

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MARMARA BÖLGESİ'NDE
DÜŞEY YERKABUĞU HAREKETLERİNİN
BAĞIL GRAVİTE VE GPS ÖLÇÜLERİ İLE BELİRLENMESİ**

Harita Mühendisi Azer İLGAR

**FBE Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Geomatik Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Uğur DOĞAN (YTÜ)

İSTANBUL, 2011

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. YERYUVARININ GRAVİTE ALANI.....	5
2.1 Gravite ve Gravite Potansiyeli.....	5
2.2 Gravite Alanının Geometrisi.....	7
2.3 Fiziksel Yeryüzü Boyunca Gravite Değişimleri.....	8
2.3.1 Yükseklik Nedeniyle Gravite Değişimi.....	8
2.3.2 Enlem Etkisiyle Gravite Değişimi.....	8
2.3.3 Kütle Nedeniyle Gravite Değişimi.....	9
2.3.4 Gelgit Kuvveti ve Gelgit Potansiyel Modelleri.....	10
2.3.5 Zamansal Gravite Değişimleri.....	13
3. GRAVİTE ÖLÇMELERİ VE ÖLÇÜLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	14
3.1 Mutlak Gravite Ölçmeleri.....	14
3.2 Bağıl Gravite Ölçmeleri.....	16
3.3 Bağıl Gravite Ölçülerinin İndirgenmesi	19
3.3.1 Kalibrasyon Fonksiyonu ve Yaklaşık Kalibrasyon	19
3.3.2 Nokta Yüksekliğine İndirgeme.....	20
3.3.3 Gelgit İndirgemesi	21
3.3.4 Atmosferik Basınç İndirgemesi	21
3.3.5 Gravite Ölçer Drifti.....	21
3.4 Bağıl Gravite Ölçülerinin Dengelenmesi.....	23
3.4.1 Kaba Hatalı Ölçülerin Belirlenmesi.....	24
3.5 Deformasyon Analizi.....	25
3.5.1 Global Eşdeğerlik Testi	26
3.5.2 Yerelleştirme.....	27
4. UYGULAMA	28
4.1 Bağıl Gravite Ölçmeleri.....	28

4.2	Bağıl Gravite Ölçerlerin Kalibrasyon Parametresinin Belirlenmesi	33
4.3	Ön Değerlendirme	35
4.4	Bağıl Gravite Ölçülerinin Dengelenmesi.....	38
4.5	Periyotlara İlişkin Deformasyon Analizi	49
4.5.1	2006 – Ekim ile 2007 – Mayıs Periyotlarına İlişkin Gravite Değişimleri ve Deformasyon Analizi.....	50
4.5.2	2007 – Mayıs ile 2008 – Mayıs Periyotlarına İlişkin Gravite Değişimleri ve Deformasyon Analizi.....	53
4.5.3	2008 – Mayıs ile 2009 – Mayıs Periyotlarına İlişkin Gravite Değişimleri ve Deformasyon Analizi.....	57
4.5.4	2009 – Mayıs ile 2009 – Ekim Periyotlarına İlişkin Gravite Değişimleri ve Deformasyon Analizi.....	61
4.5.5	2009 – Ekim ile 2010 – Mayıs Periyotlarına İlişkin Gravite Değişimleri ve Deformasyon Analizi.....	65
4.6	Düşey Hız Alanlarının Bağıl Gravite ve GPS ile Belirlenmesi.....	68
5.	SONUÇLAR.....	79
	KAYNAKLAR.....	81
	ÖZGEÇMİŞ.....	84

SİMGE LİSTESİ

a	Çekim ivmesi
b	Gelgit ivmesinin düşey bileşeni
b_m	Ay için gelgit ivmesinin düşey bileşeni
b_s	Güneş için gelgit ivmesinin düşey bileşeni
c	İndirgenmiş gravite okuması
d_m	Ay ile yeryuvarının ağırlık merkezleri arasındaki uzaklık
d_k	Drift polinomu katsayıları
\mathbf{d}	Fark vektörü
d_{ch}	Alet yüksekliği düzeltmesi
$d_{g_{atm}}$	Atmosferik basınç düzeltmesi
d_i	i. derecedeki drift parametresi
d_s	Güneş ile yeryuvarının merkezleri arasındaki uzaklık
h_g	Gravite noktası ile gravite ölçerin üst kısmı arasındaki mesafe
h_m	Gravite ölçerin üst kısmı ile sıfır konumu arasındaki mesafe
e^2	Referans elipsoidinin birinci dışmerkezlik elemanı
f	Serbestlik derecesi
f	Yay sabiti
g	Gravite değeri
\mathbf{g}_z	z yönündeki ivme bileşeni
\tilde{h}	Gelgit deformasyonu için ikinci Love parametresi
k	Normal gravite sabiti
k	Sarkaç boyu
\tilde{k}	Gelgit deformasyonu için birinci Love parametresi
l	Yayın gerilme kuvveti etkisinde olduğu durumdaki uzunluğu
l_0	Yayın gerilme kuvveti etkisinde olmadığı durumdaki uzunluğu
l_i	i. küçültülmüş ölçü
m_1	Birinci cismin kütlesi
m_2	İkinci cismin kütlesi
n	Ölçü sayısı
\mathbf{n}	Yalın terimler vektörü
p_{atm}	Ölçü noktasındaki atmosferik basınç
p_n	Deniz yüzeyindeki atmosferik basınç
r	İki cisim arasındaki uzaklık
$\hat{\mathbf{r}}$	Birim vektör
s_0^2	Sonsal varyans
s_i^2	Bilinmeyenlerin varyansları
s_{v_i}	i. ölçünün standartlaştırılmış düzeltmesinin standart sapması
p_{atm}	Ölçü noktasındaki atmosferik basınç
t	Zaman
v_i	i. ölçünün düzeltmesi
\bar{v}_i	i. ölçünün standartlaştırılmış düzeltmesi
\mathbf{x}	Bilinmeyenler matrisi
z	Sayaç biriminde elde edilen gravite okuması
D	Drift polinomu
F	İki cismin birbirine uyguladığı çekim kuvveti
$F_{h,f,1-\alpha}$	Global test karşılaştırma değeri
F_A	Ay'ın çekim kuvveti
F_C	Merkezkaç kuvveti

F_{pol}	Kalibrasyon fonksiyonunun polinom bileşeni
F_{per}	Kalibrasyon fonksiyonunun periyodik bileşeni
G	Gravite Sabiti
H	Bouguer tabakasının kalınlığı
I	Birim matris
M	Yeryuvarının kütlesi
M_s	Güneş'in kütlesi
N	Normal denklem katsayılar matrisi
N	Gravite ölçer düzeyi
N_0	Yaklaşık gravite ölçer düzeyi
P_i	i. ölçünün ağırlığı
P	Ağırlık matrisi
Q_{dd}	Fark vektörünün ağırlık katsayıları matrisi
$Q_{v_i v_i}$	i. ölçünün düzeltmesinin kofaktörü
$\bar{Q}_{l_i l_i}$	i. dengeli ölçünün kofaktörü
Q_{xx}	Ağırlık katsayıları matrisi
R	düzeltilmelerin kareleri toplamının değişimi
R_e	ölçü noktası ile yeryuvarının ağırlık merkezi arasındaki uzaklık
S	Bouguer tabakasının yarıçapı
S	Transformasyon matrisi
T	Global test büyüklüğü
T	Sarkaç salınımının periyodu
U	Gravite potansiyeli
V	Düzeltilme matrisi
v_g	Gravite hızı
v_h	GPS düşey bileşeni hızı
W	Potansiyel
W_{el}	Elastik yeryuvarının gelgit potansiyeli
W_m	Ay için gelgit potansiyeli
W_s	Güneş için gelgit potansiyeli
Y_k	k. dereceden polinom katsayıları
α	Anlamlılık düzeyi
γ	Normal gravite değeri
γ_e	Ekvatordaki normal gravite değeri
δg_j	Küçültülmüş gravite bilinmeyeni
δN	Küçültülmüş nivo düzeyi bilinmeyeni
δY	Kalibrasyon çarpanı düzeltmesi
θ	Merkezsiz zenit açısı
σ_0^2	Önsel varyans
σ_i^2	i. ölçünün varyansı
ρ	Yoğunluk
φ	Elipsoidal enlem
ω	Kalibrasyon fonksiyonunun periyodik bileşeninin frekansı
Δg_{ms}	Ay'ın ve Güneş'in çekim etkisinden kaynaklanan düzeltme
Φ	Düzeltilmelerin kareleri toplamı

KISALTMA LİSTESİ

CHAMP	CH allenging Minisatellite Payload
CTE	Cartwright-Tayler-Edden
DAFZ	Doğu Anadolu Fay Zonu
ESA	E uropean Space Agency
ESTEC	The European Space Research and Technology Center
GPS	G lobal Positioning System
GOCE	G ravity Field and steady-state Ocean Circulation Explorer
GRACE	G ravity Recovery And Climate Experiment
KAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Türkiye'nin tektonik durumu	1
Şekil 1.2	Marmara Bölgesi deprem haritası (2006-2010).....	3
Şekil 2.1	İki cismin birbirine uyguladığı çekim kuvveti.....	5
Şekil 2.2	Üç boyutlu koordinat sisteminde P noktasının potansiyeli.....	6
Şekil 2.3	Eşpotansiyel yüzeyler ve çekül eğrisi	7
Şekil 2.4	Normal gravite değerinin elipsoidal enleme değişimi	9
Şekil 2.5	Yeryuvarında Ay'ın çekim etkisiyle oluşan gelgit kuvveti	10
Şekil 2.6	Yeryuvarında bir A noktasında Ay'ın çekim etkisiyle oluşan gelgit kuvveti... ..	11
Şekil 3.1	Düşen cismin hareketi.....	15
Şekil 3.2	Düşen cisim yardımıyla mutlak gravitenin belirlenmesi (solda), A10 model mutlak gravite ölçer (sağda).....	16
Şekil 3.3	Sarkaç sistemli gravite ölçer	17
Şekil 3.4	Bağlı gravite ölçerler için yay sistemi	18
Şekil 3.5	GWR SG30 marka süper iletken gravite ölçer	19
Şekil 3.6	Nokta yüksekliğine indirgeme için kullanılan yükseklikler	20
Şekil 3.7	Durağan drift, taşıma drifti ve drift polinomu	22
Şekil 3.8	Driftin belirlenmesi için kullanılan ölçme yöntemleri.....	23
Şekil 4.1	Ölçülen gravite noktaları.....	28
Şekil 4.2	Scientrix CG-5 model gravite ölçer	29
Şekil 4.3	Gravite kalibrasyon bazı noktaları	33
Şekil 4.4	Gravap yazılımına ait ön-değerlendirme raporu	36
Şekil 4.5	Tüm periyotlara ilişkin nokta yüksekliğine indirgeme miktarları	37
Şekil 4.6	Tüm periyotlara ilişkin atmosferik basınç indirgemesi miktarları.....	37
Şekil 4.7	Tüm periyotlara ilişkin karasal gelgit düzeltmesi miktarları	38
Şekil 4.8	2008 – Mayıs periyodunda 79 numaralı gravite ölçer ile ölçülen 200 numaralı geçkiye ait uyumsuz ölçü araştırması.....	39
Şekil 4.9	2010 – Mayıs periyodunda 76 numaralı gravite ölçer ile ölçülen 700 numaralı geçkiye ait uyumsuz ölçü araştırması.....	39
Şekil 4.10	CINA noktasına ilişkin analiz sonuçları	40
Şekil 4.11	ASMT noktasına ilişkin analiz sonuçları.....	41
Şekil 4.12	2008 – Mayıs periyoduna ilişkin en küçük kareler dengelemesinde elde edilen düzeltme sıklık grafiği	42
Şekil 4.13	CINA noktasına ilişkin gravite zaman serisi	47
Şekil 4.14	ERCT noktasına ilişkin gravite zaman serisi.....	47
Şekil 4.15	ALAN noktasına ilişkin zaman serisi	48
Şekil 4.16	GVNT noktasına ilişkin zaman serisi	48
Şekil 4.17a	Marmara Doğu Bölgesi gravite değişimleri (2006 Ekim – 2007 Mayıs)	50
Şekil 4.17b	Marmara Doğu Bölgesi gravite değişim yüzeyi (2006 Ekim – 2007 Mayıs) ...	51
Şekil 4.18a	Marmara Batı Bölgesi gravite değişimleri (2006 Ekim – 2007 Mayıs).....	52
Şekil 4.18b	Marmara Batı Bölgesi gravite değişim yüzeyi (2006 Ekim – 2007 Mayıs)	52
Şekil 4.19	Marmara Batı Bölgesi'nde 2006 Ekim – 2007 Mayıs periyotlarına ilişkin yerleştirme işlemleri.....	53
Şekil 4.20a	Marmara Doğu Bölgesi gravite değişimleri (2007 Mayıs – 2008 Mayıs).....	54
Şekil 4.20b	Marmara Doğu Bölgesi gravite değişim yüzeyi (2007 Mayıs – 2008 Mayıs) ..	54
Şekil 4.21	Marmara Doğu Bölgesi'nde 2007 Mayıs – 2008 Mayıs periyotlarına ilişkin yerleştirme işlemleri.....	55
Şekil 4.22a	Marmara Batı Bölgesi gravite değişimleri (2007 Mayıs – 2008 Mayıs)	56
Şekil 4.22b	Marmara Batı Bölgesi gravite değişim yüzeyi (2007 Mayıs – 2008 Mayıs)....	56

Şekil 4.23	Marmara Batı Bölgesi'nde 2007 Mayıs – 2008 Mayıs periyotlarına ilişkin yerelleştirme işlemleri.....	57
Şekil 4.24a	Marmara Doğu Bölgesi gravite değişimleri (2008 Mayıs – 2009 Mayıs)	58
Şekil 4.24b	Marmara Doğu Bölgesi gravite değişim yüzeyi (2008 Mayıs – 2009 Mayıs)..	58
Şekil 4.25	Marmara Doğu Bölgesi'nde 2008 Mayıs – 2009 Mayıs periyotlarına ilişkin yerelleştirme işlemleri.....	59
Şekil 4.26a	Marmara Batı Bölgesi gravite değişimleri (2008 Mayıs – 2009 Ekim).....	60
Şekil 4.26b	Marmara Batı Bölgesi gravite değişim yüzeyi (2008 Mayıs – 2009 Mayıs)....	60
Şekil 4.27	Marmara Batı Bölgesi'nde 2008 Mayıs – 2009 Mayıs periyotlarına ilişkin yerelleştirme işlemleri.....	61
Şekil 4.28a	Marmara Doğu Bölgesi gravite değişimleri (2009 Mayıs– 2009 Ekim)	62
Şekil 4.28b	Marmara Doğu Bölgesi gravite değişim yüzeyi (2009 Mayıs– 2009 Ekim)	62
Şekil 4.29	Marmara Doğu Bölgesi'nde 2009 Mayıs – 2009 Ekim periyotlarına ilişkin yerelleştirme işlemleri.....	63
Şekil 4.30a	Marmara Batı Bölgesi gravite değişimleri (2009 Mayıs– 2009 Ekim).....	64
Şekil 4.30b	Marmara Batı Bölgesi gravite değişim yüzeyi (2009 Mayıs– 2009 Ekim)	64
Şekil 4.31a	Marmara Doğu Bölgesi gravite değişimleri (2009 Ekim – 2010 Mayıs)	65
Şekil 4.31b	Marmara Doğu Bölgesi gravite değişim yüzeyi (2009 Ekim – 2010 Mayıs) ...	66
Şekil 4.32a	Marmara Batı Bölgesi gravite değişimleri (2009 Ekim – 2010 Mayıs).....	67
Şekil 4.32b	Marmara Batı Bölgesi gravite değişim yüzeyi (2009 Ekim – 2010 Mayıs)	67
Şekil 4.33	Marmara Batı Bölgesi'nde 2009 Ekim – 2010 Mayıs periyotlarına ilişkin yerelleştirme işlemleri.....	68
Şekil 4.34	KUTE noktasına ilişkin GPS yüksekliği zaman serisi.....	69
Şekil 4.35	ERCT noktasına ilişkin GPS yüksekliği zaman serisi	70
Şekil 4.36	KABI noktasına ilişkin GPS yüksekliği zaman serisi.....	70
Şekil 4.37	DOKU noktasına ilişkin GPS yüksekliği zaman serisi.....	71
Şekil 4.38	Marmara Doğu Bölgesi'nde belirlenen gravite hızları	73
Şekil 4.39	Marmara Doğu Bölgesi'nde belirlenen GPS düşey hızları.....	74
Şekil 4.40	Marmara Doğu Bölgesi'nde 1. Profil boyunca belirlenen gravite hızları (sağda) ve düşey hızlar (solda)	74
Şekil 4.41	Marmara Doğu Bölgesi'nde 1. Profil boyunca belirlenen gravite hızları ve düşey hızlar	75
Şekil 4.42	Marmara Batı Bölgesi'nde belirlenen gravite hızları.....	76
Şekil 4.43	Marmara Batı Bölgesi'nde belirlenen düşey hızlar	76
Şekil 4.44	Marmara Batı Bölgesi'nde 2. Profil boyunca belirlenen gravite hızları (sağda) ve düşey hızlar (solda)	77
Şekil 4.45	Marmara Batı Bölgesi'nde 2. Profil boyunca belirlenen gravite hızları ve düşey hızlar	77
Şekil 4.46	Marmara Batı Bölgesi'nde 3. Profil boyunca belirlenen gravite hızları (sağda) ve düşey hızlar (solda)	78
Şekil 4.47	Marmara Batı Bölgesi'nde 3. Profil boyunca belirlenen gravite hızları ve düşey hızlar	78

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Gelgit Potansiyel Modelleri ve Dalga Sayıları	12
Çizelge 2.2	Kütle hareketleri nedeniyle oluşan (gelgit etkilerinden arındırılmış) zamansal gravite değişimleri	13
Çizelge 4.1	Marmara-Doğu Bölgesi'nde ölçülen noktalar	30
Çizelge 4.2	Marmara-Batı Bölgesi'nde ölçülen noktalar.....	30
Çizelge 4.3	Marmara Bölgesi'nin doğusunda ölçülen geçkiler	31
Çizelge 4.4	Marmara Bölgesi'nin batısında ölçülen geçkiler	32
Çizelge 4.5	Kullanılan Gravite Ölçerler.....	33
Çizelge 4.6	Gravite kalibrasyon bazında gerçekleştirilen bağıl gravite ölçmeleri.....	34
Çizelge 4.7	Scientrix - 79 numaralı gravite ölçerin ölçek çarpanı düzeltmesi ve anlamlılık testi.....	35
Çizelge 4.8	Scientrix - 76 numaralı gravite ölçerin ölçek çarpanı düzeltmesi ve anlamlılık testi.....	35
Çizelge 4.9	Periyotlara ilişkin indirgemelerin en büyük ve en küçük değerleri	36
Çizelge 4.10a	Marmara Bölgesi'nin Doğu kesiminde tüm periyotlara ilişkin ölçü sayıları, bilinmeyen sayıları ve dengeleme sonucunda elde edilen standart sapmalar ...	42
Çizelge 4.10b	Marmara Bölgesi'nin Batı kesiminde tüm periyotlara ilişkin ölçü sayıları, bilinmeyen sayıları ve dengeleme sonucunda elde edilen standart sapmalar ...	43
Çizelge 4.11	2006 – Ekim periyoduna ilişkin gravite ölçer düzeyi ve drift parametreleri	43
Çizelge 4.12	2007 – Mayıs periyoduna ilişkin gravite ölçer düzeyi ve drift parametreleri ...	43
Çizelge 4.13	2008 – Mayıs periyoduna ilişkin gravite ölçer düzeyi ve drift parametreleri ...	44
Çizelge 4.14	2009 – Mayıs periyoduna ilişkin gravite ölçer düzeyi ve drift parametreleri ...	44
Çizelge 4.15	2009 – Ekim periyoduna ilişkin gravite ölçer düzeyi ve drift parametreleri	45
Çizelge 4.16	2010 – Mayıs periyoduna ilişkin gravite ölçer düzeyi ve drift parametreleri ...	45
Çizelge 4.17	Marmara-Doğu Bölgesi'ndeki noktaların TUBI noktasına göre gravite değerleri	46
Çizelge 4.18	Marmara-Batı Bölgesi'ndeki noktaların BKCT noktasına göre gravite değerleri	46
Çizelge 4.19	Marmara-Doğu Bölgesi'ne ilişkin global eşdeğerlik testi	49
Çizelge 4.20	Marmara-Batı Bölgesi'ne ilişkin global eşdeğerlik testi	49
Çizelge 4.21	Marmara Bölgesi'nin doğu kesiminde belirlenen gravite ve GPS yüksekliği hızları ve standart sapmaları	72
Çizelge 4.22	Marmara Bölgesi'nin batı kesiminde belirlenen gravite ve GPS yüksekliği hızları ve standart sapmaları	72

ÖNSÖZ

Bu çalışma; Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Geomatik Programı, yüksek lisans tezi olarak, Marmara Bölgesi'nde elde edilen bağıl gravite verilerinin değerlendirilmesi, deformasyon miktarlarının hesaplanması ve GPS ile elde edilen yükseklikler ile karşılaştırılması için hazırlanmıştır.

Öncelikle, bu tezin oluşturulmasında bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren, desteğini esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Doç. Dr. Uğur DOĞAN'a, Sayın Prof. Dr. Hüseyin DEMİREL'e ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Cüneyt AYDIN'a; çalışmama jüri olarak katkı sağlayan Prof. Dr. Rasim Deniz'e teşekkür ederim. Ayrıca, tezimin uygulama verilerini sağlayan TÜBİTAK Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü müdür yardımcısı Sayın Doç. Dr. Semih ERGİNTAV'a teşekkür ederim.

Bitirme çalışmam sırasında 108Y152 nolu "Marmara Bölgesi'ndeki Düşey Yerkabuğu Hareketlerinin Mutlak Gravite ve GPS ile Araştırılması" başlıklı TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında burs desteği veren ÇAYDAG'a (Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Grubu) teşekkür ederim. Beraber çalıştığım arkadaşlarım Harita Mühendisi Ayşe Selendi (YTÜ), Harita Yüksek Mühendisi Bediha ÇOLAK (YTÜ), Harita Yüksek Mühendisi Hasan Onur Özdiğer (YTÜ) ve Arş. Gör. Harita Yüksek Mühendisi Deniz ÖZ'e (YTÜ), katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmam süresince benden desteklerini esirgemeyen aileme, özellikle annem Birsen İLGAR'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışmayı, hayatım boyunca düşüncelerini ve tercihlerini örnek alarak her zaman desteğini hissettiğim, bıraktığı izlerle hayatıma anlam katan babam Nevzat İLGAR'ın anısına ithaf ediyorum.

ÖZET

Bu çalışmada, sürekli deprem aktivitelerinin meydana geldiği bir bölge olan Marmara Bölgesi'nde bağıl gravite ve GPS (Global Positioning System) ölçme yöntemleri kullanılarak; düşey yerkabuğu hareketlerinin belirlenmesi ve düşey deformasyonlar ile ilişkili yerkabuğu altındaki kütle ve yoğunluk değişimlerine ilişkin bilgilerin sağlanması amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda uygulama için, 24 noktadan oluşan Marmara Bölgesi Gravite Ağı kullanılmıştır. 2 adet Scintrex CG-5 model (76-79) bağıl gravite ölçerle 2006 – 2010 yılları arasında ölçülen bu ağ aynı zamanda GPS ile de gözlenmiştir. Gerçekleştirilen gravite ölçüleri değerlendirilmiş ve jeodezik noktaların zamana bağlı gravite değişimleri belirlenmiştir. Gravite değişimlerinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı deformasyon analizi ile ortaya konmuştur.

Marmara Bölgesi'nde elde edilen gravite değişim hız alanı, bölgenin Doğu ve Batı kısımlarında farklı iki karakteristik özellik göstermekte ve Marmara Doğu bölgesinde yer alan noktaların gravite hız değişimlerinin Marmara Batıya göre daha küçük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca 2009-2010 dönemlerinde, Bursa-Uludağ arasında tesis edilen mutlak gravite kalibrasyon bazında gerçekleştirilen mutlak gravite verileri ile bağıl gravite ölçerlerin kalibrasyon parametreleri belirlenmiş ve gravite ölçerlerin ölçek parametrelerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır.

GPS ölçülerinden elde edilen düşey hız alanı ile bağıl gravite ölçülerinden elde edilen gravite değişim hız alanları karşılaştırılmıştır. Bölgenin her iki kesiminde istatistiksel olarak anlamlı gravite değişimi olan noktalarda anlamlı düşey deformasyonlar yüzeyde görülmemektedir ve bölgede oluşan anlamlı gravite değişimlerinin yerkabuğundaki yoğunluk değişimlerinden kaynaklandığı ve bu değişimin kabuk kalınlığına bağlı olarak yüzeyde anlamlı olarak belirlenebilecek bir yüzey deformasyonu üretmediği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Düşey Yerkabuğu Hareketleri - Bağıl Gravite – GPS – Marmara Bölgesi

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the vertical crustal movements and to provide information about the changes in mass and density related to vertical deformation, by using the relative gravimetry and GPS in Marmara Region which is a tectonically active zone.

In order to determine the vertical crustal movements in the region, relative gravity and GPS measurements which are carried out between 2006-2010 in Marmara Gravity Network. The network consists of 24 gravity sites and the gravity surveys are carried out by using two Scintrex CG-5 model gravimeters. The gravity measurements are evaluated and time-dependent change in gravity is determined. The significant changes in gravity are determined by deformation analysis.

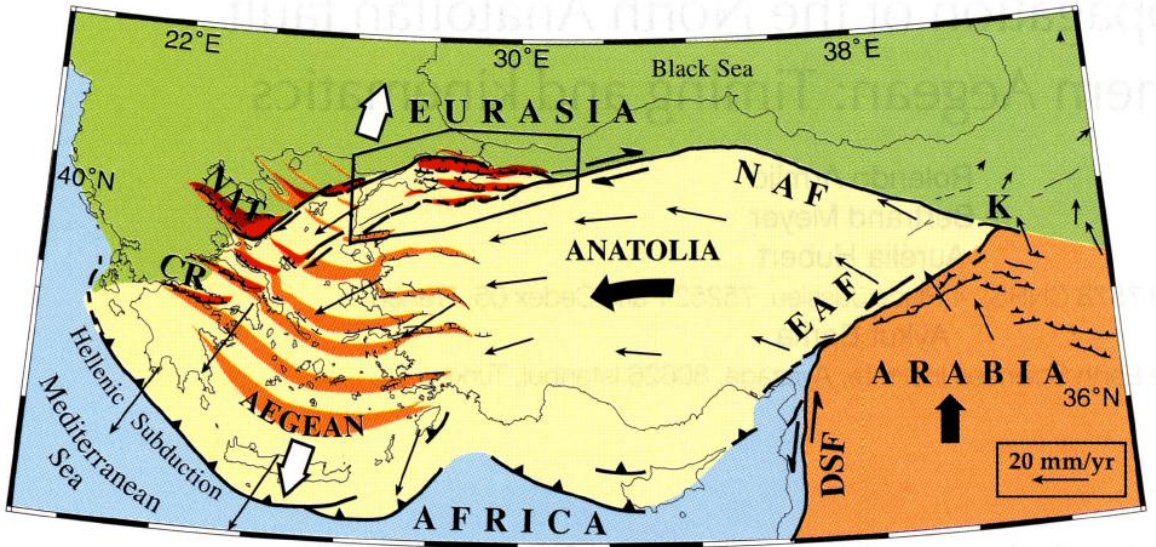
The velocity fields of the western and eastern parts of Marmara Region show different characteristics; the magnitude of velocities of the sites in the eastern part are smaller than the western part's. Also, the calibration parameters of the relative gravimeters are determined by the absolute and relative surveys in Bursa-Uludağ gravity calibration base line, and the parameters are found to be statistically significant.

The height velocity field determined by GPS, and the gravity velocity field are compared. The sites that have significant gravity changes have not significant changes in height. It can be concluded that, the gravity changes are caused by the density changes in the crust and not resulting a surface deformation due to the thickness of the crust.

Keywords: Vertical Crustal Movements – Relative Gravimetry – GPS – Marmara Region

1. GİRİŞ

Türkiye, Alp-Himalaya dağ kuşağında yer alır ve depremsellik açısından dünyanın en aktif ülkelerinden biridir. Türkiye'nin neotektonik dönemi Geç Miyosen'de başlamıştır. Anadolu ile Arap yarımadası arasında bulunan Tetis okyanusu günümüzden yaklaşık 11 milyon yıl önce Anadolu levhası altına dalıp batması ile kapanmıştır. Tetis okyanusunun kalıntısı olan Akdeniz, hala kuzey yönünde dalıp batmaya devam etmektedir. Tetis okyanusunun kapanmasıyla Anadolu ile çarpışan Arap yarımadası, kuzeye doğru hareket ederek Doğu Anadolu'yu sıkıştırmaya devam etmektedir. Anadolu Levhası bu sıkışmaya karşın önce kalınlaşmaya daha sonra batıya doğru Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) boyunca hareket etmeye başlamıştır. Doğuda sıkışan ve iki fay boyunca batıya doğru hareket eden Anadolu Levhası, Helenik yayının etkisiyle genişleşmiş ve Ege Graben Sistemi oluşmuştur (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Türkiye'nin tektonik durumu (Armijo vd., 1999)

Türkiye'nin neotektonik yapısında ve deprem tarihçesinde en önemli rolü üstlenen unsurlardan biri olan ve Anadolu ile Avrasya tektonik levhalarının sınırını oluşturan KAFZ, 1500 km uzunluğunda, Karlıova'dan başlayarak ve Anadolu Yarımadası'nın kuzeyini doğu-batı yönünde keserek Marmara Bölgesi'ne ve Ege Denizi'ne kadar uzanır (Armijo vd., 1999). Sağa yanıl atımlı bir fay zonu olan KAFZ düşey atımlar da barındırmaktadır; ancak yatay yer değiştirme, düşey yer değiştirmeye oranla 3-4 kat daha fazladır (Ketin, 1969).

Kuzeybatı Anadolu'da iki kola ayrılan KAFZ, 1939 Erzincan depremiyle adından bahsettirmiş, son olarak da Marmara Bölgesi'nde; 1999 yılında hasar yapıcı ve yıkıcı

büyükdepremler meydana getirmiştir.

Marmara Bölgesi, Türkiye'nin kuzeybatı kesiminde, Ege, Balkan, Karadeniz ve Anadolu Bölgeleri'nin arasında yer alır. Ege Bölgesi'nin kuzey-güney yönlü sistemi ile Anadolu plakasının kuzey sınırını oluşturan KAFZ'ın burada kesişiyor olması nedeniyle oldukça karmaşık ve kritik bir tektonik yapıya sahiptir. Bu iki farklı tektonik rejimin birbirlerine olan etkilerine ait yapısal ya da morfolojik analizler henüz tam anlamıyla oluşturulamamıştır. Bölgedeki temel morfotektonik bileşenler aşağıdaki gibidir (Yılmaz vd., 2010):

- Trakya Bölgesi – Kocaeli Pennepleni
- Marmara Denizi
- İstanbul ve Bursa – Balıkesir Platosu
- Kuzey Anadolu Fay Zonu
- Ganos Tepesi ve Armutlu Tepesi

Tektonik açıdan çok aktif bir bölge olan Marmara Bölgesi'nde meydana gelen 1999 İzmit ve Düzce depremleri sonrasında KAFZ'ın batı kısmının yapısı hakkında daha belirgin veriler elde edilebilmiştir (Ergintav vd., 2007). 17 Ağustos 1999 İzmit depremi, Marmara Bölgesinin doğu kesiminde yerkabuğunu önemli derecede deformasyona uğratmış ve Kuzey Anadolu Fay kuşağının kuzey kolu boyunca yaklaşık 150 km uzunluğundaki bir bölümünü kırmıştır. Marmara Bölgesi için yapılan çalışmalar sonucunda bölgenin 1999 depremlerinden sonra aktif olarak hareket ettiği, Şekil 1.2'de verilen deprem haritasında da görülmektedir.

Bağıl konumlamada yüksek doğruluk sağlayan uydu teknolojisine dayalı yöntemlerden biri olan GPS, yatay ve düşey yerkabuğu hareketlerinin izlenmesinde ve oluşan deformasyonların belirlenmesinde önemli bir rol oynamakta ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

Gravite ölçüleri GPS ile birlikte güncel kabuk hareketlerinin özellikle tektonik fay boyunca oluşan uzun dönemli düşey yerkabuğu hareketlerinin belirlenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Gravite değişimleri; gök cisimlerinin hareketleri, yoğunluk değişimleri ve yükseklik değişimlerinin fonksiyonudur (Battaglia vd., 2003; Aydın, 2007). Mevsimsel etkilerle yer altı su seviyesinin değişimi yoğunluk değişimine yol açmakta ve gravitenin değişmesine neden olmaktadır (van Dam vd., 2001; Demoulin vd., 2007). Deformasyon etkileri ile birlikte, hidrolojinin gravite değişimine etkisi konusunda da çalışmalar yapılmaktadır (Zerbini vd., 2001; Amalvict vd., 2004; Naujoks vd., 2007). Bu nedenle gravite ölçü kampanyaları, mevsimsel etkileri ortadan kaldırmak için her yılın belli dönemlerinde gerçekleştirilmektedir. Gök cisimlerinin hareketlerinin gravite değişimine

kısımlarında yükseklik, gravite ve potansiyel değişimlerinin farklı olduğu gözlenmiştir (Doğan vd., 2006; 2007).

Bu çalışmada, “Marmara Bölgesi’ndeki Düşey Yerkabuğu Hareketlerinin Mutlak Gravite ve GPS ile Araştırılması” (108Y152 numaralı 1001 Projesi) ile “Türkiye’nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik – ancak tektonik rejimleri farklı – Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması” (105G019 numaralı 1007 Projesi) isimli TÜBİTAK projeleri kapsamında, 2006 ile 2010 yılları arasında gerçekleştirilen bağıl gravite ve GPS ölçüleri kullanılarak, Marmara Bölgesi’nde düşey yerkabuğunda meydana gelen deformasyonların belirlenmesi amaçlanmıştır. Uygulama aşamasında,

- Uludağ’da tesis edilen gravite kalibrasyon bazında gerçekleştirilen mutlak ve bağıl gravite verileri kullanılarak, bağıl gravite ölçerlerin kalibrasyon parametreleri belirlenmiş,
- 2006 ve 2010 yılları arasında gerçekleştirilen bağıl gravite ölçmeleri değerlendirilmiş ve deformasyon analizi ile gravite değişimlerinin istatistiksel olarak anlamlılığı incelenmiş,
- ölçülen ve değerlendirilen GPS yüksekliklerinin hızları hesaplanmış, bağıl gravite hızları ile karşılaştırılmıştır.

Bağıl gravite ölçülerinin değerlendirilmesi,

- ölçme sırasındaki alet yüksekliği, karasal gelgit etkisi, atmosferik basınç gibi gravite değişimine neden olan etkilerin indirgenmesi,
- gravite ölçerlerin sıfır noktasının zamana bağlı olarak değişimini tanımlayan drift parametresinin kestirilmesi amacıyla gidiş-dönüş şeklinde ölçülen gravite geçkilerinin, uyumsuz ölçü testi ile kaba hatalı ölçülerin ölçü grubundan çıkarılarak dengelenmesi,
- ağın tüm geçkilerine ait, sadece uyumlu ölçüleri içeren gravite ağı dengelemesi aşamaları ile gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, Bölüm 2’de yeryuvarının gravite alanı, Bölüm 3’te gravite ölçme ve ölçülerin değerlendirilmesi verilmiş; uygulamalar, analiz ve irdelemeler Bölüm 4’te ve sonuçlar Bölüm 5’te sunulmuştur.

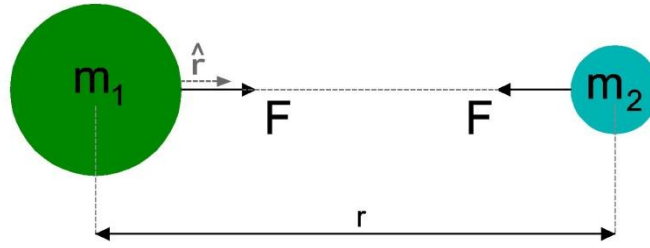
2. YERYUVARININ GRAVİTE ALANI

2.1 Gravite ve Gravite Potansiyeli

Newton'un çekim kanununa göre, m_1 ve m_2 kütleli iki cisim birbirlerini

$$F = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} \quad (2.1)$$

kuvvetiyle çeker (Şekil 2.1). Burada, F , m_2 üzerindeki kuvveti; G , gravite sabitini ($G=6.67 \times 10^{-11} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$); r , iki kütle arasındaki mesafeyi ve \hat{r} , yönü m_1 'den m_2 'ye doğru olan birim vektörü ifade eder (Telford vd., 1981).



Şekil 2.1 İki cismin birbirine uyguladığı çekim kuvveti

Newton'un hareket kanununa göre, m_1 kütlesi tarafından m_2 kütesine uygulanan kuvvet,

$$F = m_2 a \quad (2.2)$$

büyükliğindedir. Burada a , m_2 kütesinin ivmesini ifade eder. (2.1) ve (2.2) eşitliklerinden

$$\vec{a} = \frac{F}{m_2} = -G \frac{m_1}{r^2} \hat{r} \quad (2.3)$$

olarak elde edilir. Yeryuvarının gravite alanı için, \vec{g} gravite ivmesi

$$\vec{g} = -\frac{MG_e}{R_e^2} \hat{r} \quad (2.4)$$

dir. Burada, M yeryuvarının kütesini ($5.97378 \times 10^{24} \text{ kg}$); R_e ölçü noktası ile yeryuvarının ağırlık merkezi arasındaki uzaklığı ve \hat{r} başlangıcı yeryuvarının merkezi olan birim vektörünü göstermektedir (Telford vd, 1981).

Gravitenin birimi SI biriminde m/s^2 'dir. Jeodezide genellikle mGal ve μGal birimleri kullanılmaktadır ($1\text{mGal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ve $1\mu\text{Gal} = 10^{-8} \text{ m/s}^2$).

Gravite alanları korunumlu alanlardır, yani, eş potansiyelli noktalardan oluşan yüzeyde bir kütle hareketi için yapılan iş yoldan bağımsızdır. Gravite kuvveti iki kütle merkezini birleştiren doğrultu boyunca olan merkezsel bir kuvvettir. F korunumlu kuvvetleri, skaler

potansiyel fonksiyonu U 'dan

$$\nabla U_r = \mathbf{F}(\mathbf{r}) / m_2 = \mathbf{g}(\mathbf{r}) \quad (2.5)$$

eşitliğine göre elde edilir (Setiawan, 2002). Buradan gravite potansiyeli,

$$U(r) = \int_{\infty}^R \mathbf{g} \cdot d\mathbf{r} = -GM \int_{\infty}^R \frac{dr}{r^2} = \frac{GM}{R} \quad (2.6)$$

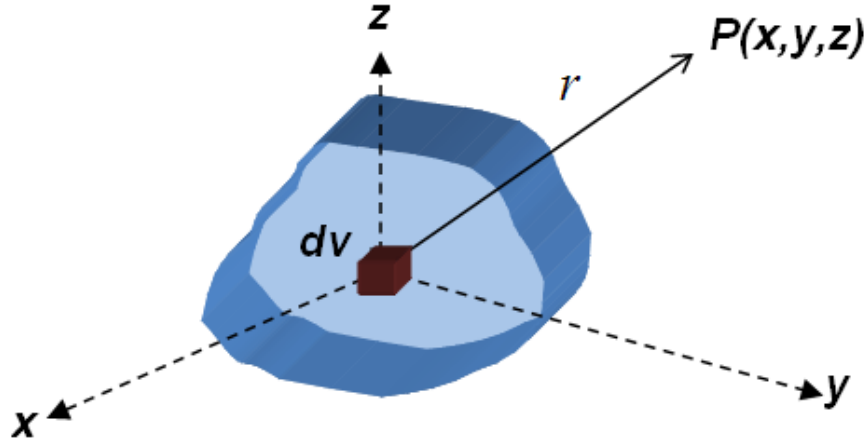
olarak elde edilir. $U(r)$, birim kütleli bir cismin M 'nin ağırlık merkezine R uzaklıktaki bir noktaya olan hareketi için yapılan işi ifade eder.

Üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde (Şekil 2.2) bir P noktasındaki gravite potansiyeli ve gravite ivmesi,

$$dU = Gdv/r = G\rho dx dy dz / r \quad (2.7)$$

eşitliği ile ifade edilir (Setiawan, 2002). Burada, ρ yoğunluğu; r , P birim kütlesi ile dv kütlesi arasındaki mesafeyi ifade eder:

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad (2.8)$$



Şekil 2.2 Üç boyutlu koordinat sisteminde P noktasının potansiyeli

Toplam v hacmi için U potansiyeli

$$U = G\rho \iiint_{x y z} \frac{1}{r} dx dy dz \quad (2.9)$$

olur. z eksenindeki ivme bileşeni, potansiyelin kısmi türevi ile

$$g_z = \frac{\partial U}{\partial z} = -G\rho \iiint_{x y z} \frac{z}{r^3} dx dy dz \quad (2.10)$$

ifade edilir.

Düşey gravite gradyenti, g_z 'nin birinci türevi alınarak bulunur (Setiawan, 2002):

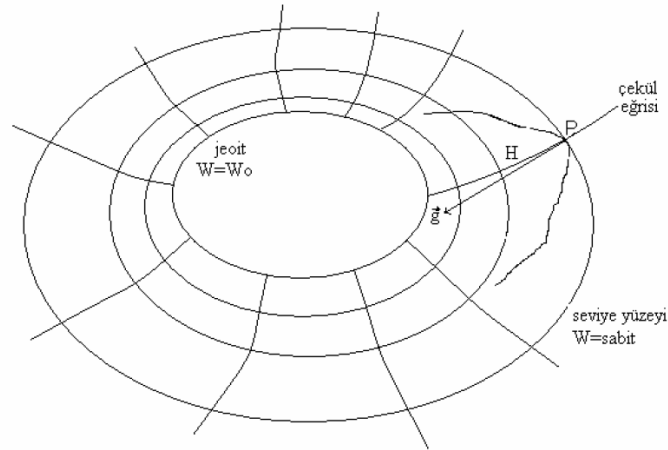
$$\frac{\partial g_z}{\partial z} = \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = -G\rho \iiint_{x y z} \left(\frac{1}{r^3} - \frac{3z^2}{r^5} \right) dx dy dz \quad (2.11)$$

2.2 Gravite Alanının Geometrisi

Gravite alanının geometrisi, eş potansiyelli nivo yüzeyleri ve çekül doğrultuları ile tanımlanabilir. Nivo yüzeyleri W potansiyelinin sabit olduğu yüzeyleri tanımlar:

$$W = \text{sabit} \quad (2.12)$$

Bir nivo yüzeyi boyunca gravite kuvvetinin yaptığı iş, yani potansiyeldeki değişim $dW = 0$ 'dır. Bu durum yüzeylerin denge durumunda olduklarını gösterir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Eşpotansiyel yüzeyler ve çekül eğrisi (Yaldız, 2006)

Potansiyeldeki değişimler, aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$dW = \vec{g} \times d\vec{x} = g \cdot dH \cdot \cos(\vec{g} \cdot d\vec{x}) \quad (2.13)$$

Çekül doğrultuları, tam doğru olmayıp, eğri biçimindedir ve bu nedenle çekül eğrisi olarak da adlandırılır. Çekül eğrileri, tüm nivo yüzeylerine diktir. Herhangi bir noktadaki gravite vektörü, bu noktadaki çekül eğrisine teğettir. Bundan dolayı

$$\cos(\vec{g} \cdot d\vec{x}) = 1 \quad (2.14)$$

ile (2.13) eşitliğinden

$$g = \frac{dW}{dH} \quad (2.15)$$

çıkar.

Optimal olarak durgun deniz yüzeyine yakın olan özel nivo yüzeyine jeoit denir. Jeoit, yükseklik sistemlerinin tanımlanmasında referans bir yüzey olarak kullanılır (Torge, 1989).

2.3 Fiziksel Yeryüzü Boyunca Gravite Değişimleri

Yeryuvarı üzerinde gravite 9.78 m/s^2 ile 9.83 m/s^2 arasında değişir. Bu değişimin nedenleri, yeryuvarının dönmesinden kaynaklanan merkezkaç kuvveti, yeryuvarının basıklığı ve düzensiz kütle değişimleridir (Setiawan, 2002; Aydın, 2007).

2.3.1 Yükseklik Nedeniyle Gravite Değişimi

Gravite büyüklüğüne ilişkin

$$g \approx \frac{GM_e}{r^2} \quad (2.16)$$

eşitliğinin r 'ye göre kısmi türevi, radyal doğrultudaki gravite gradyentidir.

$$\frac{dg}{dr} = -2 \frac{GM_e}{r^3} \quad (2.17)$$

Radyal doğrultudaki dr değişiminin dH yükseklik değişimine çok yakın olduğu düşünülürse,

$$dg \approx -2 \frac{GM_e}{r^3} dH \quad (2.18)$$

olur. GM_e ve r sabit büyüklükleriyle, yükseklik ve gravite arasındaki ilişki

$$dg \approx -0.3086 \left(\frac{mGal}{m} \right) dH \quad (2.19)$$

olarak verilir. -0.3086 katsayısı, serbest hava etkisidir; ancak gerçekte serbest hava gravite anomalisi, yerin altındaki düzensiz kütle dağılımlarına bağlı olarak bu teorik değer %25'i kadar üzerine çıkabilir (Seigel, 1995).

2.3.2 Enlem Etkisiyle Gravite Değişimi

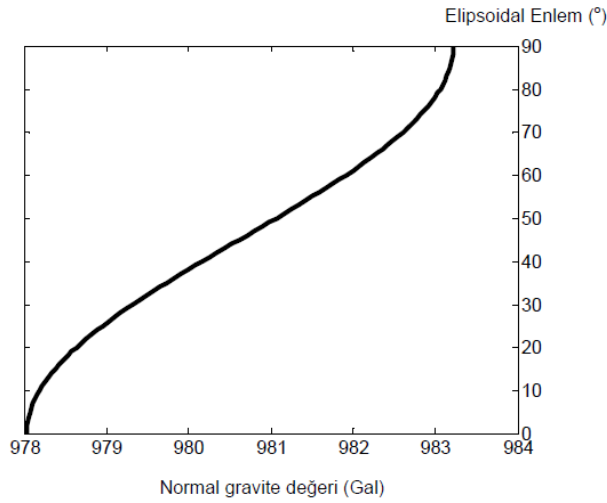
Gravitenin bir bileşeni olan merkezkaç kuvvetinin boylam dairesi boyunca değişmesindendolayı, gravite de enleme bağlı olarak değişir. Fiziksel yeryüzünde elde edilen gravite değerlerinden bu etkiyi çıkarmak için normal gravite değeri kullanılır. Normal gravite

değeri Somigliana eşitliği ile aşağıdaki biçimde ifade edilir.

$$\gamma = \gamma_e \frac{1+k\sin^2\varphi}{\sqrt{1-e^2\sin^2\varphi}} \quad (2.20)$$

Burada, γ_e , ekvatordaki normal gravite değeri; φ , elipsoidal enlem; k , normal gravite sabitini, e^2 , referans elipsoidinin birinci dışmerkezlik elemanını ifade eder.

Normal gravite formülü ile gravite, homojen elipsoidal model için jeodezik enlem ve yüksekliğe bağlı bir fonksiyon olarak tanımlanır (Şekil 2.5) (Aydın, 2007).



Şekil 2.4 Normal gravite değerinin elipsoidal enlemle değişimi (Aydın, 2007)

2.3.3 Kütle Nedeniyle Gravite Değişimi

Yeryuvarının kütle dağılımındaki değişimler gravitenin değişmesine neden olur. Yoğunluğu sabit ($\rho=sbt$), H kalınlığında ve S yarıçaplı bir tabakanın çekim potansiyeline etkisi,

$$U = \pi G \rho \left[-H^2 + H\sqrt{S^2 + H^2} + S^2 \ln \frac{H + \sqrt{S^2 + H^2}}{H} \right] \quad (2.21)$$

eşitliği ile ifade edilir. Potansiyelin, tabaka yüksekliğine göre türevi, düşey çekim etkisini verir:

$$-\frac{\partial U}{\partial H} = 2\pi G \rho (S + H - \sqrt{S^2 + H^2}) \quad (2.22)$$

$S = \infty$ ile Bouguer tabakası bulunur. Bouguer tabakasının gravite değişimine etkisi

$$\delta_g = 2\pi G \rho H \quad (2.23)$$

eşitliği ile hesaplanır (Torge, 1989; Aydın, 2007).

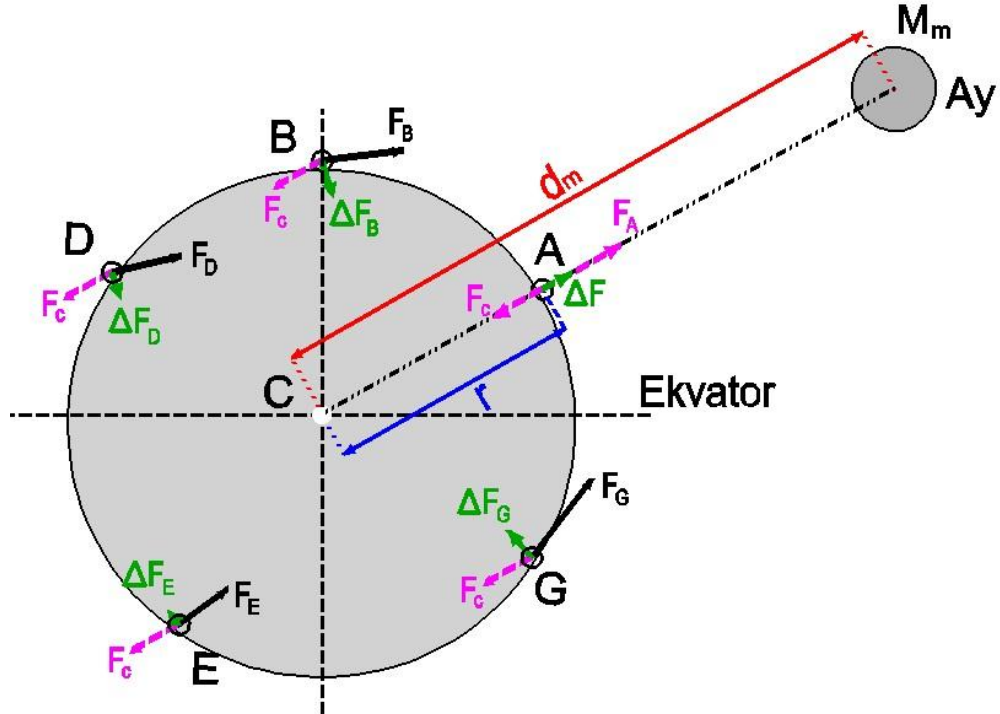
2.3.4 Gelgit Kuvveti ve Gelgit Potansiyel Modelleri

Gök cisimlerinin yeryuvarına çekim etkileri, okyanus ve karalarda deniz gelgiti ve kara gelgiti olarak ifade edilen deformasyonlara neden olur. Gök cisimlerinin konumları, zamanın fonksiyonudur ve bu nedenle gelgit potansiyelleri de zamanın fonksiyonu olarak tanımlanabilir.

Yeryuvarının biçimi düzgün bir küre olarak kabul edilirse, yeryuvarı üzerinde bulunan bir A noktasında Ay'ın çekim etkisi nedeniyle meydana gelen gelgit kuvvetinin büyüklüğü, Ay'ın çekim kuvveti (F_A) ile merkezkaç kuvvetinin (F_C) farkına eşit olur (Şekil 2.5).

$$\Delta F = F_A - F_C = \frac{GM_m}{d_m^2} - \frac{GM_m}{(d_m - r)^2} \quad (2.24)$$

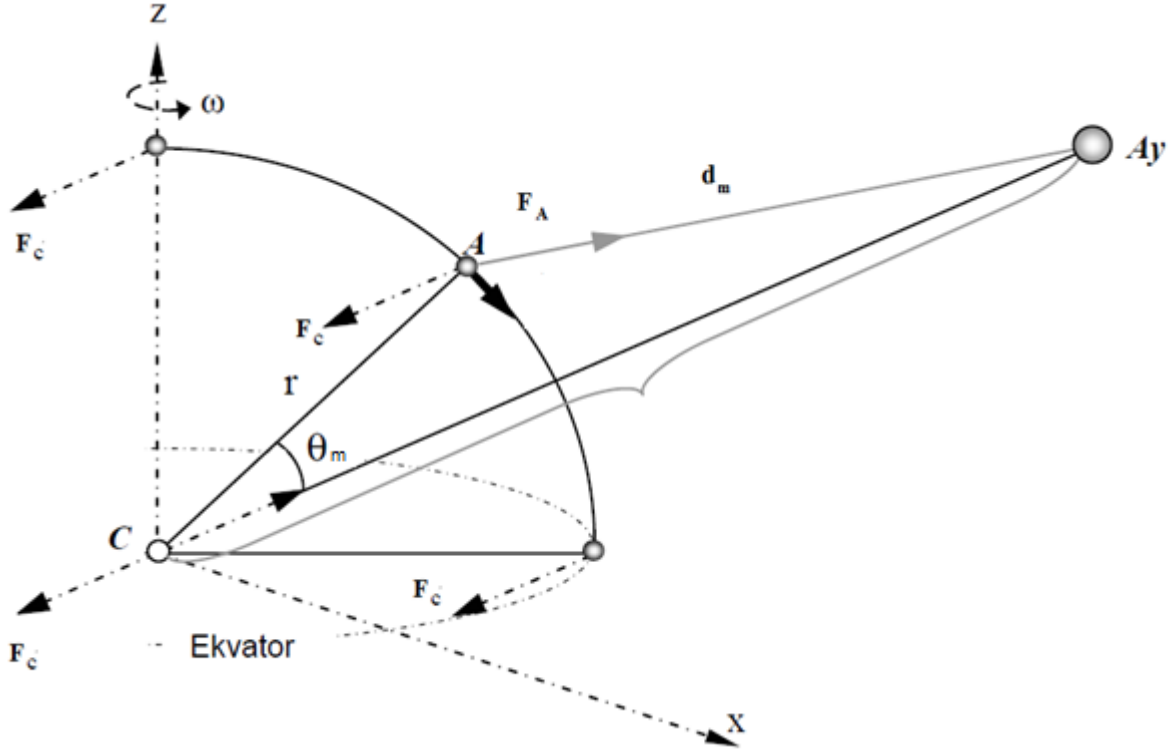
Burada M_m Ay'ın kütlesini; d_m , Ay ile yeryuvarının ağırlık merkezi arasındaki uzaklığı; r , A noktası ile yeryuvarının ağırlık merkezi arasındaki uzaklığı ifade eder. Yeryuvarının biçimi küre olarak kabul edilirse gelgit kuvvetinin düşey bileşeni, F_A ile F_C 'nin düşey bileşenlerinin farkı olarak ifade edilebilir (Vanicek, 1973).



Şekil 2.5 Yeryuvarında Ay'ın çekim etkisiyle oluşan gelgit kuvveti

$$\Delta F = GM_m \left(\frac{\cos \theta}{(d_m^2 - r)^2} - \frac{\cos \theta_m}{d_m^2} \right) \quad (2.25)$$

Burada θ ve θ_m başucu açılarını ifade eder (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Yeryuvarında bir A noktasında Ay'ın çekim etkisiyle oluşan gelgit kuvveti (Aydın, 2007)

Gelgit potansiyeli harmonik seriye açılımın ikinci dereceden terimlerinin toplamı biçiminde:

$$W_m = \frac{3}{2} GM_m \frac{r^2}{d_m^3} (\cos^2 \theta_m - \frac{1}{3}) \quad (2.26)$$

yazılabilir (Torge, 1989). Ay için gelgit ivmesinin düşey bileşeni

$$b_m = \frac{\partial W_m}{\partial r} = \frac{GM_m r}{d_m^3} (3 \cos^2 \theta_m - 1) + \frac{3}{2} \frac{GM_m r^2}{d_m^4} (5 \cos^3 \theta_m - 3 \cos \theta_m) \quad (2.27)$$

ve Güneş için gelgit ivmesinin düşey bileşeni benzer şekilde

$$b_s = \frac{\partial W_s}{\partial r} = \frac{GM_s r}{d_s^3} (3 \cos^2 \theta_s - 1) \quad (2.28)$$

olarak ifade edilir. Burada M_s , Güneş'in kütlesini; d_s , Güneş ile yeryuvarının merkezleri arasındaki uzaklığı; θ_s , Güneş'in merkezsiz zenit açısını ifade eder.

Yeryuvarı üzerindeki bir A noktasındaki gelgit ivmesinin düşey bileşeni:

$$b = b_m + b_s \quad (2.29)$$

olur.

Küresel olarak simetrik dönmeyen ve elastik yapıda olan yeryuvarı için kara gelgitleri Love deformasyon kuramıyla açıklanmaktadır. Bu kurama göre elastik yeryuvarının gelgit potansiyeli (W_{el}), katı yeryuvarının gelgit potansiyelinin (W) bir fonksiyonudur (Torge, 1989).

$$W_{el} = W(1 + \tilde{k} - \tilde{h}) \quad (2.30)$$

Burada \tilde{k} ve \tilde{h} gelgit deformasyonunun harmonik açılımının derecelerine bağlı olan Love parametreleridir. Gelgitin ölçülen genliği ile teorik genliği arasında

$$\delta = 1 - 1.5\tilde{k} + \tilde{h} \quad (2.31)$$

oranı bulunur. 2. dereceden harmonik seri için $\tilde{k}=0.3$ ve $\tilde{h}=0.61$ değerlerini alır. Buradan gravimetrik çarpanın değeri $\delta=1.16$ elde edilir. Bu değer global ortalama değer olarak bilinmektedir (Aydın, 2007).

Günümüzde, gravimetrik gelgitin hesaplanması için çeşitli gelgit potansiyel modelleri kullanılmaktadır. Bu yüksek doğruluklu modeller ile kullanılan dalga sayıları Çizelge 2.1’de verilmiştir. Cartwright-Tayler-Edden (CTE) modeli, Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği, tarafından standart model olarak kabul edilmiştir (Torge, 1989).

Çizelge 2.1 Gelgit Potansiyel Modelleri ve Dalga Sayıları

Model	Dalga Sayısı
Doodson-1921	378
Cartwright – Tayler – Edden (CTE) 1973	505
Buellesfeld-1985	665
Tamura – 1987	1200
Hartmann ve Wenzel - 1995	12935

2.3.5 Zamansal Gravite Değişimleri

Ay ve Güneş'in etkileri giderildikten sonra geriye kalan gravite değişimi, kütle hareketleri nedeniyle oluşan değişimdir. Bunlar, mevsimsel etkiler, mikrosismik hareketler, depremsel sismik hareketler, volkanik hareketler, deprem öncesi ve sonrası hareketlerdir(Torge, 1989). Kütle hareketinin türüne göre gravitede meydana gelen değişimler Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Kütle hareketleri nedeniyle oluşan (gelgit etkilerinden arındırılmış) zamansal gravite değişimleri (Aydın, 2007)

Kütle hareketinin türü	Gravite Değişiminin	
	Periyodu	Genliği
Yapay mikrosismik hareketler	0,1 – 1 saniye	0,3-10 μ Gal
Doğal mikrosismik hareketler	1 – 10 saniye	1 – 100 μ Gal
Depremsel sismik hareketler	0,5 – 100 saniye	10 – 1000 μ Gal
Volkanik ve kosismik hareketler	1 gün – 1 yıl	2 – 1000 μ Gal
Yer altı su seviyesi değişimleri (mevsimsel etki)*	1 gün – 1 yıl	0,3 – 12 μ Gal
Deprem öncesi ve sonrası hareketler	1 – 10 yıl	1 – 50 μ Gal
Buzul çağ sonrası izostatik erime	1 – 300 yıl	0,8 – 100 μ Gal

* Genliğin büküm noktası yaklaşık 6 ay

3. GRAVİTE ÖLÇMELERİ VE ÖLÇÜLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yeryuvarının gravite alanının tespiti için üç farklı ölçme yöntemi bulunur. Bunlar yersel yöntem, hava gravimetrisi ve uzaysal yöntemdir. Fiziksel yeryüzündeki bir noktanın μGal inceliğinde gravite değerinin belirlenmesini mümkün kılan, noktada durarak yapılan ölçmeler (yersel yöntem) bu bölümün ana konusunu oluşturmaktadır.

Hava gravimetrisi, bir uçak ve üzerindeki ivme ölçere dayalı bir sistemdir ve genellikle bölgesel jeoit belirleme çalışmalarında kullanılır.

Uzaysal yöntemler, CHAMP (CHALLENGING Minisatellite Payload), GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) ve GOCE (Gravity Field and steady-state Ocean Circulation Explorer) gibi alçak yörüngeli yapay uydularda bulunan sensörlere dayanır. Bu uyduların yöntemleri, gravite alanının uzun dalga boylu kısmının ifadesinde yüksek çözünürlük sağlamaktadır (Üstün, 2002; Karşlıoğlu, 2005; Kılıçoğlu, 2009).

Gravite ölçmeleri yersel olarak, mutlak veya bağıl yöntemlerle gerçekleştirilir. Mutlak ölçmede, ölçü noktasının mutlak gravite değeri belirlenir. Bağıl yöntemde iki nokta arasındaki gravite farkı belirlenir.

3.1 Mutlak Gravite Ölçmeleri

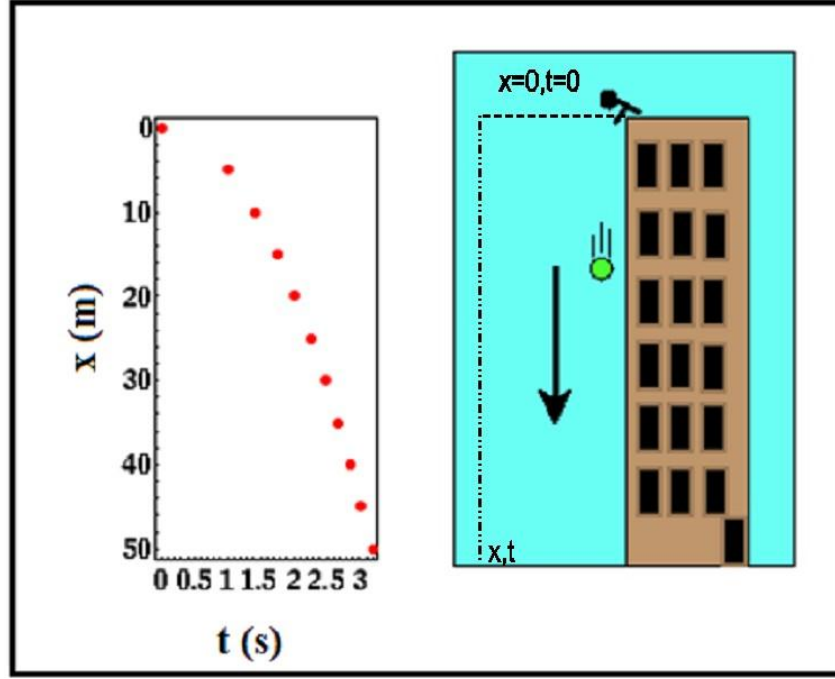
Mutlak gravite değeri, serbest düşen cisim veya bir sarkaç sistemi kullanılarak belirlenebilir. Mutlak yöntemde, ivmenin temel bileşenleri olan uzunluk ve zamanın her ikisi birden ölçülür. (Aydın, 2007).

Günümüzde kullanılan mutlak gravite ölçerler genellikle serbest düşüş ilkesine dayanmaktadır. Mutlak gravite değerinin belirlenmesi, serbest düşen veya fırlatılan bir cismin önceden belirlenmiş bir mesafe boyunca aldığı zamanın belirlenmesine dayanır (Şekil 3.1).

Yerin çekim alanında serbest düşmeye bırakılan bir cismin t zaman sonra aldığı yolun uzunluğu,

$$x = gt^2/2 \quad (3.1)$$

eşitliğiyle verilir.

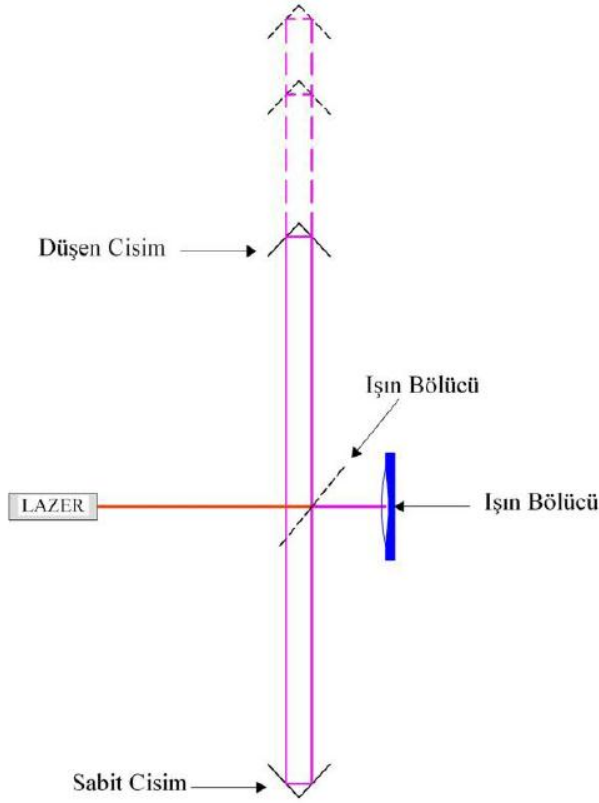


Şekil 3.1 Düşen cismin hareketi

Cismin kat ettiği yol ile zamanı ölçerek değeri elde etmek için gereken koşullar şunlardır (Sanver ve İşseven, 2007):

- Havanın sürtünmesini engellemek için serbest düşme, hava sürtünmesinin olmadığı bir ortamda gerçekleştirilmelidir.
- Gravitenin 0.1 mGal duyarlıkla ölçülmesi için uzaklığın 10^{-5} cm duyarlıkla ölçülmesi gerekir.
- Gravitenin 0.1 mGal duyarlıkla ölçülmesi için zamanın 10^{-9} s duyarlıkla ölçülmesi gerekir.

Bursa-Uludağ arasında kurulan gravite kalibrasyon baz ölçümlerinde kullanılan A10 model mutlak gravite ölçerler ile gravite değerinin belirlenmesi de enterferans yöntemiyle serbest düşmenin izlenmesi ilkesine dayanır. Düşme bölgesinin en üst kısmında bulunan bir yansıtıcının serbest bırakılmasıyla, sabit dalga boylu bir lazer ışını, lazer bölücü ile ikiye ayrılır ve düşmekte olan yansıtıcı ile alt bölümdeki sabit yansıtıcıya iki farklı ışın olarak akar (Şekil 3.2). Zaman ve mesafe bilgilerinin oluşturulması için kullanılan fringe (girşim saçığı) sinyalleri, düşen yansıtıcı ivmelenirken fotodiyot yardımıyla belirlenir (Özdiğer, 2010).



Şekil 3.2 Düşen cisim yardımıyla mutlak gravitenin belirlenmesi (solda), A10 model mutlak gravite ölçer (sağda)

Mutlak gravite ölçmeleri genellikle ülke ağlarının oluşturulmasında veya bağıl gravite ölçerlerin kalibrasyonlarını gerçekleştirmek amacıyla kullanılır. Günümüzde mutlak gravite ölçerler arazi koşullarına eskiye göre daha elverişli olsa da, pratik ve ekonomik nedenlerle tekrarlı ölçüler ile gravite değişimlerinin belirlenmesi için bağıl gravite ölçmeleri tercih edilmektedir.

3.2 Bağıl Gravite Ölçmeleri

Bağıl gravite ölçmeleri, bir bölgede birden fazla noktadaki gravite değişimlerini belirlemek için kullanılır. Bu yöntemde sadece uzunluk veya sadece zaman ölçülerek iki nokta arasındaki gravite farkı belirlenir. Bağıl gravite ölçmeleri, dinamik ve statik yöntemler olarak incelenebilir.

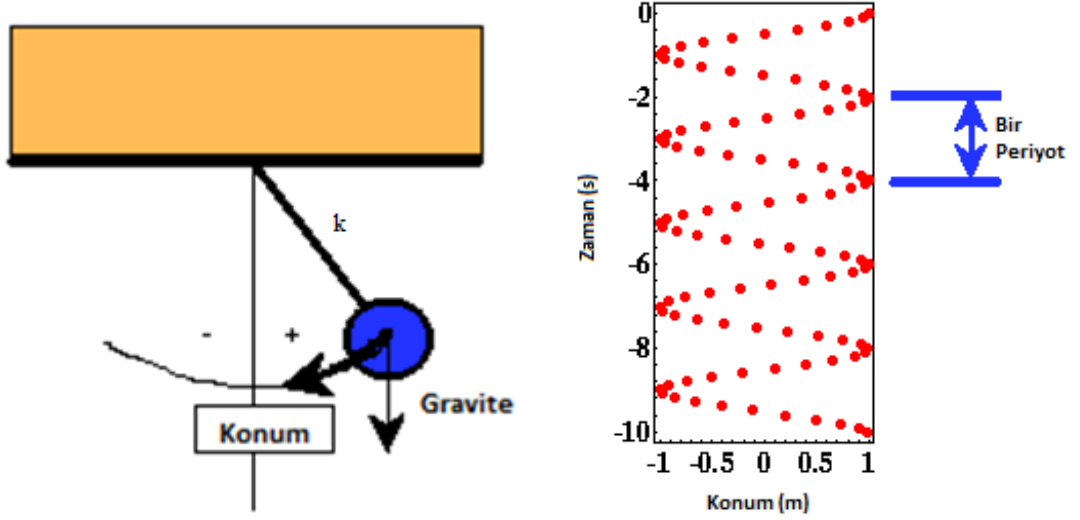
Dinamik yöntemlere örnek olarak sarkaç yöntemi gösterilebilir. Sarkaç bir ipin bir ucuna rahatlıkla sallanabilecek şekilde bağlanan bir kütle ile oluşturulan düzendir (Şekil3.3). Düzener, yerçekimi kuvveti etkisiyle denge durumunu koruma davranışındadır. Kütle, denge konumundan alındığında yerçekimi kuvveti tarafından denge noktasına getirilmek için bir

salınım hareketine yol açar.

Bu salınımın periyodu,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{k}{g}} \quad (3.2)$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada k, sarkacın boyunu ifade etmektedir.



Şekil 3.3 Sarkaç sistemli gravite ölçer

A ve B noktalarındaki gravite (3.2) eşitliğinden

$$g_A = 4\pi^2 \frac{k}{T_A^2} \quad \text{ve} \quad g_B = 4\pi^2 \frac{k}{T_B^2} \quad (3.3)$$

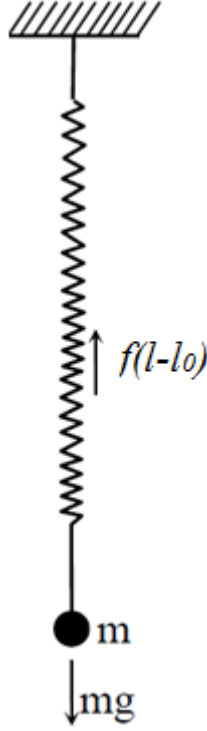
olur ve iki nokta arasındaki gravite farkı,

$$g_B - g_A = 4\pi^2 k \left(\frac{1}{T_B^2} - \frac{1}{T_A^2} \right) \quad (3.4)$$

olarak ifade edilir.

Statik yöntem, elastik kuvvetle statik denge yay sistemleri ve elastik olmayan kuvvetle statik denge (elektrostatik basınç kuvveti) sistemleri olarak iki grupta incelenir (Torge, 1989).

Elastik kuvvetle statik denge yay sisteminde temel olarak, yaya bağlanan bir kütlelin denge durumuna getirilmesiyle yayın hareket miktarı ölçülür (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Bağıl gravite ölçerler için yay sistemi

Herhangi bir gerilme kuvveti etkisinde olmadığında uzunluğu l_0 olan yayın ucuna m kütleli cisim eklendiğinde, belli bir salınım sonrasında yayın uzunluğu l kadar olur. Yay, denge durumunda kendini gravite ivmesinin tersi yönünde

$$mg = f(l - l_0) \quad (3.5)$$

kuvvetiyle çeker ve m kütesine gravite alanı tarafından mg kuvveti uygulanır. Burada f yay sabitidir. m/f oranı bilinmediğinden bu yöntemle mutlak gravite ölçülemez.

Δg gravite değişimine karşılık yay boyunda meydana gelen değişim:

$$\Delta l = \frac{m}{f} \Delta g \quad (3.6)$$

olur. Yayın periyodu T_0 olmak üzere:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{m/f} = 2\pi\sqrt{(l - l_0)/g} \quad (3.7)$$

yay boyunda meydana gelen değişim,

$$\Delta l = \frac{T_0^2}{4\pi^2} \Delta g \quad (3.8)$$

olarak da ifade edilebilir (Aydın, 2007).

Süper iletken gravite ölçerler (Şekil 3.5), mekanik yay sistemi yerine, süper iletken bir cismin,

süper iletken bobinler tarafından üretilen akımın oluşturduğu kararlı bir manyetik alanda kaldırılmasına dayanmaktadır. Ölçmelerin laboratuvar koşullarında gerçekleştirildiği süper iletken gravite ölçerler ile gravite 10^{-3} μGal duyarlılığında belirlenebilmektedir (Goodkind, 1999).



Şekil 3.5 GWR SG30 marka süper iletken gravite ölçer

3.3 Bağlı Gravite Ölçülerinin İndirgenmesi

3.3.1 Kalibrasyon Fonksiyonu ve Yaklaşık Kalibrasyon

Bağlı gravite ölçerlerle elde edilen değerler sayaç (C.U) birimindedir. Sayaç biriminde elde edilen okumaların ivme birimine dönüştürülmesi gerekmektedir. Sayaç birimindeki okuma değeri ile gravite değeri arasındaki ilişki kalibrasyon fonksiyonu ile tanımlanır. Kalibrasyon fonksiyonu, her bir gravite ölçer için farklıdır ve yay sisteminin elastik yapısındaki değişimler nedeniyle zamana ve ölçülen gravite farkının büyüklüğüne göre değişiklik gösterir (Aydın,2007).

Zamana bağlı değişimler göz ardı edilirse, kalibrasyon fonksiyonu için

$$g = F(z) \quad (3.9)$$

ifadesi yazılır. Burada g , gravite değerini; z , sayaç biriminde elde edilen gravite okumasını ifade etmektedir. Kalibrasyon fonksiyonunun doğrusal ve doğrusal olmayan bileşenleri bir polinomla ifade edilir:

$$F_{pol}(z) = N + \sum_{k=1}^m Y_k z^k \quad (3.10)$$

Burada N , gravite ölçer düzeyini; Y_k , k . dereceden polinomun katsayısını ifade etmektedir. Periyodik bileşen,

$$F_{per}(z) = \sum_{l=1}^n (x_l \cos \omega_l z + y_l \sin \omega_l z) \quad (3.11)$$

fonksiyonu ile ifade edilir. Burada y_1 , katsayıları, ω_1 , gravite ölçer frekansını ifade etmektedir. Kalibrasyon fonksiyonu, polinomal ve periyodik fonksiyonların toplamına eşit olur.

$$F(z) = F_{pol}(z) + F_{per}(z) \quad (3.12)$$

Yaklaşık kalibrasyon fonksiyonu, üretici firma tarafından, laboratuvar ve arazi ölçümlerinden yararlanılarak elde edilir ve her bir gravite ölçer için farklıdır (Torge,1989).

(3.10) kalibrasyon fonksiyonu olarak, genellikle, z okumasının yaklaşık kalibrasyonu sonucunda elde edilen c değerinin doğrusal bir fonksiyonu kullanılır (Aydın,2007).

$$g = F(z) = N + c + \delta Yc = N + c(1 + \delta Y) \quad (3.13)$$

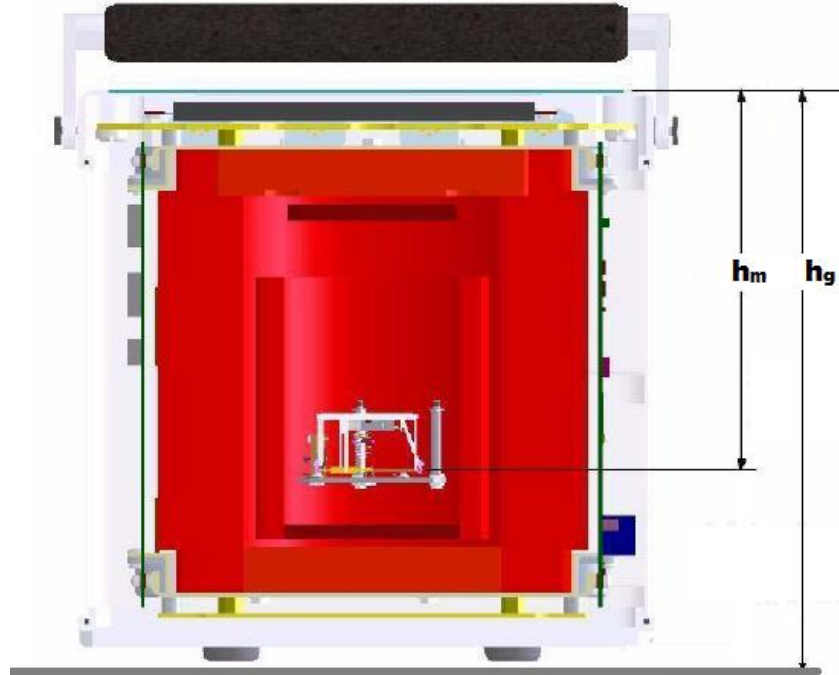
Burada, δY , kalibrasyon çarpanı düzeltmesini; $1 + \delta Y$ ise kalibrasyon çarpanını ifade eder.

3.3.2 Nokta Yüksekliğine İndirgeme

Kalibrasyon fonksiyonuyla ivme birimine dönüştürülmüş okuma değeri, gravite ölçerin sıfır konumuna ilişkin değerdir. Sıfır konumu ile gravite noktası arasında

$$\delta h = h_g - h_m \quad (3.14)$$

kadar yükseklik farkı bulunur. Burada h_g gravite noktası ile gravite ölçerin üst kısmı arasındaki mesafe, yani ölçülen uzunluk, h_m de gravite ölçerin üst kısmı ile sıfır konumu arasındaki sabit olan uzaklıktır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Nokta yüksekliğine indirgeme için kullanılan yükseklikler

Buna göre gravite okumasına getirilmesi gereken düzeltme (2.19) eşitliği ile,

$$dc_h = -0.3086 \left(\frac{mGal}{m} \right) * \delta h \quad (3.15)$$

bulunur. Nokta yüksekliğine indirgenmiş değer böylece,

$$c_{ind} = c - dc_h \quad (3.16)$$

olur.

3.3.3 Gelgit İndirgemesi

Bölüm 2.3.4'te açıklandığı gibi, Ay ve Güneş'in yeryuvarına olan çekim etkisi nedeniyle, esnek yapıdaki yer kabuğunda gelgit deformasyonları meydana gelir. Gravite ölçülerinin bu etkilerden arındırılması gerekir.

Ayın ve güneşin çekim etkisine bağlı olarak

$$\Delta g_{ms} = \delta(b_m + b_s) \quad (3.17)$$

değeri, yaklaşık kalibre edilmiş gravite okumasından çıkarılarak indirgenmiş değer elde edilir.

3.3.4 Atmosferik Basınç İndirgemesi

Gravite okumaları, atmosferik basıncın etkisi altındadır. Deniz yüzeyindeki atmosferik basınç yani normal basınç (p_n) ile ölçü noktasındaki atmosferik basınç (p_{atm}) değerinin farklı olması nedeniyle, gravite okumalarının indirgenmesi gerekir. Normal basınç değeri, H ortometrik yüksekliği ile,

$$p_n = 1013.25 \left(\frac{1 - 0.0065 H(m)}{288.15} \right)^{5.2559} hPa \quad (3.18)$$

olmak üzere, atmosferik basınç indirgemesi

$$dg_{atm} = 3 * 10^{-4} (p_n - p_{atm})_{hPa} mGal \quad (3.19)$$

olarak ifade edilir (Torge, 1989).

3.3.5 Gravite Ölçer Drifti

Bir noktadaki uzun süreli okumalarda veya arazideki ölçme işlemleri sırasında, gravite ölçerin yay sisteminin sıfır konumunda zamana bağlı değişiklikler meydana gelir. Bu değişim gravite ölçer drifti olarak adlandırılır ve aletin kullanım biçimi, ömrü, ölçme ve taşıma sırasında meydana gelen ani atmosferik değişimler ve sarsıntılar nedeniyle farklı zaman aralıklarında farklı değerlere ulaşır. Drift, tekrarlı ölçüler yardımıyla öngörülen zamana bağlı uygun bir

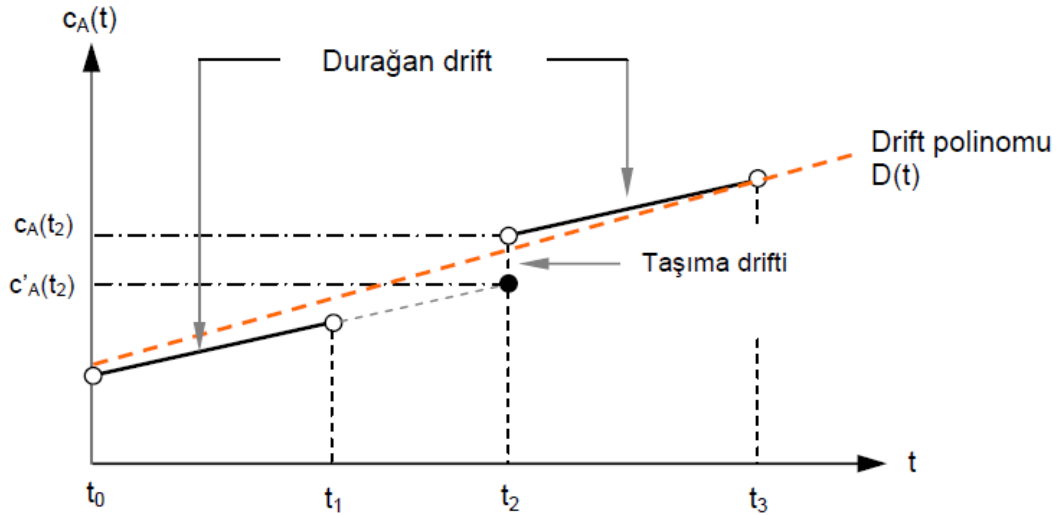
fonksiyonla belirlenir.

Yaklaşık kalibre edilmiş ve indirgenmiş okuma değeri $c(t)$ 'nin elde edilmesinden sonra, driftin olmadığı t_0 zamanında yapılan $c(t_0)$ okumasıyla $c(t)$ okuması arasında

$$c(t) = c(t_0) + D(t) = c(t_0) + \sum_{k=1}^w d_k(t - t_0)^k \quad (3.20)$$

ilişkisi vardır (Aydın, 2007). Burada $D(t)$, w . dereceden drift polinomunu, d_k ise polinom katsayısını ifade eder.

Gravite ölçerde, durağan drift ve taşıma drifti olarak adlandırılan iki tür drift vardır (Şekil 3.7). Durağan drift, bir gravite ölçerde her zaman vardır ve yay sistemin ömründen ve uzun dönemli atmosferik değişimlerden kaynaklanır. Taşıma drifti, gravite ölçerin bir noktadan diğerine taşınması sırasında meydana gelen ani sarsıntılar, ani sıcaklık ve basınç değişimlerinden kaynaklanan sıçramalar ile durağan driftten sapma olarak tanımlanır (Aydın, 2007).



Şekil 3.7 Durağan drift, taşıma drifti ve drift polinomu (Aydın, 2007)

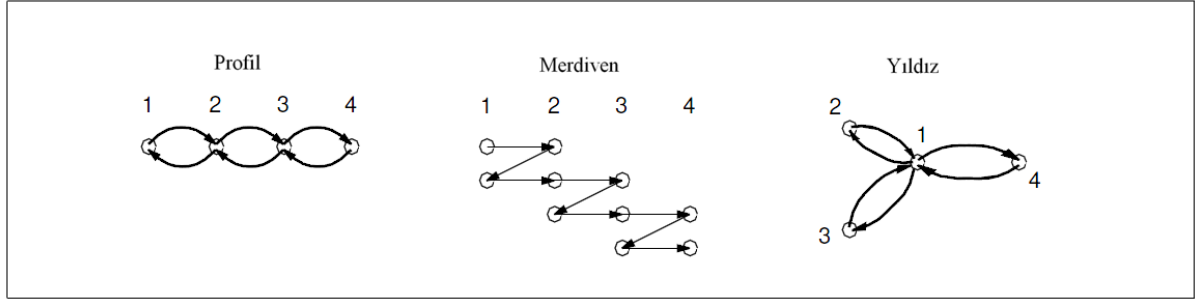
Driftin kontrol edilmesi için sıklıkla kullanılan üç ölçme yöntemi bulunur: Profil yöntemi, merdiven yöntemi ve yıldız yöntemi (Şekil 3.8).

Profil yönteminde, tüm noktalar (dönüş noktası hariç) iki kez ölçülür. Burada aynı noktalarda gerçekleştirilen iki ölçme arasındaki zaman farkı büyük olur. Hassas ağırlar ve kalibrasyon amaçlı ölçmeler için en uygun yöntem profil yöntemidir.

Merdiven yönteminde başlangıç ve bitiş noktaları hariç diğer tüm noktalar üç kez ölçülür. Aynı noktaların tekrarlı ölçümleri arasındaki zaman farkı küçüktür. Bu yöntem kısa zaman

aralığında oluşan sapmaların belirlenmesi için uygun bir yöntemdir.

Yıldız yönteminde driftin belirlenmesi için merkez noktadaki tekrarlı ölçülerden yararlanılır, diğer noktalar birer kez ölçülür (Grgić vd., 2008).



Şekil 3.8 Driftin belirlenmesi için kullanılan ölçme yöntemleri: Profil yöntemi (1-2-3-4-3-2-1), merdiven yöntemi (1-2-1-2-3-2-3-4-3-4), yıldız yöntemi (1-2-1-3-1-4-1).

3.4 Bağlı Gravite Ölçülerinin Dengelenmesi

j noktasında, t_i zamanında elde edilen, indirgenmiş $c_j(t_i)$ ölçüsü ile bu noktanın gravite değeri arasındaki ilişki, (3.13) kalibrasyon fonksiyonundan

$$c_j(t_i) = g_j - N - \delta Y c_j(t_i), i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, p \quad (3.21)$$

eşitliği ile tanımlanır. Burada g_j , j noktasının gravite değerini; N , ölçülen geçki için geçerli olan gravite ölçer düzeyini; n , geçkideki toplam ölçü sayısını; p , ölçülen nokta sayısını ifade etmektedir.

Gravite ölçüleri driftin etkisinde olduğundan, $c_j(t_i)$ ölçülerinden bu etkinin çıkarılması gerekir. (3.9) eşitliğinden, driftin olmadığı t_0 başlangıç zamanı ile t_i ölçü zamanı arasında

$$D(t_i) = d_1(t_i - t_0) + d_2(t_i - t_0)^2 + \dots + d_k(t_i - t_0)^k \quad (3.22)$$

kadar drift etkisi vardır. Drift etkisinin $c_j(t_i)$ ölçülerinden çıkarılmasıyla

$$c_j(t_i) - D(t_i) = g_j - N - \delta Y c_j(t_i) \quad (3.23)$$

eşitliği elde edilir. g_j ve N bilinmeyenleri,

$$g_j = g_{0,j} + \delta g_j \text{ ve } N = N_0 + \delta N \quad (3.24)$$

olarak ifade edilir. Burada $g_{0,j}$, yaklaşık gravite değerini; δg_j , küçültülmüş gravite bilinmeyenini; N_0 , yaklaşık gravite ölçer düzeyini ve δN küçültülmüş gravite ölçer bilinmeyenini ifade eder. Küçültülmüş ölçüler

$$l_i = c_j(t_i) - g_{0,j} + N_0 \quad (3.25)$$

olarak yazılır ve düzeltme denklemi

$$v_i = \delta g_j - \delta N - \delta Y c_j(t_i) - l_i \quad (3.26)$$

olur (Hwang vd. 2002).

Bilinen veya belirlenen bir σ_0^2 önsel varyansı ile bir i ölçüsünün ağırlığı

$$P_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_i^2} \quad (3.27)$$

olarak tanımlanır.

En küçük kareler ilkesi

$$\Phi = \mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} = \min \quad (3.28)$$

ile normal denklemler, $\mathbf{N} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A}$ ve $\mathbf{n} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l}$ gösterimleri ile,

$$\mathbf{N} \mathbf{x} - \mathbf{n} = \mathbf{0} \quad (3.29)$$

olur. Burada, \mathbf{A} katsayılar matrisi, \mathbf{P} ağırlık matrisi, \mathbf{v} düzeltme vektörü, \mathbf{N} normal denklem katsayılar matrisi, \mathbf{n} ise yalın terimler vektörüdür. Bilinmeyenler vektörü (3.29)'dan

$$\mathbf{x} = \mathbf{N}^{-1} \mathbf{n} = \mathbf{Q}_{xx} \mathbf{n} \quad (3.30)$$

biçiminde bulunur. Burada \mathbf{Q}_{xx} , ağırlık katsayıları matrisidir.

Birim ağırlıklı ölçünün varyansı s_0^2 ile bilinmeyenlerin varyansları s_i^2

$$s_0^2 = \frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{n-u} = \frac{(\mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{l})^T \mathbf{P} (\mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{l})}{n-u} \quad (3.31)$$

$$s_i^2 = s_0^2 Q_{xx(i)} \quad (3.32)$$

eşitlikleri ile elde edilir. Burada u, bilinmeyen sayısını, $Q_{xx(i)}$ ise i. bilinmeyen ağırlık katsayısını ifade etmektedir (Demirel, 2003).

3.4.1 Kaba Hatalı Ölçülerin Belirlenmesi

Jeodezik ölçülerde, kullanılan ölçme aletlerinden, alet operatöründen kaynaklanan hatalardan veya çevresel etkilerden dolayı sistematik, rastgele ve kaba hatalı olarak sınıflandırılan hatalar ortaya çıkmaktadır. Sistematik hatalar modellenebilmektedir; ancak rastgele hataların belirlenmesi ve ölçüler üzerindeki etkisinin giderilmesi mümkün değildir. Rastgele hatalar normal dağılımlı kabul edilir ve normal dağılımdan sapan rastgele hataların bulunduğu ölçüler kaba hatalı veya uyuşumsuz ölçülerdir.

En küçük kareler yöntemiyle uyşumsuz ölçülerin belirlenmesinde, uygulanan test yöntemine göre her bir ölçü için hesaplanan test değerleri içinde en büyük olanı, ilgili testin sınır değerinden büyükse, uyşumsuz ölçüye aittir. Bu ölçü, ölçü grubundan çıkarılır, kalan ölçülerle tekrar dengeleme yapılır ve bu işlem uyşumsuz ölçü kalmayıncaya kadar devam eder.

Uyşumsuz ölçü testinde, standartlaştırılmış düzeltme kullanılır:

$$\bar{v}_i = |v_i/s_{v_i}| \quad (3.33)$$

Burada v_i , ölçünün düzeltmesini, s_{v_i} , düzeltmenin standart sapmasını ifade eder. Test yöntemlerine göre standartlaştırılmış düzeltmeler,

$$\text{Baarda } \bar{v}_{i,B} = \frac{|v_i|}{\sigma_0 \sqrt{Q_{v_i v_i}}} \sim N(0,1) \text{ Standart normal dağılımlı} \quad (3.34)$$

$$\text{Pope } \bar{v}_{i,P} = \frac{|v_i|}{s_{0i} \sqrt{Q_{v_i v_i}}} \sim \tau_f \quad \text{Tau dağılımlı} \quad (3.35)$$

$$\text{t testi } \bar{v}_{i,t} = \frac{|v_i|}{s_{0i} \sqrt{Q_{v_i v_i}}} \sim t_{f-1} \quad \text{t dağılımlı} \quad (3.36)$$

$$Q_{v_i v_i} = \frac{1}{P_i} - \bar{Q}_{l_i l_i} \quad (3.37)$$

olur. Burada σ_0^2 , önsel varyansı; s_{0i}^2 , ilgili ölçünün dışında kalan ölçülerin dengelenmesi sonucunda elde edilen sonsal varyansı; $Q_{v_i v_i}$, i. ölçünün düzeltmesinin kofaktörünü ve $\bar{Q}_{l_i l_i}$, i. dengeli ölçünün kofaktörünü göstermektedir.

Hesaplanan standartlaştırılmış düzeltmelerin en büyüğü, ilgili dağılımın güven sınırından büyükse;

$$\bar{v}_{B,max} > u_{1-\alpha_0/2} \quad (3.38)$$

$$\bar{v}_{P,max} > \tau_{f,1-\alpha_0/2} \quad (3.39)$$

$$\bar{v}_{t,max} > t_{f-1,1-\alpha_0/2} \quad (3.40)$$

bu düzeltmenin ait olduğu ölçü, uyşumsuz ölçüdür (Demirel, 2003).

3.5 Deformasyon Analizi

Deformasyon analizinin amacı, bir bölgedeki tekrarlı ölçümler yardımıyla, eşlenik noktaların konumlarındaki değişimleri istatistiksel olarak kanıtlamaktır.

3.5.1 Global Eşdeğerlik Testi

Global eşdeğerlik testinin amacı, aynı geometriye sahip bir bölgenin iki periyot arasında anlamlı bir deformasyon olup olmadığını araştırmaktır.

Global eşdeğerlik testi, her iki periyotta da bulunan yani eşlenik noktalar için yapılır. Eşlenik olmayan noktalar bir blok halinde düşünülerek dengeleme modelinden indirgeme ile yok edilebilir. Böylece yalnızca her iki periyotta eşlenik noktaların geçtiği indirgenmiş normal denklem sistemi elde edilir. Bu işlem ortak noktalara ilişkin kısmi iz minimum çözümüyle eşdeğerlidir (Demirel, 1992).

Her iki periyota ait gravite bilinmeyenleri vektörü; \mathbf{x}_{g1} ve \mathbf{x}_{g2} , ağırlık katsayıları matrisi; \mathbf{Q}_{xx1} ve \mathbf{Q}_{xx2} olarak gösterilirse, iki periyota ilişkin fark vektörü \mathbf{d} ile ağırlık katsayıları matrisi \mathbf{Q}_{dd}

$$\mathbf{d} = \mathbf{x}_{g1} - \mathbf{x}_{g2} \quad (3.41)$$

$$\mathbf{Q}_{dd} = \mathbf{Q}_{xx1} + \mathbf{Q}_{xx2} \quad (3.42)$$

eşitlikleri ile elde edilir. İki periyota ilişkin sonsal varyans kestirimleri ($s_{0,1}^2; s_{0,2}^2$) ile birleştirilmiş varyans aşağıdaki biçimde elde edilir.

$$s_d^2 = \frac{s_{0,1}^2 f_1 + s_{0,2}^2 f_2}{s_{0,1}^2 + s_{0,2}^2} \quad (3.43)$$

Burada f_1 ve f_2 periyotların serbestlik derecelerini göstermektedir.

Dengeleme modeline göre bulunan düzeltmelerin kareleri toplamındaki değişim miktarı

$$R = \mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{d} \quad (3.44)$$

eşitliği ile bulunur. Eşlenik noktaların sayısı u ile gösterilirse defekt sayısı 1 olan gravite ağırları için, R 'nin serbestlik derecesi

$$h_d = u - 1 \quad (3.45)$$

elde edilir. Test büyüklüğü

$$T = \frac{R}{h_d s_d^2} \sim F_{h_d, f_1 + f_2} \quad (\text{F - dağılımlı}) \quad (3.46)$$

eşitliği ile hesaplanır. T , F - dağılımının güven sınırı $F_{h_d, f_1 + f_2, 1 - \alpha}$ 'dan büyükse, ağda iki periyot arasında deformasyon olduğuna karar verilir. Burada, α toplam yanılma olasılığıdır.

3.5.2 Yerelleştirme

Global eşdeğerlik testi ile iki periyot arasında deformasyon olduğuna karar verildikten sonra deformasyonlu noktanın araştırması yapılır. Bu çalışmada yerelleştirme işlemleri maksimum aykırılık yöntemine göre yapılmıştır.

Maksimum aykırılık yöntemine göre yerelleştirmede sıra ile her noktada deformasyon olup olmadığı araştırılır. B indisi, araştırılan noktaya, F indisi diğer noktalara ilişkin elemanları göstermek üzere \mathbf{Q}_{dd} ve \mathbf{d} matrisleri

$$\mathbf{d} = \begin{bmatrix} \mathbf{d}_F \\ \mathbf{d}_B \end{bmatrix} \quad (3.47)$$

$$\mathbf{Q}_{dd}^+ = \mathbf{P}_{dd} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{FF} & \mathbf{P}_{FB} \\ \mathbf{P}_{BF} & \mathbf{P}_{BB} \end{bmatrix} \quad (3.48)$$

olarak alt matrislere bölünür. Buradan,

$$\bar{\mathbf{d}}_B = \mathbf{d}_B + \mathbf{P}_{BF}^{-1} \mathbf{P}_{BF} \mathbf{d}_F \quad (3.49)$$

$$\bar{\mathbf{P}}_{FF} = \mathbf{P}_{FF} - \mathbf{P}_{FB} \mathbf{P}_{BB}^{-1} \mathbf{P}_{BF} \quad (3.50)$$

$$\mathbf{R} = \mathbf{d}^T \mathbf{P}_{dd} \mathbf{d} = \mathbf{d}_F^T \bar{\mathbf{P}}_{FF} \mathbf{d}_F + \mathbf{d}_B^T \bar{\mathbf{P}}_{BB} \mathbf{d}_B \quad (3.52)$$

elde edilir. Tüm noktalar için sırayla R eşitliğinin ikinci kısmı hesaplanır ve nokta sayısı (u) kadar R_i elde edilir. R_i değeri maksimum olan noktada deformasyon olduğuna karar verilir.

$$R_i = \mathbf{d}_B^T \bar{\mathbf{P}}_{BB} \mathbf{d}_B \quad i = 1, 2, \dots, u \quad (3.53)$$

İki periyot arasındaki değişimin anlamlı olduğuna karar verilen nokta, datum tanımından çıkarılmalıdır. Bu işlem S-transformasyonu ile yapılır. \mathbf{S} matrisi

$$\mathbf{S} = \mathbf{I} - \mathbf{G}(\mathbf{B}^T \mathbf{G})^{-1} \mathbf{B}^T \quad (3.54)$$

eşitliği ile tanımlanır. Burada \mathbf{I} , $n \times n$ boyutlu birim matrisi ifade eder. \mathbf{G}^T ve \mathbf{B}^T koşul denklemleri katsayılar matrisleridir ($\mathbf{G}^T \mathbf{x} = \mathbf{0}$; $\mathbf{B}^T \mathbf{x} = \mathbf{0}$ ve $\mathbf{A} \mathbf{G} = \mathbf{0}$). \mathbf{B} matrisi, \mathbf{G} matrisinde datum tanımına katılmayacak noktalar için sıfır (0) yazılarak elde edilir. Kısmi iz minimum sonuçları

$$\mathbf{d}_i = \mathbf{S} \mathbf{d} \quad (3.55)$$

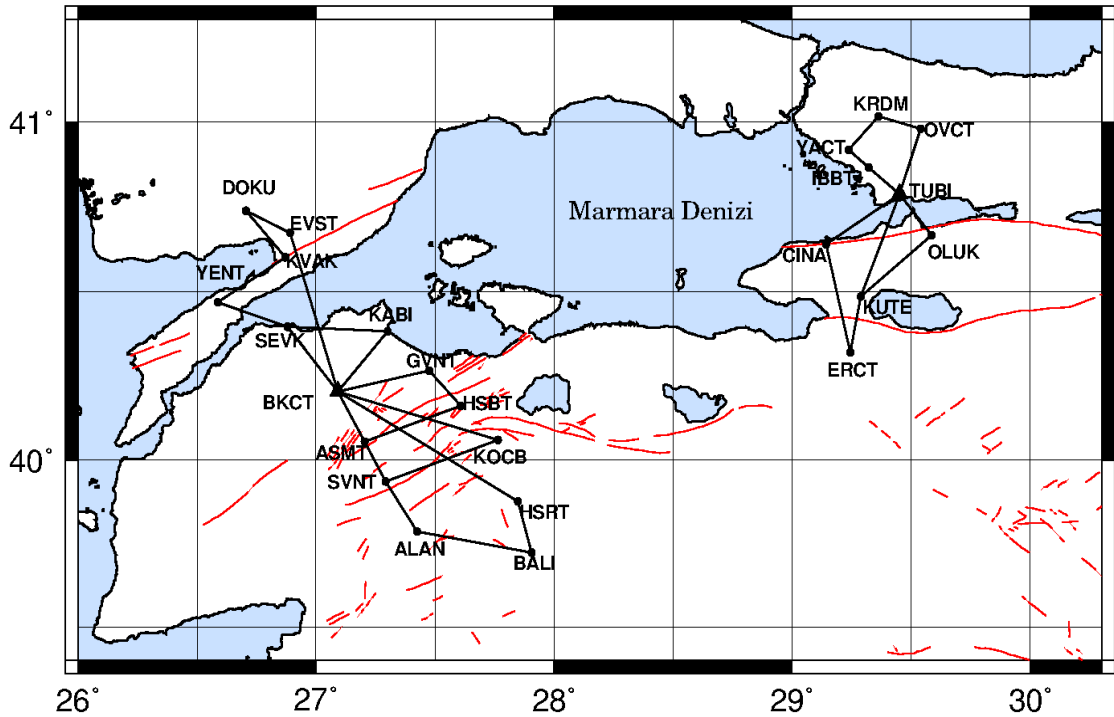
$$\mathbf{Q}_{ddi} = \mathbf{S} \mathbf{Q}_{dd} \mathbf{S}^T \quad (3.56)$$

eşitlikleri ile bulunarak, diğer noktalar için deformasyon araştırması, yerelleştirme, yukarıdaki biçimde tekrarlanır. Yerelleştirme işlemi, global test büyüklüğü ilgili güven sınırından küçük kalıncaya kadar sürdürülür (Demirel, 1992).

4. UYGULAMA

4.1 Bağıl Gravite Ölçmeleri

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) ile "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 Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü ile YTÜ Harita Mühendisliği Bölümü tarafından 2006 ile 2010 yılları arasında bağıl gravite ve GPS ölçmeleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Ölçülen gravite noktaları

Gravite ölçmeleri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi- Yer Bilimleri Enstitüsü tarafından sağlanan 2 adet Scientrix Autograv CG-5 model bağıl gravite ölçer kullanılarak yapılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Scientrix CG-5 model gravite ölçer

Scientrix Autograv CG-5 gravite ölçerin doğruluğu 10 μ Gal, duyarlılığı 1 μ Gal ve frekansı 6 Hz'dir, yani 1 saniyede 6 ölçüm gerçekleştirmektedir.

Bir okuma değerinin elde edilme süresi olan 60 saniyede 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 çıkarılmaktadır.

Ayrıca, gravite ölçerlerin, noktalar arasında taşınması sırasında oluşan sarsıntılar sonucunda gravite ölçer yay sisteminin durağan bir hale gelmesi (yaklaşık 10 – 15 dakika) sağlandıktan sonra oturma ölçmelerine başlanmıştır. Tüm oturma ölçmelerinde, her noktada, her iki gravite ölçerle 10 – 15 adet ölçü toplanmıştır.

Ölçme sırasında,

- ölçme tarihi ve saati,
- atmosferik basınç değeri,
- sıcaklık,
- alet yüksekliği,
- yaklaşık gravite okuması ve standart sapması

kaydedilmiştir.

Marmara'nın Doğu ve Batı bölgelerinin farklı tektonik yapıya sahip olmasından dolayı iki farklı gravite ağı kurulmuştur. Ağın özdeş noktaları aynı periyotlarda GPS ile de ölçülmektedir.

Marmara'nın Doğu ve Batı bölgelerinde oluşturulan gravite ağlarında daha önce

gerçekleştirilen çalışmalarda; Doğu için TUBI ve Batı için BKCT noktaları datum olarak seçildiği için, bu çalışmada da datum birliğini sağlamak adına aynı noktalar datum noktası olarak seçilmiştir (Şekil 4.1).

Periyotlara ilişkin ölçme dönemleri ve nokta dağılımı Çizelge 4.1 ve 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.1 Marmara-Doğu Bölgesi’nde ölçülen noktalar

N.No – Adı	DÖNEM					
	2006–Ekim	2007–Mayıs	2008–Mayıs	2009–Mayıs	2009–Ekim	2010–Mayıs
999-TUBI	+	+	+	+	+	+
1-IBBT	+		+	+	+	+
2-YACT	+		+	+		
3-KRDM	+		+	+	+	+
4-OVCT	+		+	+	+	+
5-KUTE	+	+	+	+	+	+
6-ERCT	+	+	+	+	+	+
7-CINA	+	+	+	+	+	+
8-OLUK	+	+	+	+	+	+

+ : Ölçü var

Çizelge 4.2 Marmara-Batı Bölgesi’nde ölçülen noktalar

N.No – Adı	DÖNEM					
	2006–Ekim	2007–Mayıs	2008–Mayıs	2009–Mayıs	2009–Ekim	2010–Mayıs
16-BKCT	+	+	+	+	+	+
10-ALAN	+	+	+	+	+	+
11-GVNT	+	+	+	+	+	+
12-HSBT	+	+	+	+		+
13-KOCB	+	+	+	+	+	+
14-HSRT	+	+	+	+	+	+
15-SVNT	+	+	+	+		+
17-ASMT	+	+	+	+		+
18-KABI	+	+	+	+	+	+
19-SEVK	+	+	+	+	+	+
20-YENT	+	+	+	+	+	+
21-DOKU	+	+	+	+	+	+
22-KVAK	+	+	+	+	+	+
23-EVST		+	+	+	+	
99-BALI	+	+	+	+	+	+

+ : Ölçü var

Bağıl gravite ölçmeleri, gravite ölçerlerin drift bilinmeyenlerinin belirlenmesi amacıyla, Bölüm 3.2.5'te açıklanan profil yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Ölçülen geçkiler ile kullanılan gravite ölçerlere ilişkin bilgiler Çizelge 4.3 - 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Marmara Bölgesi'nin doğusunda ölçülen geçkiler

Yıl-Dönem	Geçki No	Nokta Sayısı	Geçki Noktaları
2006-Ekim	100	4	999 - 1 - 2 - 3 - 2 - 1 - 999
	200	4	999 - 5 - 6 - 7 - 6 - 5 - 999
	300	3	999 - 8 - 5 - 8 - 999
	400	3	999 - 5 - 7 - 5 - 999
2007-Mayıs	100	3	999 - 8 - 5 - 8 - 999
	200	3	999 - 7 - 5 - 7 - 999
	300	4	999 - 7 - 5 - 6 - 5 - 7 - 999
2008-Mayıs	100	3	999 - 8 - 5 - 8 - 999
	200	3	999 - 7 - 5 - 7 - 999
	300	4	999 - 7 - 5 - 6 - 5 - 7 - 999
	400	5	999 - 1 - 2 - 3 - 4 - 3 - 2 - 1 - 999
2009-Mayıs	100	3	999 - 8 - 5 - 8 - 999
	200	3	999 - 7 - 5 - 7 - 999
	300	4	999 - 7 - 5 - 6 - 5 - 7 - 999
	400	5	999 - 1 - 2 - 3 - 4 - 3 - 2 - 1 - 999
2009-Ekim	100	3	999 - 8 - 7 - 8 - 999
	200	3	7 - 5 - 6 - 5 - 7
	300	3	7 - 5 - 8 - 5 - 7
	400	4	999 - 1 - 4 - 3 - 4 - 1 - 999
2010-Mayıs	100	3	999 - 8 - 7 - 8 - 999
	200	3	7 - 5 - 6 - 5 - 7
	400	4	999 - 1 - 4 - 3 - 4 - 1 - 999

Çizelge 4.4 Marmara Bölgesi'nin batısında ölçülen geçkiler

Yıl-Dönem	Geçki No	Nokta Sayısı	Geçki Noktaları
2006-Ekim	500	6	99 - 10 - 11 - 12 - 13 - 14 - 13 - 12 - 11 - 10 - 99
	600	7	99 - 11 - 17 - 19 - 18 - 15 - 18 - 19 - 16 - 17 - 11 -
	700	6	99 - 18 - 19 - 20 - 22 - 21 - 22 - 20 - 19 - 18 - 99
2007-Mayıs	500	5	19 - 20 - 22 - 23 - 21 - 23 - 22 - 20 - 19
	600	3	19 - 18 - 16 - 18 - 19
	700	3	16 - 15 - 12 - 15 - 16
	800	3	16 - 11 - 13 - 11 - 16
	900	4	16 - 17 - 10 - 99 - 10 - 17 - 16
	1000	3	16 - 14 - 99 - 14
2008-Mayıs	500	3	16 - 18 - 19 - 18 - 16
	600	5	16 - 20 - 22 - 23 - 21 - 23 - 22 - 20 - 16
	700	4	16 - 17 - 11 - 13 - 11 - 17 - 16
	800	3	16 - 15 - 14 - 15 - 16
	900	4	16 - 10 - 99 - 12 - 99 - 10 - 16
2009-Mayıs	500	5	16 - 20 - 22 - 23 - 21 - 23 - 22 - 20 - 16
	600	3	16 - 18 - 19 - 18 - 16
	700	4	16 - 17 - 15 - 12 - 15 - 17 - 16
	800	3	16 - 11 - 13 - 11 - 16
	900	4	16 - 10 - 99 - 14 - 99 - 10 - 16
2009-Ekim	500	5	16 - 20 - 22 - 23 - 21 - 23 - 22 - 20 - 16
	600	3	16 - 18 - 19 - 18 - 16
	800	3	16 - 11 - 13 - 11 - 16
	900	4	16 - 10 - 99 - 14 - 99 - 10 - 16
2010-Mayıs	500	5	16 - 20 - 22 - 23 - 21 - 23 - 22 - 20 - 16
	600	3	16 - 18 - 19 - 18 - 16
	800	3	16 - 11 - 13 - 11 - 16
	900	4	16 - 10 - 99 - 14 - 99 - 10 - 16
	500	5	16 - 20 - 22 - 23 - 21 - 23 - 22 - 20 - 16

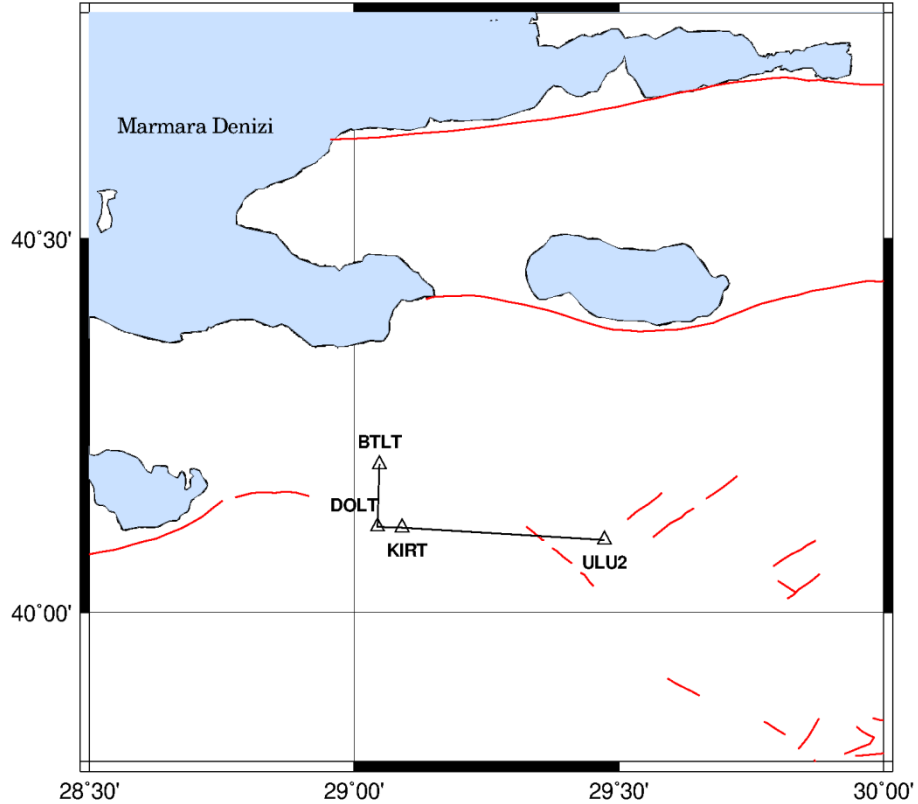
Çizelge 4.5 Kullanılan Gravite Ölçerler

DÖNEM	GRAVİTE ÖLÇER	
	Scientrix CG-5	Scientrix CG-5
2006-Ekim	*	—
2007-Mayıs	*	—
2008-Mayıs	*	*
2009-Mayıs	*	*
2009-Ekim	*	*
2010-Mayıs	—	*

* : Gravite ölçer kullanıldı

4.2 Bağlı Gravite Ölçerlerin Kalibrasyon Parametresinin Belirlenmesi

“Marmara Bölgesindeki Düşey Yerkabuğu Hareketlerinin Mutlak Gravite ve GPS ile Araştırılması Projesi” kapsamında, Bursa - Uludağ arasında tesis edilen ve 4 adet mutlak gravite noktası içeren gravite kalibrasyon bazında (Şekil 4.3), mutlak ve bağlı gravite ölçmeleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bağlı gravite ölçerler ile ölçme tarihleri Çizelge 4.6’da verilmektedir.



Şekil 4.3 Gravite kalibrasyon bazı noktaları

Çizelge 4.6 Gravite kalibrasyon bazında gerçekleştirilen bağıl gravite ölçmeleri

Tarih	Gravite Ölçer No	
	79	76
18.09.2009	*	*
15.10.2009	*	*
27.06.2010	—	*

* : Gravite ölçer kullanıldı

Bölüm 3.2.1’de açıklandığı gibi kalibrasyon fonksiyonu olarak 1. dereceden doğrusal polinom öngörülerek bu ölçülerin tek geçki dengelemesi yapılmıştır.

Kestirilen kalibrasyon parametresi bilinmeyenlerinin anlamlı olup olmadığının belirlenmesi için anlamlılık testi yapılmıştır. Standart sapması s_y olan bir y büyüklüğünün belirlenen veya bilinen bir μ_0 beklenen değerinden sapmasının rastlantısal veya anlamlı olup olmadığını test etmek için

$$H_0: E(y) = \mu_0 \quad (4.1)$$

sıfır hipotezi ile

$$\hat{t} = \frac{y - \mu_0}{s_y} \quad (4.2)$$

test büyüklüğü oluşturulur. $|\hat{t}| < t_{f, 1-\alpha/2}$ ise sıfır hipotezi kabul edilir, yani y parametresinin beklenen değerden sapması rastlantısal hatalardan kaynaklanmaktadır; $|\hat{t}| > t_{f, 1-\alpha/2}$ ise sıfır hipotezi reddedilir, y parametresi anlamlıdır denir.

$(1+\delta y)$ kalibrasyon çarpanının beklenen değeri 1 için δy 'nin beklenen değeri $\mu_{\delta y} = 0$ ve standart sapması $s_{\delta y}$ olmak üzere, sıfır hipotezi:

$$H_0: \mu_{\delta y} = 0 \quad (4.3)$$

ile test büyüklüğü:

$$\hat{t} = \left| \frac{\delta y}{s_{\delta y}} \right| \quad (4.4)$$

olarak ifade edilir (Demirel, 2003).

Kalibrasyon düzeltmeleri ve anlamlılık testleri Çizelge 4.7 ve 4.8’de verilmiştir ($\alpha=0.05$ alınmıştır ve f serbestlik derecesini ifade etmektedir).

Çizelge 4.7Scientrix - 79 numaralı gravite ölçerin ölçek çarpanı düzeltmesi ve anlamlılık testi

Ölçü Tarihi	δy	$s_{\delta y}$	f	\hat{t}	$t_{f,1-\alpha/2}$	Sonuç
18.09.2009	-0.001027	0.000016	113	64	0.06	$\hat{t} > t_{f,1-\alpha/2}$ olduğundan, δy anlamlıdır.
15.10.2009	-0.001029	0.000015	102	69	0.06	$\hat{t} > t_{f,1-\alpha/2}$ olduğundan, δy anlamlıdır.

Çizelge 4.8Scientrix - 76 numaralı gravite ölçerin ölçek çarpanı düzeltmesi ve anlamlılık testi

Ölçü Tarihi	δy	$s_{\delta y}$	f	\hat{t}	$t_{f,1-\alpha/2}$	Sonuç
18.09.2009	0.000237	0.000015	110	16	0.06	$\hat{t} > t_{f,1-\alpha/2}$ olduğundan, δy anlamlıdır.
15.10.2009	0.000216	0.000015	103	14	0.06	$\hat{t} > t_{f,1-\alpha/2}$ olduğundan, δy anlamlıdır.
27.06.2010	0.000216	0.000018	73	12	0.06	$\hat{t} > t_{f,1-\alpha/2}$ olduğundan, δy anlamlıdır.

4.3 Ön Değerlendirme

Her bir periyoda ilişkin bağıl gravite ölçülerinde fiziksel yeryüzünden kaynaklanan etkilerin giderilmesi için,

- alet yüksekliği,
- atmosferik basınç
- karasal gelgit

indirgemeleri yapılmıştır.

İndirgeme işlemleri, gravite ölçülerinin dengelenmesi ve farklı modeller kullanılarak gravite değerlerini ve gravite ölçer parametrelerini belirlemek amacı ile Münih Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Navigasyon Enstitüsü'nde geliştirilen GRAVAP (Gravimetric Network Adjustment Software) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karasal gelgit düzeltmesi için Cartwright-Taylor-Edden (CTE) modeli kullanılmıştır.

Yazılımda, uygulanacak indirgemelerin ve ölçek çarpanı büyüklüğünün girildiği proje ayarları penceresi yardımıyla ön değerlendirme işlemi yapılmaktadır. Yazılım, ön değerlendirme işleminin sonucu olarak her bir ölçüye gelen indirgeme miktarı ile indirgenmiş değerleri gösteren bir çıktı dosyası vermektedir. Şekil 4.4'te bir geçki için yapılan ön değerlendirme çıktısının bir nokta için olan kısmı gösterilmektedir.

Station: 5

Measurements:

Number	Time [UTC]	Reading [C.U.]	Voltage [mV]	Temperature [°C]	Pressure [hPa]	Δ Height [m]
1	21:14:33	3481.918	0.00	-1.4	960.0	0.270
2	21:15:39	3481.927	0.00	-1.4	960.0	0.270
3	21:16:42	3481.931	0.00	-1.4	960.0	0.270
4	21:17:45	3481.932	0.00	-1.4	960.0	0.270
5	21:21:57	3481.937	0.00	-1.5	960.0	0.270
6	21:24:03	3481.938	0.00	-1.6	960.0	0.270
7	21:25:06	3481.938	0.00	-1.6	960.0	0.270

Corrections and Reductions:

Number	g_{Corr} [$\mu\text{m/s}^2$]	δg_{Cal}	δg_{Dial}	δg_{Drift}	δg_{Height}	δg_{Tides}	δg_{OLoad}	δg_{Pres}	δg_{Pole}
1	34828.60	7.52	0.00	0.00	0.83	1.07	0.00	0.00	0.00
2	34828.70	7.52	0.00	0.00	0.83	1.07	0.00	0.00	0.00
3	34828.74	7.52	0.00	0.00	0.83	1.07	0.00	0.00	0.00
4	34828.75	7.52	0.00	0.00	0.83	1.07	0.00	0.00	0.00
5	34828.81	7.52	0.00	0.00	0.83	1.08	0.00	0.00	0.00
6	34828.82	7.52	0.00	0.00	0.83	1.08	0.00	0.00	0.00
7	34828.82	7.52	0.00	0.00	0.83	1.09	0.00	0.00	0.00

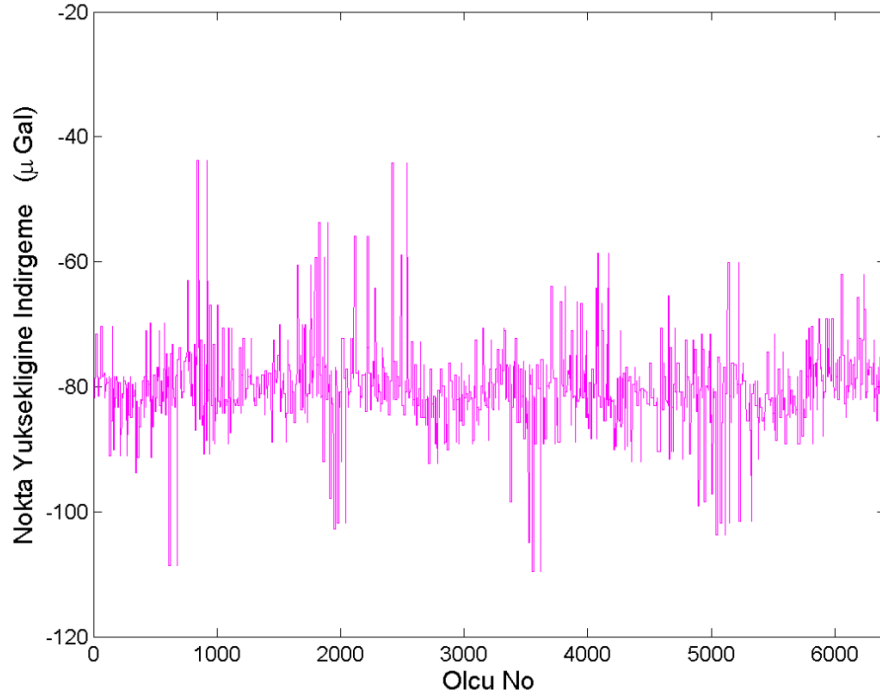
Şekil 4.4 Gravap yazılımına ait ön-değerlendirme raporu

Periyotlara ilişkin atmosferik basınç indirgemesi, nokta yüksekliğine indirgeme ve karasal gelgit düzeltmeleri Şekil 4.5 - 4.7’de gösterilmiştir. İndirgemelerin en büyük ve en küçük değerleri, Çizelge 4.9’da gösterilmektedir.

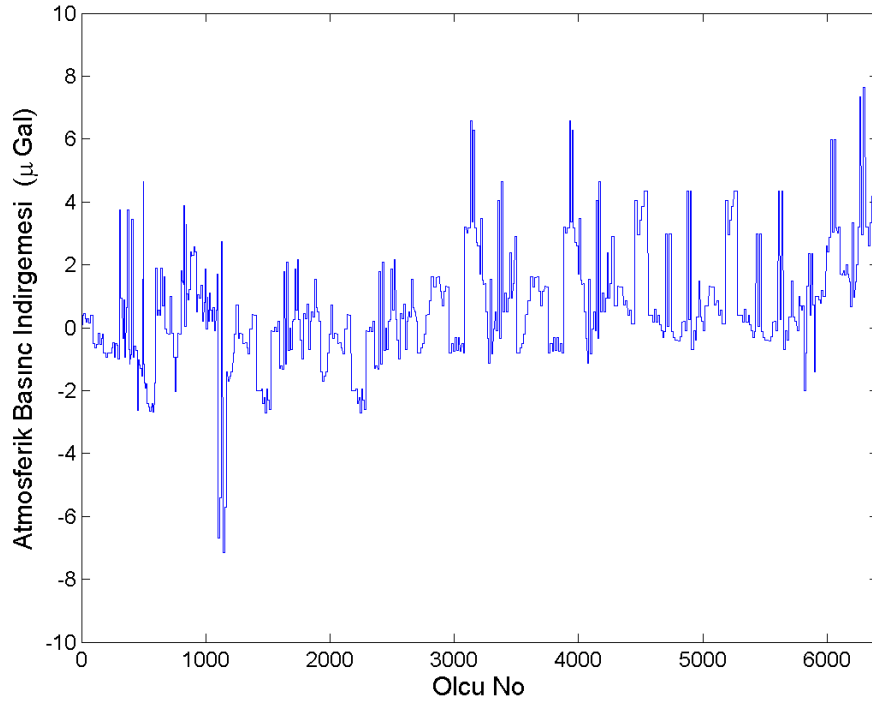
Çizelge 4.9 Periyotlara ilişkin indirgemelerin en büyük ve en küçük değerleri

DÖNEM	Atmosferik Basınç İndirgemesi (μGal)		Nokta Yüksekliğine İndirgeme (μGal)		Karasal Gelgit Düzeltmesi (μGal)	
	En Küçük	En Büyük	En Küçük	En Büyük	En Küçük	En Büyük
2006 – Ekim	-2.69	4.65	-93.81	-69.74	-107.99	102.40
2007 – Mayıs	-7.15	3.88	-108.63	-43.82	-84.44	204.19
2008 – Mayıs	-2.72	2.18	-102.76	-44.13	-102.33	214.99
2009 – Mayıs	-1.12	6.58	-109.55	-58.63	-86.44	139.08
2009 – Ekim	-0.69	4.35	-103.69	-60.18	-114.52	85.54
2010 – Mayıs	-2.00	7.65	-85.48	-62.03	-91.41	162.18

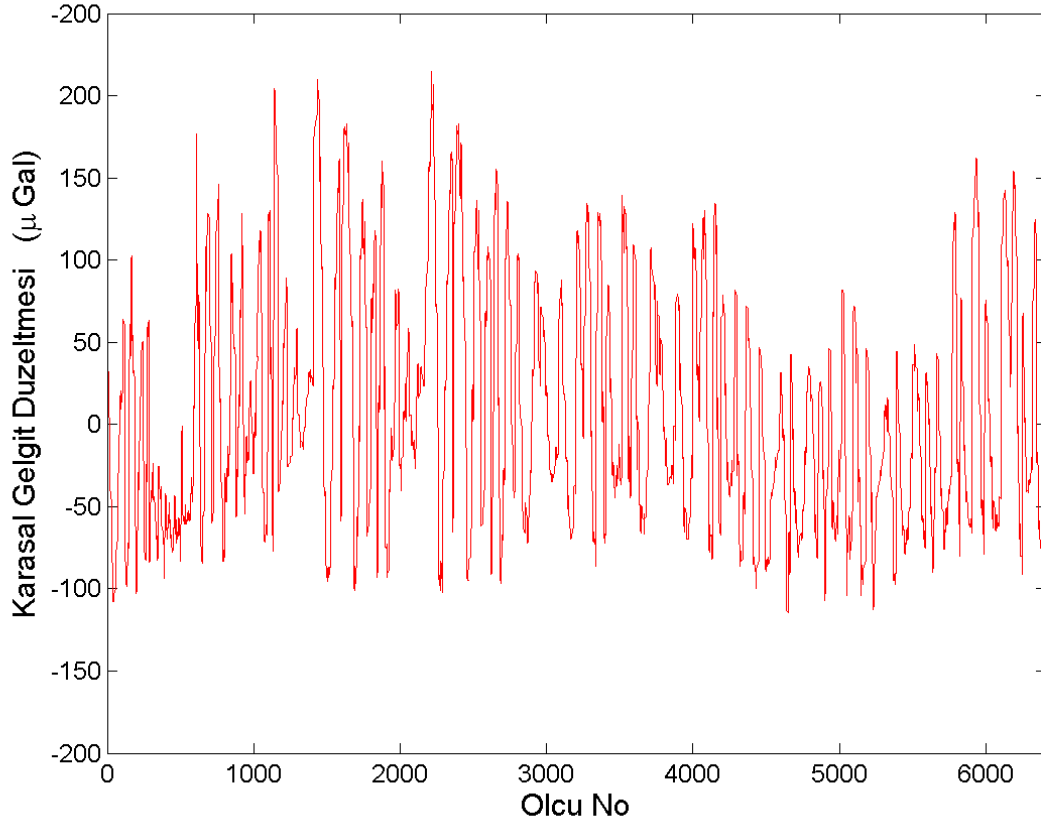
Çizelge 4.9'da gösterildiği gibi, tüm periyotlar için atmosferik basınç indirgeme değerleri -0.69 ve $+7.65$ μGal arasında, nokta yüksekliğine indirgeme değerleri -85.48 ve -109.55 μGal arasında, karasal gelgit düzeltme değerleri ise -84.4 ile 204.19 μGal arasında değişmektedir.



Şekil 4.5 Tüm periyotlara ilişkin nokta yüksekliğine indirgeme miktarları



Şekil 4.6 Tüm periyotlara ilişkin atmosferik basınç indirgemesi miktarları

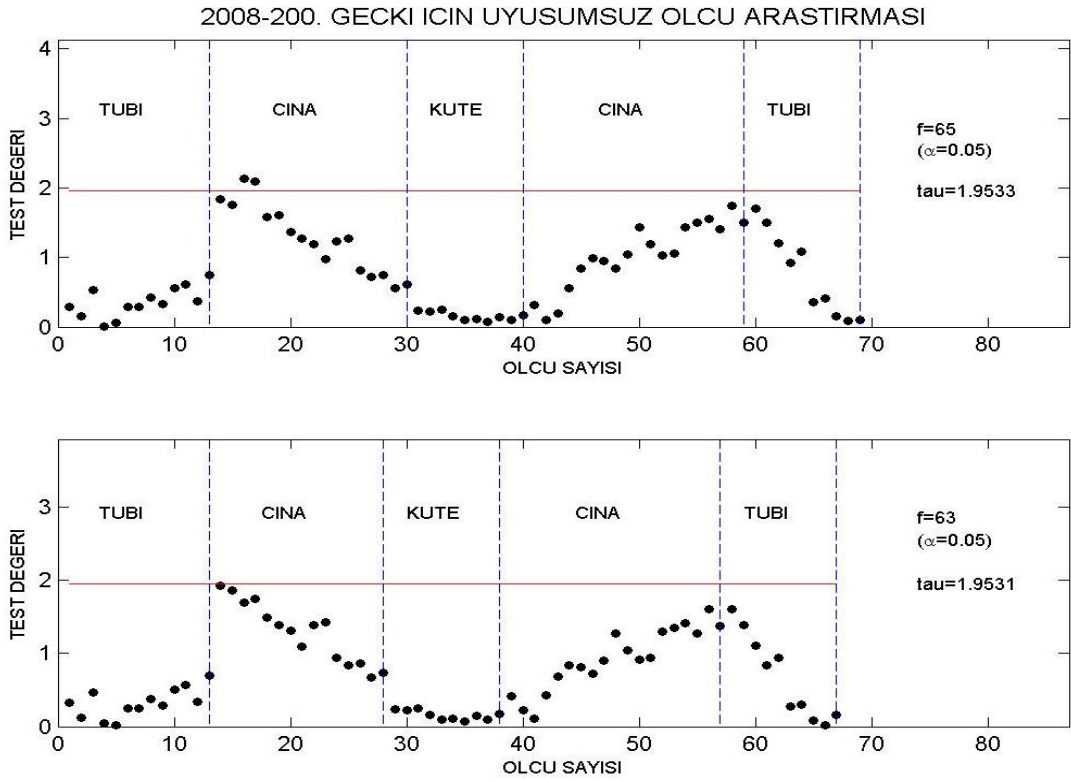


Şekil 4.7 Tüm periyotlara ilişkin karasal gelgit düzeltmesi miktarları

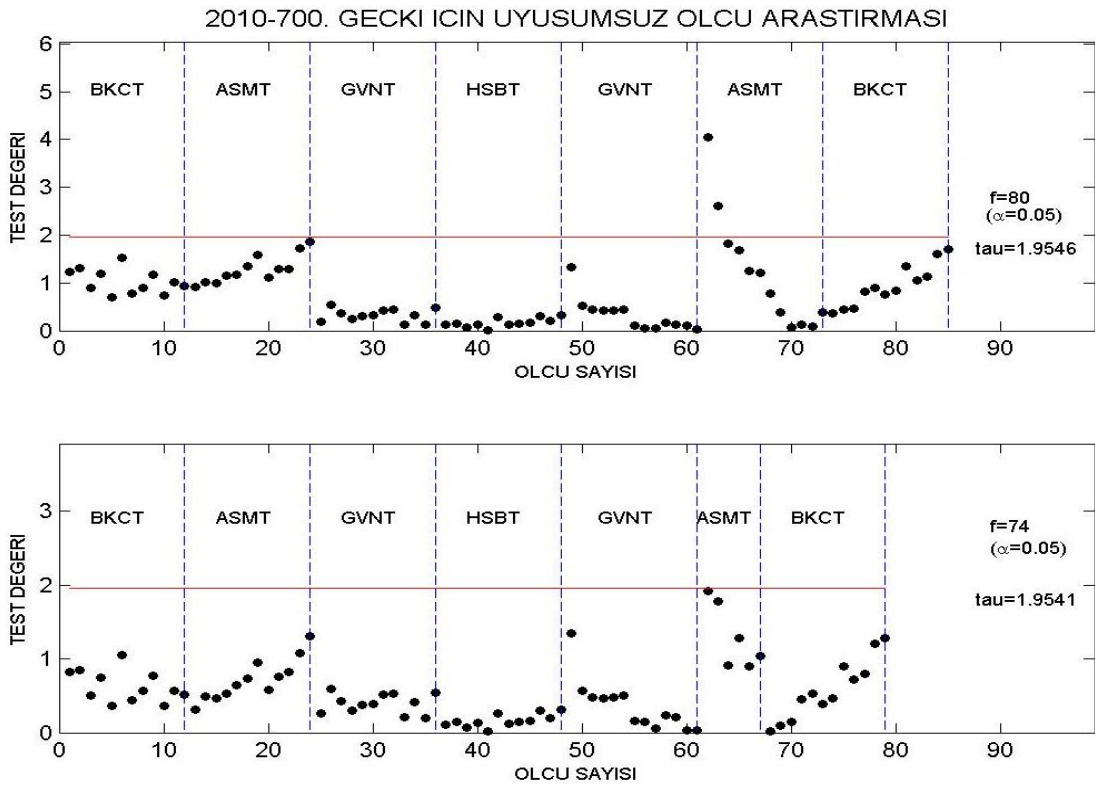
4.4 Bağlı Gravite Ölçülerinin Dengelenmesi

Her bir geçki için ön değerlendirme işlemleri yapıldıktan sonra geçkiler Bölüm 3.3'te açıklanan en küçük kareler dengelenmesi ile değerlendirilmiştir.

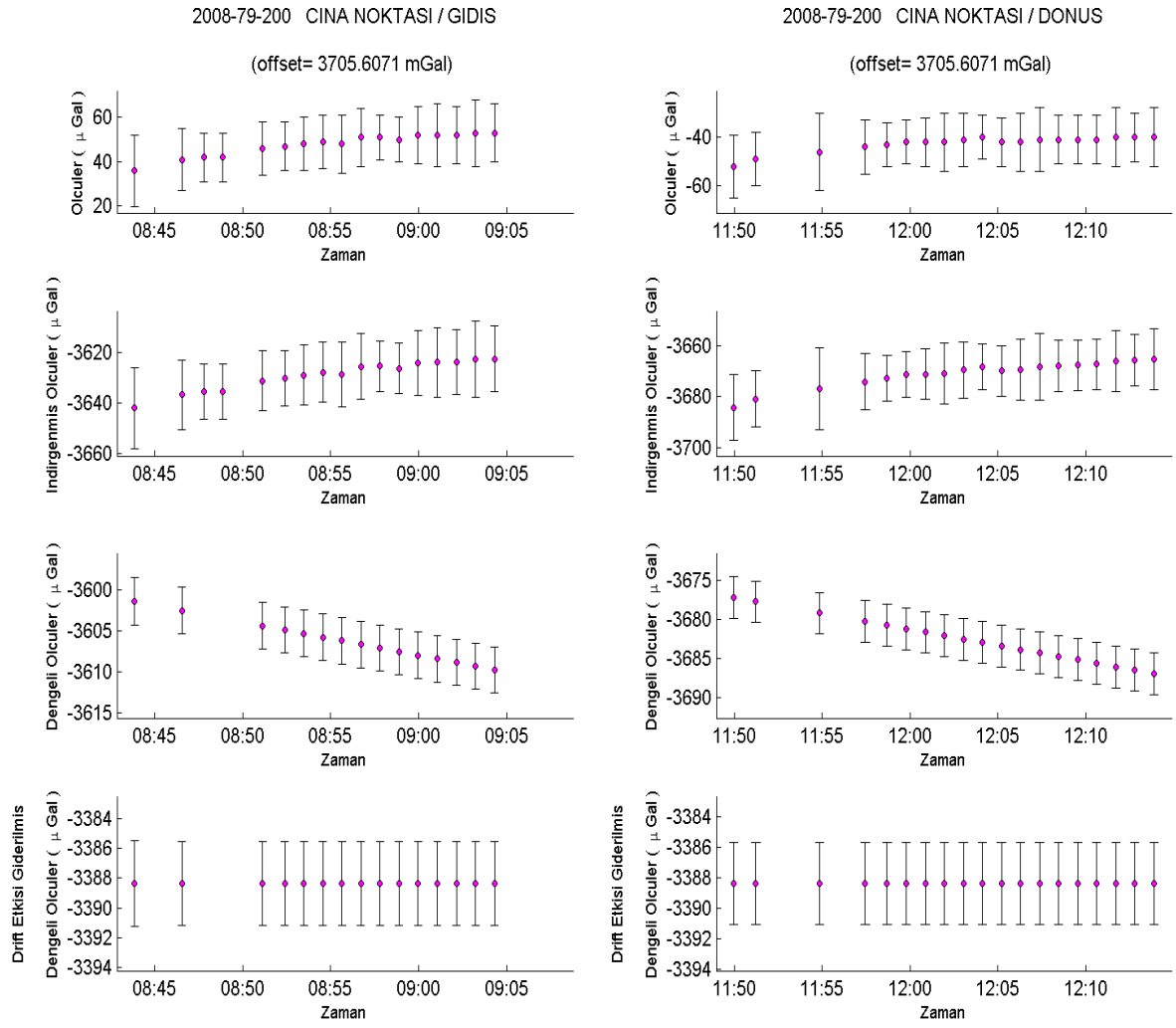
Marmara'nın doğusunda ve batısında ölçülen geçkilerde, öncelikle Bölüm 3.3.1'de açıklanan Pope yöntemi kullanılarak uyumsuz ölçü olup olmadığı araştırılmış ve uyumsuz ölçüler ayıklanarak noktalara ilişkin dengeli gravite değerleri hesaplanmıştır. Analizlere ilişkin bazı örnek sonuçlar Şekil 4.8 - 4.11'de verilmiştir.



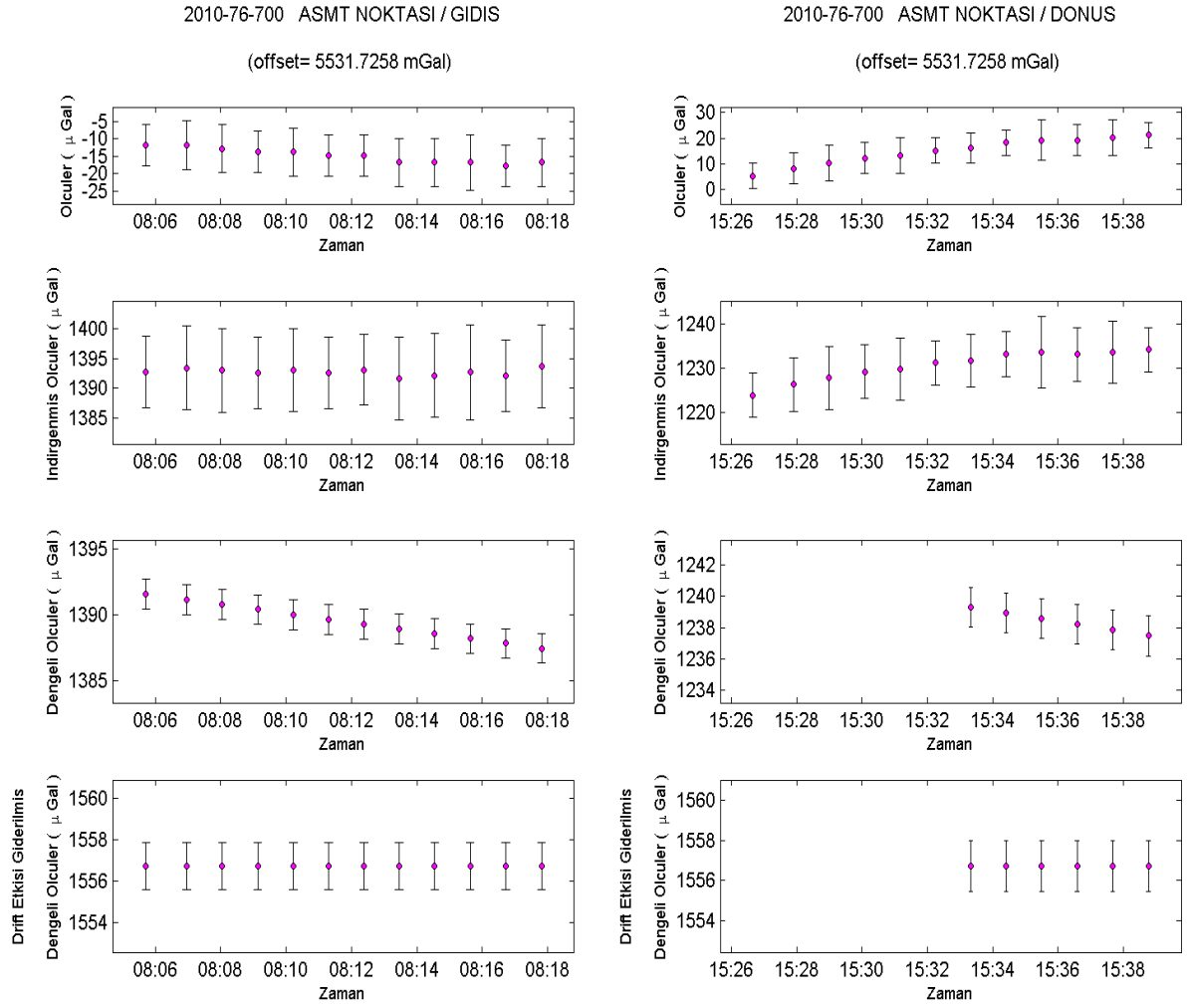
Şekil 4.8 2008 – Mayıs periyodunda 79 numaralı gravite ölçer ile ölçülen 200 numaralı geçkiye ait uyumsuz ölçü araştırması



Şekil 4.9 2010 – Mayıs periyodunda 76 numaralı gravite ölçer ile ölçülen 700 numaralı geçkiye ait uyumsuz ölçü araştırması



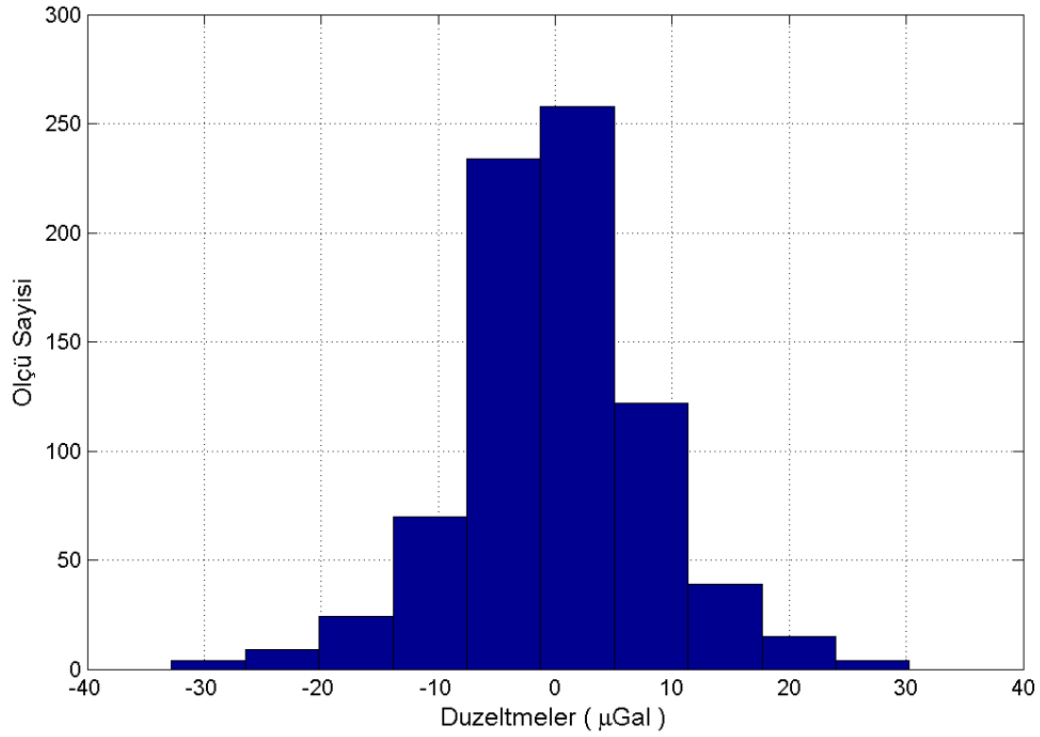
Şekil 4.10 CINA noktasına ilişkin analiz sonuçları



Şekil 4.11 ASMT noktasına ilişkin analiz sonuçları

Şekil 4.10'da, 2008 – Mayıs periyodunda 79 numaralı gravite ölçer ile 200 numaralı geçkide ölçülen CINA noktasına, Şekil 4.11'de, 2010 – Mayıs periyodunda 76 numaralı gravite ölçer ile 700 numaralı geçkide ölçülen ASMT noktasına ait bağıl gravite ölçülerinin ham, indirgenmiş ve dengeli değerleri gösterilmektedir.

Şekil 4.12'de ise, 2008 – Mayıs periyoduna ilişkin Marmara'nın Batı kesiminde en küçük kareler dengesi ile elde edilen düzeltme miktarları verilmektedir; düzeltme değerleri, -30 µGal ile 30 µGal arasında değişmektedir.



Şekil 4.12 2008 – Mayıs periyoduna ilişkin en küçük kareler dengelemesinde elde edilen düzeltme sıklık grafiği

Dengeleme aşamasında, drift parametresi doğrusal bir polinom olarak öngörölmüş, gravite ve nivo düzeyi bilinmeyenleriyle birlikte kestirilmiştir. Her bir geçkiye ilişkin ölçü sayısı, bilinmeyen sayısı ve standart sapmalar Çizelge 4.10a ve b’de; dengeleme sonucunda elde edilen nivo düzeyi ve drift bilinmeyenleri ile standart sapmaları Çizelge 4.11 – 4.15’te verilmektedir.

Çizelge 4.10a Marmara Bölgesi’nin Doğu kesiminde tüm periyotlara ilişkin ölçü sayıları, bilinmeyen sayıları ve dengeleme sonucunda elde edilen standart sapmalar

Periyot	Ölçü Sayısı (n)	Bilinmeyen Sayısı (u)	Standart Sapma (s_0) (µGal)
2006 Ekim	274	17	14.81
2007 Mayıs	197	11	22.85
2008 Mayıs	691	26	19.97
2009 Ekim	724	25	4.32
2009 Mayıs	733	26	18.02
2010 Mayıs	209	14	5.31

Çizelge 4.10b Marmara Bölgesi'nin Batı kesiminde tüm periyotlara ilişkin ölçü sayıları, bilinmeyen sayıları ve dengeleme sonucunda elde edilen standart sapmalar

Periyot	Ölçü Sayısı (n)	Bilinmeyen Sayısı (u)	Standart Sapma (s_0) (μGal)
2006 Ekim	216	15	6.64
2007 Mayıs	346	27	8.64
2008 Mayıs	779	36	9.46
2009 Ekim	715	29	8.49
2009 Mayıs	752	34	12.50
2010 Mayıs	400	25	7.24

Çizelge 4.11 2006 – Ekim periyoduna ilişkin gravite ölçer düzeyi ve drift parametreleri

GEÇKİ	Gravite Ölçer Düzeyi			Drift Parametresi		
	N (μGal)	\pm	s_N (μGal)	D ($\mu\text{Gal}/\text{sa}$)	\pm	s_D ($\mu\text{Gal}/\text{sa}$)
100	976656684	\pm	8	-3.55	\pm	0.55367
200	976656562	\pm	8	-6.34	\pm	0.23513
300	976656385	\pm	8	-10.80	\pm	0.34071
400	976656480	\pm	8	-3.86	\pm	0.20350
500	976656894	\pm	12	-4.24	\pm	0.18449
600	976657128	\pm	12	-8.33	\pm	0.22602

Çizelge 4.12 2007 – Mayıs periyoduna ilişkin gravite ölçer düzeyi ve drift parametreleri

GEÇKİ	Gravite Ölçer Düzeyi			Drift Parametresi		
	N (μGal)	\pm	s_N (μGal)	D ($\mu\text{Gal}/\text{sa}$)	\pm	s_D ($\mu\text{Gal}/\text{sa}$)
100	976595546	\pm	13	-11.57	\pm	0.75417
200	976595888	\pm	12	-12.29	\pm	0.60136
300	976596007	\pm	12	-10.46	\pm	0.32052
500	976597287	\pm	8	-11.43	\pm	0.44921
600	976597071	\pm	11	-14.53	\pm	1.79962
700	976597772	\pm	8	-14.10	\pm	0.63142
800	976597566	\pm	8	-12.05	\pm	0.76442
900	976598290	\pm	7	-14.71	\pm	0.19339
1000	976598550	\pm	7	-10.32	\pm	0.05064

Çizelge 4.13 2008 – Mayıs periyoduna ilişkin gravite ölçer düzeyi ve drift parametreleri

GEÇKİ	MODEL - 79				MODEL - 76			
	Gravite Ölçer Düzeyi		Drift Parametresi		Gravite Ölçer Düzeyi		Drift Parametresi	
	N (μGal)	$\pm s_N$ (μGal)	D ($\mu\text{Gal}/\text{sa}$)	$\pm s_D$ ($\mu\text{Gal}/\text{sa}$)	N (μGa)	$\pm s_N$ (μGal)	D ($\mu\text{Gal}/\text{sa}$)	$\pm s_D$ ($\mu\text{Gal}/\text{sa}$)
100	976522209	± 68	-13.88	± 0.64336	975361739	± 11	-3.08	± 0.67198
200	976521952	± 68	-24.96	± 0.62617	975361599	± 10	-15.56	± 0.61384
300	976522428	± 68	-15.59	± 0.24523	975361847	± 10	-6.76	± 0.24952
400	976531394	± 68	-39.11	± 0.71020	975430394	± 11	-18.99	± 0.78851
500	976518377	± 40	-14.02	± 0.92850	975359101	± 6	-5.21	± 0.95665
600	976517872	± 40	-14.77	± 0.19808	975358794	± 5	-8.99	± 0.19281
700	976518583	± 40	-12.20	± 0.14600	975359215	± 5	-6.76	± 0.15479
800	976518824	± 40	-14.10	± 0.17621	975359340	± 5	-8.26	± 0.18739
900	976518115	± 40	-13.23	± 0.13882	975358950	± 5	-7.34	± 0.13939

Çizelge 4.14 2009 – Mayıs periyoduna ilişkin gravite ölçer düzeyi ve drift parametreleri

GEÇKİ	MODEL - 79				MODEL - 76			
	Gravite Ölçer Düzeyi		Drift Parametresi		Gravite Ölçer Düzeyi		Drift Parametresi	
	N (μGal)	$\pm s_N$ (μGal)	D (μGal /sa)	$\pm s_D$ ($\mu\text{Gal}/\text{sa}$)	N (mGal)	$\pm s_N$ (μGal)	D (μGal /sa)	$\pm s_D$ ($\mu\text{Gal}/\text{sa}$)
100	976469256	± 68	-22.07	± 0.41374	974985629	± 9	-14.01	± 0.41266
200	976469520	± 68	-15.78	± 0.24162	974985885	± 9	-13.32	± 0.25715
300	976469741	± 68	-14.43	± 0.26013	974986116	± 9	-12.74	± 0.25897
400	976470729	± 68	-13.34	± 0.29720	974987185	± 9	-10.68	± 0.27897
500	976468069	± 39	-14.52	± 0.20701	974983527	± 6	-11.60	± 0.21432
600	976468325	± 39	-13.85	± 0.58429				
700	976468520	± 38	-14.17	± 0.14098	974984307	± 6	-12.24	± 0.14308
800	976468774	± 39	-16.91	± 0.22791	974984564	± 6	-11.18	± 0.24083
900	976467834	± 38	-12.96	± 0.14944	974983303	± 6	-10.68	± 0.15634

Çizelge 4.15 2009 – Ekim periyoduna ilişkin gravite ölçer düzeyi ve drift parametreleri

GEÇKİ	MODEL - 79				MODEL - 76			
	Gravite Ölçer Düzeyi		Drift Parametresi		Gravite Ölçer Düzeyi		Drift Parametresi	
	N (μ Gal)	\pm s_N (μ Gal)	D (mGal/sa)	\pm s_D (μ Gal/sa)	N (μ Gal)	\pm s_N (μ Gal)	D (μ Gal /sa)	\pm s_D (μ Gal/sa)
2100	976437132	\pm 39	-13.37	\pm 0.09010	974862322	\pm 2	-2.01	\pm 0.09391
2200	976437539	\pm 38	-7.42	\pm 0.25851	974862325	\pm 3	-0.50	\pm 0.25256
2300	976437374	\pm 39	-8.45	\pm 0.47541	974862332	\pm 3	0.63	\pm 0.48260
2400	976438086	\pm 39	-7.91	\pm 0.21157	974862324	\pm 3	0.92	\pm 0.21533
2500	976440760	\pm 59	-12.17	\pm 0.18490	974862413	\pm 5	-4.36	\pm 0.17394
2600	976440967	\pm 59	-10.71	\pm 0.45448	974862437	\pm 5	-1.64	\pm 0.47778
2800	976441124	\pm 59	-13.78	\pm 0.43718	974862433	\pm 5	-3.31	\pm 0.45535
2900	976440550	\pm 58	-10.70	\pm 0.23417	974862403	\pm 5	-2.87	\pm 0.21752

Çizelge 4.16 2010 – Mayıs periyoduna ilişkin gravite ölçer düzeyi ve drift parametreleri

GEÇKİ NO	Gravite Ölçer Düzeyi			Drift Parametresi		
	N (μ Gal)	\pm	s_N (μ Gal)	D (μ Gal/sa)	\pm	s_D (μ Gal/sa)
100	974566340	\pm	3	-22.94	\pm	0.33496
200	974583728	\pm	4	-12.34	\pm	0.28598
400	974566732	\pm	5	-19.77	\pm	0.54047
500	974559934	\pm	4	-22.01	\pm	0.12308
600	974561363	\pm	4	-20.19	\pm	0.50383
700	974561751	\pm	4	-20.40	\pm	0.13247
800	974559474	\pm	4	-19.53	\pm	0.14547
900	974560448	\pm	4	-19.55	\pm	0.11798

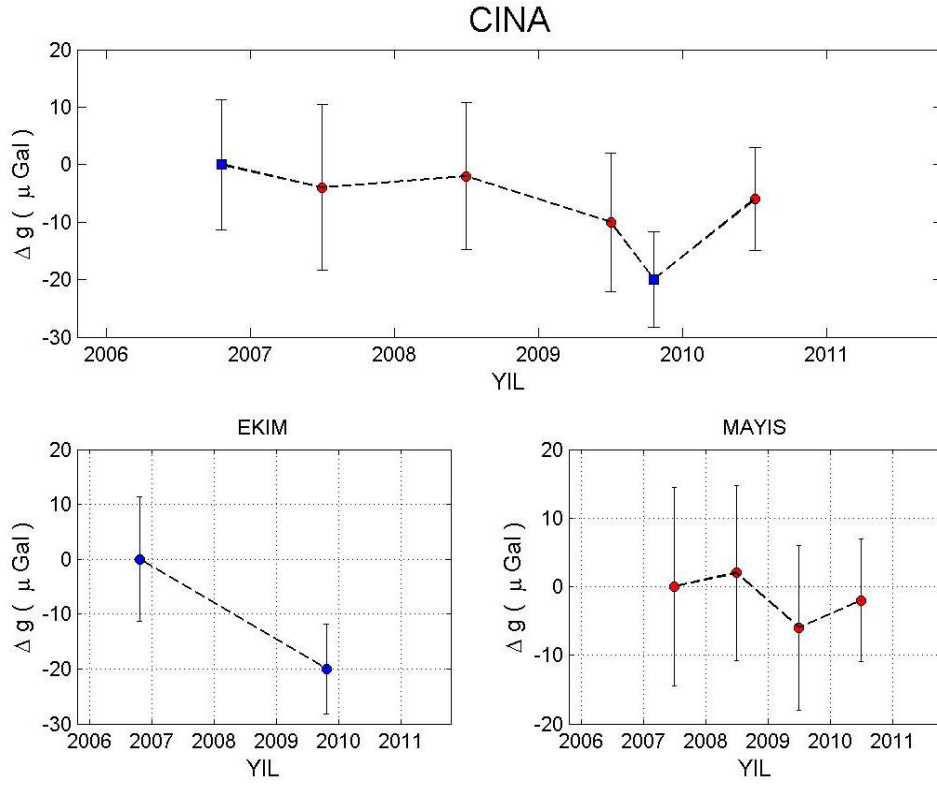
Tüm periyotların değerlendirilmesi sonucu elde edilen noktalara ilişkin datum noktalarına göre gravite değerleri ile standart sapmaları Çizelge 4.17 ve 18'de; noktalara ilişkin gravite zaman serilerine ait örnekler Şekil 4.13 – 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.17 Marmara-Doğu Bölgesi'ndeki noktaların TUBI noktasına göre gravite değerleri

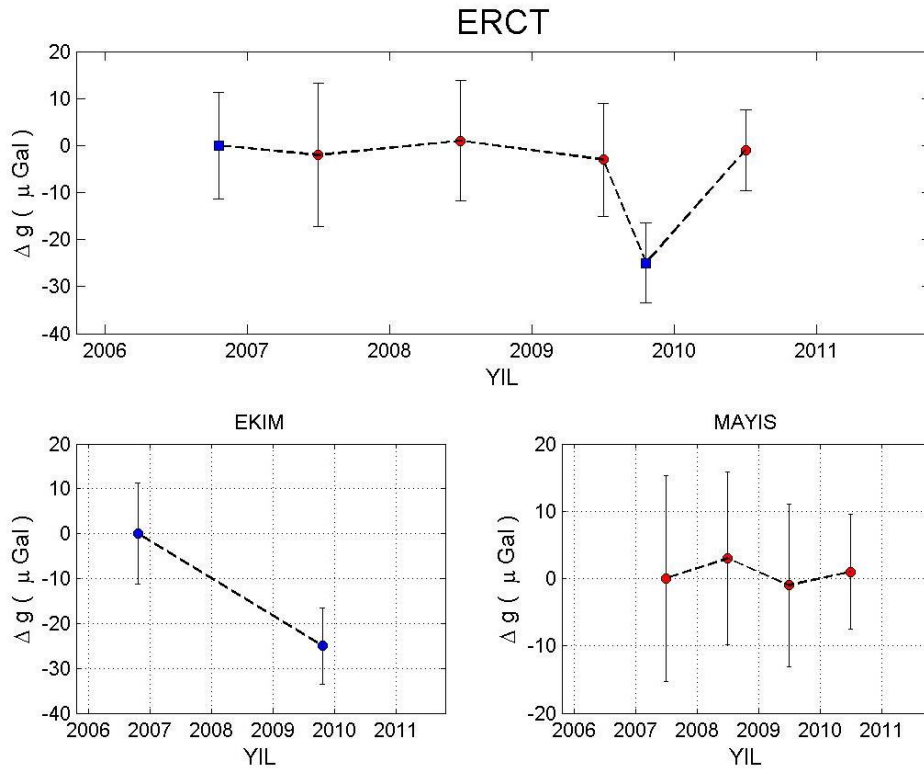
NOKTA ADI	2006 (I)		2007 (II)		2008 (III)		2009 (IV)		2009 (V)		2010 (VI)	
	dg (mGal)	± s (μGal)	dg (mGal)	± s (μGal)	dg (mGal)	± s (μGal)	dg (mGal)	± s (μGal)	dg (mGal)	± s (μGal)	dg (mGal)	± s (μGal)
IBBT	27.675	± 9	-		27.715	± 12	27.677	± 9	27.683	± 3	27.693	± 5
YACT	-19.460	± 10	-		-19.419	± 12	-19.472	± 9	-		-	
KRDM	52.364	± 10	-		52.386	± 12	52.369	± 9	52.381	± 3	52.389	± 5
OVCT	17.651	± 10	-		17.678	± 15	17.615	± 9	17.659	± 3	17.652	± 6
KUTE	-93.715	± 8	-93.725	± 12	-93.721	± 10	-93.739	± 9	-93.757	± 3	-93.735	± 3
ERCT	-193.188	± 8	-193.190	± 13	-193.187	± 10	-193.191	± 9	-193.213	± 3	-193.189	± 3
CINA	-4.809	± 8	-4.813	± 12	-4.811	± 10	-4.819	± 9	-4.829	± 2	-4.815	± 4
OLUK	-52.320	± 8	-52.320	± 13	-52.286	± 10	-52.308	± 9	-52.321	± 2	-52.321	± 3

Çizelge 4.18 Marmara-Batı Bölgesi'ndeki noktaların BKCT noktasına göre gravite değerleri

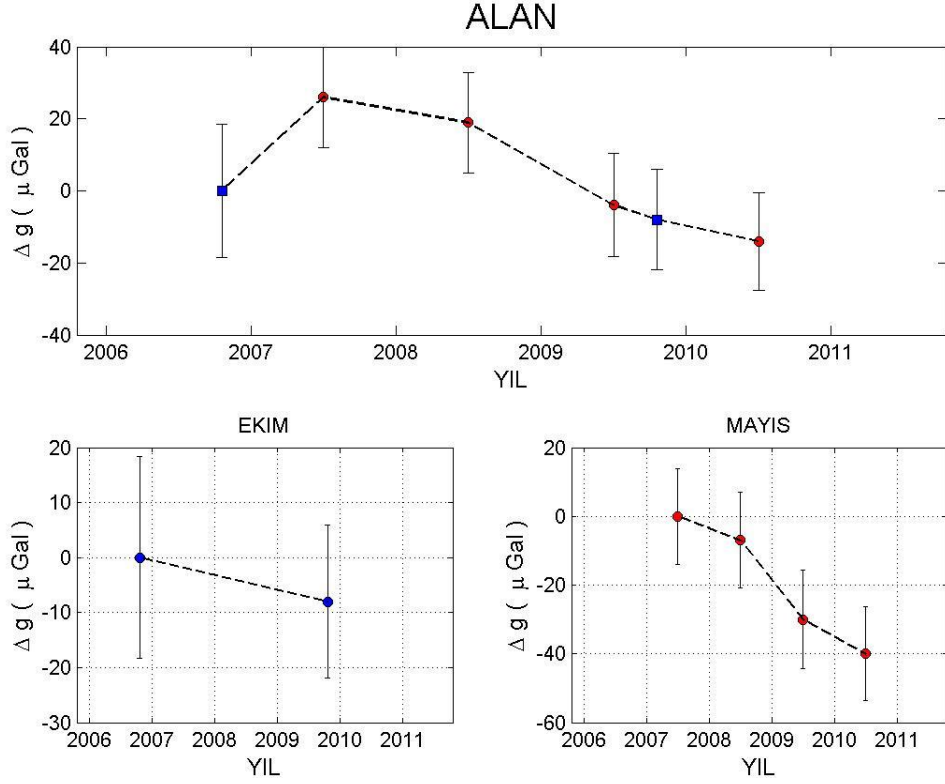
NOKTA ADI	2006 (I)		2007 (II)		2008 (III)		2009 (IV)		2009 (V)		2010 (VI)	
	dg (mGal)	± s (μGal)	dg (mGal)	± s (μGal)	dg (mGal)	± s (μGal)	dg (mGal)	± s (μGal)	dg (mGal)	± s (μGal)	dg (mGal)	± s (μGal)
ALAN	-152.735	± 13	-152.709	± 7	-152.716	± 5	-152.739	± 6	-152.743	± 5	-152.749	± 4
GVNT	-89.319	± 16	-89.298	± 16	-89.320	± 6	-89.316	± 7	-89.330	± 8	-89.344	± 5
HSBT	-22.581	± 14	-22.571	± 10	-22.547	± 5	-22.557	± 6	-		-22.552	± 4
KOCB	-74.856	± 14	-74.833	± 9	-74.850	± 5	-74.875	± 6	-74.871	± 5	-74.858	± 4
HSRT	-114.197	± 16	-114.173	± 8	-114.171	± 5	-114.174	± 6	-114.173	± 5	-114.182	± 4
SVNT	-24.165	± 17	-24.170	± 9	-24.145	± 5	-24.140	± 6	-		-24.142	± 4
ASMT	-96.981	± 11	-96.971	± 5	-96.992	± 5	-97.008	± 6	-		-97.021	± 4
KABI	-		-		46.171	± 5	46.176	± 7	46.168	± 4	46.188	± 4
SEVK	41.569	± 7	41.646	± 7	41.633	± 6	41.643	± 7	41.635	± 5	41.656	± 4
YENT	-		4.965	± 8	4.934	± 5	4.941	± 7	4.957	± 5	4.940	± 4
DOKU	-		51.772	± 9	51.756	± 5	51.739	± 7	51.771	± 5	51.747	± 4
KVAK	-		58.052	± 10	58.053	± 5	58.046	± 7	58.064	± 5	58.048	± 4
EVST	-		62.439	± 10	62.427	± 5	62.429	± 7	62.444	± 4	62.441	± 4
BALI	-124.559	± 11	-124.569	± 5	-124.558	± 5	-124.560	± 6	-124.560	± 5	-124.569	± 4



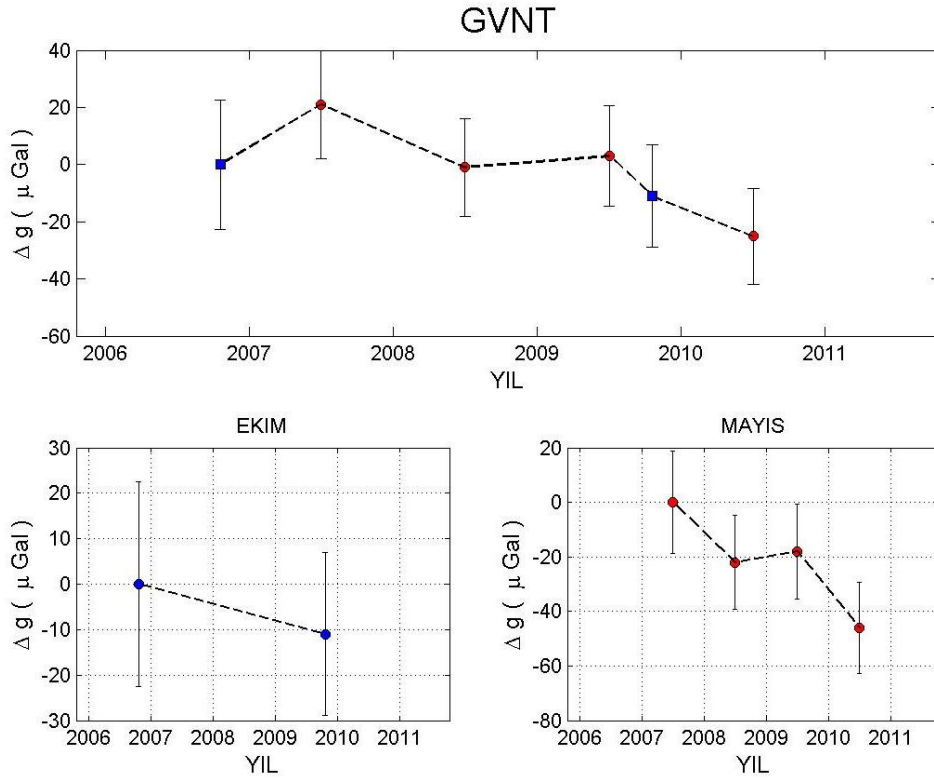
Şekil 4.13 CINA noktasına ilişkin gravite zaman serisi



Şekil 4.14 ERCT noktasına ilişkin gravite zaman serisi



Şekil 4.15 ALAN noktasına ilişkin zaman serisi



Şekil 4.16 GVNT noktasına ilişkin zaman serisi

4.5 Periyotlara İlişkin Deformasyon Analizi

Periyotlar arasında anlamlı deformasyon olup olmadığı analiz edilmiş ve anlamlı deformasyon bulunan periyotlar için Bölüm 3.4.2’de verilen yerelleştirme işlemleri uygulanarak anlamlı değişime uğrayan noktalar belirlenmiştir. Tüm periyotlar için Marmara-Doğu ve Marmara-Batı gravite ağlarına ilişkin global eşdeğerlik test sonuçları Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.19 Marmara-Doğu Bölgesi’ne ilişkin global eşdeğerlik testi

Periyotlar	Test Büyüklüğü (T)	Karşılaştırma Değeri ($F_{h_D, f_1 + f_2, 1-\alpha}$)	Sonuç
2006 Ekim-2007 Mayıs	1.940	2.625	Deformasyon Yok
2007 Mayıs-2008 Mayıs	6.290	2.615	Deformasyon Var
2008 Mayıs-2009 Mayıs	6.417	2.016	Deformasyon Var
2009 Ekim-2009 Mayıs	4.811	2.105	Deformasyon Var
2009 Mayıs-2010 Mayıs	0.840	2.109	Deformasyon Yok

Çizelge 4.20 Marmara-Batı Bölgesi’ne ilişkin global eşdeğerlik testi

Periyotlar	Test Büyüklüğü (T)	Karşılaştırma Değeri ($F_{h_a, f_1 + f_2, 1-\alpha}$)	Sonuç
2006 Ekim-2007 Mayıs	3.804	2.027	Deformasyon Var
2007 Mayıs-2008 Mayıs	3.334	1.798	Deformasyon Var
2008 Mayıs-2009 Mayıs	4.556	1.699	Deformasyon Var
2009 Ekim-2009 Mayıs	1.800	1.840	Deformasyon Yok
2009 Mayıs-2010 Mayıs	2.860	1.840	Deformasyon Var

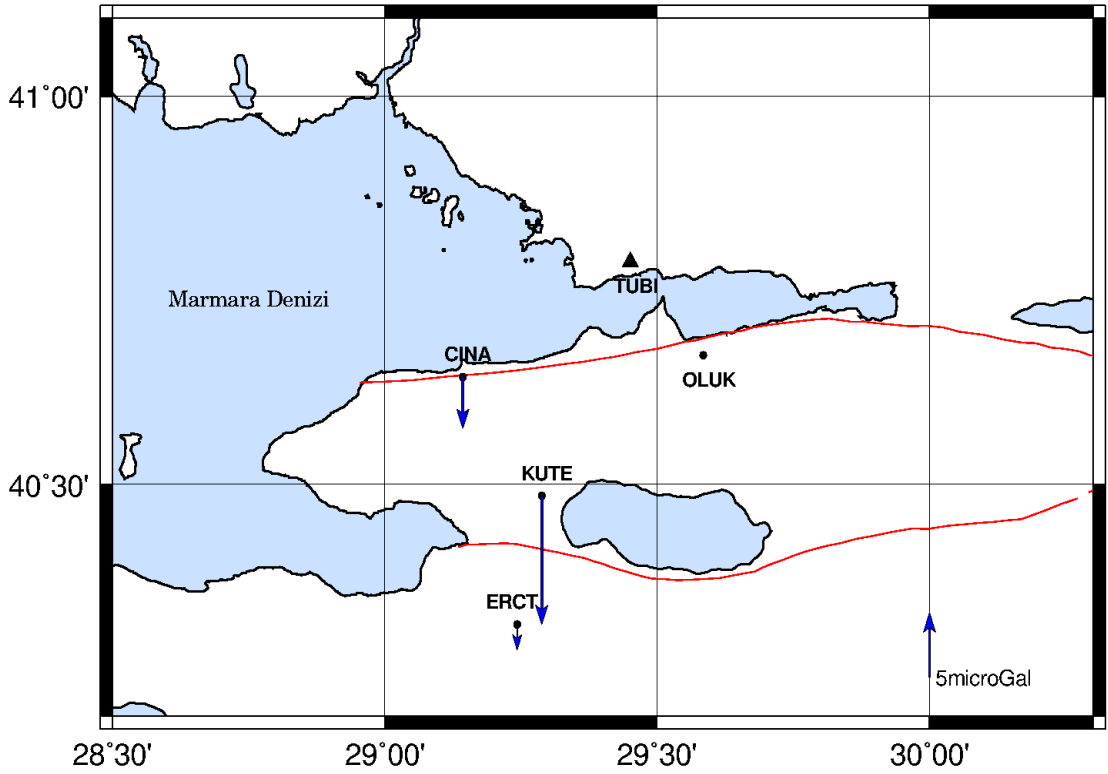
Çizelge 4.19’da gösterildiği üzere, Marmara – Doğu Bölgesi’nde 2006 Ekim – 2007 Mayıs ve 2009 Mayıs- 2010 Mayıs periyotları arasında anlamlı deformasyon bulunmamaktadır.

Marmara – Batı Bölgesi’nde ise 2009 Ekim – 2009 Mayıs periyotları arasında anlamlı deformasyon çıkmamıştır (Çizelge 4.20).

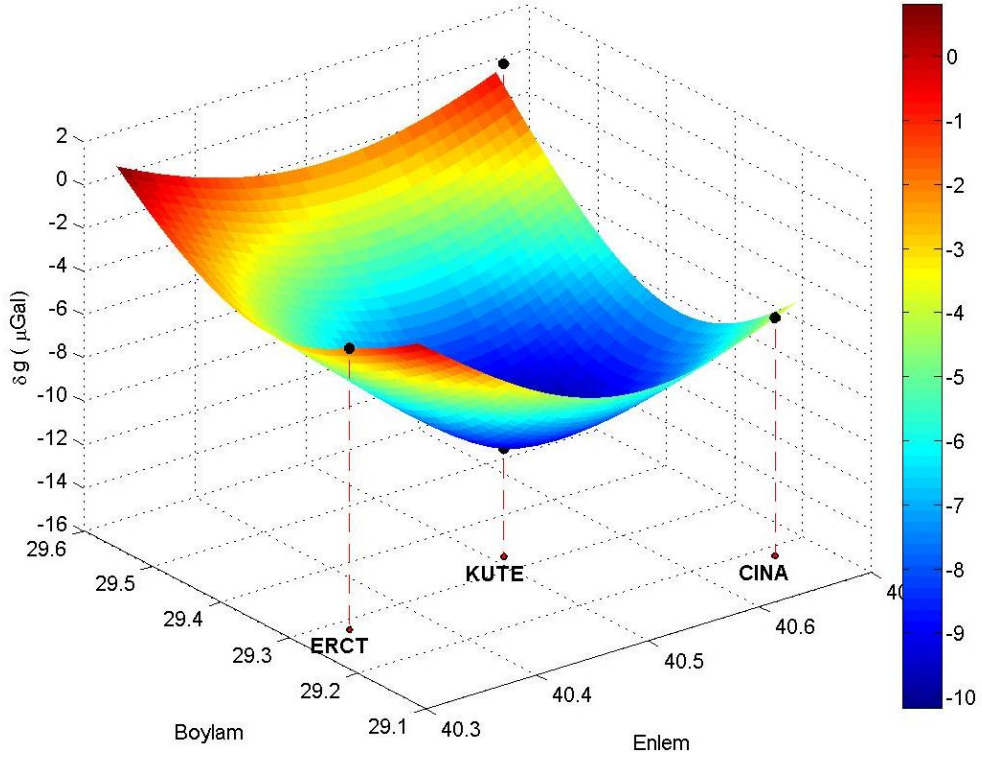
4.5.1 2006 – Ekim ile 2007 – Mayıs Periyotlarına İlişkin Gravite Değişimleri ve Deformasyon Analizi

Marmara Bölgesi'nin Doğu kesiminde 2006 – Ekim ile 2007 – Mayıs periyotları arasında gerçekleştirilen global eşdeğerlik test sonucuna göre deformasyon bulunmadığı ve gravite değişimlerinin rastgele hatalardan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. İki periyot arasında noktalara ilişkin gravite değişimleri Şekil 4.17a ve b'de gösterilmektedir.

Şekil 4.17a ve b'ye göre, 2006 – Ekim ile 2007 – Mayıs periyotları arasında en büyük gravite değişimi KUTE noktasında ($-9 \pm 14 \mu\text{Gal}$), en küçük gravite değişimi ise OLUK noktasında ($0 \pm 16 \mu\text{Gal}$) ve tüm noktalarda negatif yönlü bir gravite değişimi gözlenmiştir.



Şekil 4.17a Marmara Doğu Bölgesi gravite değişimleri (2006 Ekim – 2007 Mayıs)

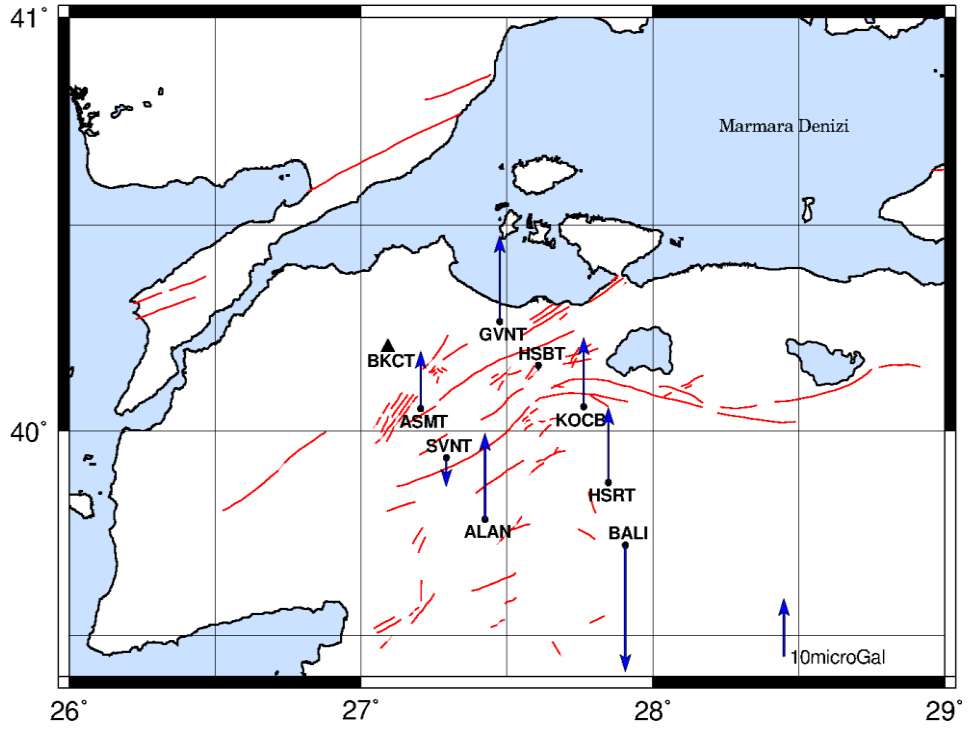


Şekil 4.17b Marmara Doğu Bölgesigravite değişim yüzeyi (2006 Ekim – 2007 Mayıs)

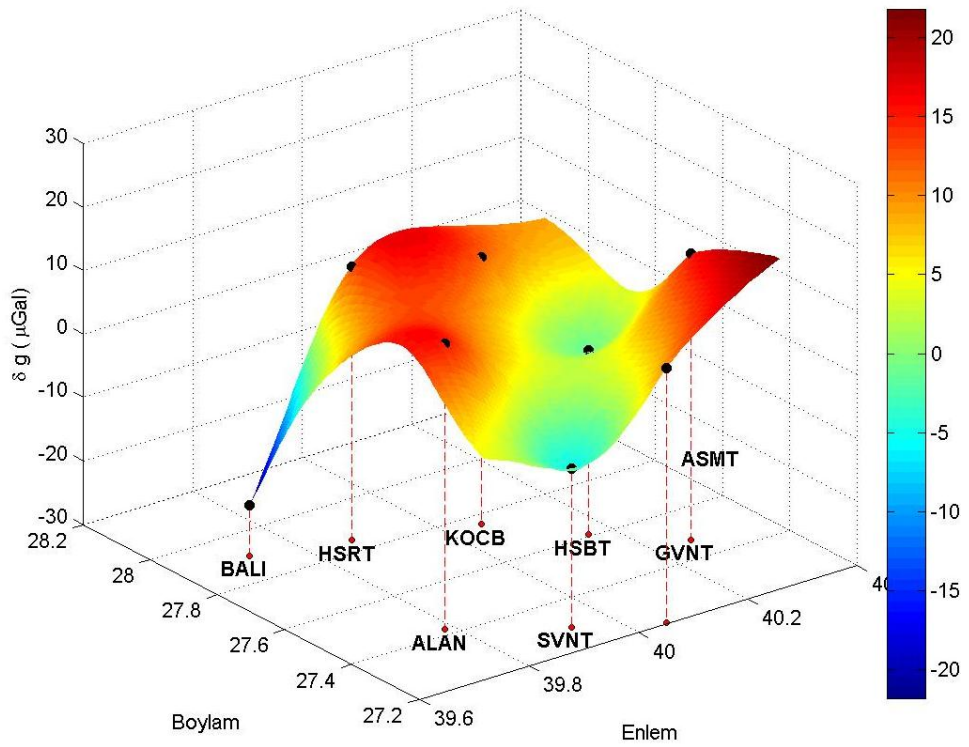
Marmara Bölgesi'nin Batı kesiminde ise iki dönem arasında anlamlı deformasyon belirlenmiştir ve noktalara ilişkin gravite değişimleri Şekil 18a ve b'de verilmektedir.

2006 – Ekim ile 2007 – Mayıs periyotları arasında, maksimum aykırılık yöntemi ile yapılan yerleştirmede BALI noktasında anlamlı gravite değişimi olduğu tespit edilmiştir. Yerleştirme işlemine ilişkin sonuçlar Şekil 4.19'da gösterilmektedir.

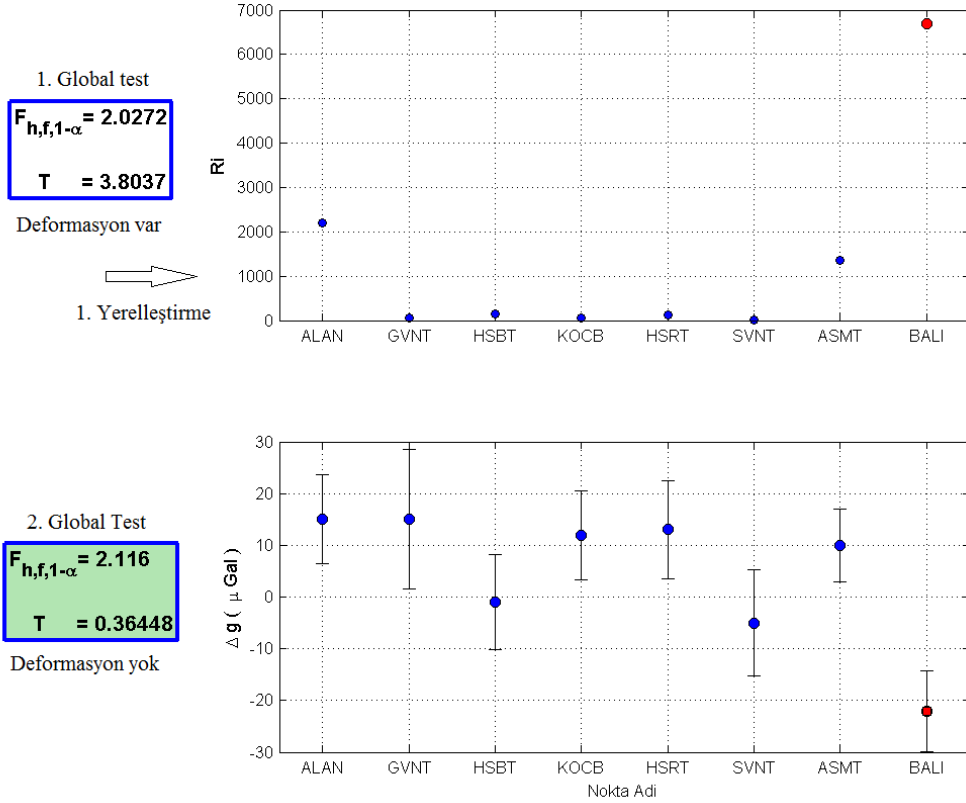
Ayrıca iki periyot arasında yerleştirme işlemi sonucunda analizden çıkarılan nokta dışında en büyük gravite değişimi ALAN noktasında ($-15.2 \pm 10 \mu\text{Gal}$) görülürken, HSBT noktasında ($-1 \pm 12 \mu\text{Gal}$) en küçük gravite değişimi belirlenmiştir.



Şekil 4.18a Marmara Batı Bölgesi gravite değişimleri (2006 Ekim – 2007 Mayıs)



Şekil 4.18b Marmara Batı Bölgesi gravite değişim yüzeyi (2006 Ekim – 2007 Mayıs)

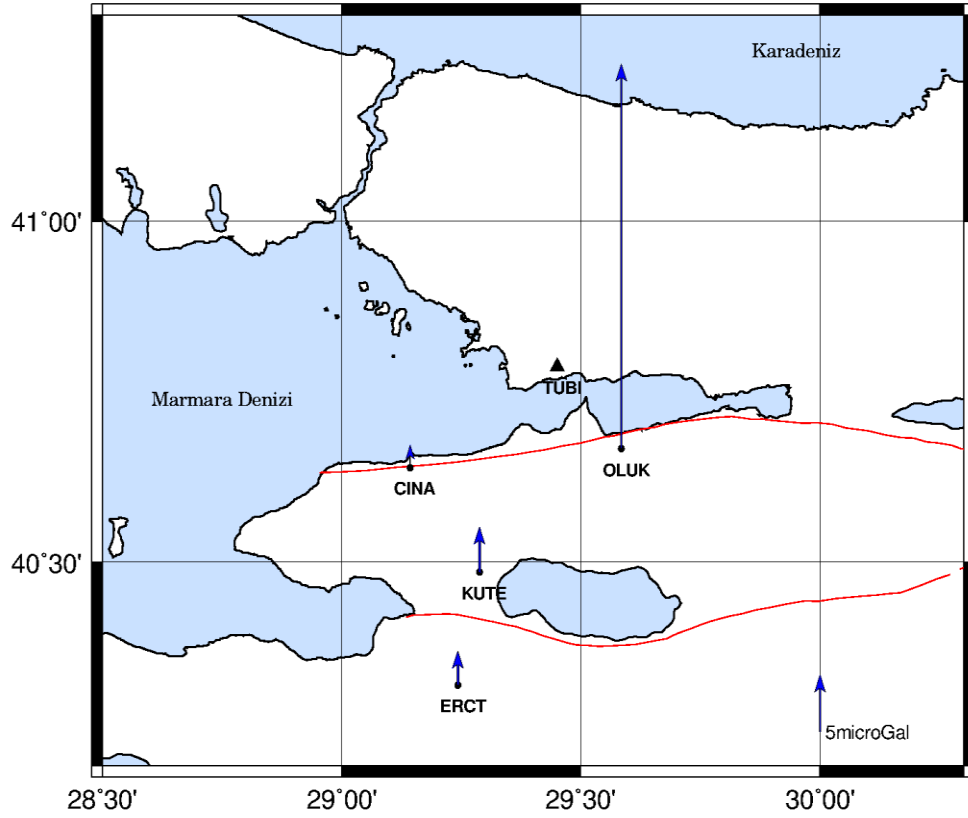


Şekil 4.19 Marmara Batı Bölgesi'nde 2006 Ekim – 2007 Mayıs periyotlarına ilişkin yerleştirme işlemleri

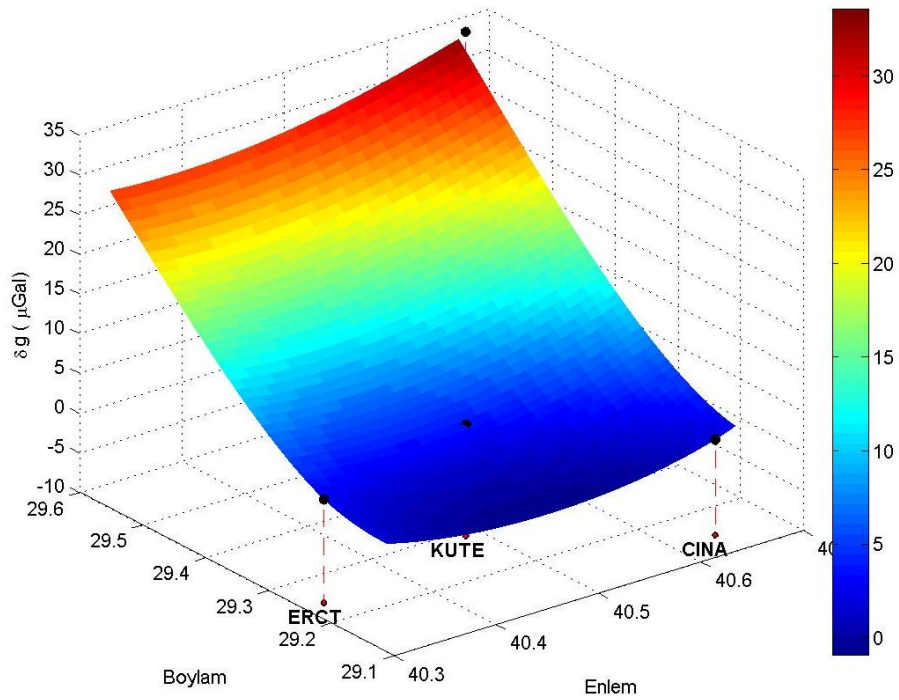
4.5.2 2007 – Mayıs ile 2008 – Mayıs Periyotlarına İlişkin Gravite Değişimleri ve Deformasyon Analizi

Marmara Bölgesi'nin her iki kesiminde (doğu ve batı) 2007 – Mayıs ile 2008 – Mayıs periyotları arasında gerçekleştirilen global eşdeğerlik test sonuçlarına göre anlamlı deformasyon bulunmuştur (Çizelge 4.19 ve 4.20). Her iki kesime ilişkin noktalardaki gravite değişimleri Şekil 4.20a ve b ile Şekil 4.22a ve b'de verilmektedir.

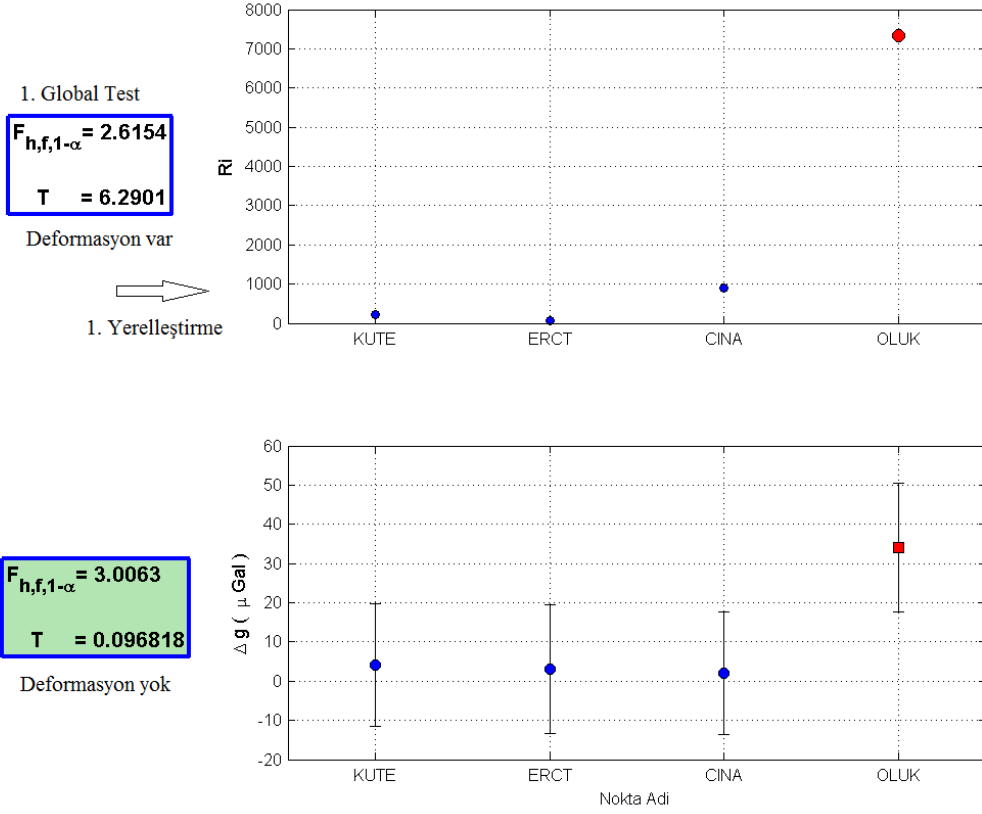
Marmara Bölgesi'nin doğu kesiminde ve iki periyot arasında gerçekleştirilen yerleştirme işlemi sonucunda OLUK noktasında anlamlı gravite değişimi bulunmuş ve sonuçlar Şekil 4.21'de gösterilmektedir. Bu kesimde yerleştirme işlemi sonunda analizden çıkarılan deformasyonlu nokta dışında en büyük gravite değişimi KUTE noktasında ($4 \pm 16 \mu Gal$), en küçük gravite değişimi ise CINA noktasında ($3 \pm 16 \mu Gal$) görülmektedir (Şekil 4.20a ve b).



Şekil 4.20a Marmara Doğu Bölgesi gravite değişimleri (2007 Mayıs – 2008 Mayıs)

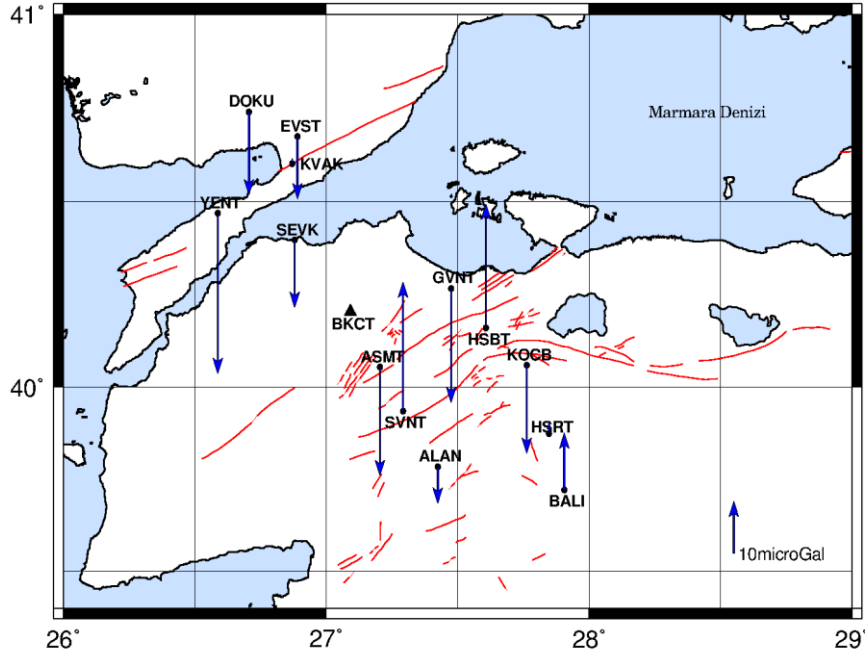


Şekil 4.20b Marmara Doğu Bölgesi gravite değişim yüzeyi (2007 Mayıs – 2008 Mayıs)

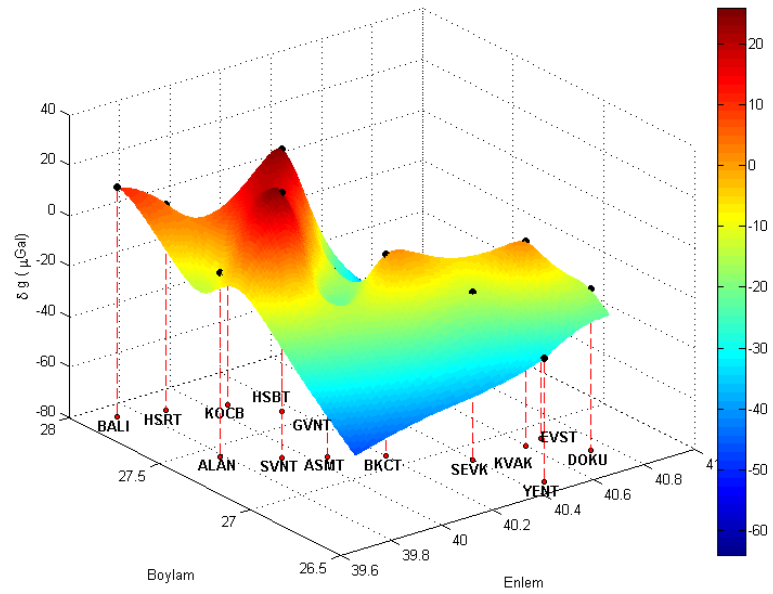


Şekil 4.21 Marmara Doğu Bölgesi'nde 2007 Mayıs – 2008 Mayıs periyotlarına ilişkin yerelleştirme işlemleri

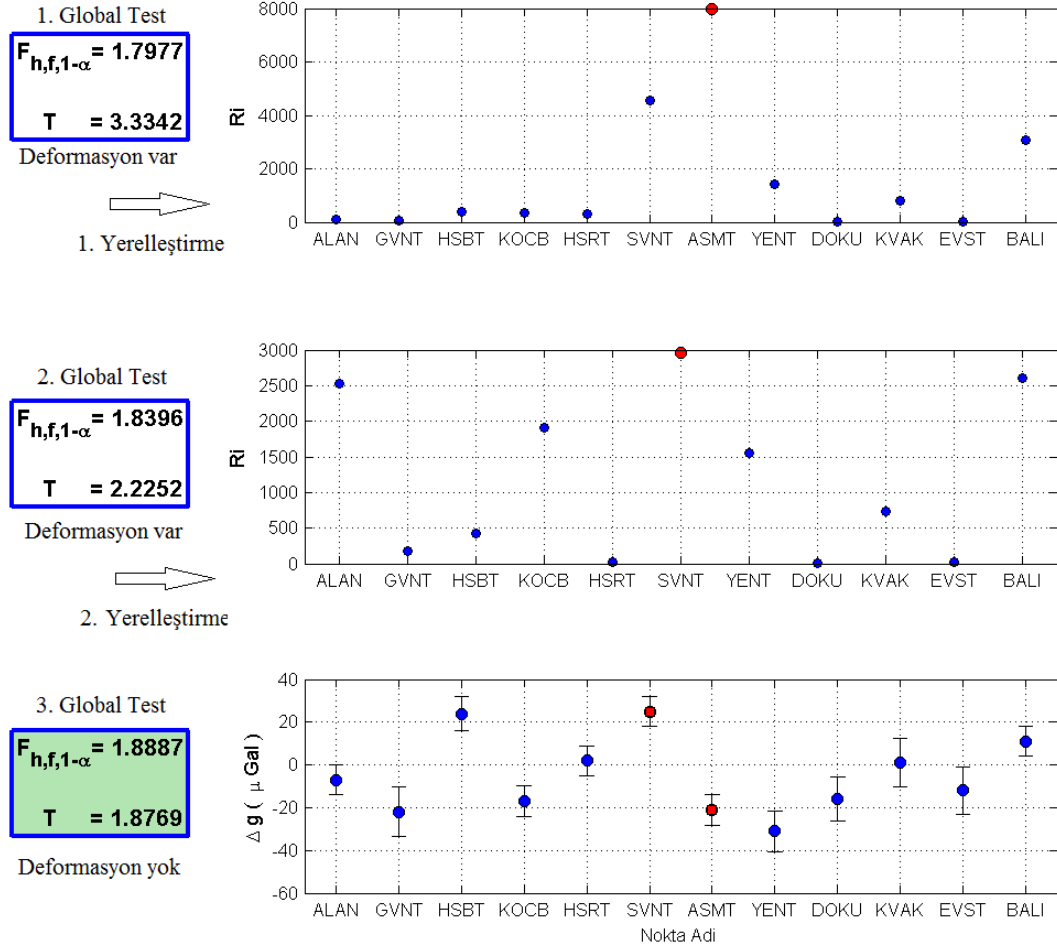
Marmara Bölgesi'nin batı kesiminde ise, gerçekleştirilen yerelleştirme işlemi sonucunda SVNT ve ASMT noktalarında anlamlı gravite değişimleri tespit edilmiştir (Şekil 4.23). Bu kesimde yerelleştirme işlemi sonunda analizden çıkarılan deformasyonlu noktalar dışında en büyük gravite değişimi YENT noktasında ($-30 \pm 10 \mu Gal$), en küçük gravite değişimi ise KVAK noktasında ($1 \pm 11 \mu Gal$) görülmektedir (Şekil 22a ve b).



Şekil 4.22a Marmara Batı Bölgesi gravite değişimleri (2007 Mayıs – 2008 Mayıs)



Şekil 4.22b Marmara Batı Bölgesi gravite değişim yüzeyi (2007 Mayıs – 2008 Mayıs)

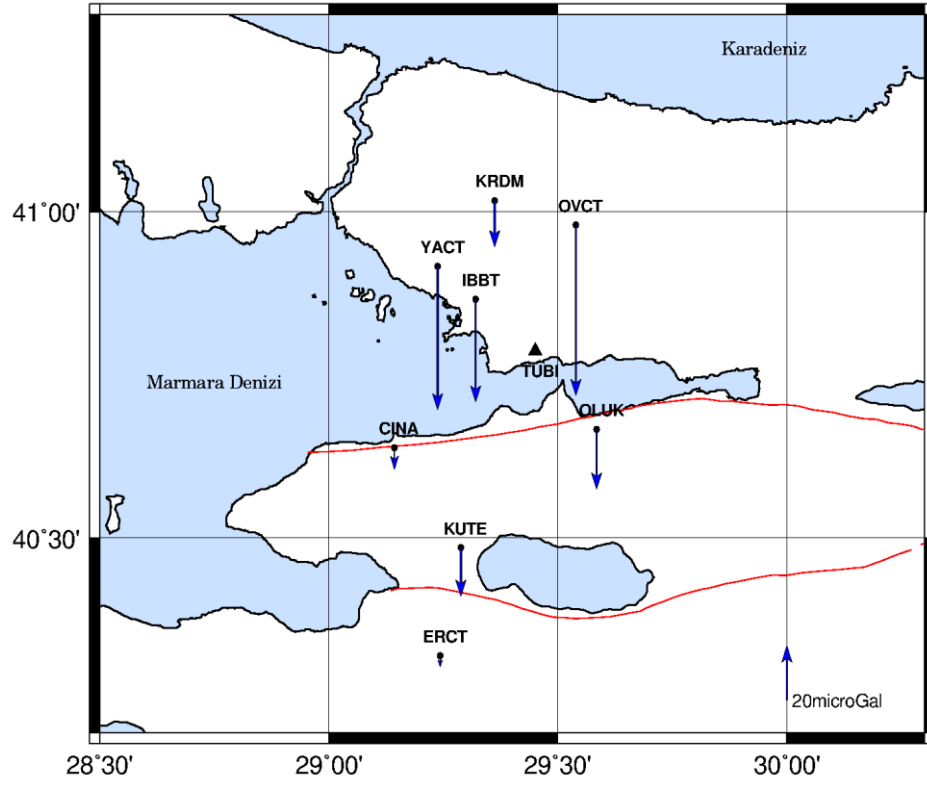


Şekil 4.23 Marmara Batı Bölgesi'nde 2007 Mayıs – 2008 Mayıs periyotlarına ilişkin yerleştirme işlemleri

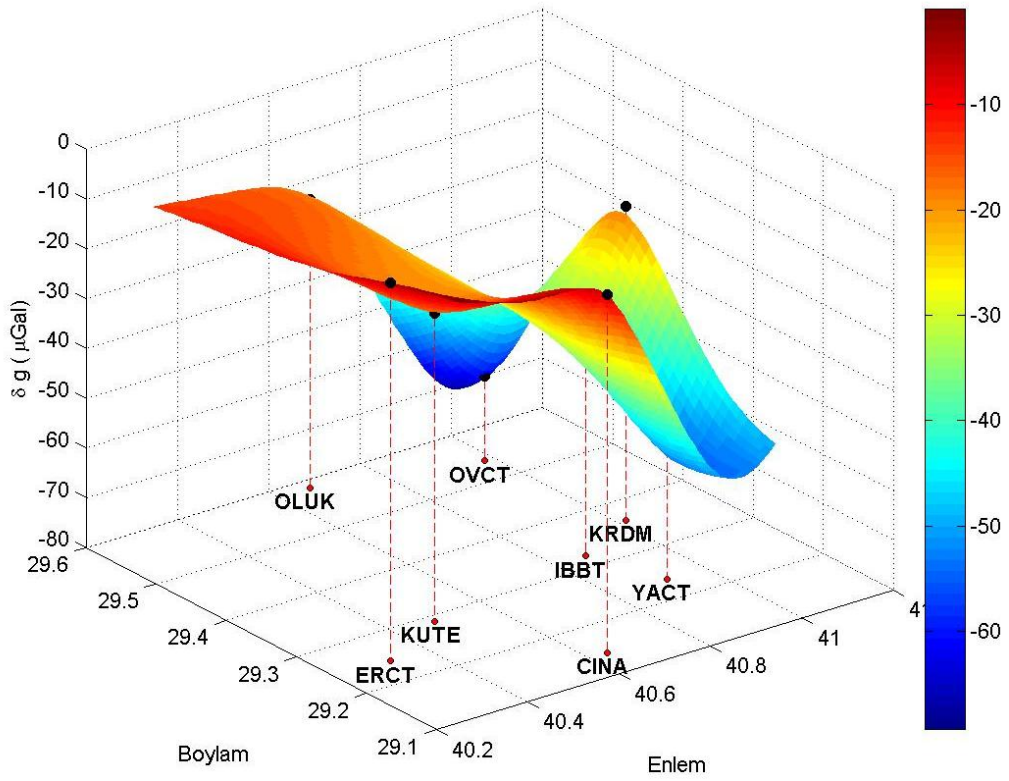
4.5.3 2008 – Mayıs ile 2009 – Mayıs Periyotlarına İlişkin Gravite Değişimleri ve Deformasyon Analizi

2008 – Mayıs ile 2009 – Mayıs periyotları arasında gerçekleştirilen global eşdeğerlik test sonuçlarına göre, Marmara Bölgesi'nin her iki kesiminde (doğu ve batı) anlamlı deformasyon bulunmuştur (Çizelge 4.19 ve 4.20). Her iki kesime ilişkin noktalardaki gravite değişimleri Şekil 4.24a ve b ile Şekil 4.26a ve b'de verilmektedir.

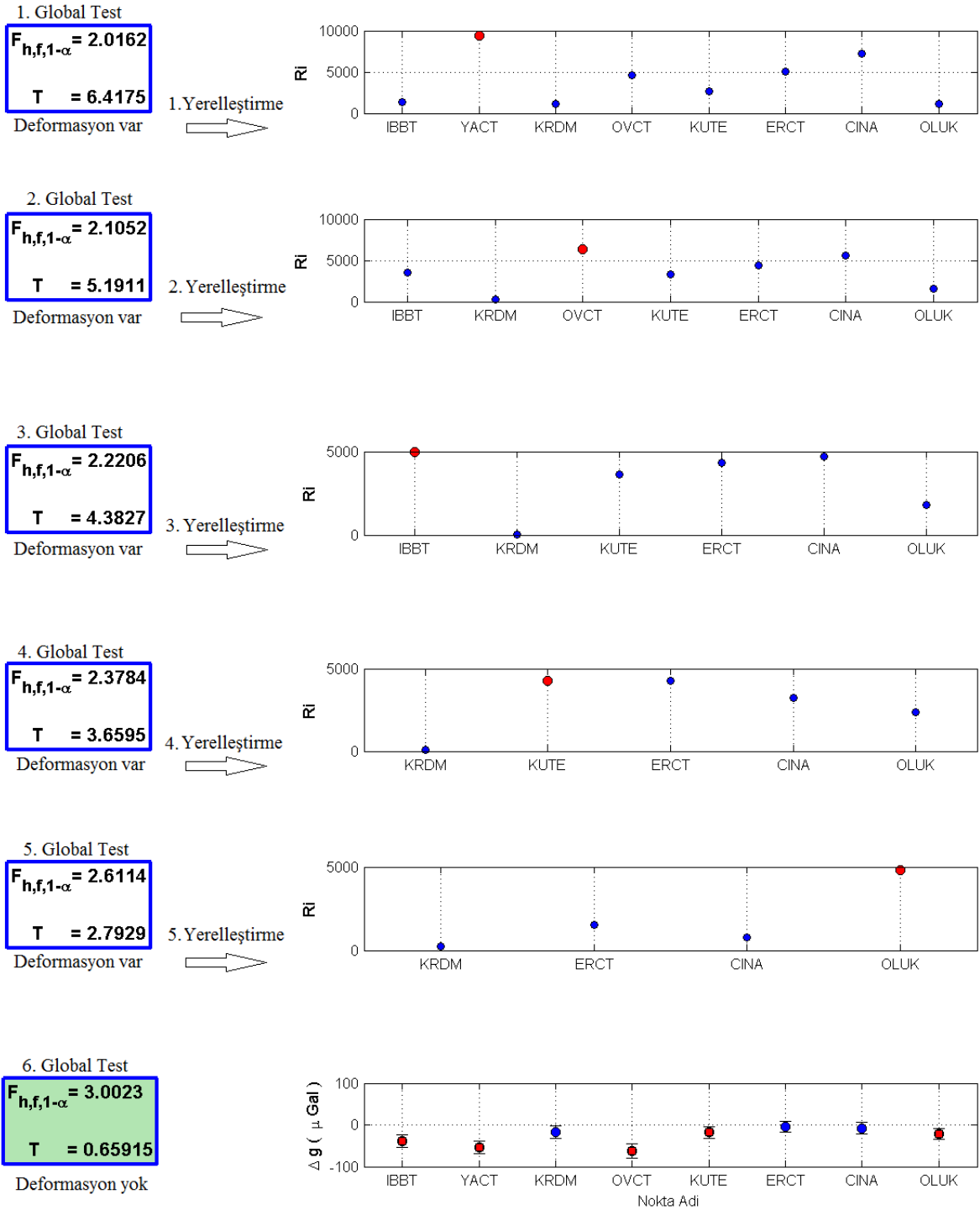
Marmara Bölgesi'nin doğu kesiminde ve iki periyot arasında gerçekleştirilen yerleştirme işlemi sonucunda YACT, OVCT, IBBT, KUTE ve OLUK noktalarında anlamlı gravite değişimi bulunmuş ve sonuçlar Şekil 4.25'te gösterilmektedir. Bu kesimde yerleştirme işlemi sonunda analizden çıkarılan deformasyonlu nokta dışında en büyük gravite değişimi KRDM noktasında ($-17 \pm 15 \mu Gal$), en küçük gravite değişimi ise ERCT noktasında ($-3 \pm 14 \mu Gal$) görülmektedir (Şekil 4.24a ve b).



Şekil 4.24a Marmara Doğu Bölgesi gravite değişimleri (2008 Mayıs – 2009 Mayıs)

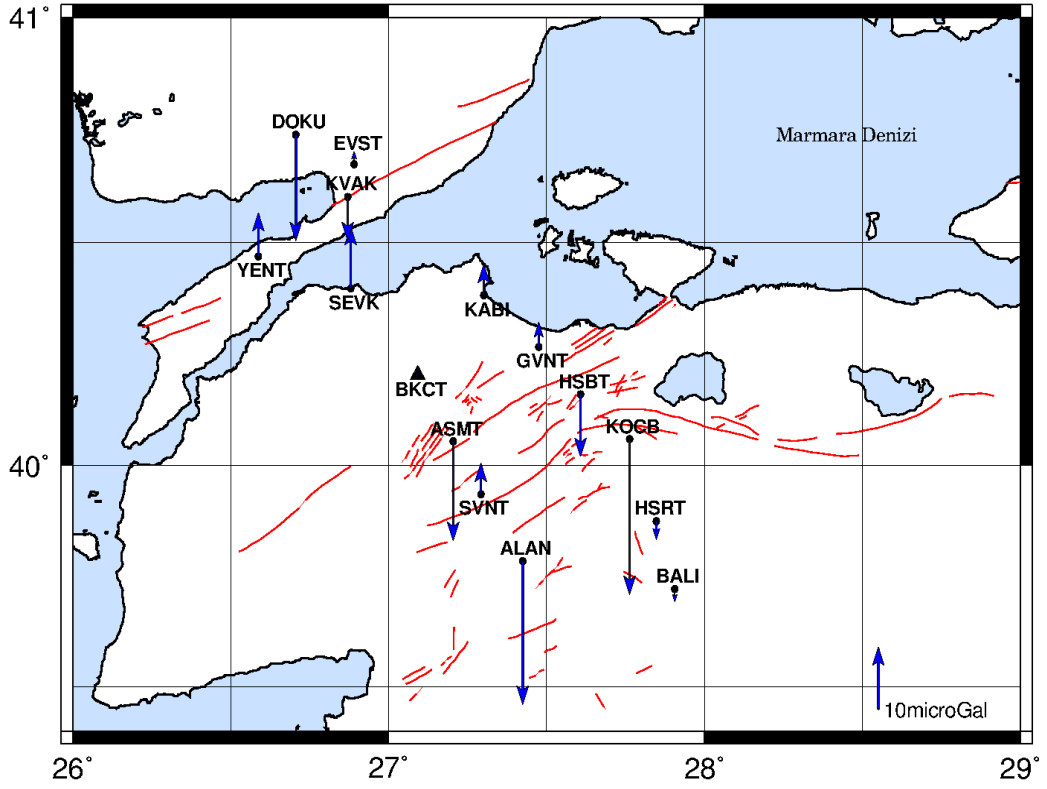


Şekil 4.24b Marmara Doğu Bölgesi gravite değişim yüzeyi (2008 Mayıs – 2009 Mayıs)

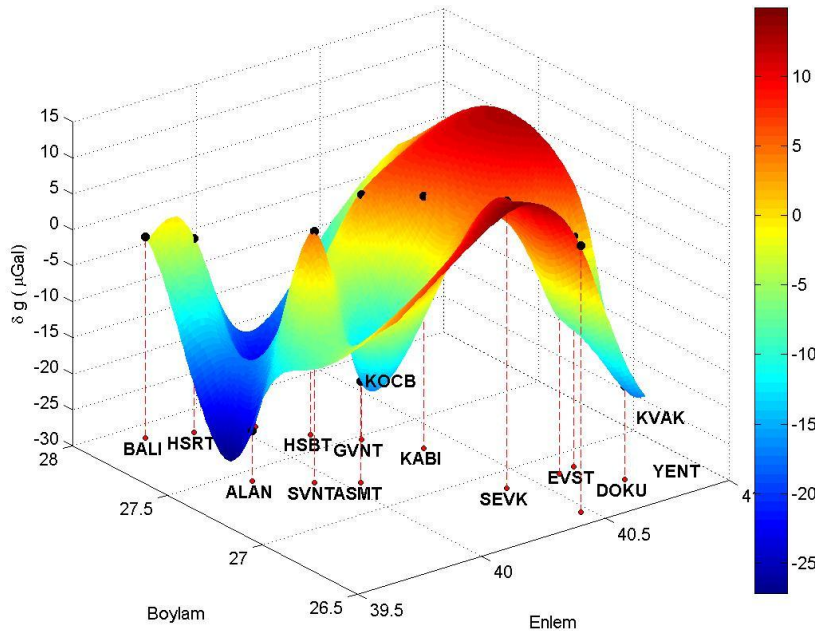


Şekil 4.25 Marmara Doğu Bölgesi'nde 2008 Mayıs – 2009 Mayıs periyotlarına ilişkin yerelleştirme işlemleri

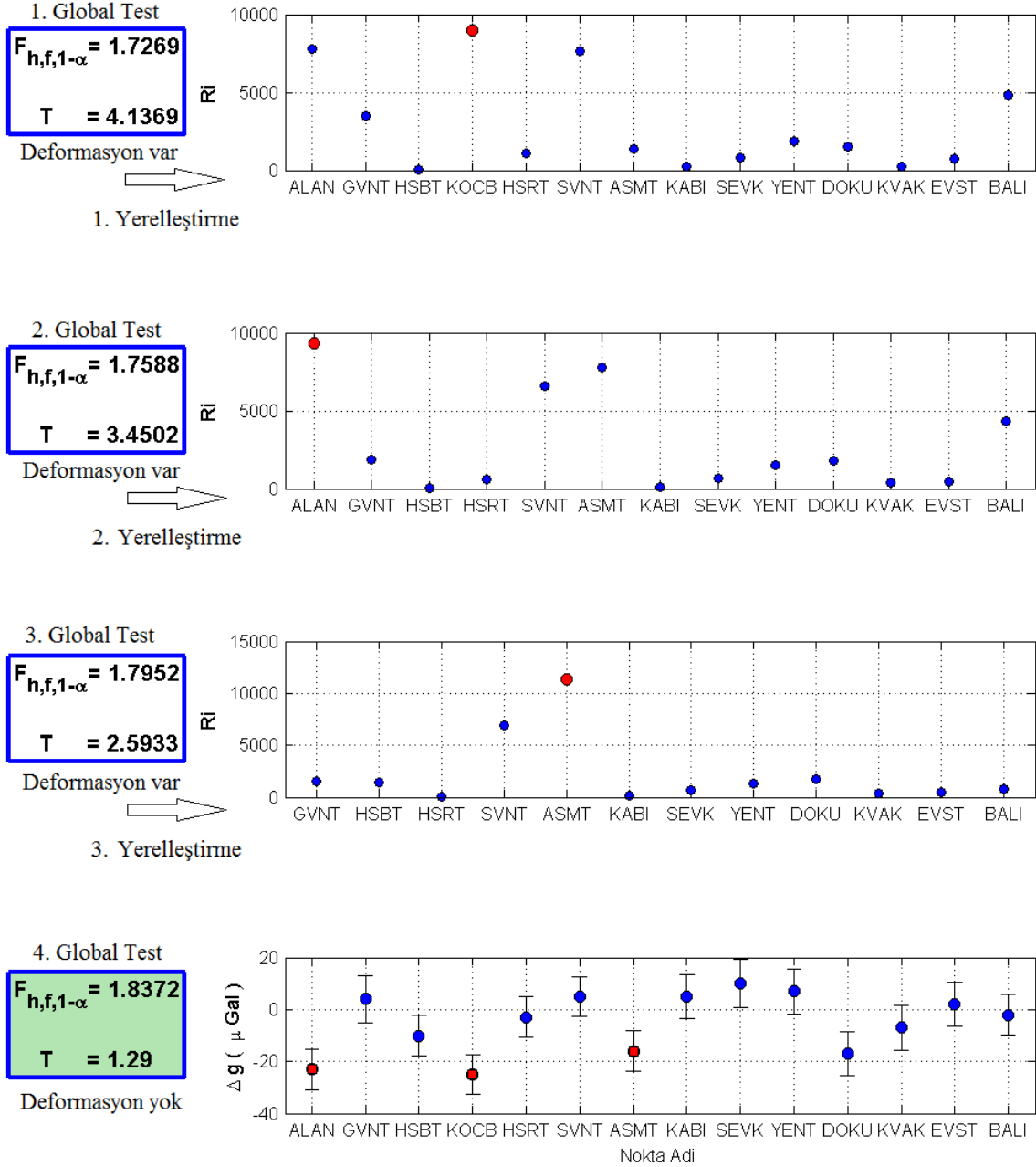
Marmara Bölgesi'nin batı kesiminde ise, gerçekleştirilen yerelleştirme işlemi sonucunda KOGB, ALAN ve ASMT noktalarında anlamlı gravite değişimleri tespit edilmiştir (Şekil 4.27). Bu kesimde yerelleştirme işlemi sonunda analizden çıkarılan deformasyonlu noktalar dışında en büyük gravite değişimi DOKU noktasında ($-17 \pm 9 \mu\text{Gal}$), en küçük gravite değişimi ise BALI noktasında ($-1 \pm 8 \mu\text{Gal}$) görülmektedir (Şekil 4.26a ve b).



Şekil 4.26a Marmara Batı Bölgesi gravite değişimleri (2008 Mayıs – 2009 Ekim)



Şekil 4.26b Marmara Batı Bölgesi gravite değişim yüzeyi (2008 Mayıs – 2009 Mayıs)



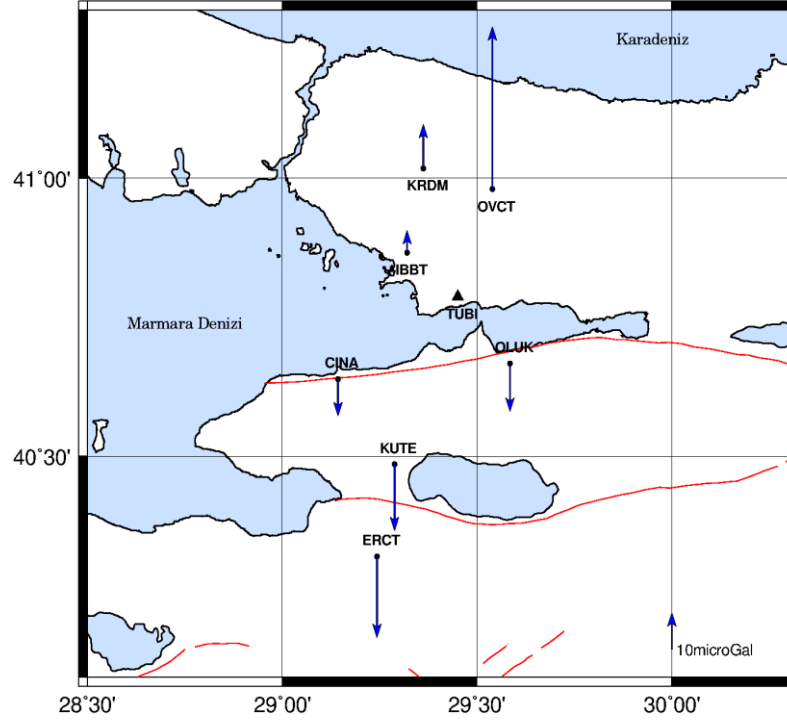
Şekil 4.27 Marmara Batı Bölgesi'nde 2008 Mayıs – 2009 Mayıs periyotlarına ilişkin yerelleştirme işlemleri

4.5.4 2009 – Mayıs ile 2009 – Ekim Periyotlarına İlişkin Gravite Değişimleri ve Deformasyon Analizi

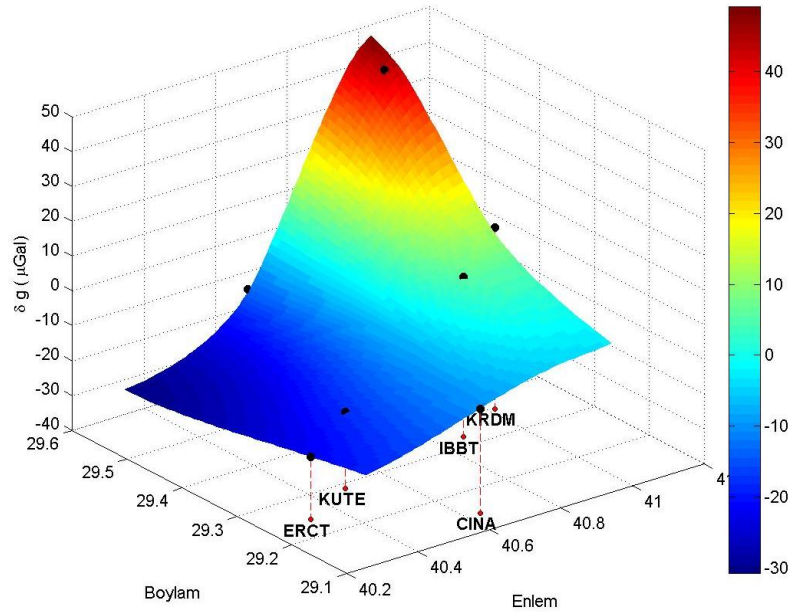
Marmara Bölgesi'nin doğu kesiminde 2007 – Mayıs ile 2008 – Mayıs periyotları arasında gerçekleştirilen global eşdeğerlik test sonuçlarına göre anlamlı deformasyon bulunmuştur (Çizelge 4.19) ve noktalara ilişkin gravite değişimleri Şekil 4.28a ve b'de verilmektedir.

İki periyot arasında gerçekleştirilen yerelleştirme işlemi sonucunda OVCT noktasında anlamlı gravite değişimi bulunmuş ve sonuçlar Şekil 4.29'da gösterilmektedir. Bu kesimde

yerelleştirme işlemi sonunda analizden çıkarılan deformasyonlu nokta dışında en büyük gravite değişimi ERCT noktasında ($-22 \pm 10 \mu\text{Gal}$), en küçük gravite değişimi ise IBBT noktasında ($5 \pm 10 \mu\text{Gal}$) görülmektedir (Şekil 4.28a ve b).



Şekil 4.28a Marmara Doğu Bölgesi gravite değişimleri (2009 Mayıs– 2009 Ekim)

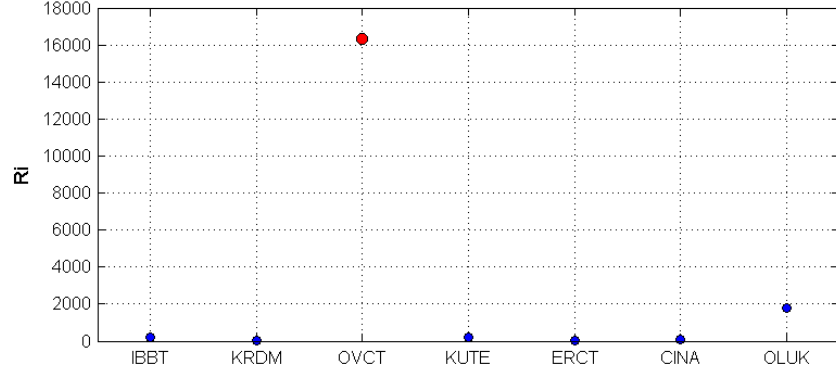


Şekil 4.28b Marmara Doğu Bölgesi gravite değişim yüzeyi (2009 Mayıs– 2009 Ekim)

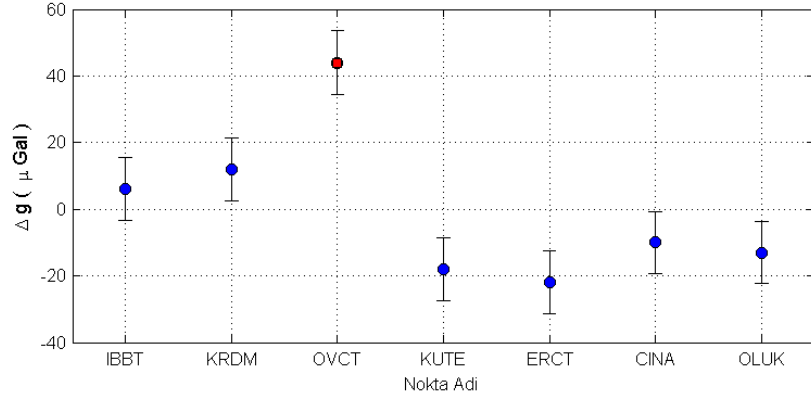
1. Global Test
 $F_{h,f,1-\alpha} = 2.105$
 $T = 4.8115$
 Deformasyon var



1. Yerleştirme



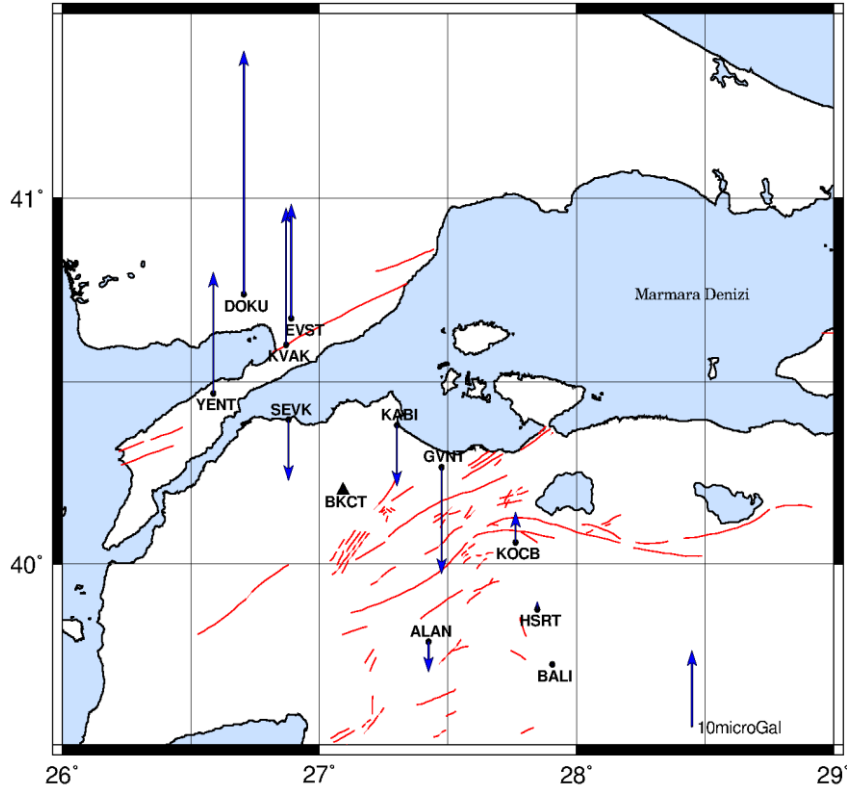
2. Global Test
 $F_{h,f,1-\alpha} = 2.2205$
 $T = 1.147$
 Deformasyon yok



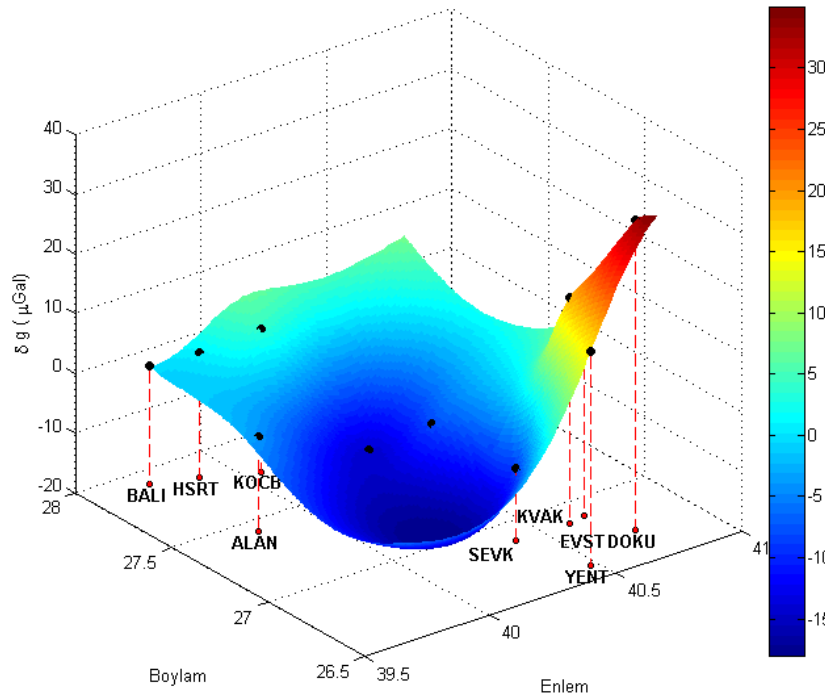
Şekil 4.29 Marmara Doğu Bölgesi'nde 2009 Mayıs – 2009 Ekim periyotlarına ilişkin yerleştirme işlemleri

Marmara Bölgesi'nin batı kesiminde ise 2009 – Mayıs ile 2009 – Ekim periyotları arasında gerçekleştirilen global eşdeğerlik test sonucuna göre deformasyon bulunmadığı ve gravite değişimlerinin rastgele hatalardan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır (Çizelge 4.20). İki periyot arasında noktalara ilişkin gravite değişimleri Şekil 4.30a ve b'de gösterilmektedir.

Şekil 4.30a ve b'ye göre, 2009 – Mayıs ile 2009 – Ekim periyotları arasında en büyük gravite değişimi DOKU noktasında ($32 \pm 9 \mu\text{Gal}$), en küçük gravite değişimi BALI noktasında ($-1 \pm 8 \mu\text{Gal}$) meydana gelmiştir.



Şekil 4.30a Marmara Batı Bölgesi gravite değişimleri (2009 Mayıs– 2009 Ekim)

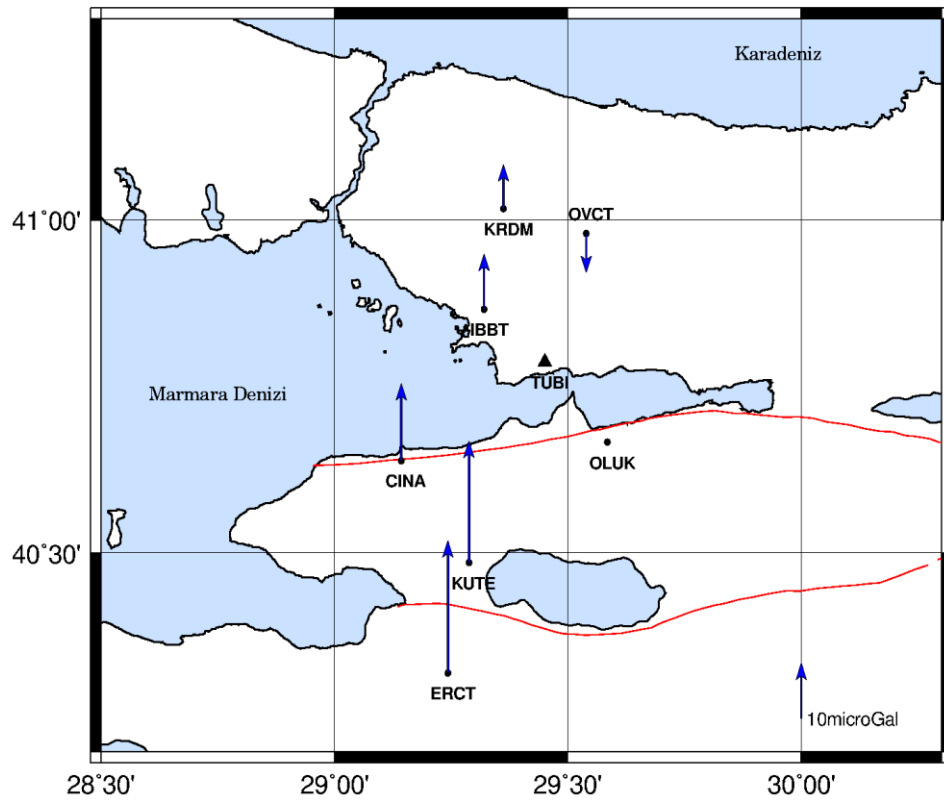


Şekil 4.30b Marmara Batı Bölgesi gravite değişim yüzeyi (2009 Mayıs– 2009 Ekim)

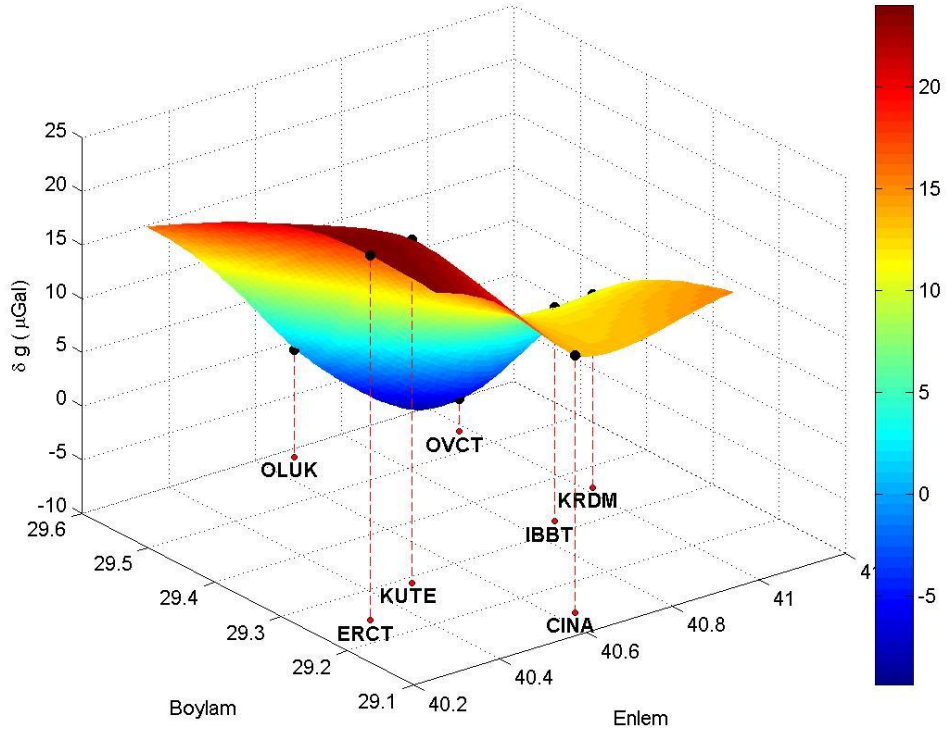
4.5.5 2009 – Ekim ile 2010 – Mayıs Periyotlarına İlişkin Gravite Değişimleri ve Deformasyon Analizi

Marmara Bölgesi'nin doğu kesiminde 2009 – Ekim ile 2010 – Mayıs periyotları arasında, gerçekleştirilen global eşdeğerlik test sonucuna göre deformasyon bulunmadığı ve gravite değişimlerinin rastgele hatalardan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır (Çizelge 4.19). İki periyot arasında noktalara ilişkin gravite değişimleri Şekil 4.31a ve b'de gösterilmektedir.

Şekil 4.31a ve b'ye göre, 2009 – Ekim ile 2010 – Mayıs periyotları arasında en büyük gravite değişimi ERCT noktasında ($23 \pm 4 \mu\text{Gal}$), en küçük gravite değişimi OLUK noktasında ($0 \pm 4 \mu\text{Gal}$) meydana gelmiştir.



Şekil 4.31a Marmara Doğu Bölgesi gravite değişimleri (2009 Ekim – 2010 Mayıs)

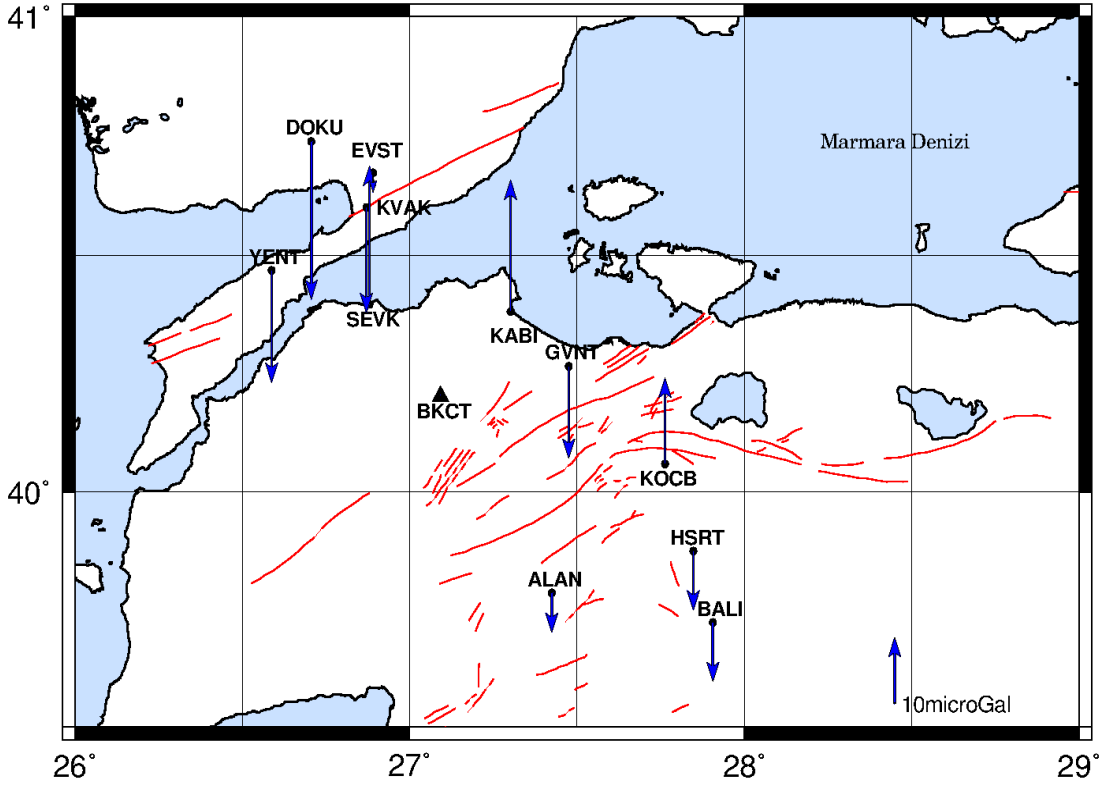


Şekil 4.31b Marmara Doğu Bölgesi gravite değişim yüzeyi (2009 Ekim – 2010 Mayıs)

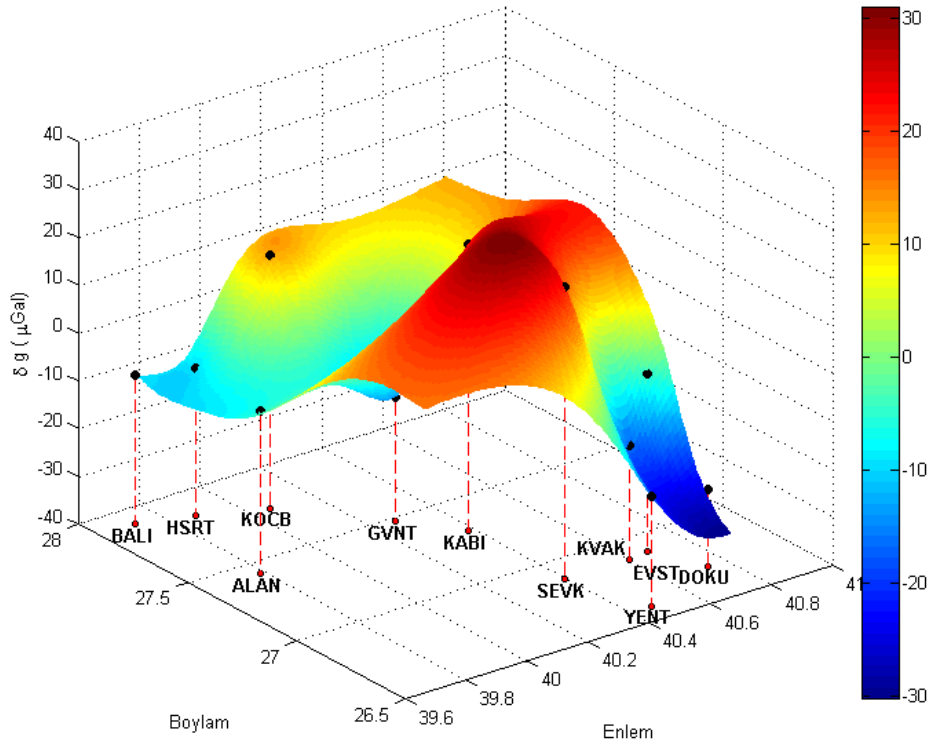
Marmara Bölgesi'nin batı kesiminde ise iki dönem arasında anlamlı deformasyon belirlenmiş ve noktalara ilişkin gravite değişimleri Şekil 32a ve b'de verilmektedir.

2009 – Ekim ile 2010 – Mayıs periyotları arasında, maksimum aykırılık yöntemi ile yapılan yerleştirmede KOGB, KABI ve SEVK noktalarında anlamlı gravite değişimi olduğu tespit edilmiştir. Yerleştirme işlemine ilişkin sonuçlar Şekil 33'de gösterilmektedir.

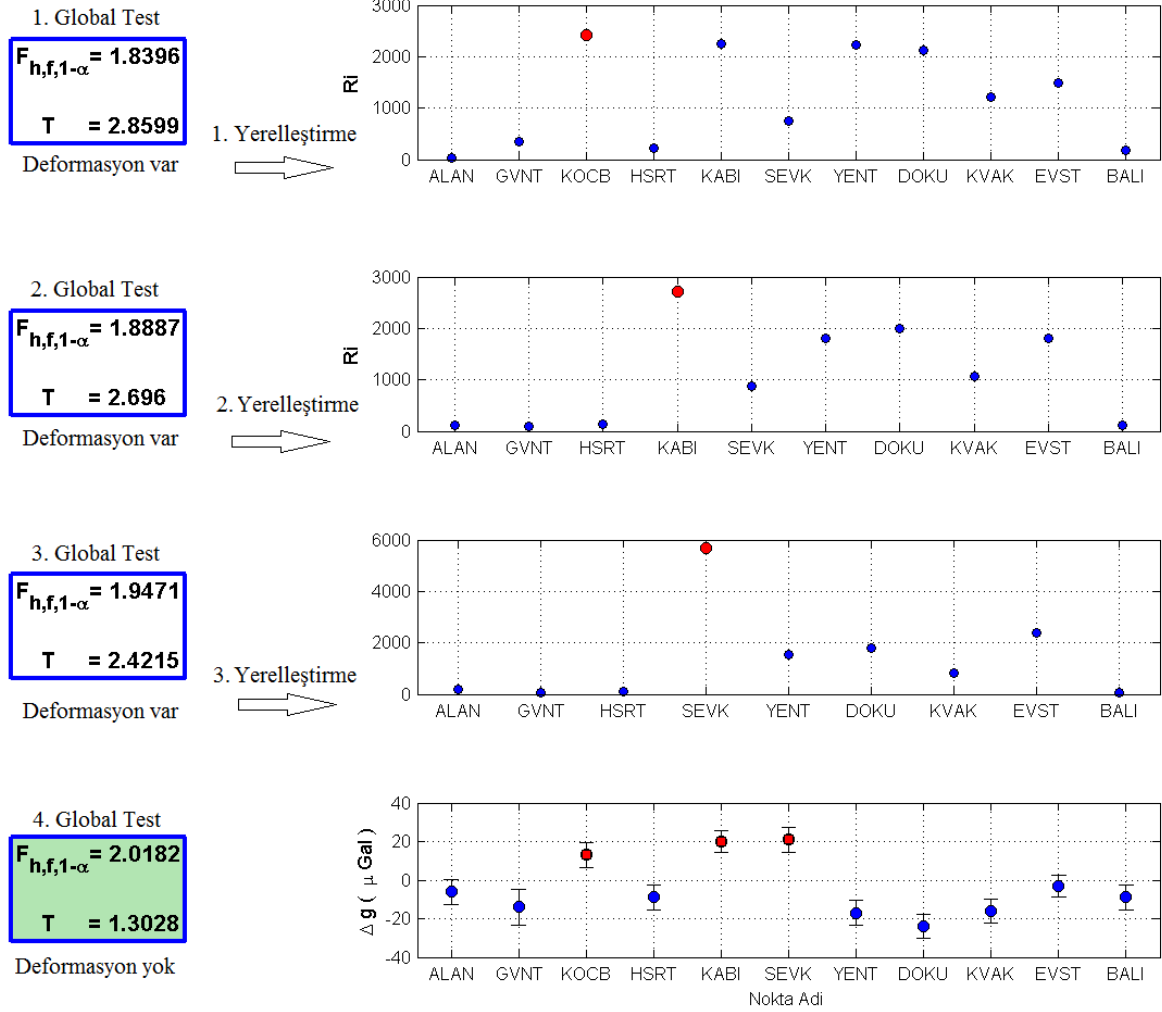
Ayrıca yerleştirme işlemi sonunda analizden çıkarılan deformasyonlu noktalar dışında en büyük gravite değişimi DOKU noktasında ($-24 \pm 6 \mu\text{Gal}$), en küçük gravite değişimi ise EVST noktasında ($-3 \pm 6 \mu\text{Gal}$) görülmektedir (Şekil 4.32a ve b).



Şekil 4.32a Marmara Batı Bölgesi gravite değişimleri (2009 Ekim – 2010 Mayıs)



Şekil 4.32b Marmara Batı Bölgesi gravite değişim yüzeyi (2009 Ekim – 2010 Mayıs)



Şekil 4.33 Marmara Batı Bölgesi'nde 2009 Ekim – 2010 Mayıs periyotlarına ilişkin yerleştirme işlemleri

4.6 Düşey Hız Alanlarının Bağıl Gravite ve GPS ile Belirlenmesi

Gravite değişimleri, yükseklik değişimleri ile yüksek korelasyonludur. Bu ilişki serbest hava anomalisi ile tanımlanır. Gravite değişimi, yükseklik değişiminden kaynaklanıyorsa, iki değişimin ters yönlü olması, yani ters korelasyonlu olması beklenmektedir.

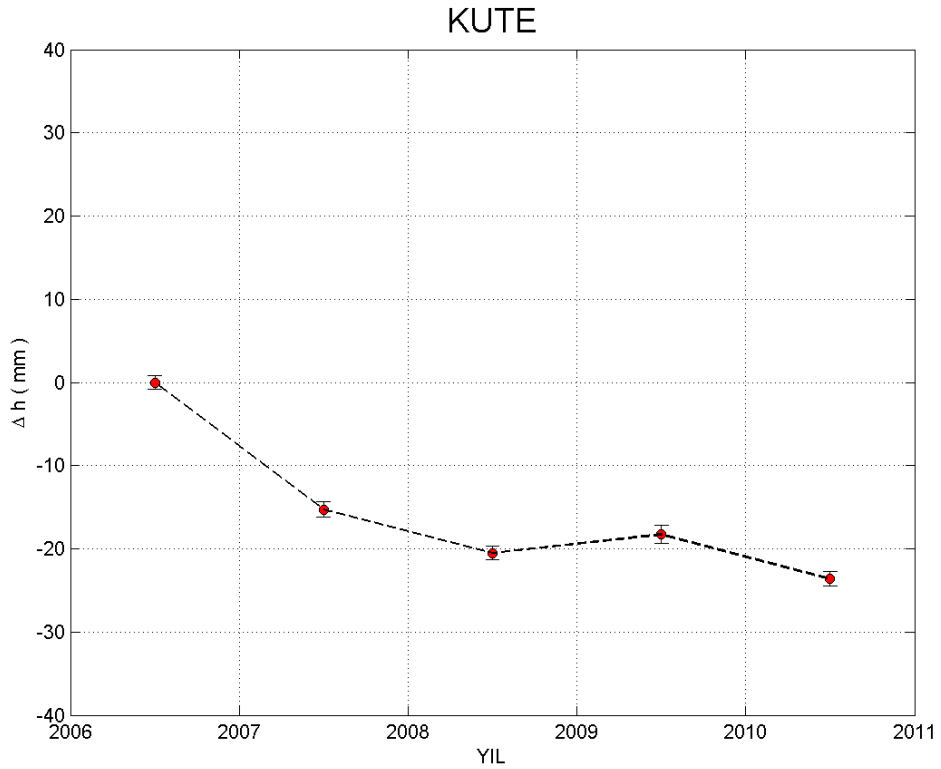
Marmara Bölgesi'nde bulunan gravite noktalarında aynı zamanda 2006 – 2010 yılları arasında GPS ölçmeleri gerçekleştirilmiştir. GPS ölçmeleri Bern Üniversitesi (İsviçre) tarafından geliştirilen Bernese 5.0 GPS yazılımı ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme ile ilgili ayrıntılı bilgiler Çolak (2010)'da verilmektedir.

Bu çalışmada, bölgedeki düşey yerkabuğu hareketlerini belirlemek amacıyla 5 periyot GPS ölçüsü için Bernese 5.0 yazılımından elde edilen noktaların yükseklik bileşenleri ve bunların kovaryans matrisleri kullanılmıştır.

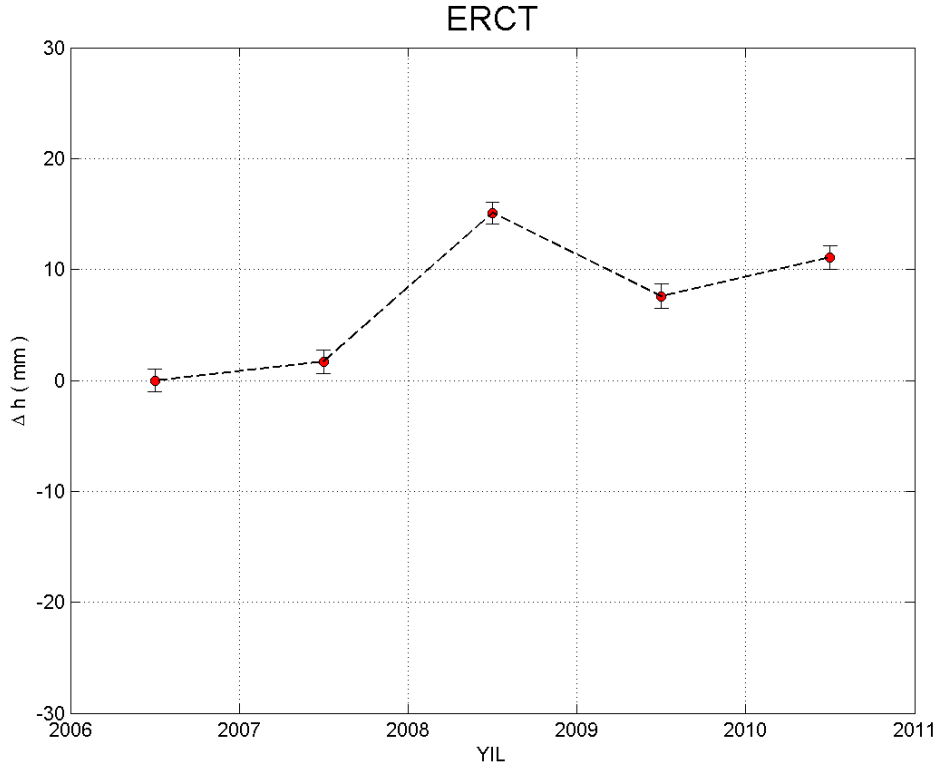
Marmara Bölgesi'nin doğu kesiminde oluşturulan gravite ağına TUBI noktası datum noktası olarak tanımlandığından ve GPS ile elde edilen sonuçları gravite sonuçları ile karşılaştırmak için TUBI noktası GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde datum noktası olarak seçilmiştir.

Marmara Bölgesi'nin batı bölümünde ise, burada oluşturulan gravite ağına BKCT noktası datum noktası olarak tanımlandığı için aynı nokta GPS ölçülerinin değerlendirmesinde de datum noktası olarak belirlenmiştir.

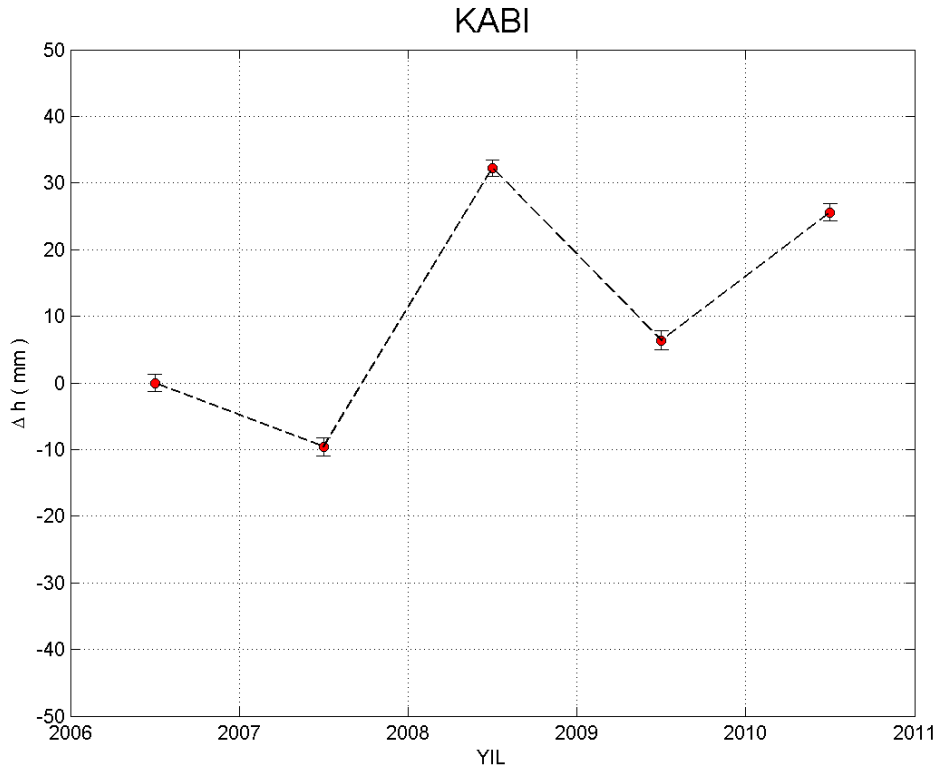
Marmara Bölgesi'nde noktaların yükseklik bileşenlerine ilişkin zaman serileri Şekil 4.34 – 4.37'de verilmektedir. Şekil 4.34 – 4.37'ye göre yükseklik değişimleri, KUTE noktasında çökme; ERCT, KABI ve DOKU noktalarında yükselme olarak görülmektedir.



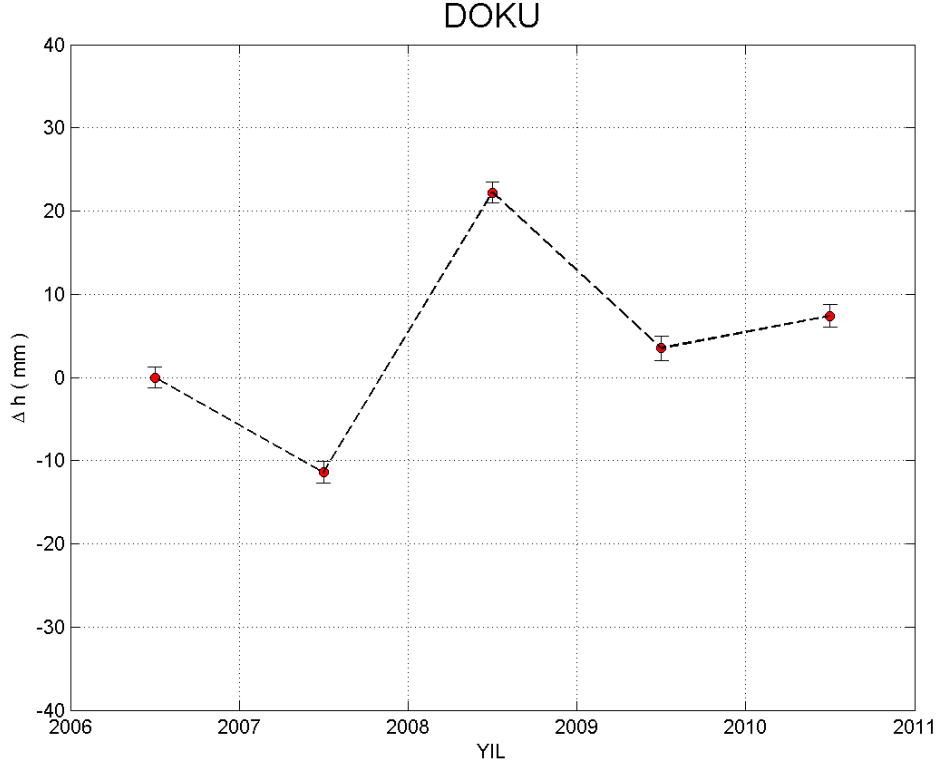
Şekil 4.34 KUTE noktasına ilişkin GPS yüksekliği zaman serisi



Şekil 4.35 ERCT noktasına ilişkin GPS yüksekliği zaman serisi



Şekil 4.36 KABI noktasına ilişkin GPS yüksekliği zaman serisi



Şekil 4.37 DOKU noktasına ilişkin GPS yüksekliği zaman serisi

Bir jeodezik ağın bir P noktasının t_0 zamanındaki gravite değeri g_{t_0} ve yüksekliği h_{t_0} , hız bileşenleri V_{g,t_0} ve V_{h,t_0} olsun. Buna göre P noktasının t_k zamanındaki gravite ve yükseklikleri doğrusal kinematik hız modeline göre (Doğan, 2002):

$$g_{t_k} = g_{t_0} + V_{g,t_0}(t_k - t_0) \quad (4.5)$$

$$h_{t_k} = h_{t_0} + V_{h,t_0}(t_k - t_0) \quad (4.6)$$

olur.

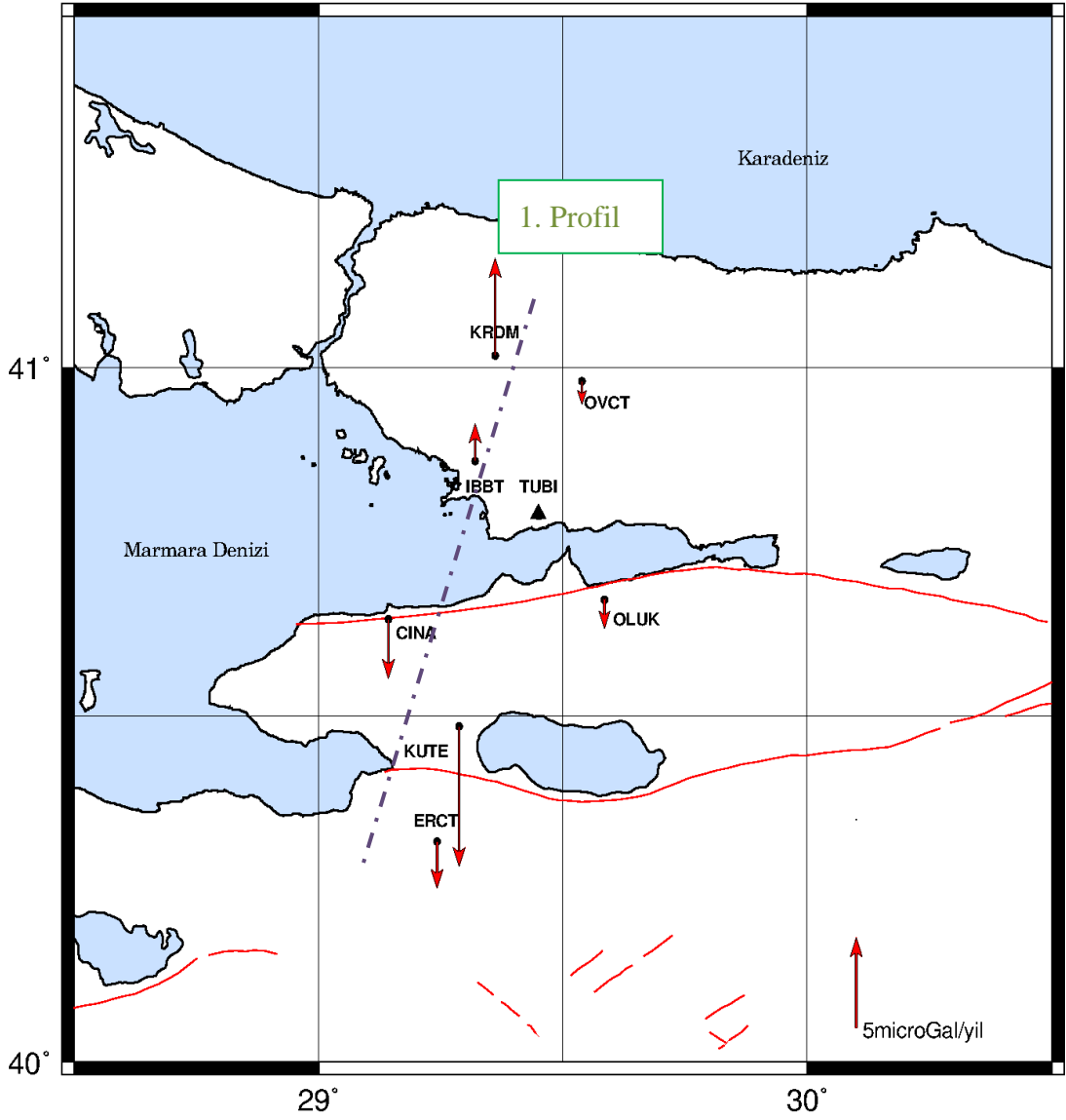
Noktaların periyotlar arasındaki gravite ve yükseklik değişimleri (4.5) ve (4.6)'daki doğrusal kinematik model kullanılarak hız parametreleri belirlenmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 4.21 ve 4.22 ile Şekil 4.38 – 4.46'da verilmektedir.

Çizelge 4.21 Marmara Bölgesi'nin doğu kesiminde belirlenen gravite ve GPS yüksekliği hızları ve standart sapmaları

NOKTA ADI	Gravite		Yükseklik	
	V_{g,t_0}	$\pm s_{Vg,t_0}$	V_{h,t_0}	$\pm s_{Vh,t_0}$
	(μGal/yıl)		(mm/yıl)	
IBBT	2.1	± 5.5	-4.4	± 3.5
KRDM	5.4	± 3.0	-1.2	± 2.0
OVCT	-1.3	± 8.4	-2.8	± 1.5
KUTE	-7.8	± 4.1	-5.3	± 1.7
ERCT	-2.6	± 3.9	2.9	± 1.7
CINA	-3.3	± 2.4	1.0	± 1.6
OLUK	-1.6	± 4.3	-1.7	± 2.4

Çizelge 4.22 Marmara Bölgesi'nin batı kesiminde belirlenen gravite ve GPS yüksekliği hızları ve standart sapmaları

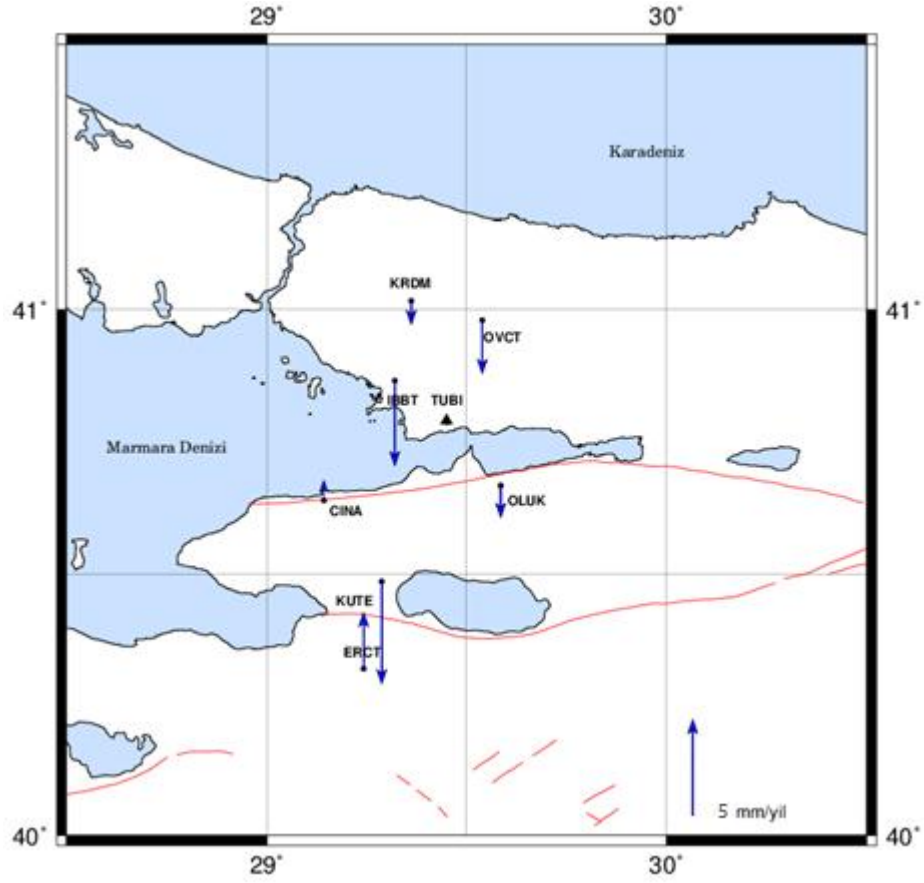
NOKTA ADI	Gravite		Yükseklik	
	V_{g,t_0}	$\pm s_{Vg,t_0}$	V_{h,t_0}	$\pm s_{Vh,t_0}$
	(μGal/yıl)		(mm/yıl)	
ALAN	-10.1	± 3.0	3.7	± 3.6
GVNT	-9.2	± 3.2	-10.1	± 11.0
HSBT	5.0	± 2.9	-6.9	± 6.7
KOCB	-8.3	± 3.8	3.8	± 6.5
HSRT	0.2	± 2.1	-10.3	± 1.2
SVNT	8.1	± 2.9	-	
ASMT	-12.8	± 2.6	-1.5	± 3.2
KABI	7.4	± 5.9	6.8	± 5.1
SEVK	10.7	± 5.4	5.0	± 4.4
YENT	-3.7	± 6.0	-	
DOKU	-5.6	± 6.4	3.0	± 4.2
KVAK	-0.2	± 3.7	-5.0	± 9.2
EVST	3.0	± 3.7	-	
BALI	-2.9	± 2.4	3.2	± 6.5



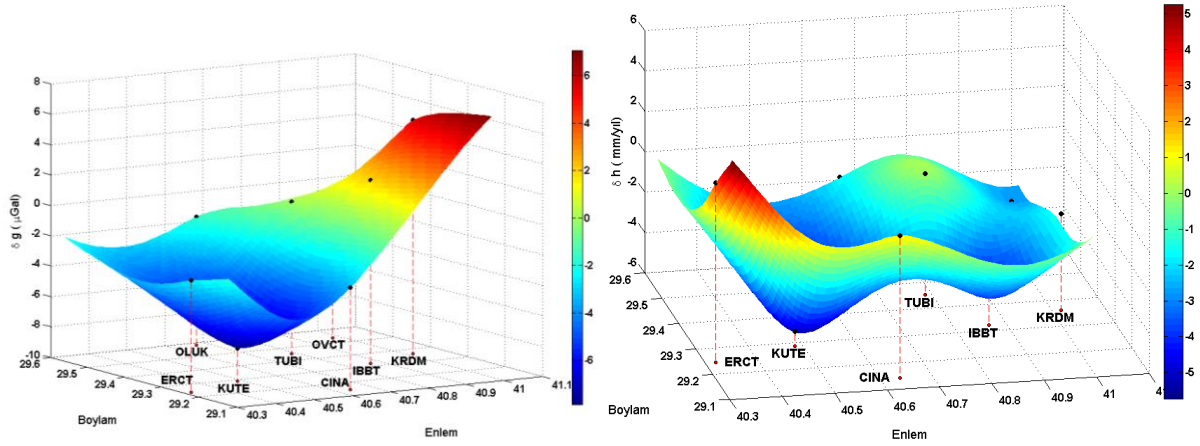
Şekil 4.38 Marmara Doğu Bölgesi'nde belirlenen gravite hızları

Şekil 4.38'e ve Çizelge 4.21 ile 4.22'ye göre, Marmara Bölgesi'nin Doğu kesiminde yer alan noktaların gravite hız değişimlerinin Batı kesimine göre daha küçük olduğu görülmektedir. Ayrıca KAF'ın kuzeyinde bulunan OVCT noktasında aynı alan içinde kalan IBBT ve KRDM noktalarının bölgesel gravite değişim sistematığına aykırı olan bir değişim göstermektedir. Bu değişimin yerel bir etkiden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

KAF'ın kuzeyinde bulunan noktalarda (OVCT hariç) artan yönde hız değişimleri görülürken, KAF'ın güneyinde azalan yönde bir değişim görülmektedir.



Şekil 4.39 Marmara Doğu Bölgesi'nde belirlenen GPS düşey hızları

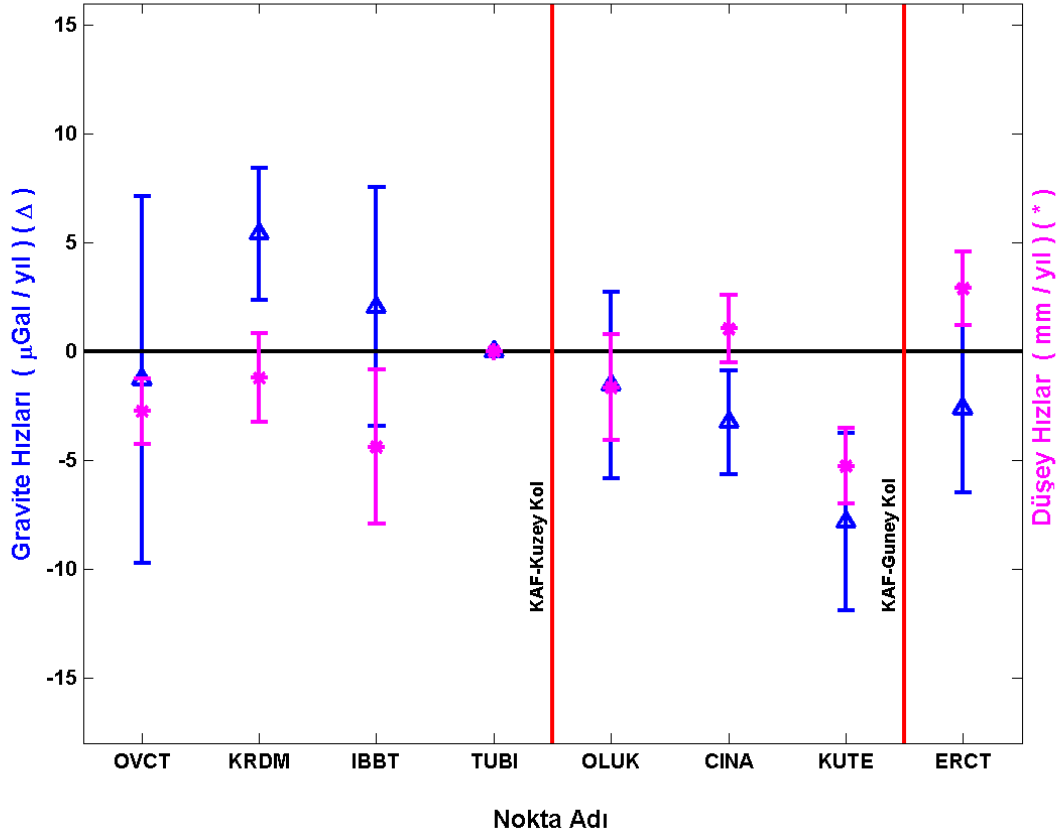


Şekil 4.40 Marmara Doğu Bölgesi'nde 1. Profil boyunca belirlenen gravite hızları (sağda) ve düşey hızlar (solda)

Şekil 4.38 – 4.40'a göre Marmara Bölgesi'nin doğu kesiminde gravite hızları ile GPS düşey hızları arasında OVCT, OLUK, ve KUTE noktalarında artı korelasyon görülürken, KRDM, IBBT, CINA ve ERCT noktalarında eksi korelasyon belirlenmiştir.

Gravite ve düşey hız değişimlerinin bölgedeki fay zonları ile olan ilişkisini ortaya koymak

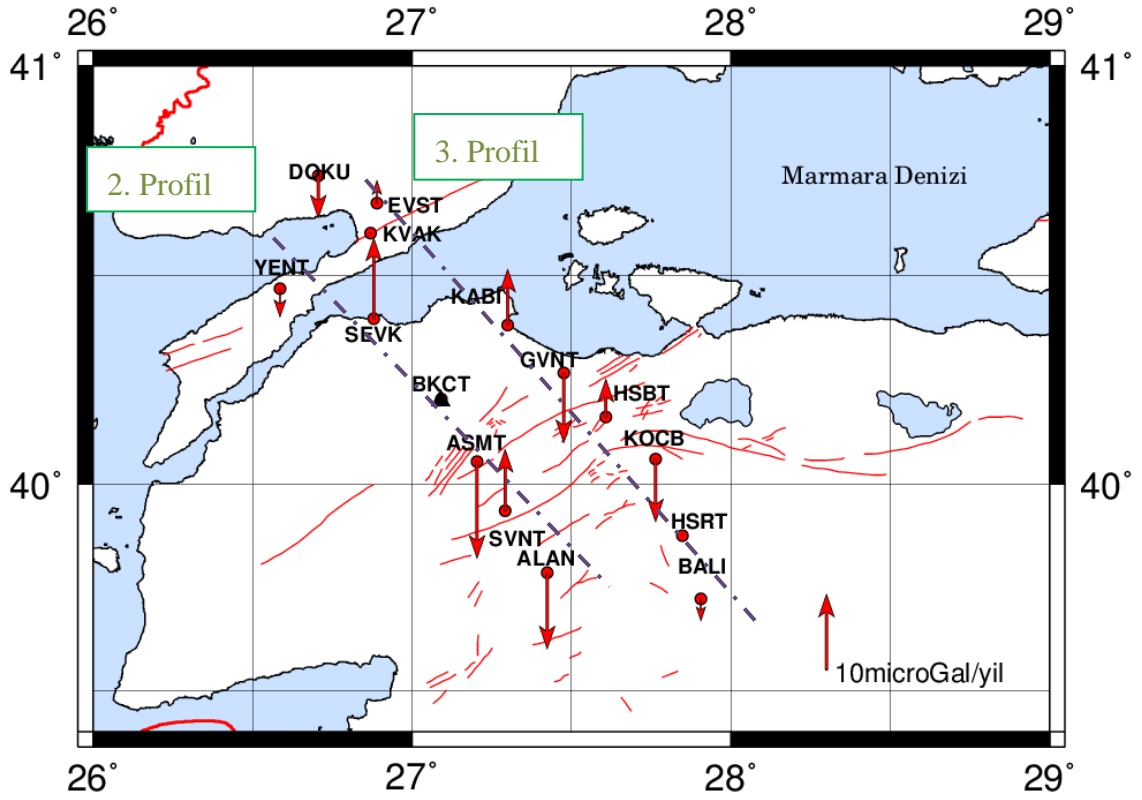
için bir profil boyunca (Şekil 4.38) noktadaki hız değişimleri Şekil 4.41’de gösterilmektedir. Şekil 4.41’e göre KAF’ın kuzey ve güney kolu arasında kalan noktalarda azalan bir gravite alanı gözlenirken fay dışında kalan noktalarda ise artan bir gravite alanı gözlenmektedir.



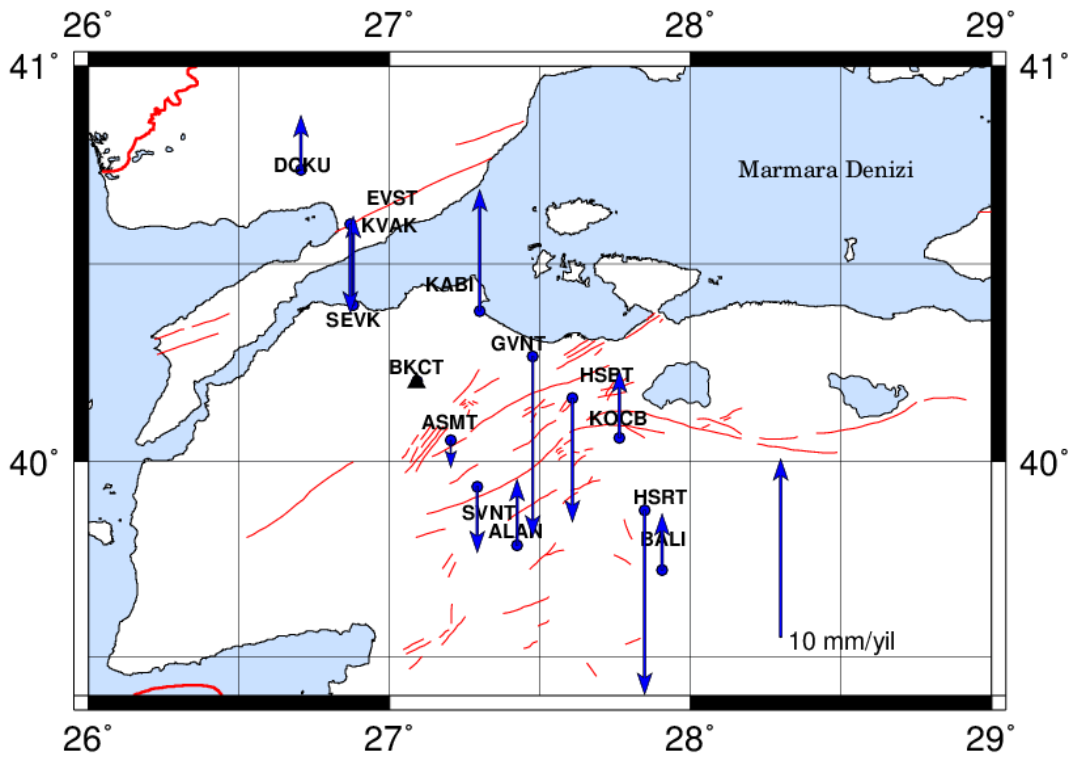
Şekil 4.41 Marmara Doğu Bölgesi’nde 1. Profil boyunca belirlenen gravite hızları ve düşey hızlar

Şekil 4.42’ye göre Marmara Bölgesi’nin batısında yer alan noktaların gravite hız değişimlerinin istatistiksel olarak anlamlı ve azalan yönlü bir değişim alanı gösterirken, Sarıköy Fayı ile Gönen-Yenice Fayı arasında kalan HSBT ve SVNT noktalarında artan bir gravite hız değişimi belirlenmiştir.

Şekil 4.42 – 4.47’ye göre Marmara Bölgesi’nin batı kesiminde gravite hız değişimi ile düşey hız arasında birçok noktada negatif korelasyon görülmektedir; fakat istatistiksel olarak anlamlı gravite değişim oranında anlamlı düşey deformasyonlar yüzeyde görülmemektedir (ALAN, GVNT ve ASMT noktaları).

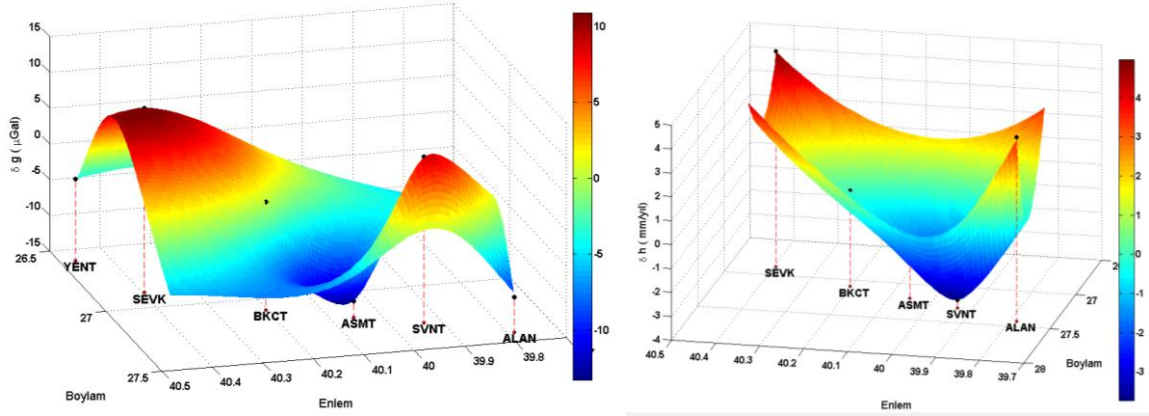


Şekil 4.42 Marmara Batı Bölgesi'nde belirlenen gravite hızları

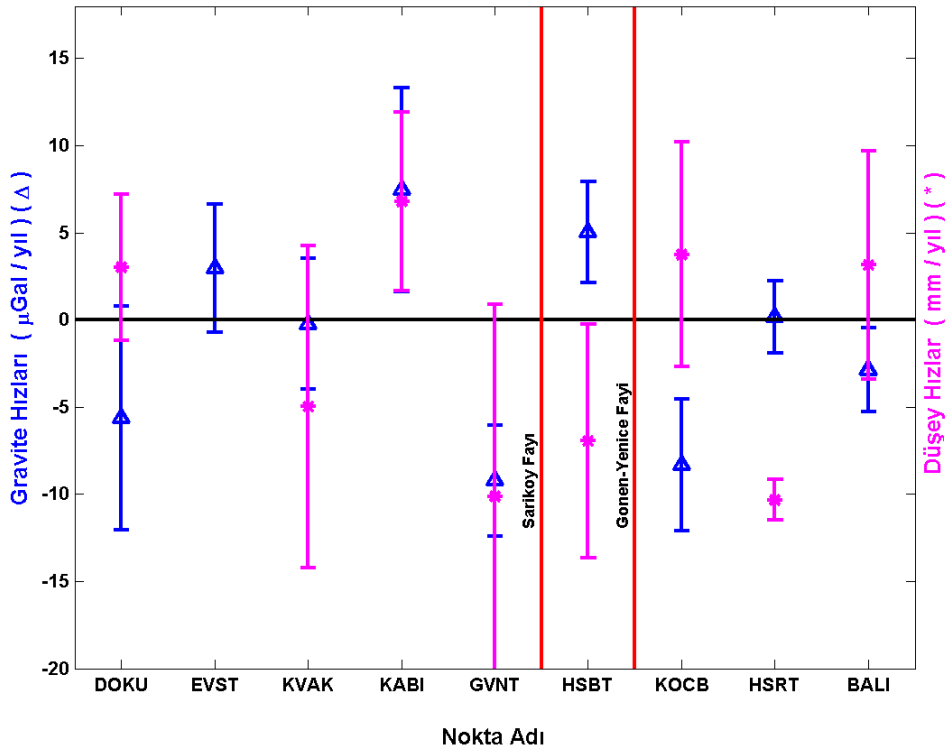


Şekil 4.43 Marmara Batı Bölgesi'nde belirlenen düşey hızlar

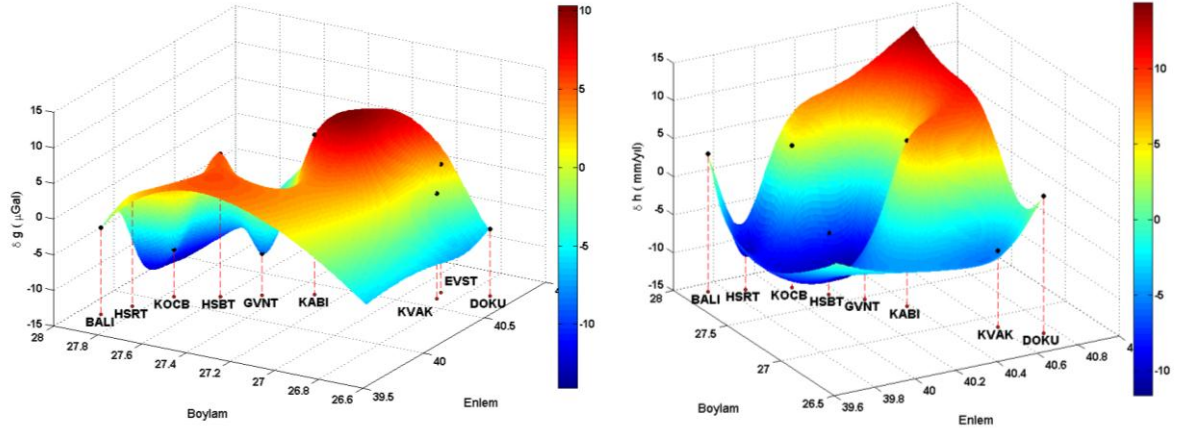
Ayrıca, değişimlerin bölgedeki fay zonları ile ilişkisini belirtmek amacıyla Şekil 4.42’de gösterilen profiller boyunca noktalandaki gravite ve düşey hız değişimleri Şekil 4.44 – 4.47’de gösterilmektedir. Şekil 4.45 ve 4.47’ye göre Sarıköy Fayı ile Gönen-Yenice Fayı arasında kalan noktalar (SVNT, HSBT) ile faya yakın noktalar arasında ters yönlü hız alanları gözlemlenmektedir.



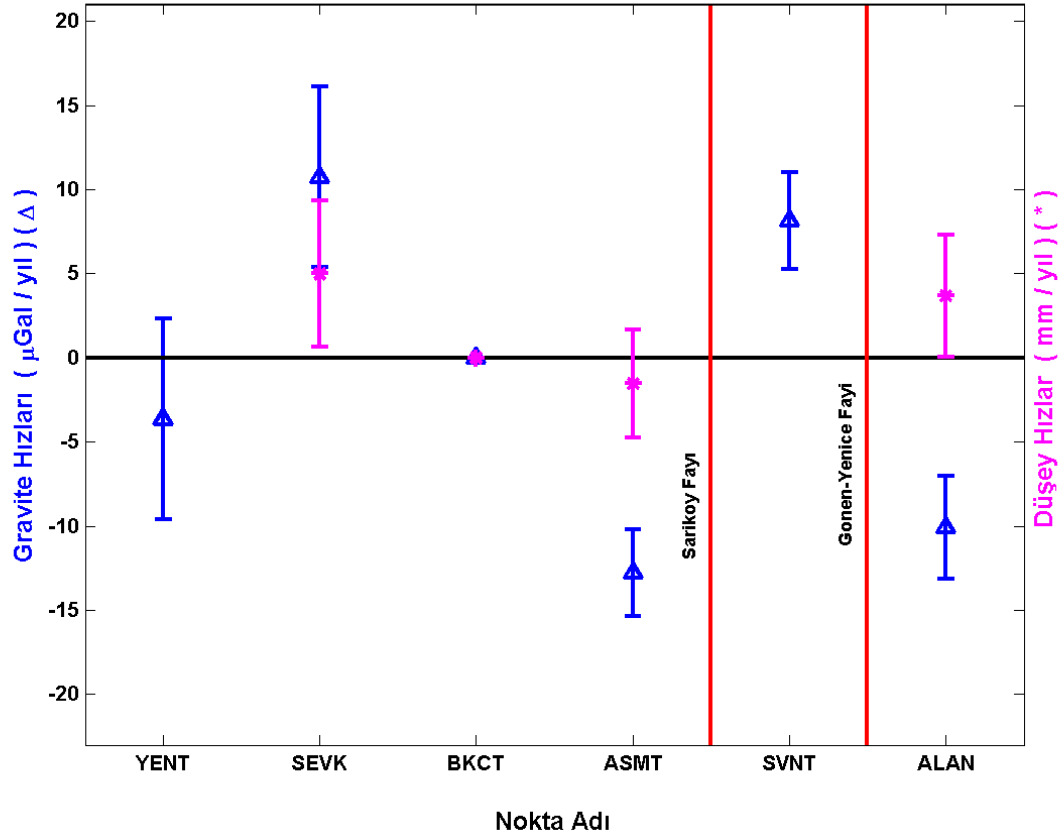
Şekil 4.44 Marmara Batı Bölgesi’nde 2. Profil boyunca belirlenen gravite hızları (sağda) ve düşey hızlar (solda)



Şekil 4.45 Marmara Batı Bölgesi’nde 2. Profil boyunca belirlenen gravite hızları ve düşey hızlar



Şekil 4.46 Marmara Batı Bölgesi'nde 3. Profil boyunca belirlenen gravite hızları (sağda) ve düşey hızlar (solda)



Şekil 4.47 Marmara Batı Bölgesi'nde 3. Profil boyunca belirlenen gravite hızları ve düşey hızlar

5. SONUÇLAR

“Marmara Bölgesi’ndeki Düşey Yerkabuğu Hareketlerinin Mutlak Gravite ve GPS ile Araştırılması” (108Y152 numaralı 1001 Projesi) ile “Türkiye’nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik- ancak tektonik rejimleri farklı- Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması“ (105G019 numaralı 1007 Projesi) isimli TUBİTAK projeleri kapsamında, 2006 – 2010 yılları arasında Marmara Bölgesi’nde bağıl gravite ve GPS ölçüleri gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada bu veriler kullanılarak Marmara Bölgesi’nde düşey yerkabuğunda meydana gelen deformasyonlar belirlenmiştir.

Uygulama aşmasında, bağıl gravite ölçülerinin değerlendirilmesi,

- gravite ölçülerinin indirgenmesi (alet yüksekliği, karasal gelgit etkisi, atmosferik basınç)
- uyumsuz ölçü testi ile kaba hatalı ölçülerin ölçü grubundan çıkarılması
- ağın tüm geçkilerine ait gravite ağ dengelemesi

adımları izlenerek gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca Bursa – Uludağ arasında tesis edilen gravite kalibrasyon bazında gerçekleştirilen mutlak gravite ölçme sonuçları kullanılarak bağıl gravite ölçerlerin ölçek parametreleri test edilmiş ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır.

Marmara Bölgesi’nin doğu ve batı kesimlerinde yer alan noktalarda zamana bağlı gravite değişimleri incelenerek deformasyon analizi ile istatistiksel olarak anlamlı olup olmadıkları araştırılmıştır.

Marmara Bölgesi’nde elde edilen zamansal gravite değişimleri incelendiğinde, bölgenin doğu ve batı kesimlerinde farklı davranışlar gösterdiği görülmektedir.

Marmara Bölgesi’nin doğu kesiminde bulunan noktaların gravite hız değişimleri, bölgenin batı kesiminde bulunan noktaların gravite hız değişimlerine göre daha küçük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Marmara Bölgesi’nin doğu kesiminde KAF’ın kuzeyinde bulunan noktalarda (OVCT hariç) artan yönde gravite hız değişimi görülürken KAF’ın güneyinde bulunan noktalarda azalan yönde bir değişim görülmektedir.

Marmara Bölgesi’nin batı kesiminde yer alan noktaların gravite hız değişimi azalan yönde bir davranış gösterirken, Sarıköy Fayı ile Gönen-Yenice Fayı arasında kalan noktalarda (SVNT, HSBT) artan yönde bir gravite hız alanı belirlenmiştir.

Marmara Bölgesi’nin doğu ve batı kesiminde GPS ölçülerinden elde edilen düşey hız alanı ile

bağıl gravite ölçülerinden elde edilen gravite hız alanları karşılaştırılmıştır. Bölgenin her iki kesiminde istatistiksel olarak anlamlı gravite değişimi olan noktalarda anlamlı düşey deformasyonlar yüzeye görülmemektedir.

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.

KAYNAKLAR

- 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, edited by J. Zschau and O. Ergünay”, University of Kiel, Earth Research Institute Germany, 67-73.
- Amalvict M., Hinderer J., Makinen J., Rosat S. ve Rogister Y., (2004), “Long-Term And Seasonal Gravity Changes At The Strasbourg Station And Their Relation To Crustal Deformation And Hydrology”, *Journal of Geodynamics*, 38:343–353.
- Armijo, R., Meyer, B., Barka, A.A. ve Hubert, A., (1999), “Propagation Of The North Anatolian Fault Into The Northern Aegean: Timing And Kinematics”, *Geology*, 27:267-270.
- Aydın C., Dogan U., Demirel H., Gerstenecker H. ve Ergintav S., (2005), “Gravite Ağlarında Kanıtlanabilen En Küçük Gravite Değişimi”, TUJK 2005 Yılı Bilimsel Toplantısı Jeoid ve Düşey Datum Çalıştayı Kitapçığı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 22-24 Eylül 2005, Trabzon, 155-170.
- Aydın, C., (2007), “Marmara Bölgesi Gravite Değişimlerinin Belirlenmesi İçin Model Tasarımı”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Battaglia M. ve Segall P., (2001), “The Interpretation of Gravity Changes and Crustal Deformation in Active Volcanic Areas”, *Pure and Applied Geophysics*, 161: 1453-1467.
- Battaglia M., Segall P. ve Roberts C., (2003), “The Mechanics of Unrest At Long Valley Caldera, California 2. Constraining The Nature Of The Source Using Geodetic And Micro-Gravity Data”, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 127: 219-245.
- Becker, M., Aksoy, A., Demirel, H. ve Groten, E., (1985), “High Precision Gravity Measurements Across the North Anatolian Fault Zone”, *Bureau Gravimetrique Internatioanal, Bulletin d’Information*, 57: 31-45.
- Çolak B., (2010), “Marmara Bölgesi’nin Doğu Kesiminde Yatay Yerkabuğu Hareketleri ve Gerinim Birikiminin Araştırılması”, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Demirel, H., (1992), ”Deformasyon Analizi”, YTÜ, Harita Mühendisliği Bölümü, Ders Notu, İstanbul.
- 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.
- Demirel, H., (2003), Dengeleme Hesabı, YTÜ, Harita Mühendisliği Bölümü, Ders Kitabı, İstanbul.
- Demoulin A., Ducarme B. ve Everaerts M., (2007), “Seasonal Height Change Influence in GPS and Gravimetric Campaign Data”, *Journal of Geodynamics*, 43: 308–319.
- Doğan U., (2002), “17 Ağustos 1999 İzmit Depreminden Kaynaklanan Deformasyonların Kinematik Modellerle Araştırılması”, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- 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).
- 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.

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, Mw=7.4 İzmit Earthquake in the Marmara Region, Turkey, By First Results of Joint Gravity and GPS Monitoring”, *Journal of Geodynamics*, 44(1-2):1-18.

Goodkind J. M., (1999), “The Superconducting Gravimeter”, *Review of Scientific Instruments* 70:11.

Grgić, I., Lučić, M., Liker, M., Bašić, T., Barišić, B. ve Repanić, M., (2008), “Current Status of Gravity Measurements in the Republic of Croatia with the Fundamental Gravity Network Finalization Project”, *Observing Our Changing Earth-International Association of Geodesy Symposia*, 133:169-176.

Hwang, C., Wang, C. ve Lee, L., (2002), “Adjustment of Relative Gravity Measurements Using Weighted and Datum-Free Constraints” *Chinway Computers & Geosciences* 28(9):1005-1015.

Karslıoğlu, M.O., (2005), “Uydu Gradyometresi ve GOCE Uydusu”, *Harita Dergisi*, 135: 26-41.

Ketin, İ., (1969), “Kuzey Anadolu Fayı Hakkında”, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 72:1-28.

Kılıçoğlu A., (2009), “Küresel Jeodezik Gözlem Sistemi (GGOS) ve Yer Gravite Alanı : Türkiye Açısından Bir İnceleme”, *Harita Dergisi*, 142:17-31.

Mrlina J., Radwan A:H., Hassan R.M., Mahmoud S.M., Tealeb A.A. ve Issawy E.A., (2003), “Temporal variations of gravity in the Aswan region of Egypt”, *Journal of Geodynamics* 35:499–509.

Naujoks M., Weise A., Kroner C. ve Jahr T., (2007) “Detection of small hydrological variations in gravity by repeated observations with relative gravimeters”, *Journal of Geodesy*, 82:543-553.

Özdiğer H.O., (2010), “ Marmara Bölgesi’nde Mutlak Gravite Ölçme ve Değerlendirmeleri”, YÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Sanver M. ve İşseven. T., (2007), *Gravite ve Manyetik Arama Yöntemleri*, Ankara.

Seigel, H.O., (1995), *A Guide to High Precision Land Gravimeter Surveys*, Canada.

Setiawan A., (2002), “Modeling of Gravity Changes on Merapi Volcano Observed Between 1997 – 2000”, *Doktora Tezi*, Darmstadt.

Telford, W. M., Geldart L. P., Sheriff R.E. ve Keys D.A., (1981), *Applied geophysics*, Cambridge, New York, A.B.D.

Torge, W., (1989), *Gravimetry*, Walter de Gruyter, Berlin-New York.

Üstün A., (2002), “Gravite Alanı Belirleme Amaçlı Uydu Misyonları: Champ, Grace, Goce ve İlk Sonuçlar”, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Konya.

Van Dam, T., Wahr, J., Milly, P. C. D., Shmakin, A. B., Blewitt, G., Lavallée, D. ve Larson, K.M., (2001), “Crustal displacements due to continental water loading”, *Geophys. Res. Lett.*, 28:651-654.

Vanicek P., (1973), *The Earth Tides*, University of New Brunswick Department of Surveying Engineering, Canada.

- Yaldız F. N.,(2006), “Gravite Ölçülerinin İndirgenmesi ve Gravimetrik Jeoidin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Yang Z., Yu, Z., Yu, Y. ve Chen Z., (1999),“A practical method of dynamic data processing for therepeated levelling and gravimetric Networks”, *Geodynamics* 27: 259-272.
- Yılmaz. Y., Gökaşan, E. ve Erbay, Y., (2010) “Morphotectonic Development of the Marmara Region”, *Tectonophysics*: 488: 51-70.
- Zerbini S., Richter B.,Negusini M., Romagnoli C.,Simon D., Domenichini F. ve Schwahn W.,(2001), “Height and gravity variations by continuous GPS, gravity and environmental parameter observations in the southern Po Plain, near Bologna, Italy”, *Earth and Planetary Science Letters*, 192: 267-269.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 03.06.1986

Doğum yeri Ankara

Lise 2000-2003 TED Ankara Koleji Vakfı Özel Lisesi

Lisans 2003-2008 Yıldız Üniversitesi İnşaat Fakültesi
Harita Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2008-2011 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Müh. Anabilim Dalı, Geomatik Programı

Çalıştığı Kurumlar

2005-2009 EMI Harita Bilgi İşlem Ltd. Şti.

2010-2011 Ekati İnşaat San. Tic. Ltd. Şti.

2011-Devam ediyor GÜNGÖR Ticaret İthalat İhracat