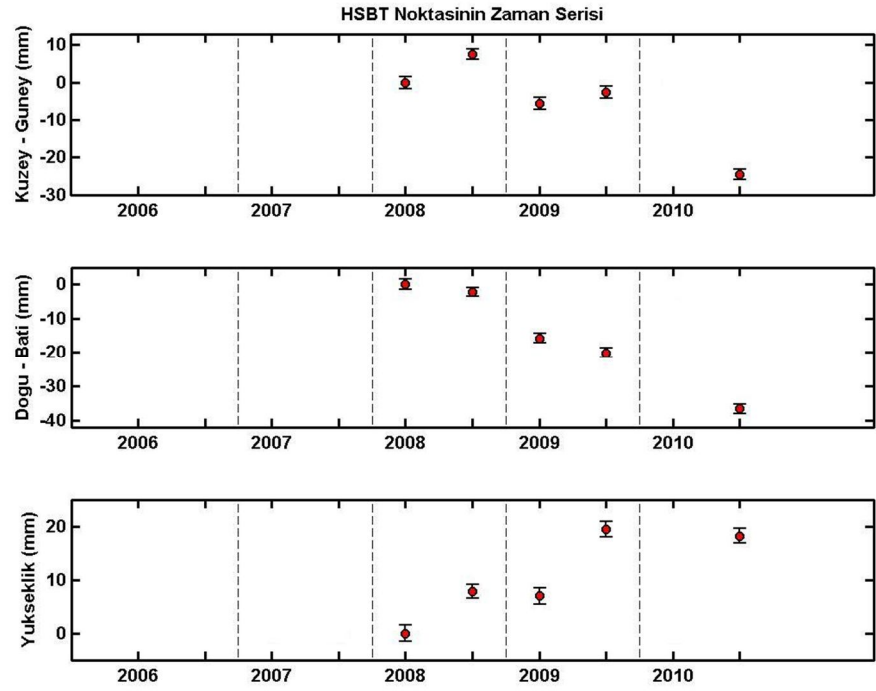
Şekil 1. 20 ESKI noktasının zaman serisi



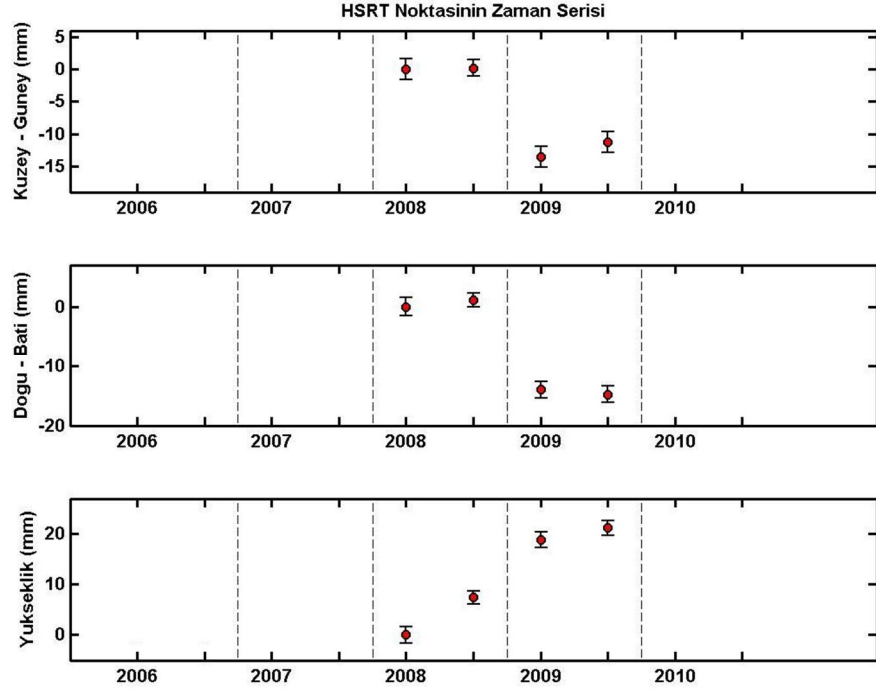
Şekil 1. 21 FIST noktasının zaman serisi



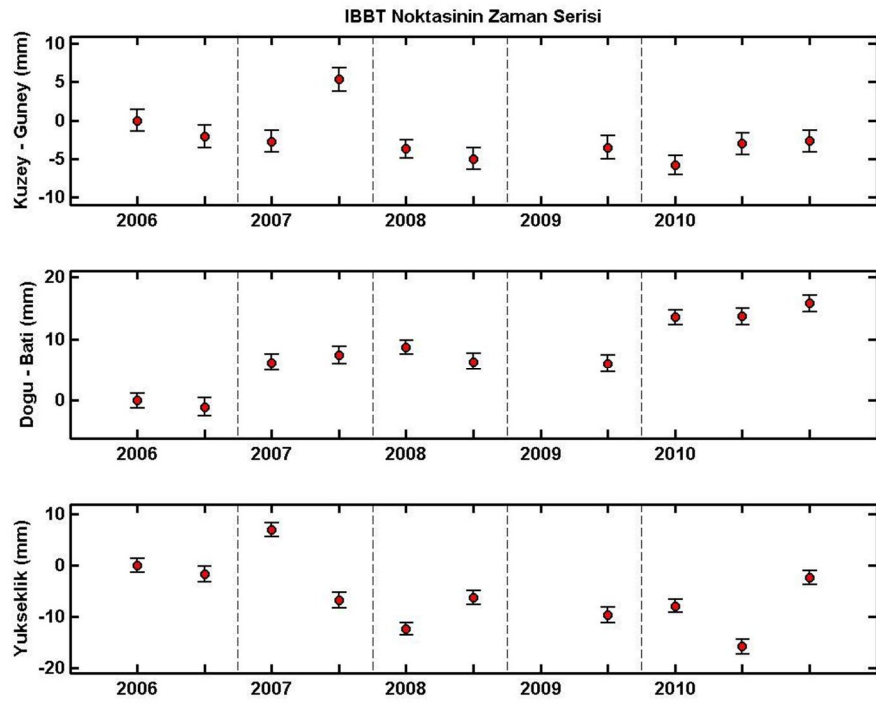
Şekil 1. 22 GVNT noktasının zaman serisi



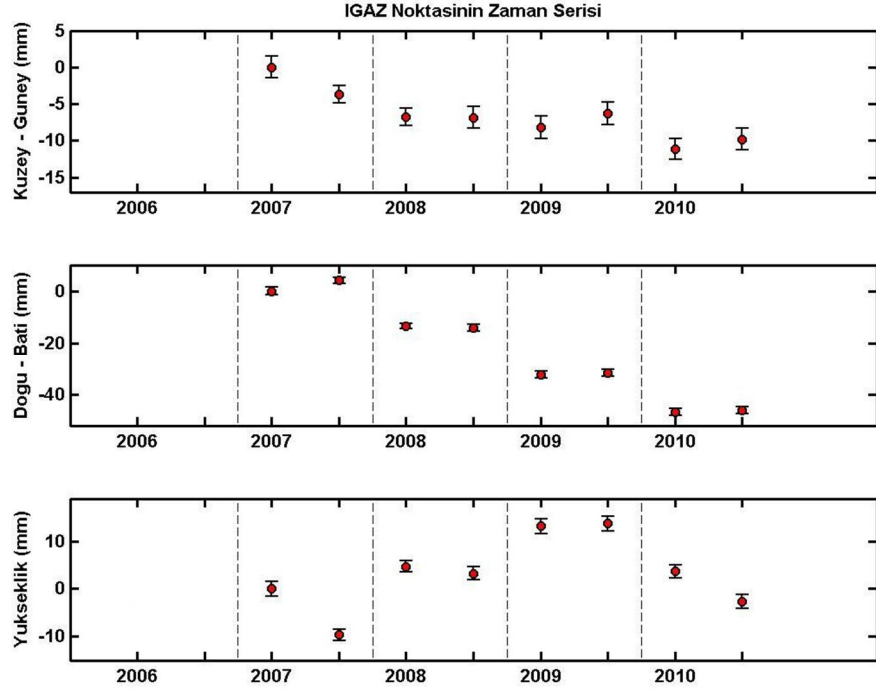
Şekil 1. 23 HSBT noktasının zaman serisi



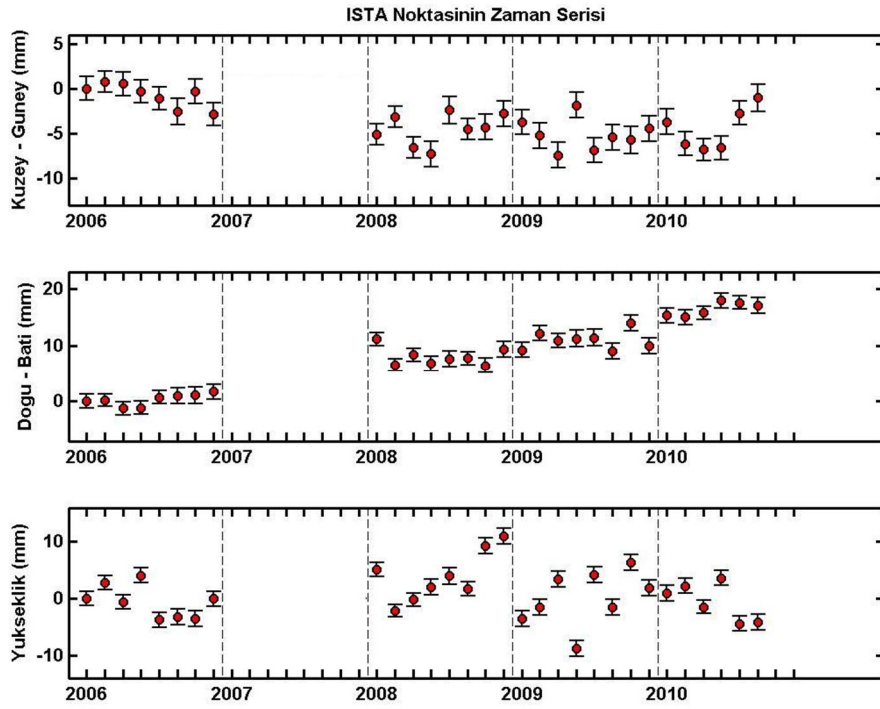
Şekil 1. 24 HSRT noktasının zaman serisi



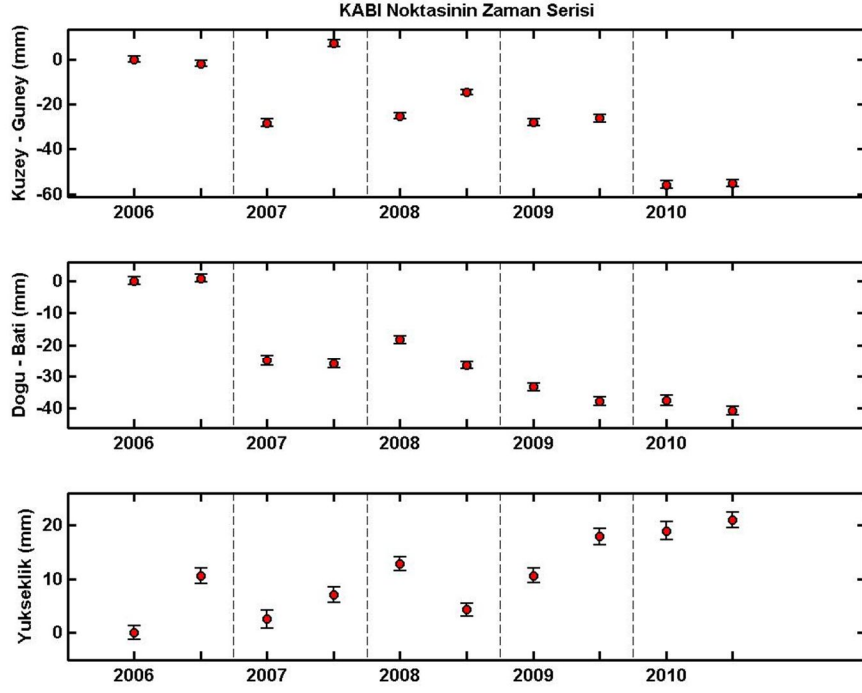
Şekil 1. 25 IBBT noktasının zaman serisi



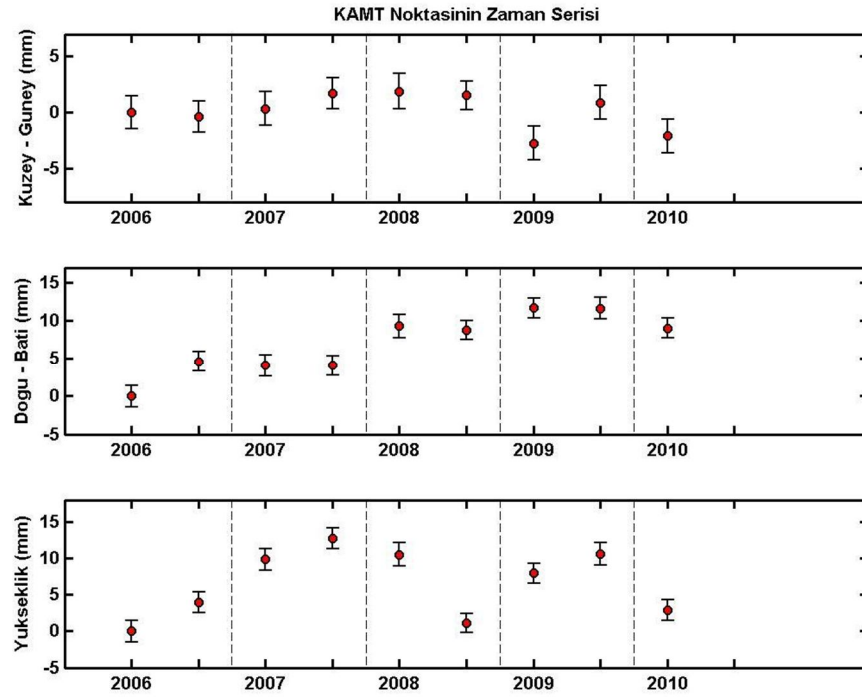
Şekil 1. 26 IGAZ noktasının zaman serisi



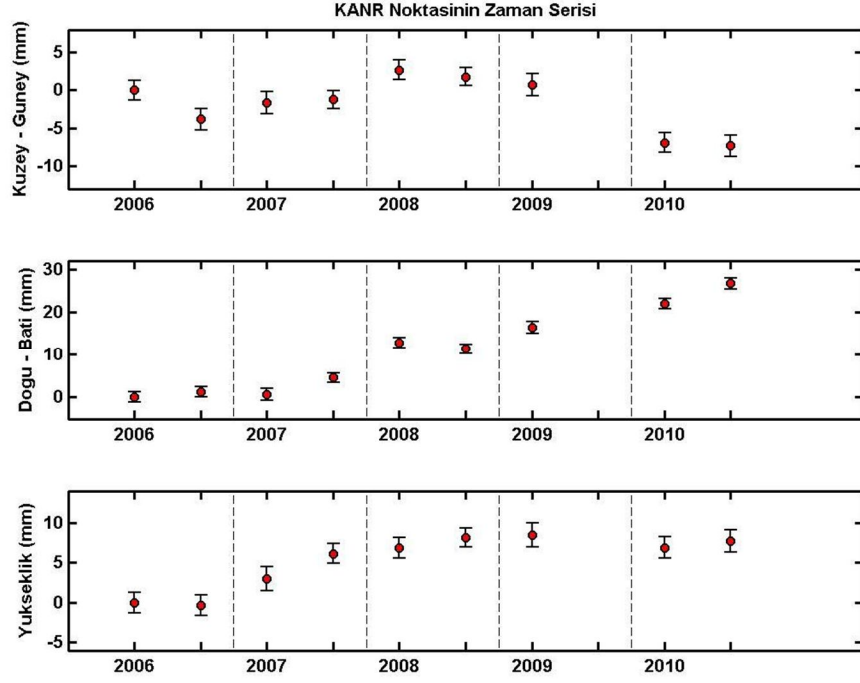
Şekil 1. 27 ISTA noktasının zaman serisi



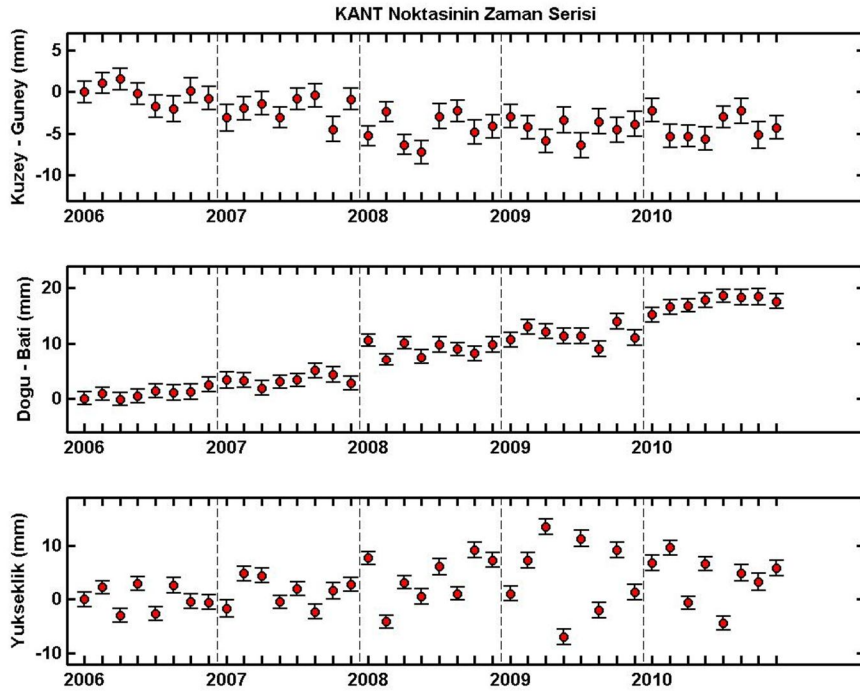
Şekil 1. 28 KABI noktasının zaman serisi



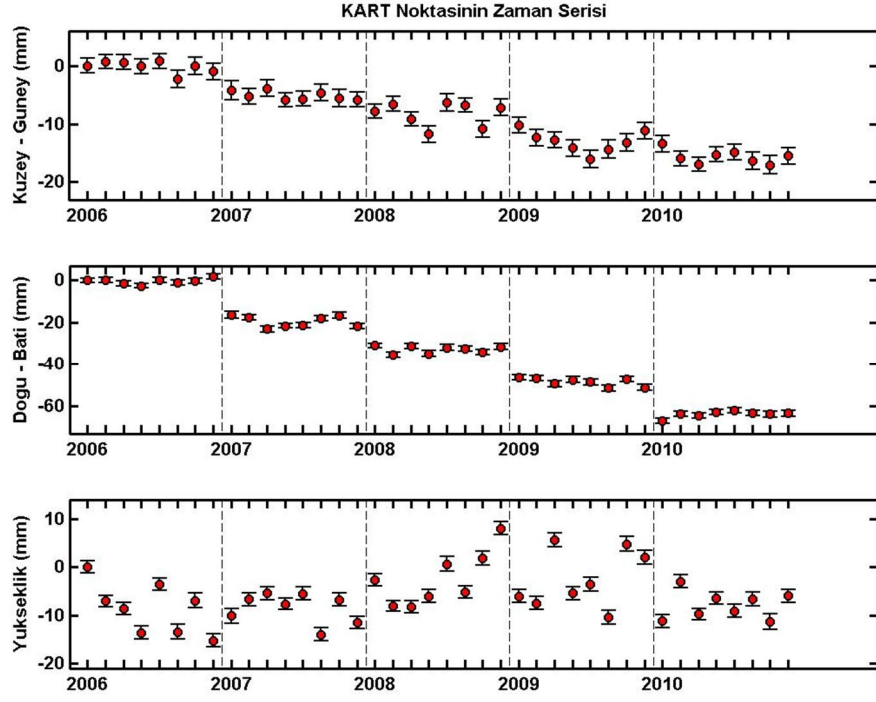
Şekil 1. 29 KAMT noktasının zaman serisi



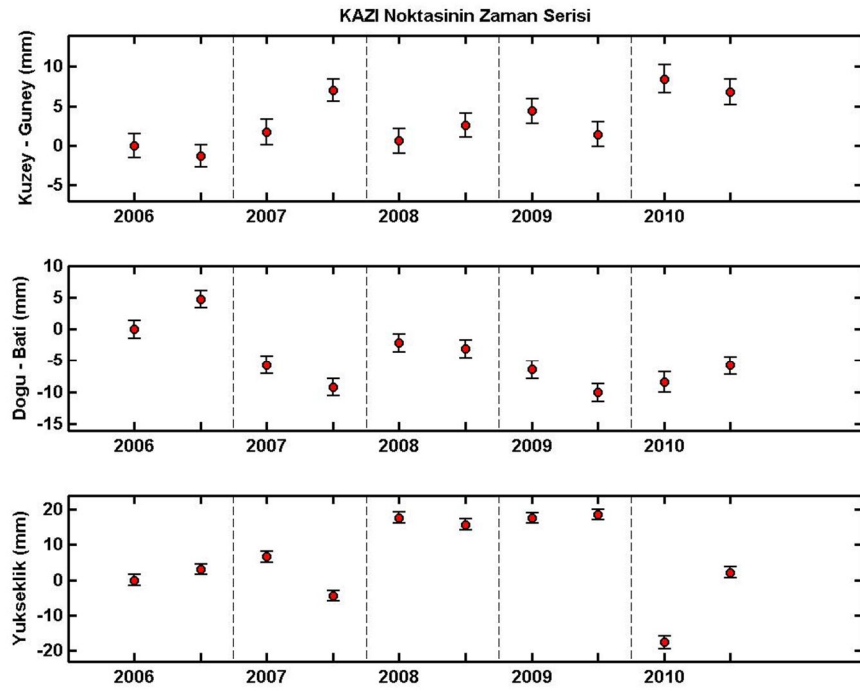
Şekil 1. 30 KANR noktasının zaman serisi



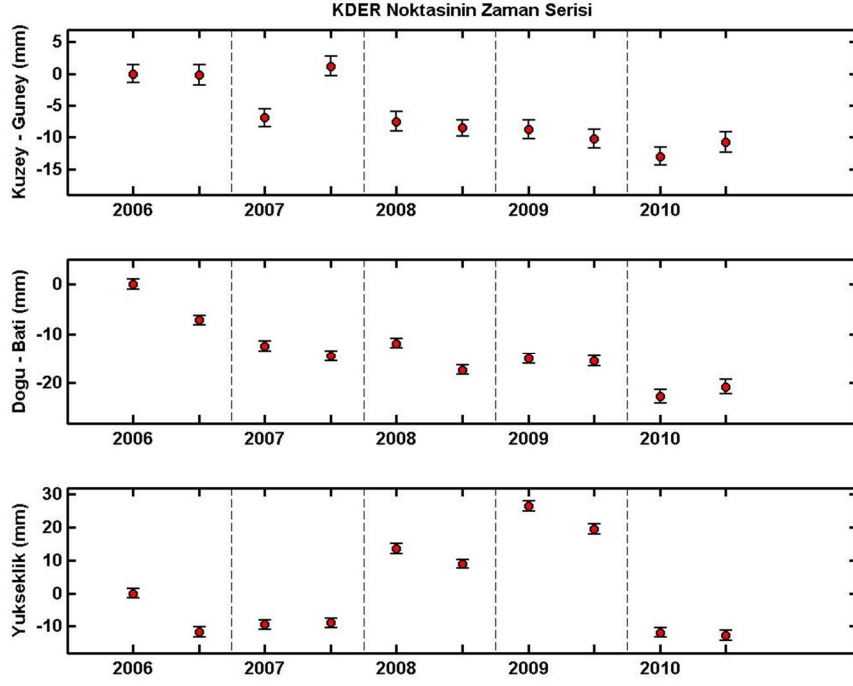
Şekil 1. 31 KANT noktasının zaman serisi



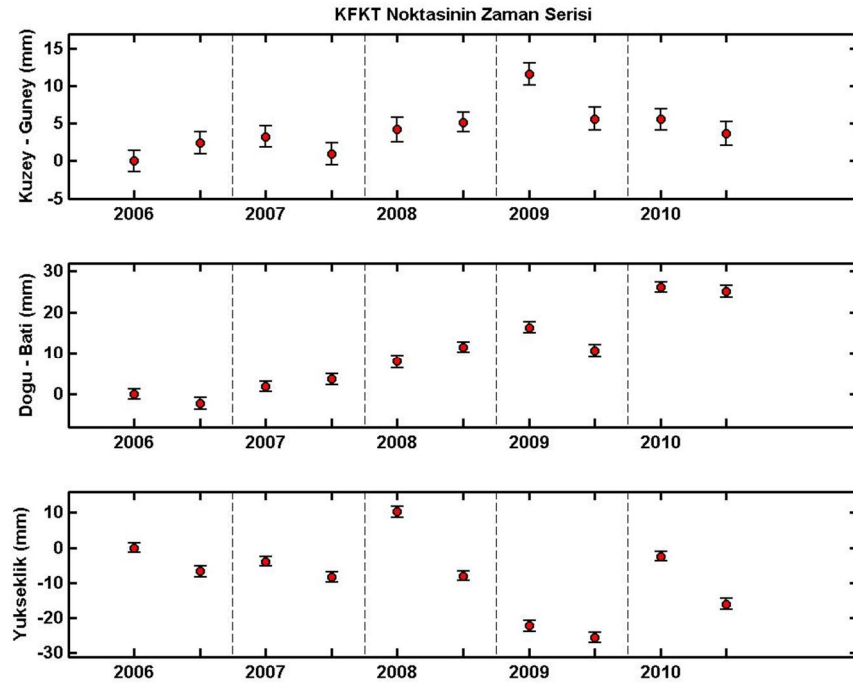
Şekil 1. 32 KART noktasının zaman serisi



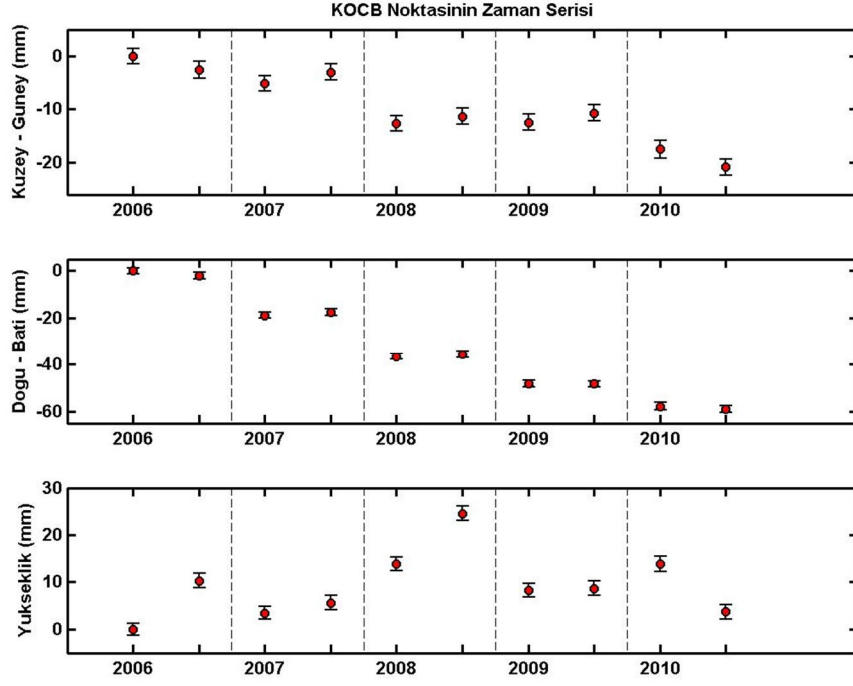
Şekil 1. 33 KAZI noktasının zaman serisi



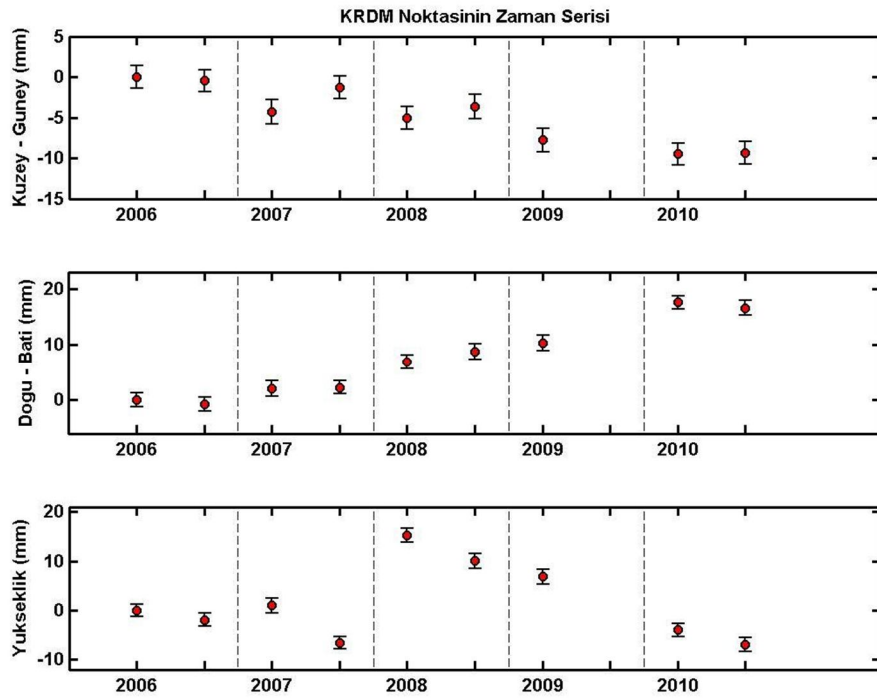
Şekil 1. 34 KDER noktasının zaman serisi



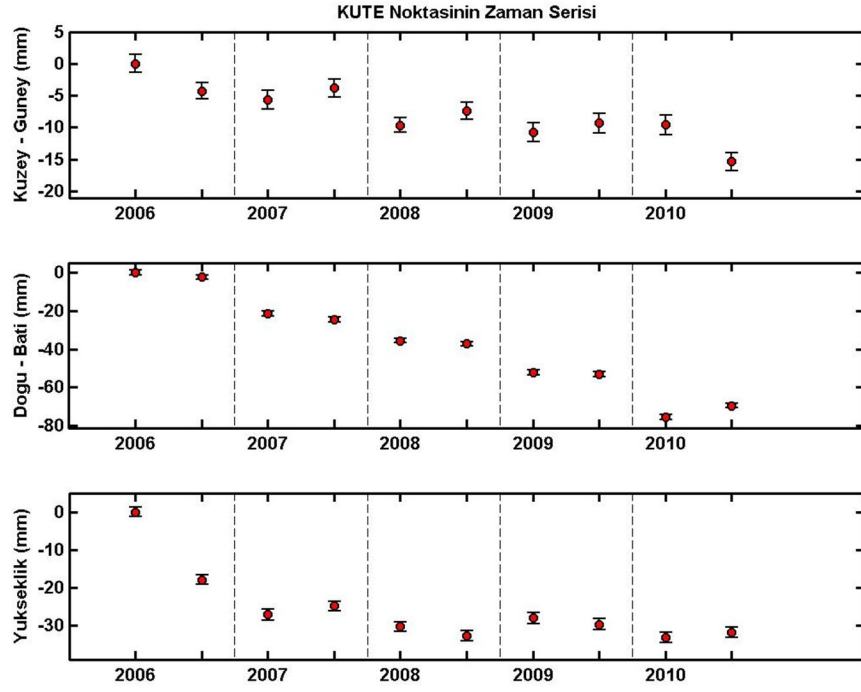
Şekil 1. 35 KFKT noktasının zaman serisi



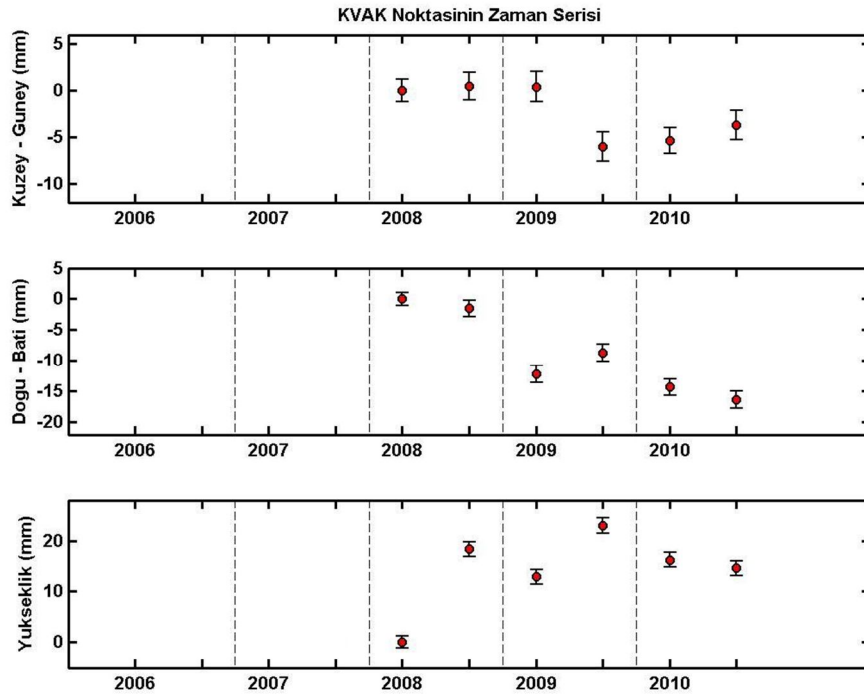
Şekil 1. 36 KOCB noktasının zaman serisi



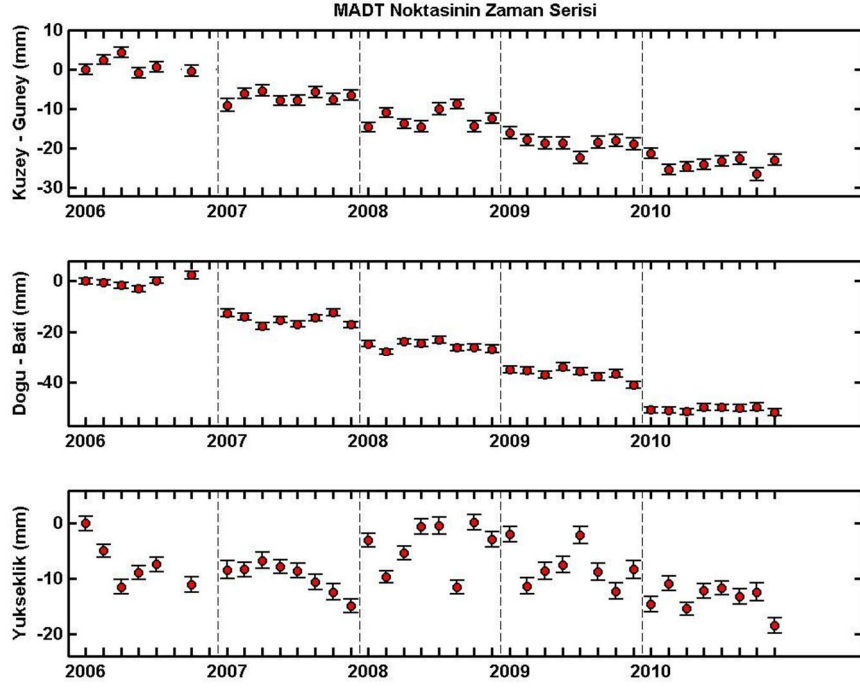
Şekil 1. 37 KRDM noktasının zaman serisi



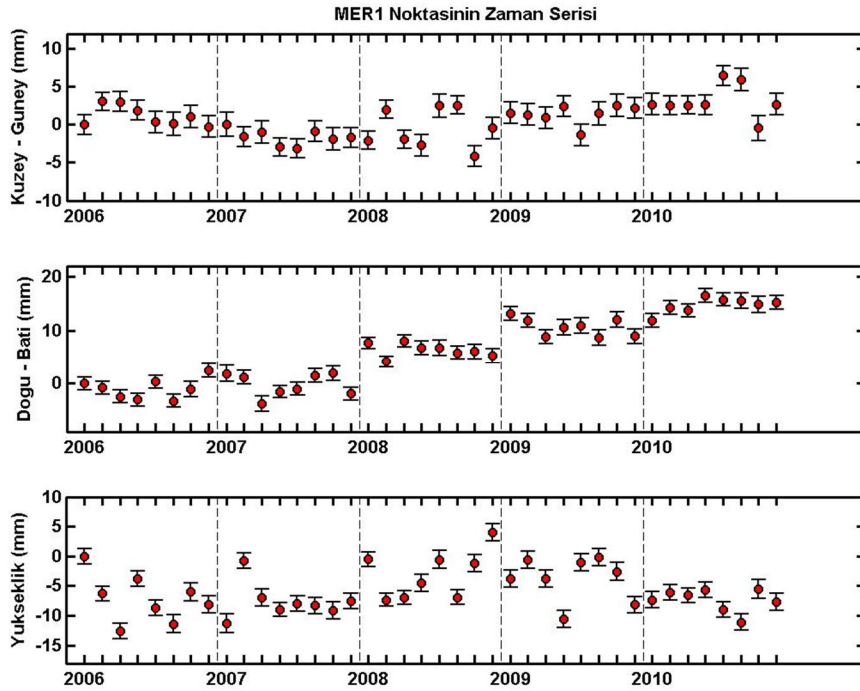
Şekil 1. 38 KUTE noktasının zaman serisi



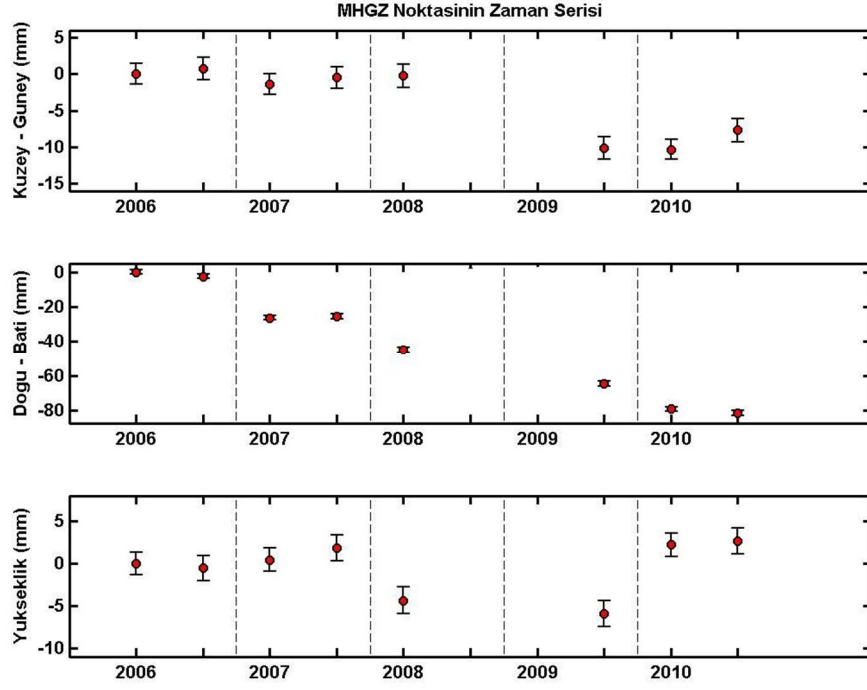
Şekil 1. 39 KVAK noktasının zaman serisi



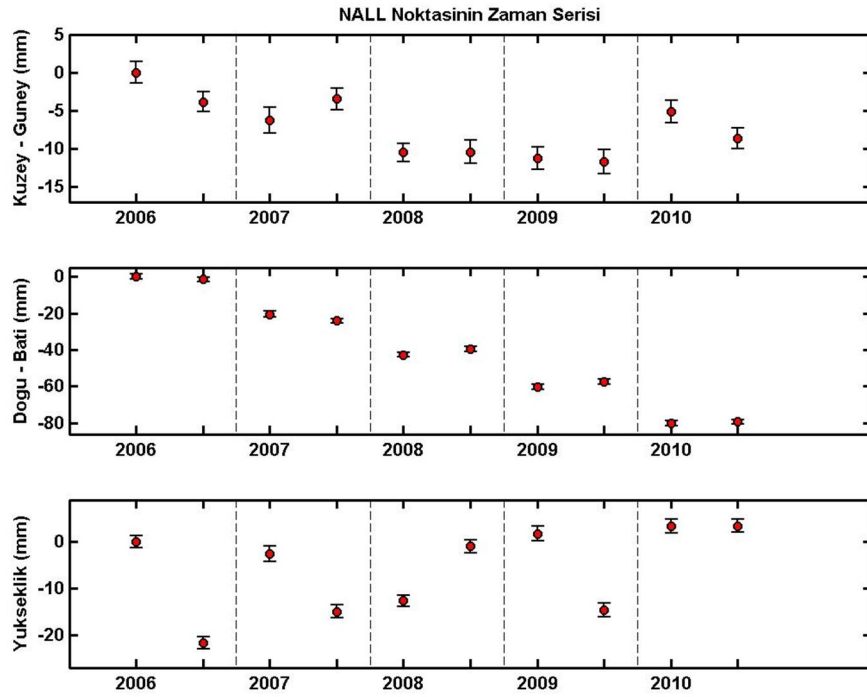
Şekil 1. 40 MADT noktasının zaman serisi



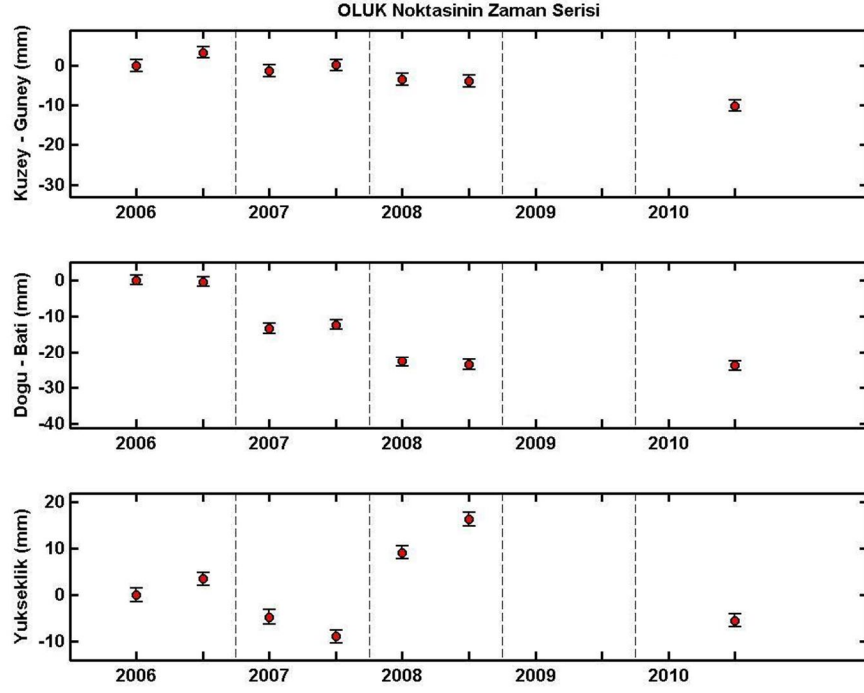
Şekil 1. 41 MER1 noktasının zaman serisi



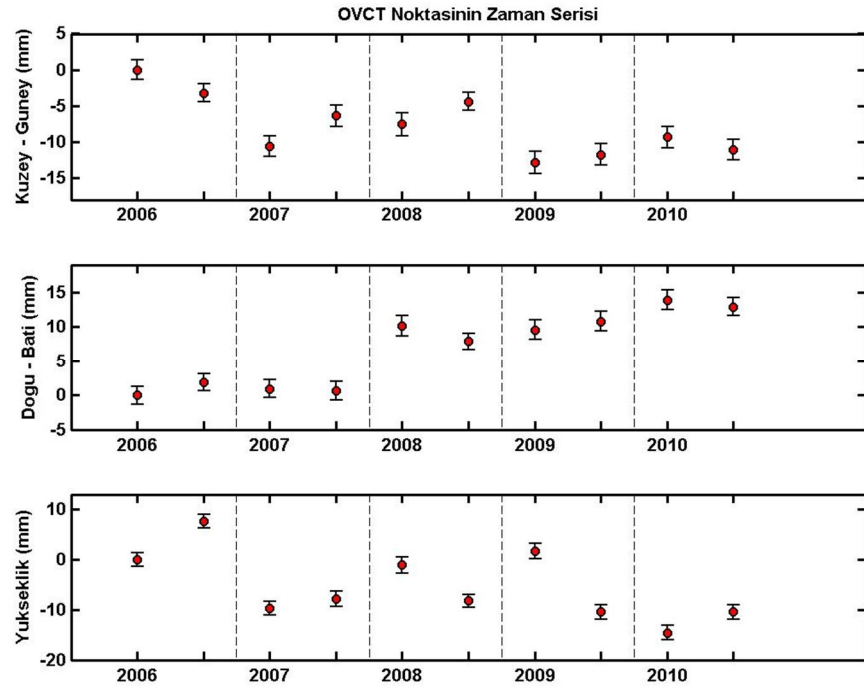
Şekil 1. 42 MHGZ noktasının zaman serisi



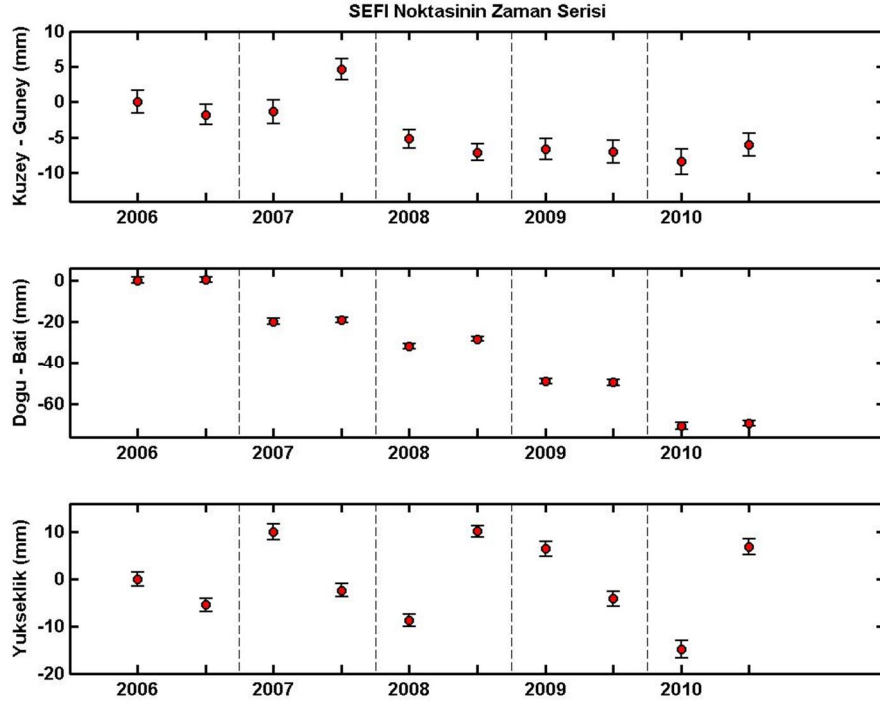
Şekil 1. 43 NALL noktasının zaman serisi



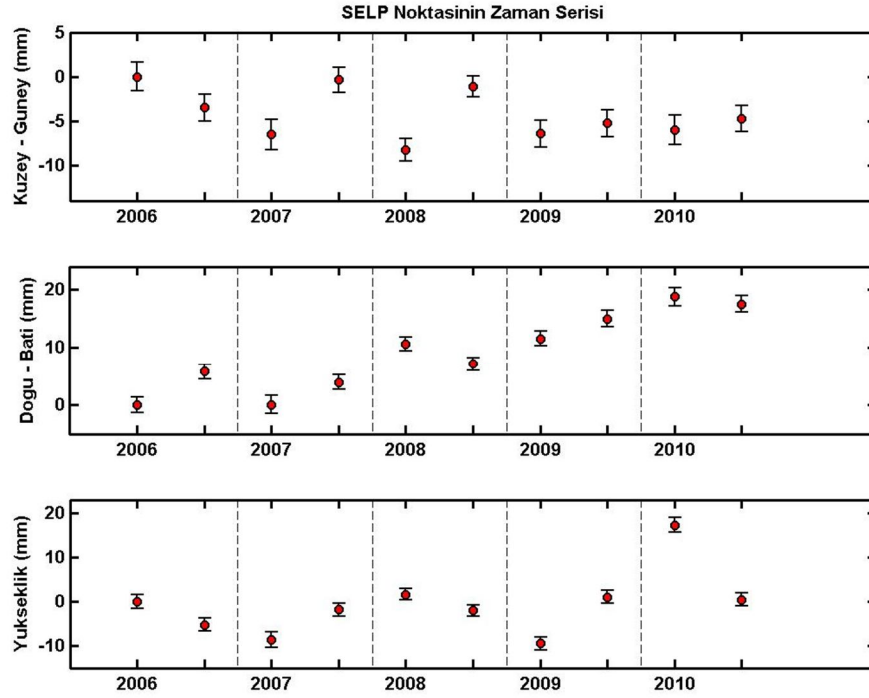
Şekil 1. 44 OLUK noktasının zaman serisi



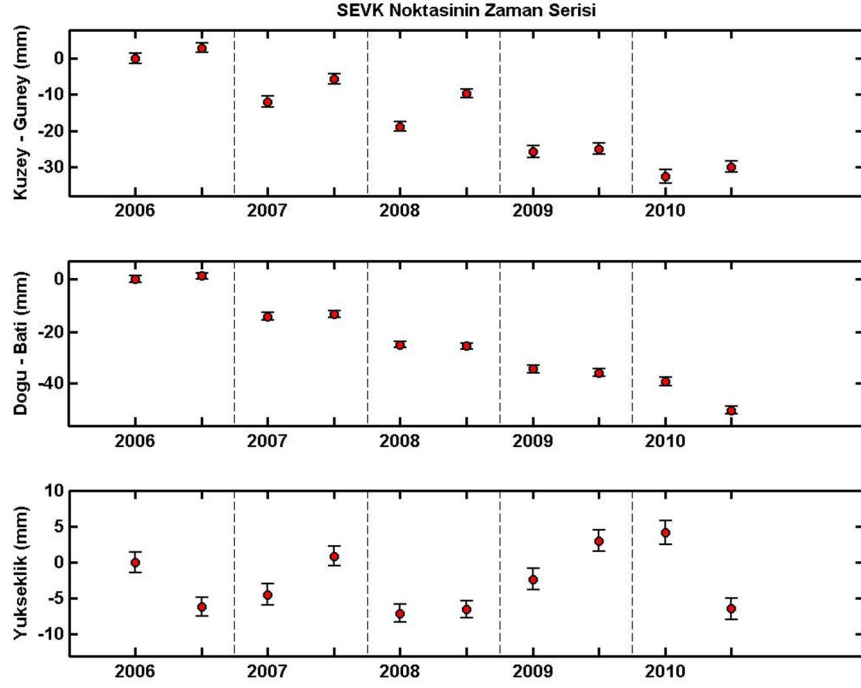
Şekil 1. 45 OVCT noktasının zaman serisi



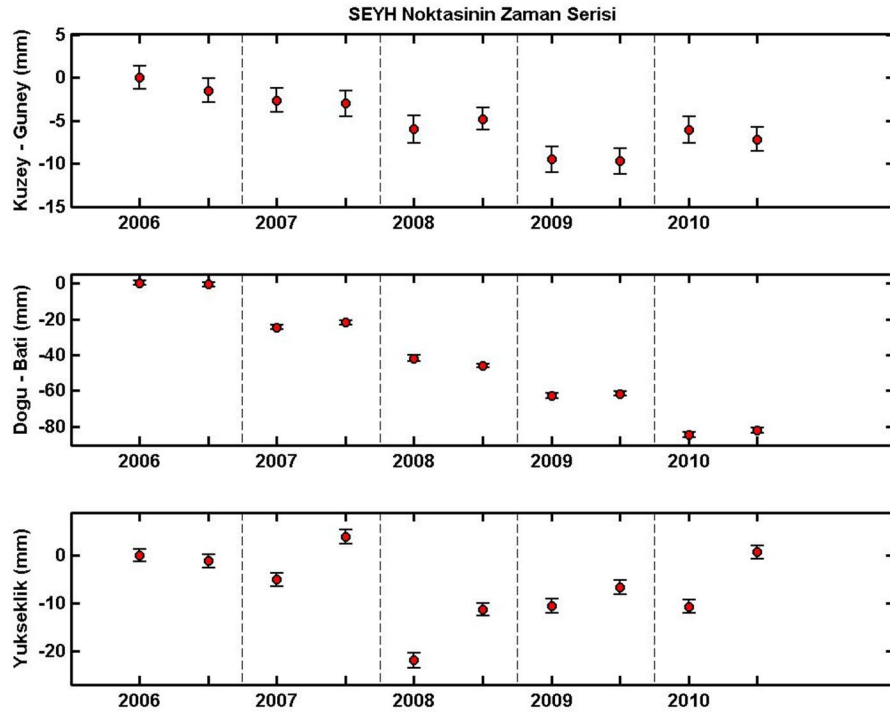
Şekil 1. 46 SEFI noktasının zaman serisi



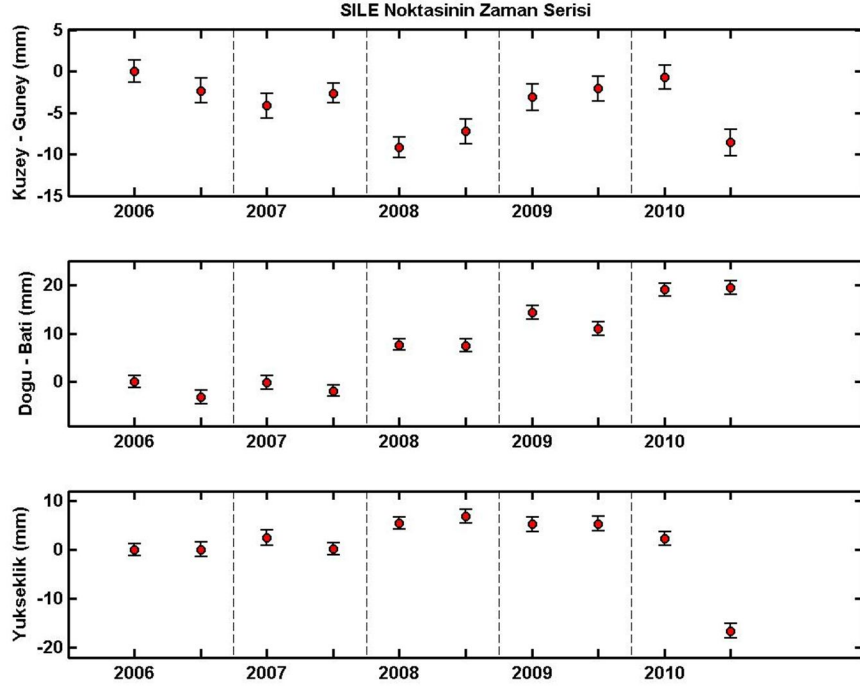
Şekil 1. 47 SELP noktasının zaman serisi



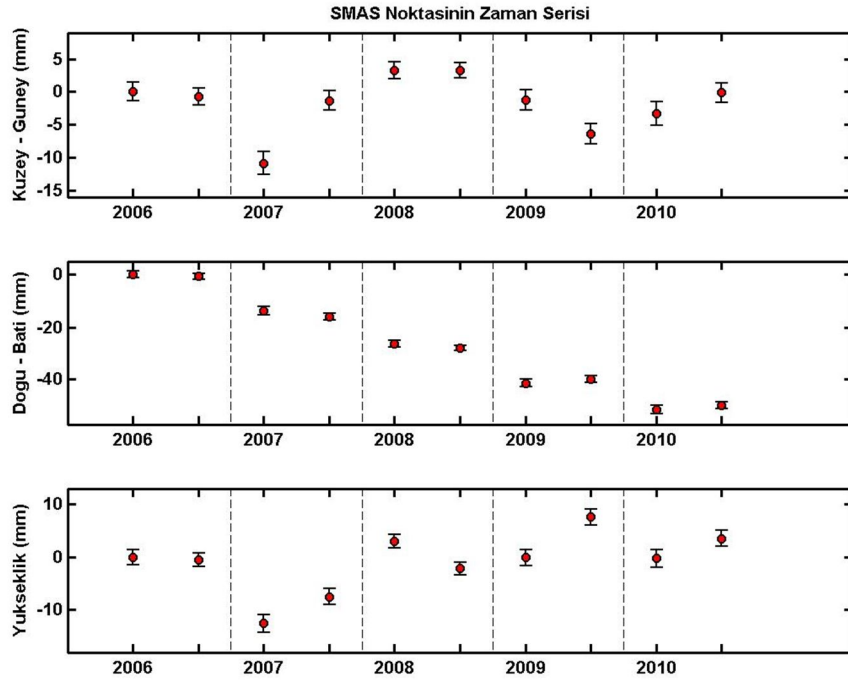
Şekil 1. 48 SEVK noktasının zaman serisi



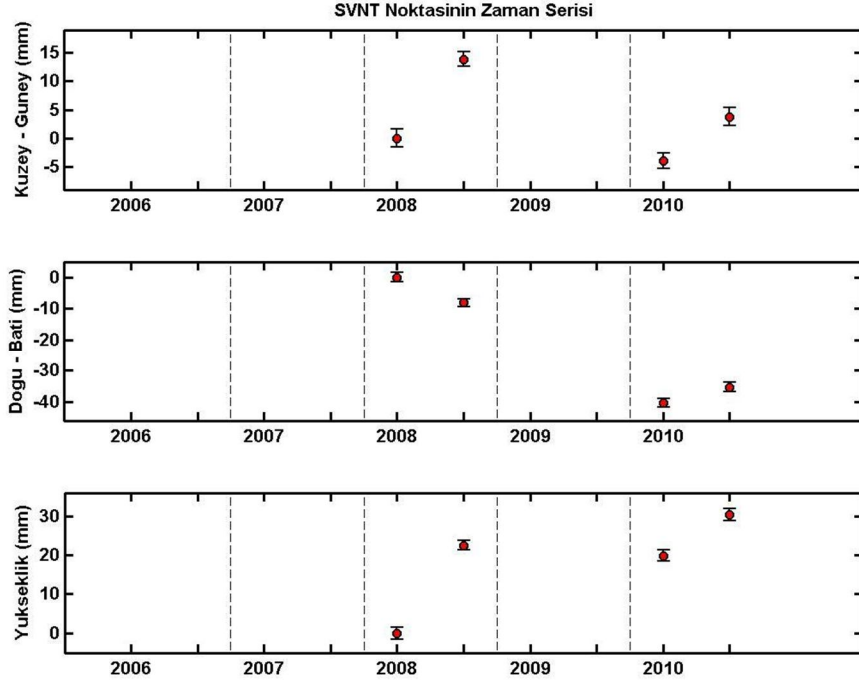
Şekil 1. 49 SEYH noktasının zaman serisi



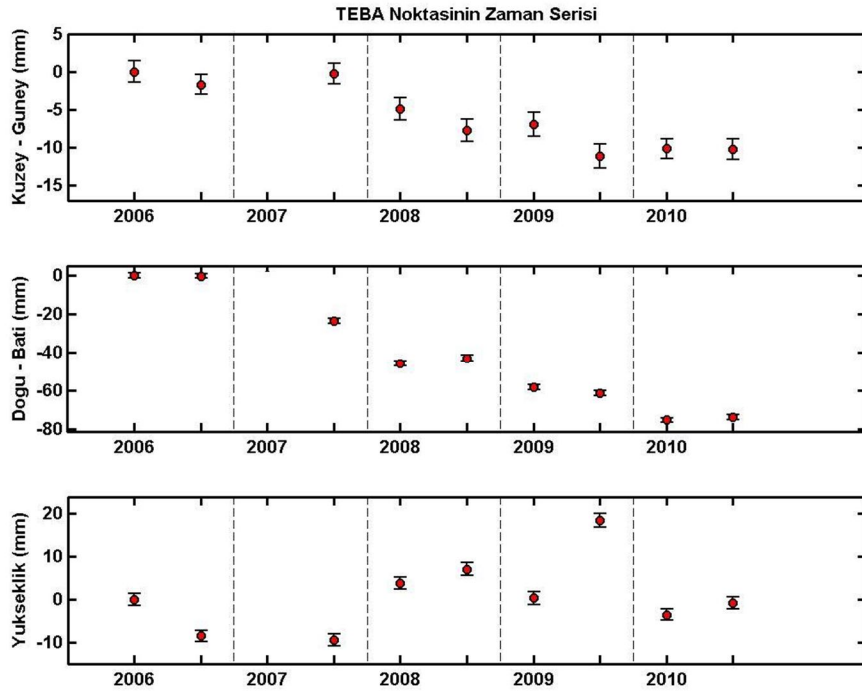
Şekil 1. 50 SILE noktasının zaman serisi



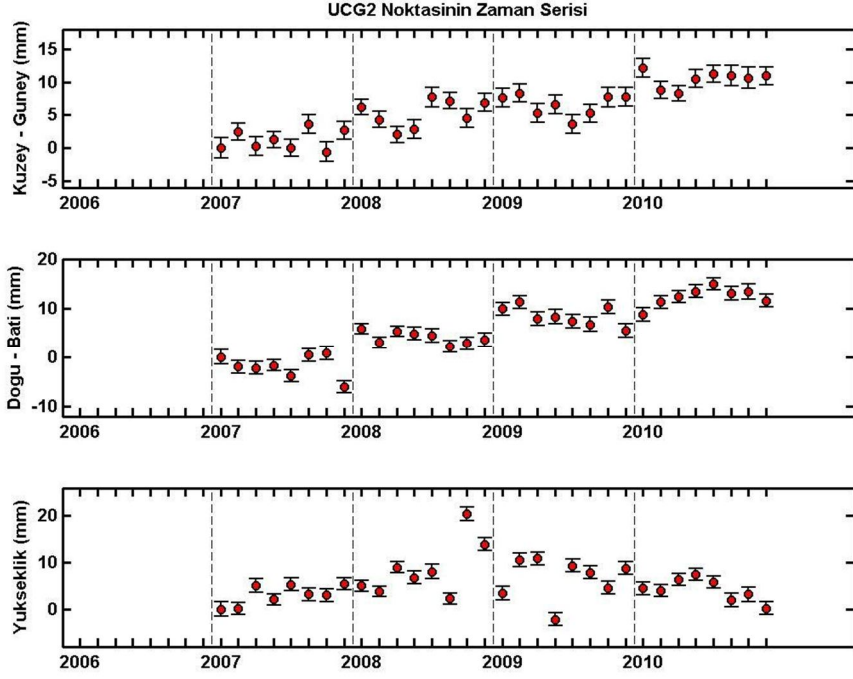
Şekil 1. 51 SMAS noktasının zaman serisi



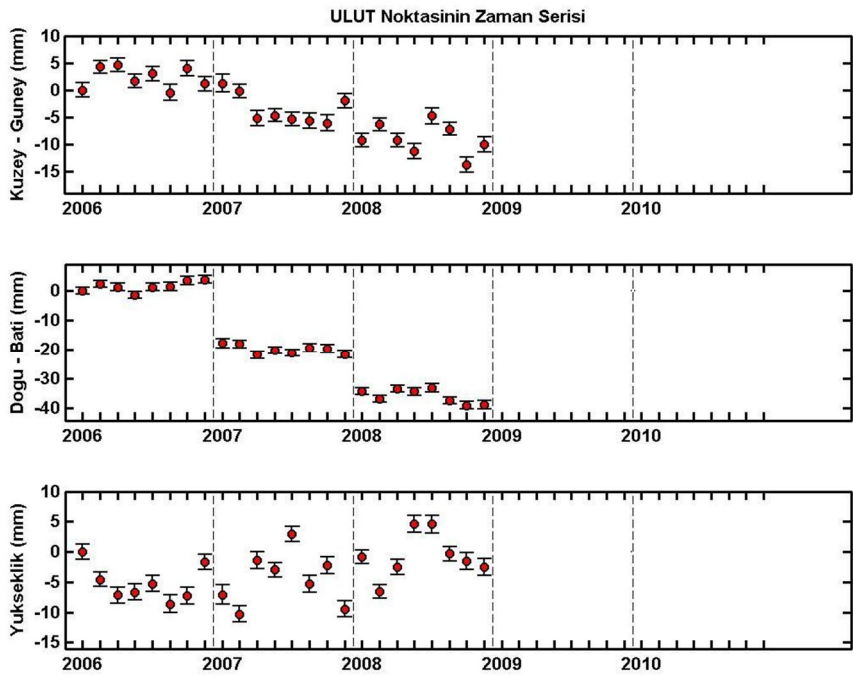
Şekil 1. 52 SVNT noktasının zaman serisi



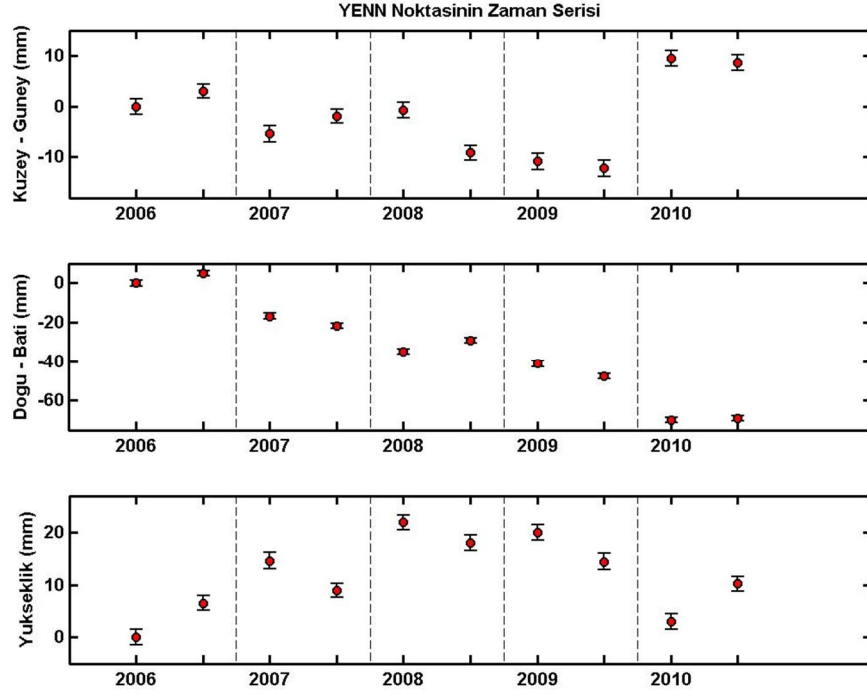
Şekil 1. 53 TEBA noktasının zaman serisi



Şekil 1. 54 UCG2 noktasının zaman serisi

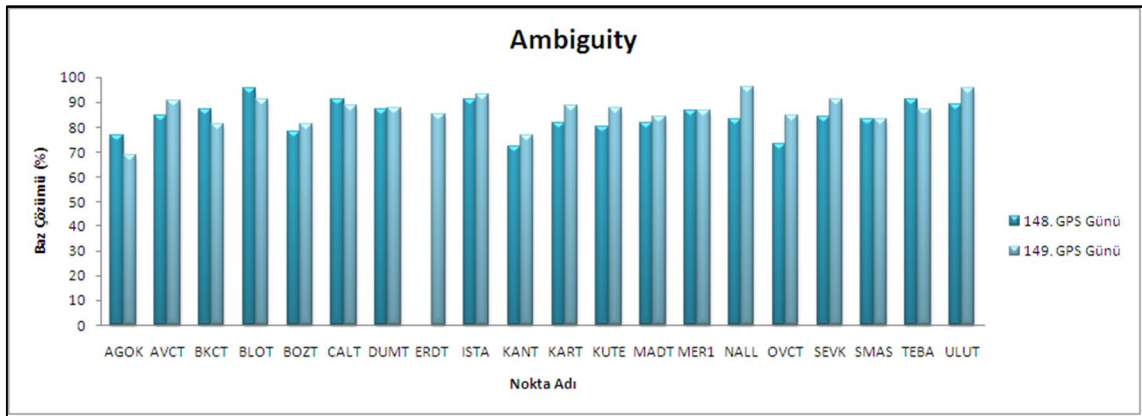


Şekil 1. 55 ULUT noktasının zaman serisi

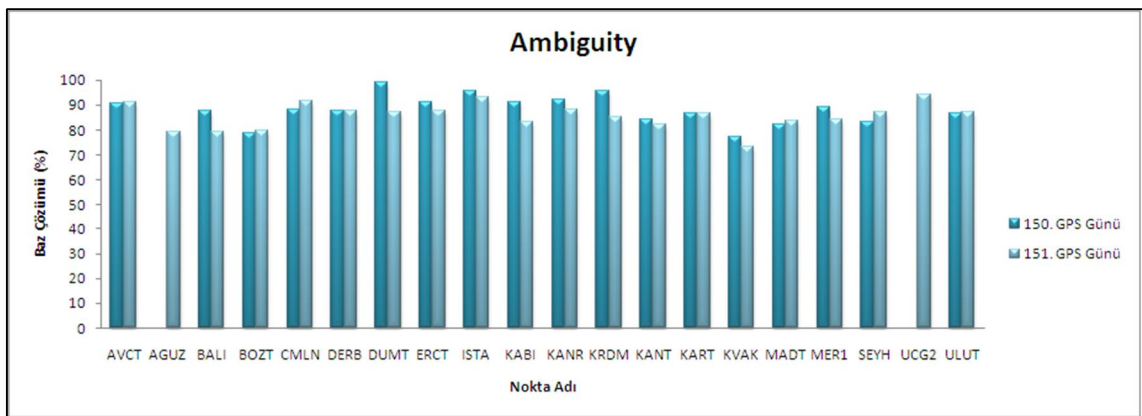


Şekil 1. 56 YENN noktasının zaman serisi

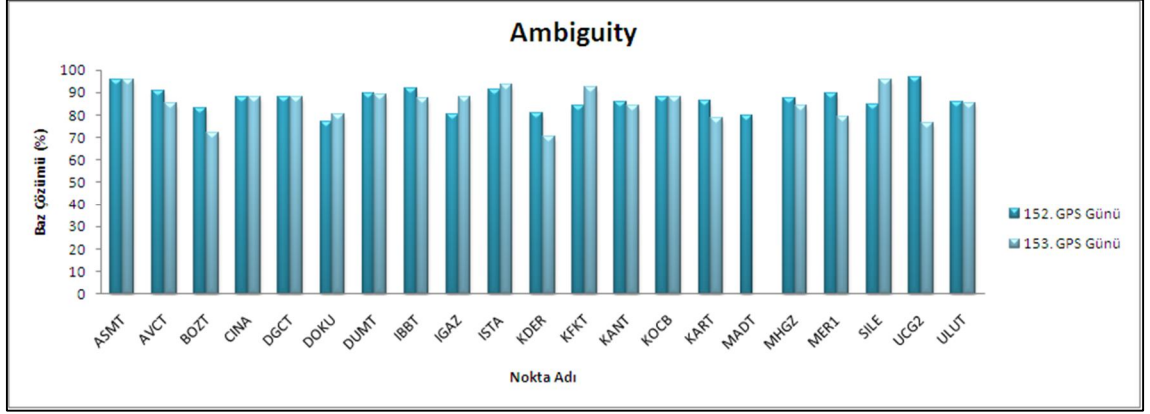
GÜNLÜK ÇÖZÜMLERİN FAZ BAŞLANGIÇ BELİRSİZLİĞİ ÇÖZÜMLERİ



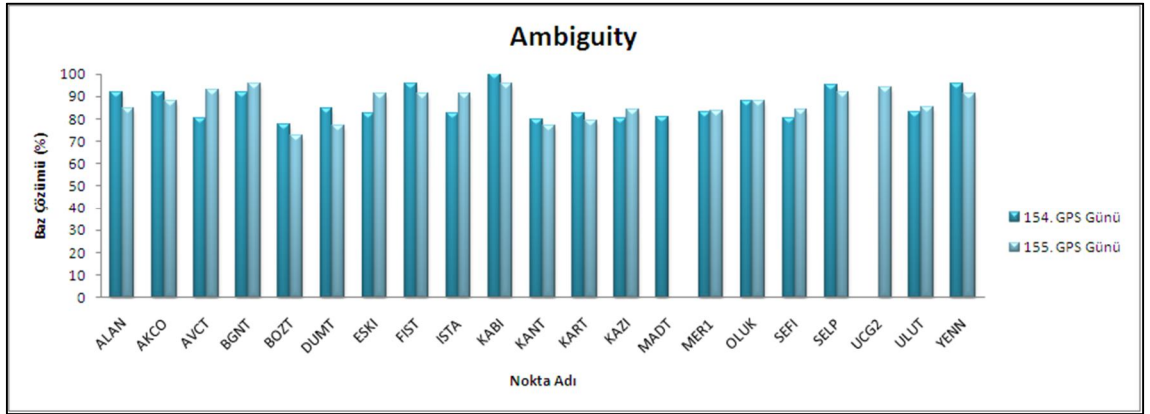
Şekil 2. 1 2006 yılı 148. ve 149. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü



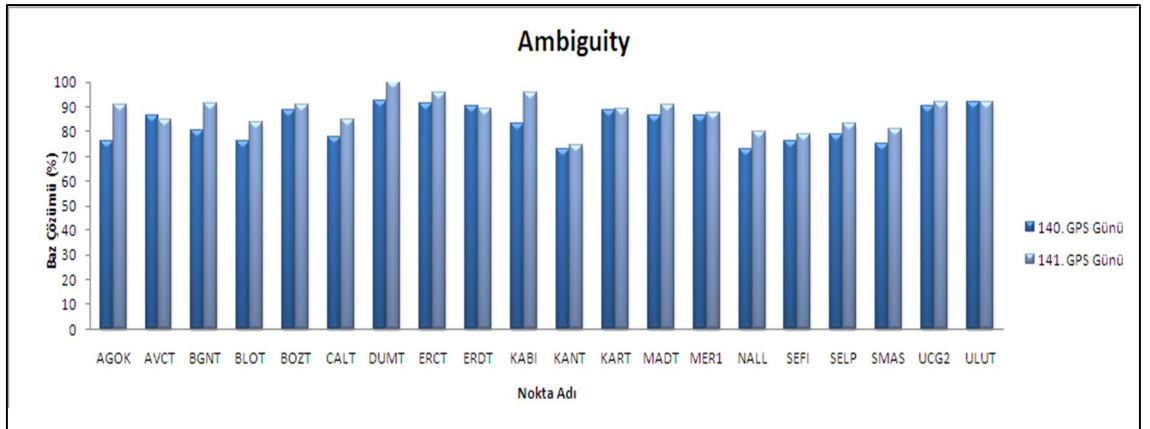
Şekil 2. 2 2006 yılı 150. ve 151. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü



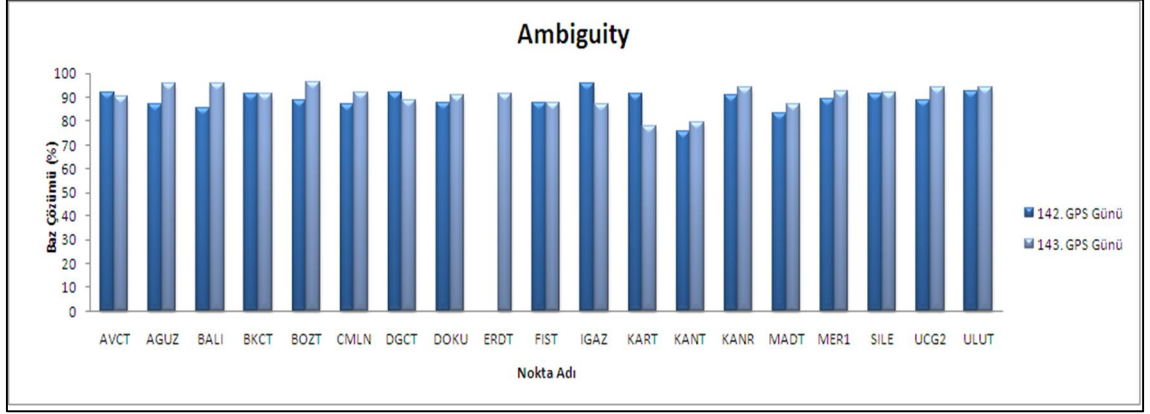
Şekil 2. 3 2006 yılı 152. ve 153. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü



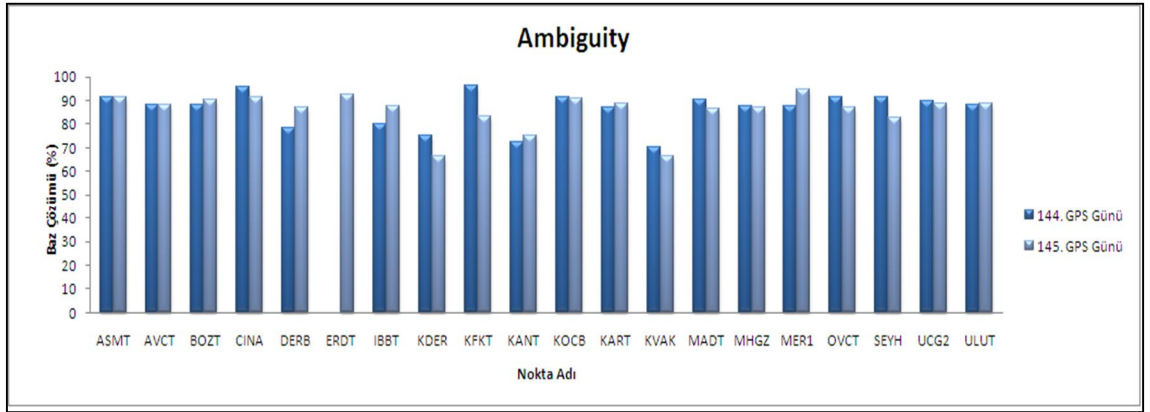
Şekil 2. 4 2006 yılı 154. ve 155. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü



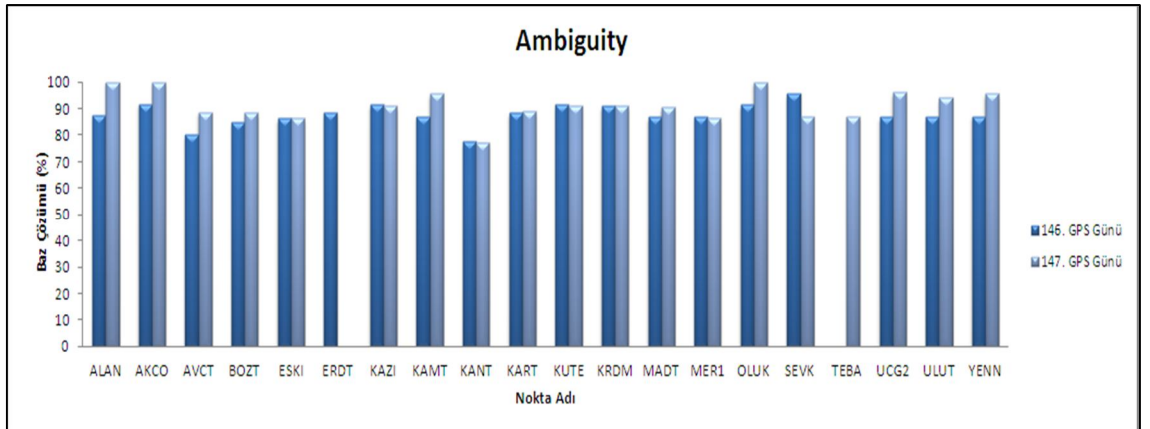
Şekil 2. 5 2007 yılı 140. ve 141. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü



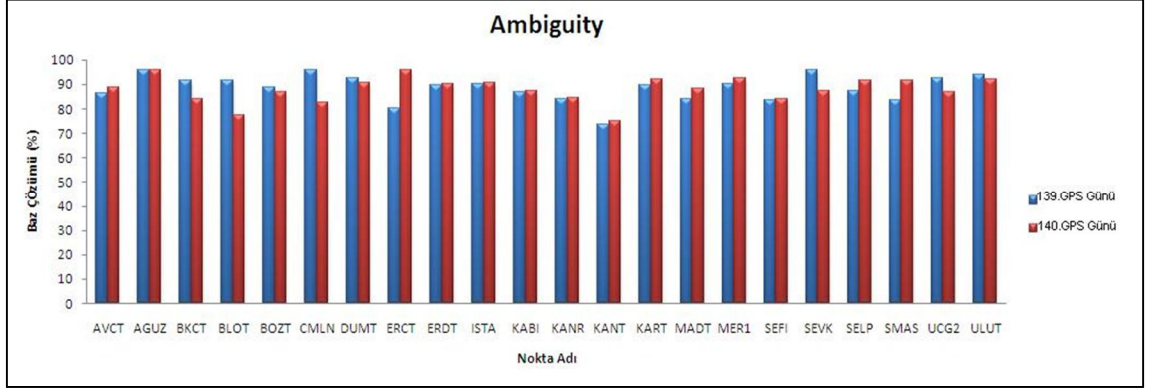
Şekil 2. 6 2007 yılı 142. ve 143. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü



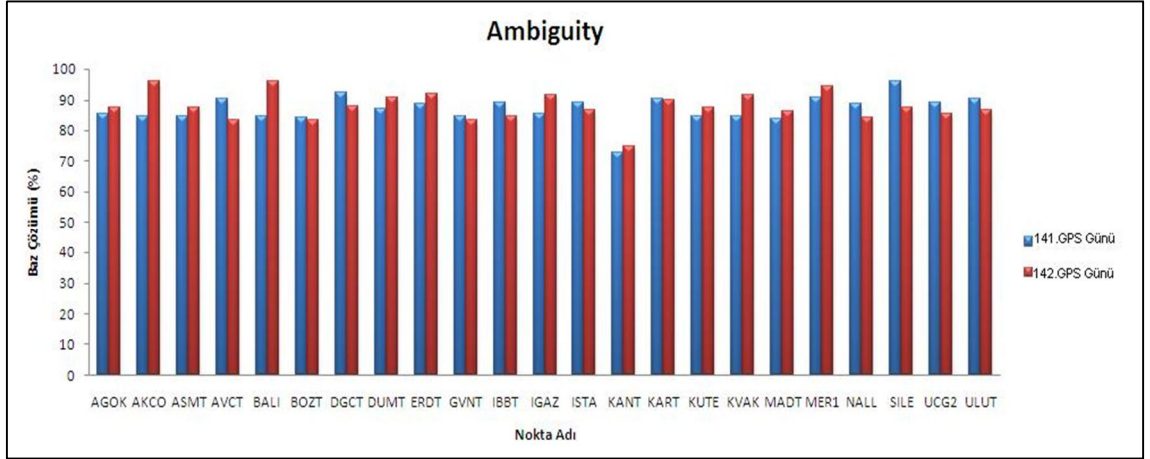
Şekil 2. 7 2007 yılı 144. ve 145. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü



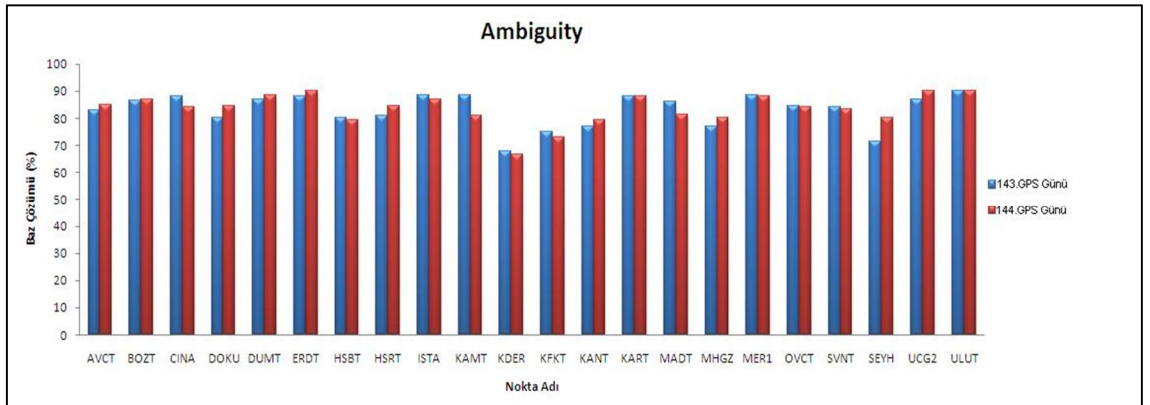
Şekil 2. 8 2007 yılı 146. ve 147. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü



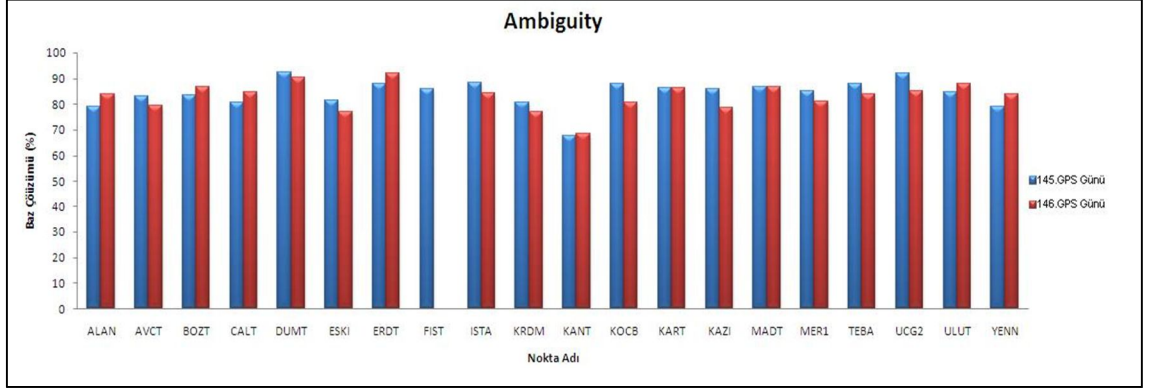
Şekil 2. 9 2008 yılı 139. ve 140. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü



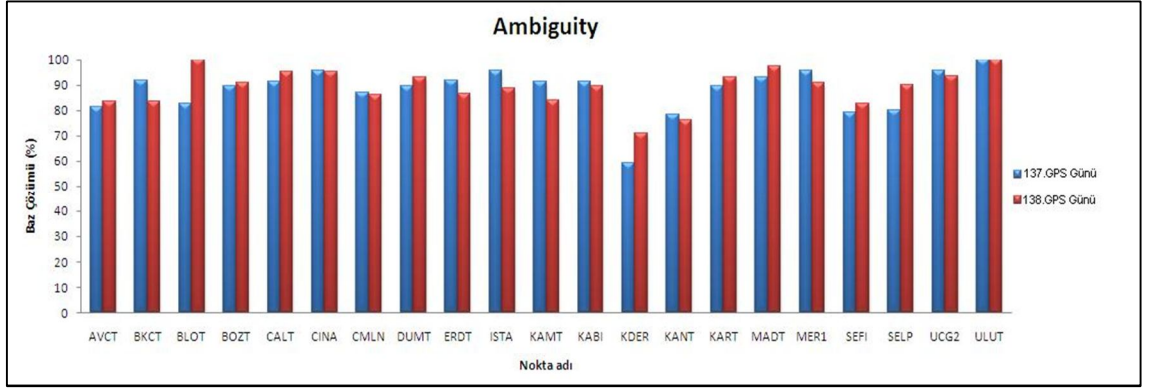
Şekil 2. 10 2008 yılı 141. ve 142. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü



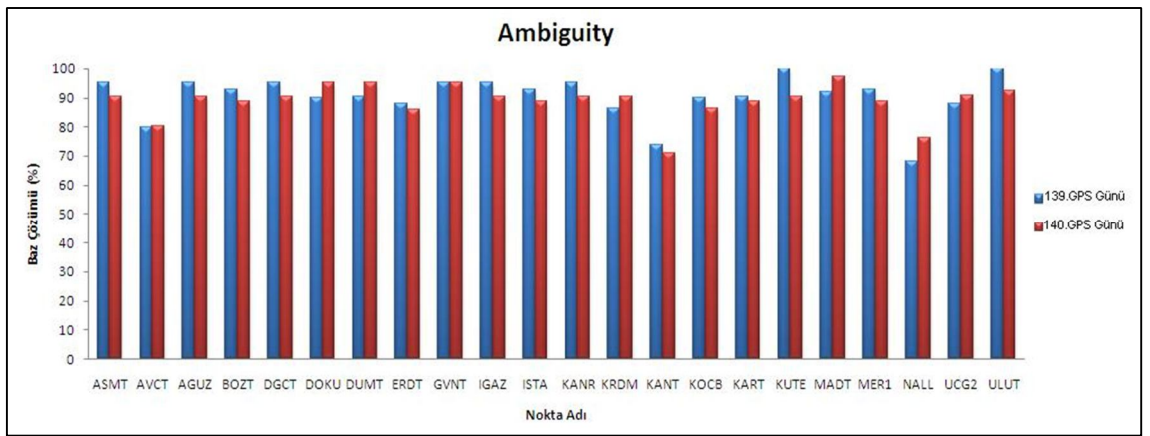
Şekil 2. 11 2008 yılı 143. ve 144. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü



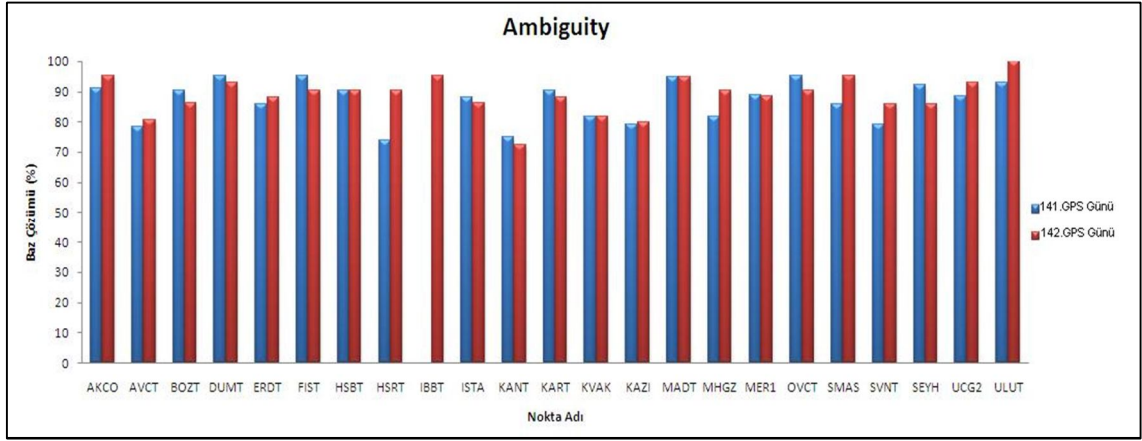
Şekil 2. 12 2008 yılı 145. ve 146. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü



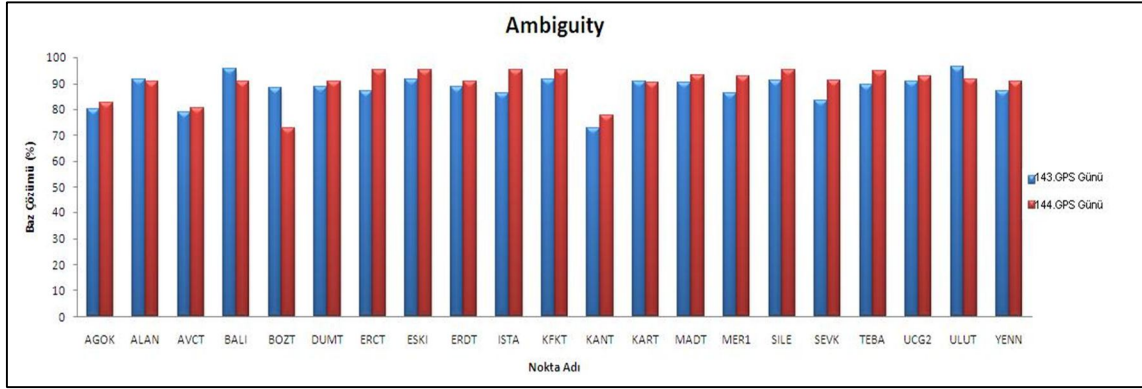
Şekil 2. 13 2009 yılı 137. ve 138. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü



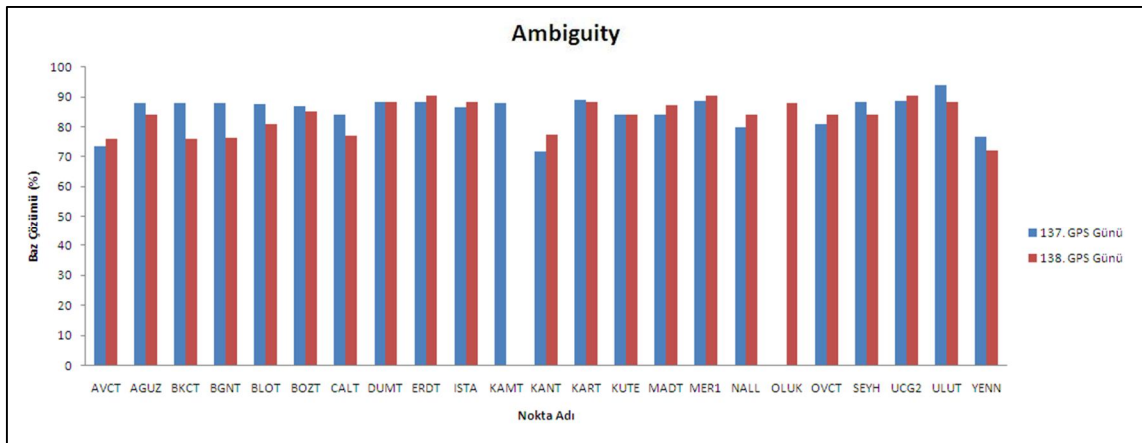
Şekil 2. 14 2009 yılı 139. ve 140. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü



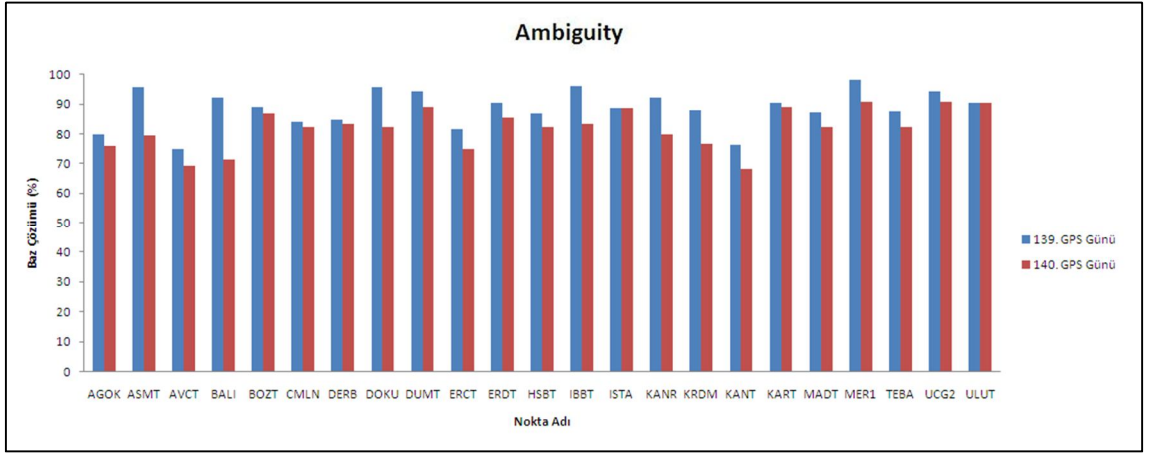
Şekil 2. 15 2009 yılı 141. ve 142. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü



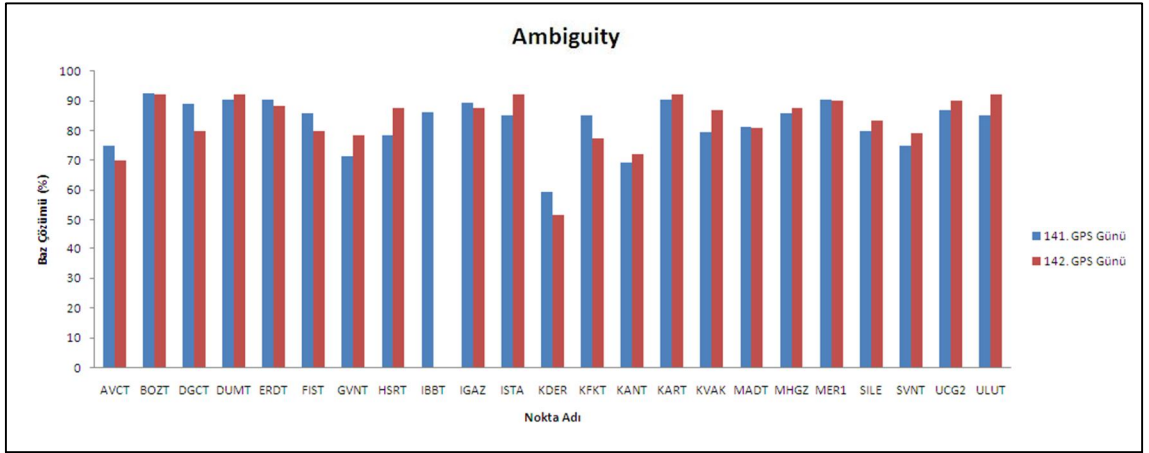
Şekil 2. 16 2009 yılı 143. ve 144. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü



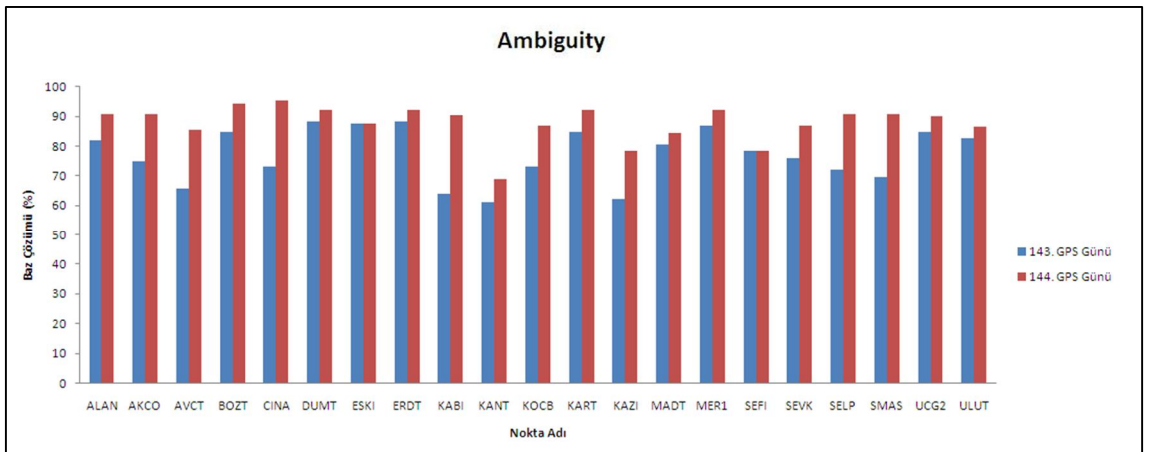
Şekil 2. 17 2010 yılı 137. ve 138. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü



Şekil 2. 18 2010 yılı 139. ve 140. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü



Şekil 2. 19 2010 yılı 141. ve 142. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü



Şekil 2. 20 2010 yılı 143. ve 144. GPS günleri için faz başlangıç belirsizliği çözümü

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ayşe SELENDİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.06.1986/ Şişli – İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : ayseselendi@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Geomatik Programı	YTÜ	2011
Lisans	Jeodezi ve Fotog. Mh.	YTÜ	2008
Lise	Fen-Matematik	Etiler Lisesi	2002

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2008	Emi Harita, LTD. ŞTI.	Stajyer
2007	Çağdaş harita LTD. ŞTI.	Stajyer