T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAHRAMANMARAŞ ÜÇLÜ EKLEMİNDE YER KABUĞU HAREKETLERİNİN GPS ÖLÇÜLERİ İLE BELİRLENMESİ

GİZEM GÜL TANRIVERDİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEOMATİK PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. UĞUR DOĞAN

İSTANBUL, 2018

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAHRAMANMARAŞ ÜÇLÜ EKLEMİNDE YER KABUĞU HAREKETLERİNİN GPS ÖLÇÜLERİ İLE BELİRLENMESİ

Gizem GÜL TANRIVERDİ tarafından hazırlanan tez çalışması 27.04.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Uğur DOĞAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Uğur DOĞAN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Semih ERGİNTAV

Boğaziçi Üniversitesi _____

Doç. Dr. Cüneyt AYDIN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Bu çalışmada; Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Geomatik programı, yüksek lisans tezi çalışması olarak Doğu Anadolu Fay hattında yerkabuğu hareketlerinin GPS ile belirlenmesi ve gerinim miktarlarının hesaplanması amaçlanmıştır.

Öncelikle bu tezin oluşmasında büyük emeği geçen lisans eğitimimden beri benden bilgi belge ve tecrübelerini esirgemeyen hocam Prof.Dr. Uğur DOĞAN 'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

TUBITAK-MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsüne GPS ölçülerini sağladıkları için teşekkür ederim.

Çalışmalarıma bilgi, belge ve tecrübeleriyle destek veren Prof.Dr.Semih ERGİNTAV'a , Yrd.Doç.Dr. Deniz ÖZ DEMİR'e , Harita Yüksek Mühendisi Bediha MELİKOĞLU'na , Harita Yüksek Mühendisi Ayşe SELENDİ' ye , Arş. Gör. Alpay ÖZDEMİR'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olan, desteğini ve sabrını esirgemeyen eşim Harita Mühendisi Mustafa Said TANRIVERDİ ye;

Olumsuzluğa düştüğümde bana cesaret ve moral veren arkadaşlarım Harita Yüksek Mühendisi Haldun YÜKSEL'e , Harita Mühendisi İbrahim DEMİRHAN'a , Harita Yüksek Mühendisi Utku KARAÇELEBİ 'ye, Harita Mühendisi Merve AVCI'ya, Çevre Mühendisi Nilay Diler'e ve mesai arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca her daim sevgisini eksik etmeyen, sabrı ve öğütleriyle yanımda olan başta annem Ayfer GÜL ve babam Mehmet GÜL olmak üzere aileme teşekkür ederim.

Nisan, 2018

Gizem GÜL TANRIVERDİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ vii

ŞEKİL LİSTESİ viii

ÇİZELGE LİSTESİ x

ÖZET xii

ABSTRACT xiv

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatürün Özeti 2
1.2 Tezin Amacı 8
1.3 Hipotez 8

BÖLÜM 2

TEKTONİK YAPI 10

2.1 Türkiye'nin Genel Tektonik Durumu 10
2.2 Doğu Anadolu Bölgesinin Tektonik Yapısı ve Levha Tektoniği 12

BÖLÜM 3

DEFORMASYON ANALİZİ 19

3.1 Global Eşdeğerlik Testi 19
3.2 Deformasyon Büyüklüklerinin Belirlenmesi 21

BÖLÜM 4

GERİNİM ANALİZİ 23

BÖLÜM 5

UYGULAMA 27

5.1 GPS Ölçmeleri 27
5.2 GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesi 30
5.3 Periyotlara İlişkin Deformasyon Analizi ve Konum Değişim Vektörlerinin Belirlenmesi 38
5.4 Hız Alanlarının Belirlenmesi 49
5.5 Gerinim Miktarlarının Belirlenmesi 60

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER 66

KAYNAKLAR 70

EK-A

KAMPANYA NOKTALARININ DRAG NOKTASINA GÖRE YEREL KOORDİNAT SİSTEMİNDE GÜNLÜK DEĞİŞİMLERİ 74

ÖZGEÇMİŞ 91

SİMGE LİSTESİ

dx, dy, dz	x, y, z yönündeki koordinat değişimleri
l	Ölçüler vektörü
v	Düzeltme vektörü
A	Düzeltme denklemleri katsayılar matrisi
P	Ağırlık matrisi
x	Bilinmeyenler vektörü
x_0, y_0, z_0	Ağırlık merkezi koordinatları
u_0, v_0, w_0	Ötelenme bilinmeyenleri
ω	Dönüklük
e_{xx}, e_{yy}	x ve y yönündeki genişleme
e_{xy}	Açısal bozulma
γ	Kesme gerinimi
α	Anlamlılık düzeyi
d	Konum değişimi vektörü
Q_{dd}	Konum değişimi ağırlık katsayılar matrisi
d_D	Datuma giren noktalar için konum değişimi vektörü
Q_{ddD}	Datuma giren noktaların konum değişimi vektörü için ağılık katsayılar matrisi
x_B	İncelenen nokta koordinat vektörü
x_F	Eşlenik nokta koordinat vektörü
x_N	Eşlenik olmayan nokta koordinat vektörü
Δx, Δy	İki boyutlu ağlarda nokta yer değişimleri
E	Gerinim tensörü
S	Simetrik gerinim tensörü
A	Asimetrik gerinim tensörü
ε_{max}	Maksimum asal gerinim
ε_{min}	Minimum asal gerinim
γ_1	Saf kayma
γ_2	Mühendislik kayması
ϕ	Maksimum gerinim yönü
L1 L2 L3	GPS frekansları
Vn,Ve,Vup	Sırasıyla kuzey-güney, doğu-batı ve düşey yöndeki nokta hızları

KISALTMA LİSTESİ

AF	Afrin Fayı
BZBK	Bitlis-Zagros Bindirme Kuşağı
DAF	Doğu Anadolu Fayı
DAFZ	Doğu Anadolu Fay Zonu
DSF	Death Sea Fault
EAFZ	East Anatolian Fault Zone
FFT	Fay-Fay-Hendek Sistemi
GMT	General Mapping Tools
GPS	Global Positioning System
HGK	Harita Genel Komutanlığı
HTJ	Hatay Üçlü Eklemi
IGS	International GNNS Service
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
KAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu
KB	Karasu Havzası
KB-GD	Kuzeybatı-güneydoğu
KD-GB	Kuzeydoğu-güneybatı
KF	Karasu Fayı
KKD-GGB	Kuzey,Kuzey Doğu-Güney,Güney Batı
KOF	Karataş Osmaniye Fayı
MAGNET	Marmara Sürekli GPS Ağı
NAFZ	North Anatolian Fault Zone
ÖDF	Ölü Deniz Fayı
ÖDFZ	Ölü Deniz Fay Zonu
QIF	Quasi Ionosphere Free
RINEX	Receiver Independent Exchange
SLR	Satellite Lazer Ranging
SSW	South-Southwest
SOPAC	Scripps Orbit and Permanent Array Center
TUSAGA	Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Arap levhasına göre DAF ve Kafkasya bölgesinde hız oranları (McClusky 2000).....3

Şekil1.2 (a)Arabistan-Afrika-Avrasya levhalarının etkileşiminin şematik haritası (Reilinger vd. (Siyah renkli sayılar blok sınırındaki dalma miktarlarını (mm/yr), beyaz renkli sayılar Avrasya levhasına göre GPS den türetilen hızları (mm/yr) göstermektedir) [6] (b)Arap levhası ve çevresinde hız oranları mm/yıl (Üstteki değerler yanal atım oranları, pozitif değerler sol yanal atım oranı; parentez içindeki değerler normal fay kayma değerleri, pozitif değerler kapanma oranlarıdır).....4

Şekil 1.3 (a) Avrasya levhasına göre hız alanları. (b) Arap levhasına göre hız alanları (Siyah oklar Mahmood vd.(2013), kırmızı oklar Relienger vd.(2006), mavi oklar Alchalbi vd.(2010) (Mahmood vd.2013).....5

Şekil 1.4 Sol ve sağ yanal kayma oranları (parantez içindeki değerler sırasıyla daralma ve uzama değerlerini gösterir) (B. Aktuğ vd. 2016).....6

Şekil 1.5 ITRF 2008 sisteminde elde edilen hızlar ve %95 güven elipsleri (Özdemir, 2016).....6

Şekil 1.6 1822-2001 yılları arasında DAFZ boyunca oluşan gerinim miktarı(Nalbant vd. 2001).....7

Şekil 1.7 Anadolu'nun merkezinde başlıca hız (a) ve gerinim (b) miktarları (B.Aktuğ vd. 2013).....8

Şekil 2.1 Türkiye'nin genel tektonik durumu [11].....11

Şekil 2.2 Kahramanmaraş Üçlü Eklem Bölgesi ve DAFZ [5].....13

Şekil 2.3 DAFZ Boyunca Meydana Gelen Tarihsel Depremler [24].....14

Şekil 2.4 2006-2014 yılları arasında DAF'ın güneyinde yaşanan depremler (Mw.4≤) [25].....15

Şekil 2.5 DAFZ için Bölünme Modeli Önerisi [28], [29], [14].....17

Şekil 2.6 DAFZ için Bölünme Modeli Önerisi [24].....18

Şekil 4.1 Deformasyondan önceki ve sonraki durum [41].....25

Şekil 4.2 Gerinim elipsi. signλ1 = signλ2, a) genişlemeyi (dışarı yöndeki oklar) ve b)sıkışmayı (içeri yöndeki oklar) gösterir [35], [42].....26

Şekil 5.1 GPS kampanya ve kullanılan GPS ağı.....28

Şekil 5.2 Bernese GNSS yazılımı ön hazırlık işlem akışı.....30

Şekil 5.3 Bernese GNSS yazılımı ön değerlendirme işlem akışı 30
Şekil 5.4 Bernese GNSS yazılımı parametre kestirimi işlem akışı 31
Şekil 5.5 2006 yılına ait günlük tekrarlılıklar.....34
Şekil 5.6 2007 yılına ait günlük tekrarlılıklar.....34
Şekil 5.7 2008 yılına ait günlük tekrarlılıklar.....35
Şekil 5.8 2009 yılına ait günlük tekrarlılıklar.....35
Şekil 5.9 2010 yılına ait günlük tekrarlılıklar.....36
Şekil 5.10 2011 yılına ait günlük tekrarlılıklar.....36
Şekil 5.11 2012 yılına ait günlük tekrarlılıklar.....37
Şekil 5.12 2013 yılına ait günlük tekrarlılıklar.....37
Şekil 5.13 2014 yılına ait günlük tekrarlılıklar.....38
Şekil 5.14 ADAN noktasının zaman serisi 39
Şekil 5.15 ADAN Noktasının yer dönme merkezine göre zaman serisi [44].....40
Şekil 5.16 2007-2006 yılları arasında konum değişimleri.....42
Şekil 5.17 2008-2007 yılları arasında konum değişimleri.....43
Şekil 5.18 2009-2008 yılları arasında konum değişimleri.....44
Şekil 5.19 2010-2009 yılları arasında konum değişimleri.....45
Şekil 5.20 2011-2010 yılları arasında konum değişimleri.....46
Şekil 5.21 2012-2011 yılları arasında konum değişimleri.....47
Şekil 5.22 2013-2012 yılları arasında konum değişimleri.....48
Şekil 5.23 2014-2013 yılları arasında konum değişimleri.....49
Şekil 5.24 TUSAGA noktalarının DRAG noktasına göre hız değerleri ve güven elipsleri...
.....53
Şekil 5.25 TUSAGA noktalarının TUBI noktasına göre hız değerleri ve güven elipsleri 54
Şekil 5.26 TUBITAK noktalarının DRAG Noktasına göre hız değerleri ve güven elipsleri..
.....55
Şekil 5.27 TUBITAK noktalarının TUBI Noktasına göre hız değerleri ve güven elipsleri56
Şekil 5.28 Nokta hızlarının faya göre konumları (DRAG noktasına göre).....58
Şekil 5.29 Bölgedeki hız değerlerinin karşılaştırılması (TUBI noktasına göre).....59
Şekil 5.30 TUBITAK noktalarının DRAG Noktasına göre 2006-2009 periyotlarına ilişkin gerinim miktarları.....61
Şekil5.31 2006-2009 periyotlarında TUBITAK noktalarının DRAG noktasına göre maximum asal gerinim miktarları (µstrain) 61
Şekil5.32 2006-2009 periyotlarında TUBITAK noktalarının DRAG noktasına göre minimum asal gerinim miktarları (µstrain).....62
Şekil5.33 TUSAGA noktalarının DRAG Noktasına göre 2009-2014 periyotlarına ilişkin gerinim miktarları.....62
Şekil5.34 2009-2014 periyotlarında TUSAGA noktalarının maksimum asal gerinim miktarları (µstrain) 63
Şekil5.35 2009-2014 periyotlarında TUSAGA noktalarının minimum asal gerinim miktarları (µstrain) 63

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 Ölçüm Günleri 29
Çizelge 5.2 2007-2006 yılları arasında noktalara ilişkin hareket vektörlerinin anlamlılık test sonuçları 42
Çizelge 5.3 2008-2007 yılları arasında noktalara ilişkin hareket vektörlerinin anlamlılık test sonuçları 43
Çizelge 5.4 2009-2008 yılları arasında noktalara ilişkin hareket vektörlrinin anlamlılık test sonuçları 44
Çizelge 5.5 2010-2009 yılları arasında noktalara ilişkin hareket vektörlerinin anlamlılık test sonuçları 45
Çizelge 5.6 2011-2010 yılları arasında noktalara ilişkin hareket vektörlerinin anlamlılık test sonuçları 46
Çizelge 5.7 2012-2011 yılları arasında noktalara ilişkin hareket vektörlerinin anlamlılık test sonuçları 47
Çizelge 5.8 2013-2012 yılları arasında noktalara ilişkin hareket vektörlerinin anlamlılık test sonuçları 48
Çizelge 5.9 2014-2013 yılları arasında noktalara ilişkin hareket vektörlerinin anlamlılık test sonuçları 49
Çizelge 5.10 TUSAGA noktalarının DRAG noktasına göre 2009-2014 yılları arasındaki hız değerleri ve standart sapmaları 53
Çizelge 5.11 TUSAGA noktalarının TUBI noktasına göre 2009-2014 yılları arasındaki hız değerleri ve standart sapmaları 54
Çizelge 5.12 TUBITAK noktalarının DRAG noktasına göre 2006-2009 yılları arasındaki hız değerleri ve standart sapmaları (* noktaların hızları iki yıllık periyotlardır) 55
Çizelge 5.13 TUBITAK noktalarının TUBI noktasına göre 2006-2009 yılları arasındaki hız değerleri ve standart sapmaları (* noktaların hızları iki yıllık periyotlardır) 56
Çizelge 5.14 Noktaların hızlarının faya göre doğu-batı yönlü değişimi....57
Çizelge 5.15 Bölgedeki hız değerlerinin karşılaştırılma sonuçları (TUBI noktasına göre) 59
Çizelge 5.16 TUSAGA noktalarının gerinim analizi sonuçları (DRAG noktasına göre) .64
Çizelge 5.17 TUBITAK noktalarının gerinim analizi sonuçları (DRAG noktasına göre) .64

Çizelge 5.18 2009-2014 yıllarına göre TUSAGA noktalarının ortalama gerinim parametreleri 65
Çizelge5.19 2006-2009 yıllarına göre TUBITAK noktalarının ortalama gerinim parametreleri 65

ÖZET

KAHRAMANMARAŞ ÜÇLÜ EKLEMİNDE YER KABUĞU HAREKETLERİNİN GPS ÖLÇÜLERİ İLE BELİRLENMESİ

Gizem GÜL TANRIVERDİ

Geomatik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Uğur DOĞAN

Bu çalışmada Doğu Anadolu Fayı'nın güney kesiminde GPS ölçme yöntemi kullanılarak meydana gelen yatay yer kabuğu deformasyonları ve gerinim birikimine ilişkin bilginin sağlanması amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda, uygulama için ''Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik ancak Tektonik Rejimleri Farklı Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması''(105G019 nolu) başlıklı TUBITAK 1007 projesi kapsamında bölgede kurulan 15 GPS istasyonuna ilişkin 2006-2009 yıları arasında 4 periyot GPS verisi TUBITAK-MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'nden temin edilmiştir. Ayrıca bölgede bulunan TUSAGA-Aktif ağına ilişkin 14 GPS istasyonunun 2009-2014 yılları arasındaki 5 periyot GPS verisi kullanılmıştır.

Gerçekleştirilen GPS ölçüleri Bernese 5.0 GPS yazılımı ile değerlendirilmiş ve noktaların zamana bağlı yatay konum değişimleri belirlenmiştir. Konum değişimlerinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı deformasyon analizi ile ortaya konmuştur.

Bölgede belirlenen hız değerleri, Doğu Anadolu Fay Zonu'nun (DAFZ) doğusunda (Arap levhasında) yer alan noktaların Arap levhasına göre yaklaşık 7-10 ± 0.5-1.4 mm/yıl'lık yatay bir hareketle batıdan doğuya doğru, DAFZ'ın batısında Anadolu levhasında yer

alan noktaların ise saat yönünün tersine 11-13 ± 0.4-1.2mm/yıl'lık hızla yatayda hareket ettiğini göstermiştir.

Bölgede gerinim birikiminin belirlenmesi amacıyla yatay düzlemde gerinim parametreleri hesaplanmıştır. Asal gerinim parametreleri εmax = 0.142 μstrain, εmin = -0.145 μstrain, ϕ = 73.728 derece ; kayma gerinim parametreleri, γ1 = 0.076 μstrain, γ2 = 0.033 μstrain ; diferansiyel dönme parametresi, ω = -0.011 μrad olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar bölgede anlamlı gerinim birikiminin olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yer kabuğu hareketi, Gerinim, Doğu Anadolu Fay Zonu, GPS

ABSTRACT

DETERMINATION OF CRUSTAL MOVEMENTS WITH GPS OBSERVATIONS AROUND THE KAHRAMANMARAŞ TRIPLE JUNCTION SYSTEM

Gizem GÜL TANRIVERDİ

Department of Geomatic Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Uğur DOĞAN

The aim of this study is to provide information about horizontal crustal deformation and strain accumulations by using GPS technique in the southern part of Eastern Anatolian fault line.

For this purpose, 4 periods GPS data between 2006 and 2009 at 15 stations placed on the region are acquired from 'TUBITAK-MAM Earth and Marine Science Enstitute'' within the scope of ''TUBITAK 1007 project titled multidisciplinary Earthquake Research in High Risk Regions of Turkey Representing Different Tectonic Regimes (Number 105G019)''. In addition, the GPS data between 2009 and 2014 of 14 GPS stations of TUSAGA-Active Network are included in deformation analysis.

GPS data are procesed with Bernese 5.0 GPS Software, time-dependent horizontal displacements are determined. Classical deformation analysis is applied to derive whether thedisplacement are significant or not.

The determined velocity values in the region show that the stations in the east of Eastern Anatolia fault line (on the Arabian plate) move from west to east approximately 7-10 ± 0.5-1.4 mm/yr while the stations in the west side of EAFZ (on the Anatolian plate) move counter clockwise approximately 11-13 ± 0.4-1.2 mm/yr in horizantal place.

The strain analysis in horizontal place indicates significant strain accumulation in the area. The obtained values obtained from strain analysis is principal strain parameters, εmax = 0.142 μstrain, εmin = -0.145 μstrain, ϕ = 73.728 degree; share parameters, $\gamma 1$ =-0.076 μstrain, $\gamma 2$ = 0.033 μstrain; diferantial rotation parameter, ω =- 0.011 μrad. These results show the significant strain accumulation in the region.

Key Words: Crustal movements, Strain, The Easth Anatolia Region, GPS

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Alp-Himalaya sıkışma bölgesi içinde yer alan Türkiye, aktif tektonik yapısı nedeniyle deprem tehdidi altındadır. Uzay jeodezisi tekniklerine (GPS,SLR vs.) dayalı ölçüler, aletli sismik çalışmalar, neotektonik araştırmalar ve tarihsel depremler ülkemizin karşı karşıya olduğu deprem tehdidinin boyutu ve sonuçları konusunda önemli bilgiler vermektedir.

Yerkabuğundaki gerilmelere ve depremlere neden olan küçük yerkabuğu hareketlerinin yeri, yönü ve büyüklüğünün saptanması jeodezik ölçmelerle gerçekleştirilmektedir. Bu amaç doğrultusunda uygulanan jeodezik yöntemde arazinin fay kırıklarını karakterize eden yerlerine ölçme noktaları tesis edilir. Bu noktalar birbirlerine jeodezik ölçülerle bağlanarak bir kontrol ağı oluşturulur. Her yıl tekrarlanan ölçmelerden elde edilen verilerin değerlendirilmesinden sonra noktaların ve dolayısıyla temsil ettiği cismin hareketi saptanır. Böylece, jeodezik olarak belirlenen yerkabuğu deformasyonları, jeofizik ve jeolojik verilerle birlikte yorumlanabilir [1].

Deformasyon analizlerinin sonucu doğrudan insan hayatının güvenliği ile ilgilidir. Bu nedenle yer değiştirmenin yanlış yorumlanmasından kaçınmak için izleme ağı verilerinin çok dikkatli değerlendirilmesi gerekmektedir.

Genel olarak deformasyon ölçme teknikleri geoteknik, yapısal ve jeodezik yöntemler olarak üçe ayrılır. Geoteknik ve yapısal yöntemler; gerinim, bağıl yükseklik, eğim ve uzunluk değişimini ölçmek için özel ölçüm aletlerinin kullanıldığı dolaysız yöntemleridir.

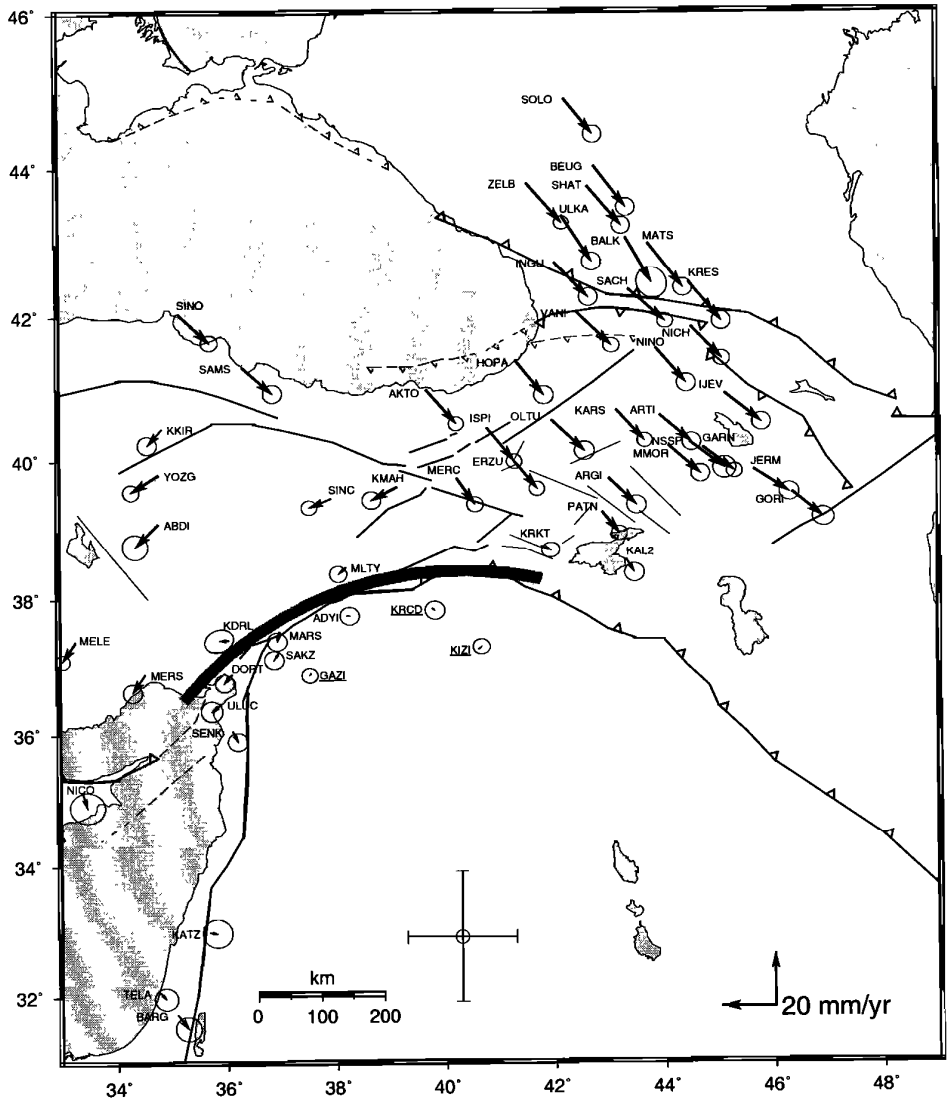
Diğer yandan, referans (mutlak) ve bağıl ağ olmak üzere iki çeşit temel jeodezik izleme ağı vardır [2].

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de kıtasal dinamiklerin anlaşılması ve sismik tehlikenin belirlenebilmesi için gerinim ve hız alanı modeli tanımlama çalışmaları sürdürülmektedir. Yerkabuğu deformasyonunun belirlenmesi başlığı altındaki bu çalışmalar, yeryüzü üzerinde konumlandırılmış karakteristik noktalarda zamana ve/veya etkiyen kuvvetlere bağlı olarak anlamlı bir hareketin var olup olmadığının tespitini kapsamaktadır [3].

1.1 Literatürün Özeti

Kuzeydoğu Akdeniz bölgesinin sismotektonik özelliklerini incelerken Aktar vd., (2000), Arap levhasına konumlandırılan istasyonların hareketinin önemsiz gibi görünse de Anadolu'nun güneybatı yönünde 10.2 ± 1,6 mm/yıl hareket ettiğini, Arap levhasındaki bazı istasyonların da DAF'ın kuzeyinde Anadolu'da bulunan diğer noktalar ile benzer özellik gösterdiğini ve hızlarının 4.5 ± 5.8 mm/yıl olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu hareketlilik Karataş Osmaniye fay hattı boyunca anlamlı deprem aktivitesi olduğu anlamına gelmektedir. Adana'da meydana gelen 1998 (Mw.6.2) depremi bu belirgin fay kırığı morfolojisi ile doğrulanır [4] , [5].

McClusky vd. (2000), Anadolu - Avrasya ve Anadolu - Arap levha sınırları arasındaki deformasyonları değerlendirirken Relienger vd.(1997) ye göre daha düşük olarak DAF için kayma oranını 9 ± 1 mm/yıl olarak hesaplamışlardır (Şekil1.1).

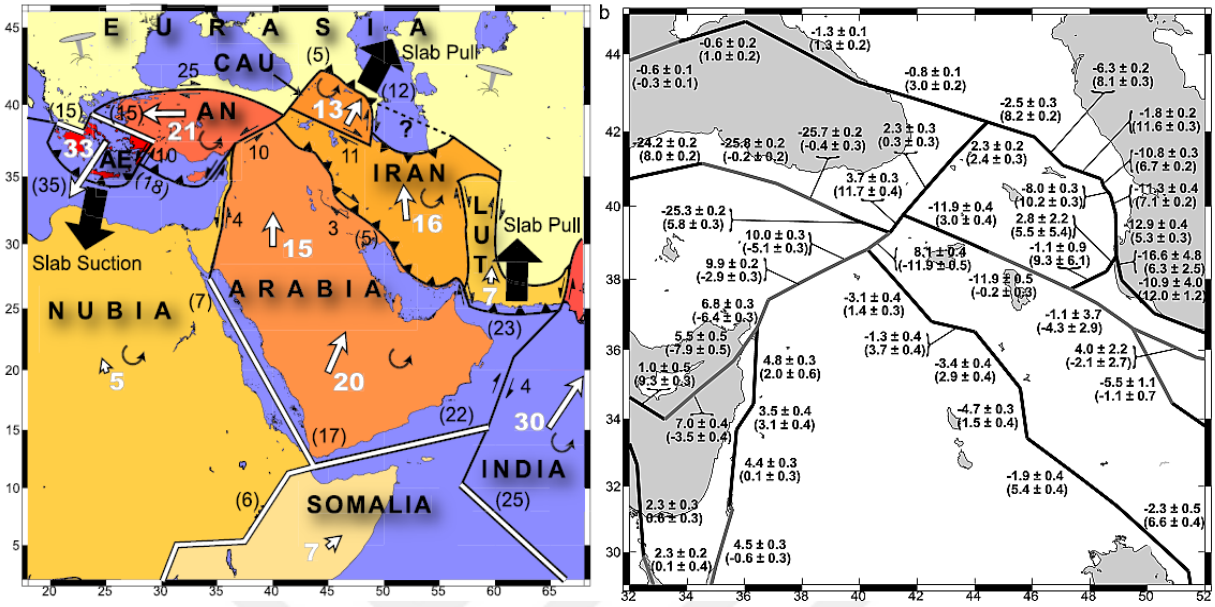


Şekil 1.1 Arap levhasına göre DAF ve Kafkasya bölgesinde hız oranları (McClusky 2000)

McClusky vd. (2003) Afrika ve Arap plaka hareketlerini GPS ile inceledikleri çalışmada ÖDF'nin en güneyinden kuzeye doğru ÖDF ve DAF kavşağı yakınlarında kayma hızını 5.6 ± 1 mm/yıl ile 7.5 ± 1 mm/yıl arasında olduğunu, Zagros'un güneyinde 23 ± 1 mm/yıl sıkışma ve azalan gerinim ile birlikte sağa doğru artan doğrultu atımlı 19 ± 1 mm/yıl hızla kayma hareketi olduğunu belirlemişlerdir. DAF boyunca ortalama sol yönlü kayma hızını 9 ± 1 mm/yıl olduğunu ve Karlıova üçlü ekleminin batısındaki doğu segmentinin genişleme bölümü olduğunu belirtmişlerdir.

Reilinger vd., (2006), Afrika - Arabistan - Avrasya kıta çarpışma bölgesinde kıta deformasyonlarını GPS ile inceledikleri çalışmada, Arabistan'dan Avrasya'ya doğru kuzey batı yönünde 18 ± 2 mm/yıl ve Doğu Akdeniz'de Arabistan'dan Avrasya'ya doğru

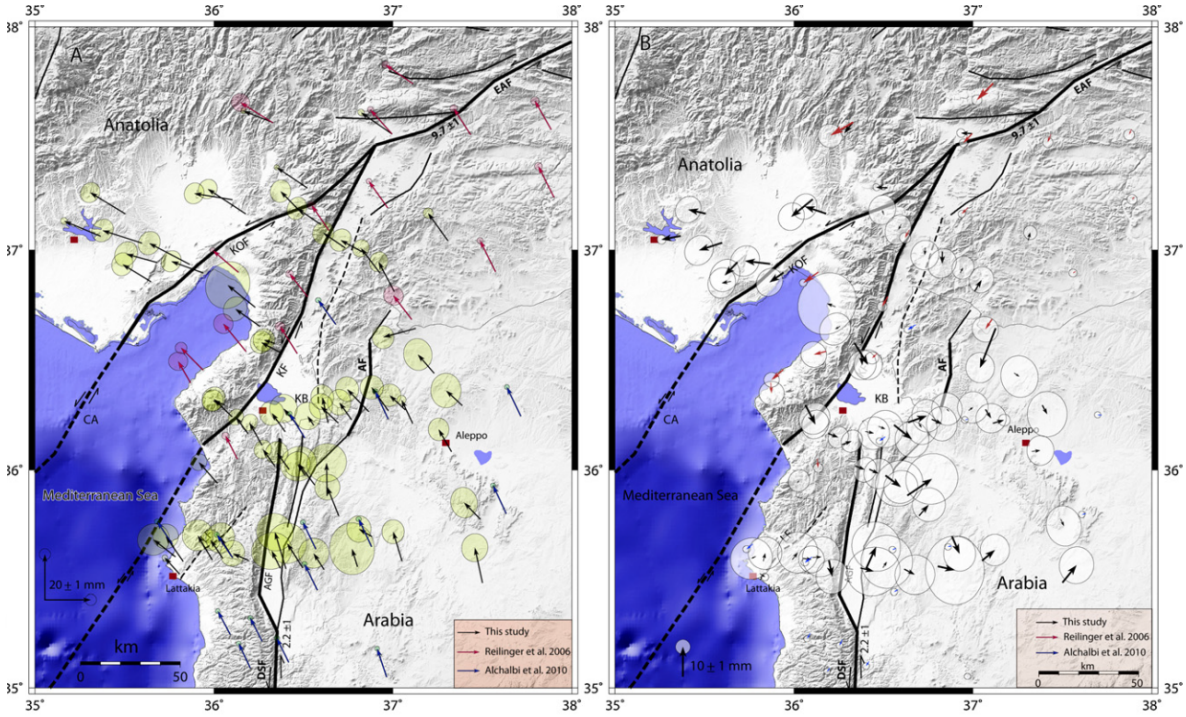
kuzey yönünde 6 ± 2 mm/yıl ve DAF için ortalama 10 mm/yıl kayma hareketi olduğunu göstermiştir [6] (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 (a)Arabistan-Afrika-Avrasya levhalarının etkileşiminin şematik haritası (Reilinger vd. (Siyah renkli sayılar blok sınırındaki dalma miktarlarını (mm/yr), beyaz renkli sayılar Avrasya levhasına göre GPS den türetilen hızları (mm/yr) göstermektedir) [6] (b)Arap levhası ve çevresinde hız oranları mm/yıl (Üstteki değerler yanal atım oranları, pozitif değerler sol yanal atım oranı; parentez içindeki değerler normal fay kayma değerleri, pozitif değerler kapanma oranlarıdır)

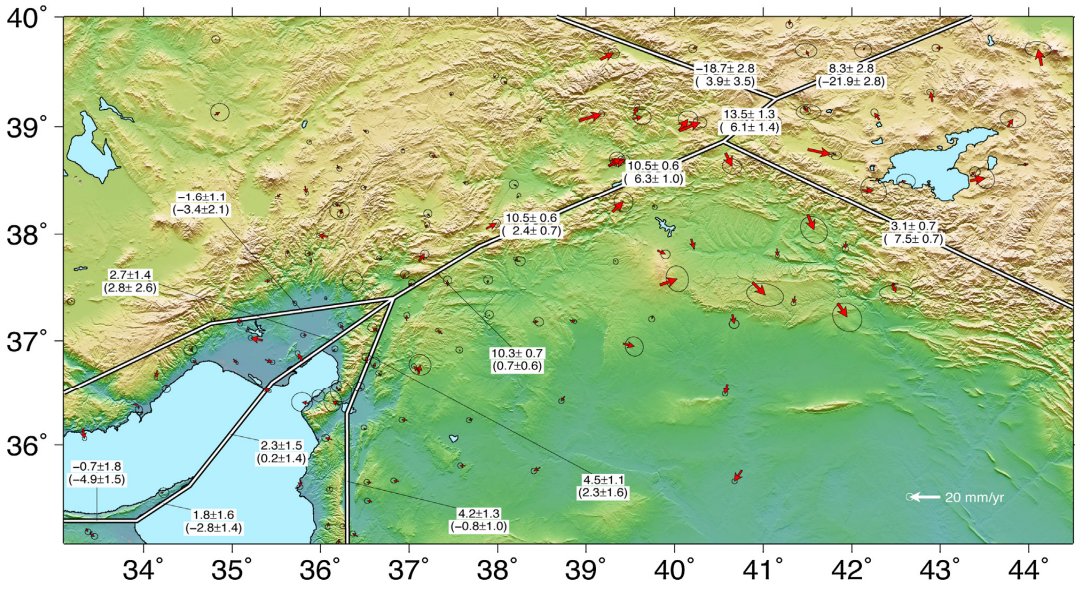
Meghraoui vd. (2011), HTJ'deki deformasyonları ve fay tektoniğini anlamak için 2009, 2010 ve 2011 yıllarında elde edilen GPS ölçülerinden Karataş-Osmaniye fayı boyunca 2-3.5 mm/yıl; Ölü Deniz fayı boyunca 1-2 mm/yıl; Karasu fayı boyunca 3-5 mm/yıl; Afrin fayı boyunca 2-3 mm/yıl kayma hareketi olduğunu belirlemiştir [4].

Mahmood vd.(2013), Doğu Anadolu Fayı ve Ölü Deniz Fayının kesiştiği bölgede GPS ölçümleri (1-2 yıllık) ile Arap levhasına ve Anadolu levhasına göre yapılan kinematik çalışmada Türkiye'deki (DAF'ın güneyindeki) noktaların gps hız alanı belirsizliğini 1.5 mm/yıl olarak hesaplamışlardır [5] (Şekil 1.3).



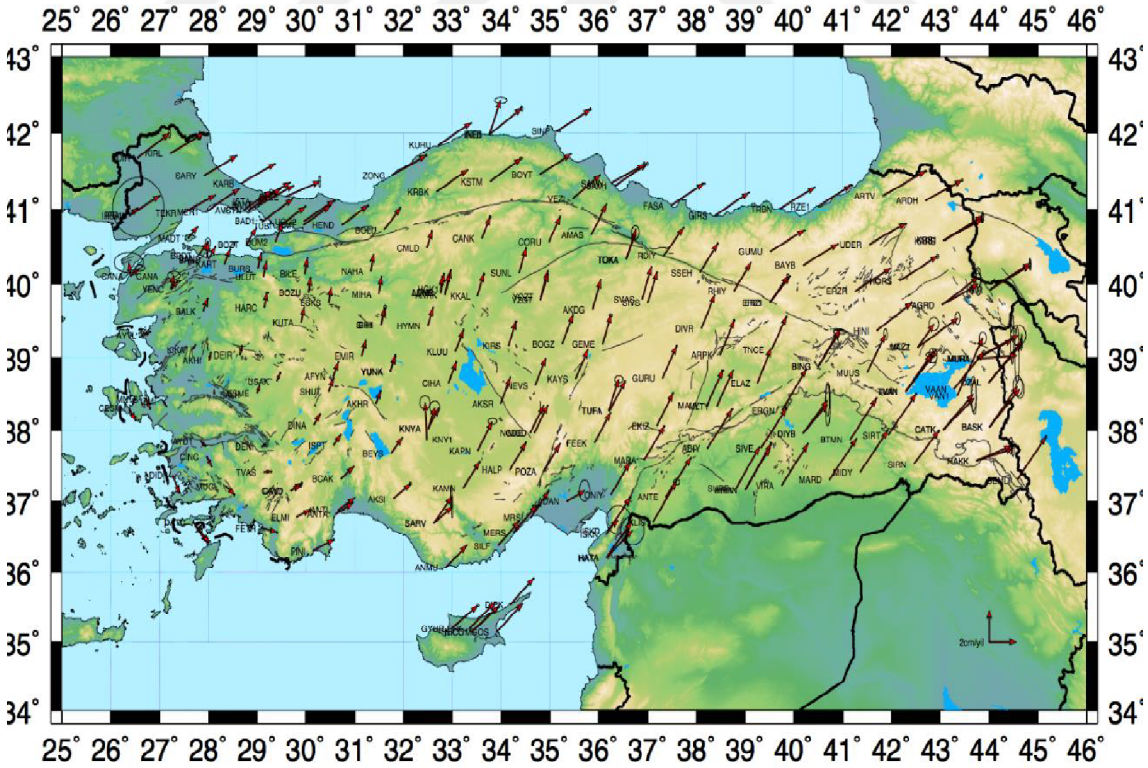
Şekil 1.3 (a) Avrasya levhasına göre hız alanları. (b) Arap levhasına göre hız alanları (Siyah oklar Mahmood vd.(2013), kırmızı oklar Relienger vd.(2006), mavi oklar Alchalbi vd.(2010) (Mahmood vd.2013)

B. Aktuğ vd. (2016), Doğu Anadolu Fay sisteminde kayma oranlarını ve sismik potansiyeli belirlemek için yaptıkları çalışmada, DAF'ın kuzeyinde kayma hızını ortalama sabit 10 mm/yıl olarak, güneyinde ise ortalama sabit 4.5 mm/yıl olarak belirlemişlerdir. Karlıova kesimlerinde 6.1 ± 1.4 mm/yıl, Palu-Sincik, Çelikhan-Türkoğlu kesimlerinde bilinen sismik boşluğun sismik potansiyelini değerlendirirken, Palu-Sincik kesiminde sol yanal kayma hızı 10.5 ± 0.6 mm/yıl olarak, Çelikhan-Türkoğlu kesiminde ise sol yanal kayma hızı 10.3 ± 0.7 mm/yıl olarak ifade etmişlerdir (Şekil 1.4) [7].



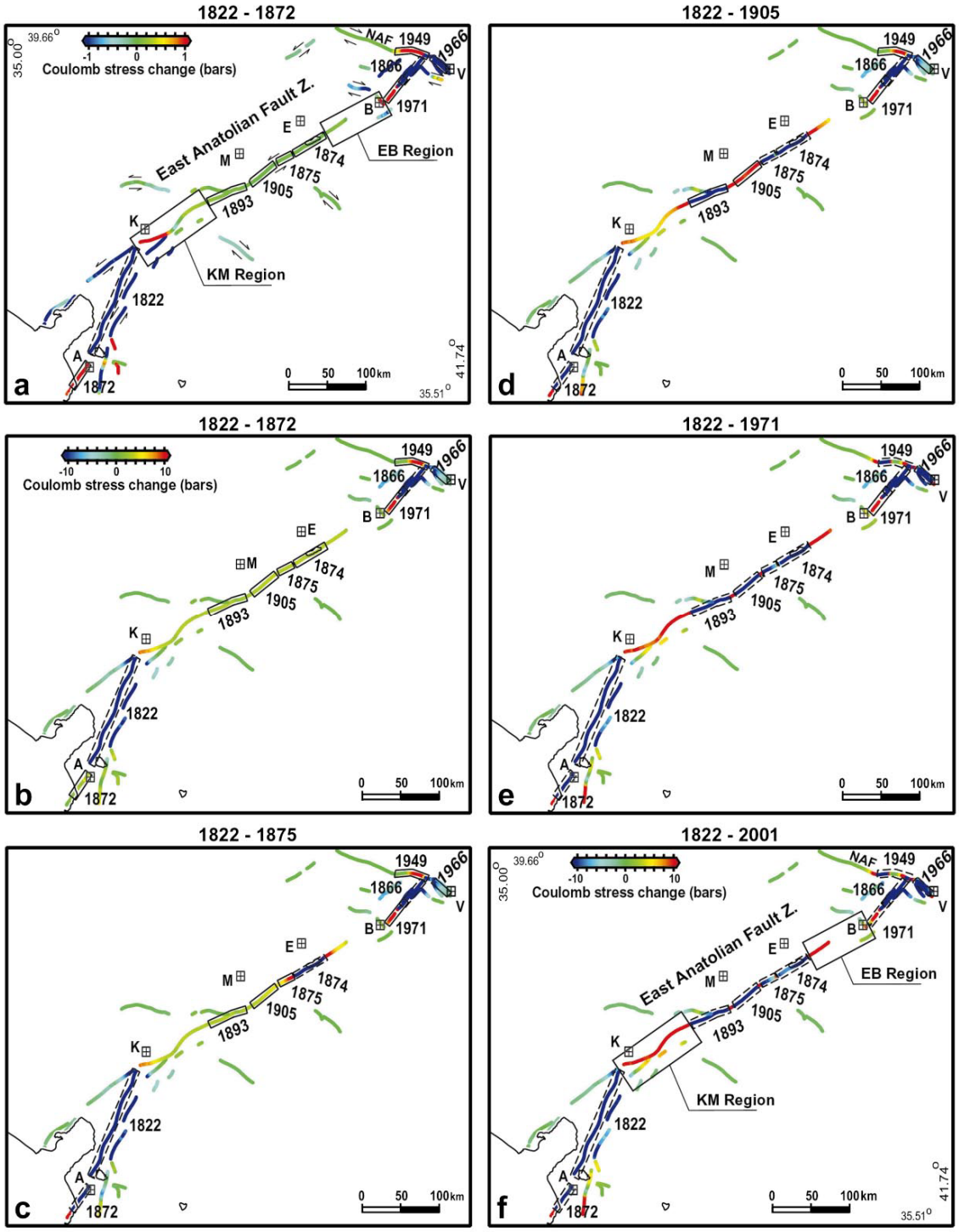
Şekil 1.4 Sol ve sağ yanal kayma oranları (parantez içindeki değerler sırasıyla daralma ve uzama değerlerini gösterir) (B. Aktuğ vd. 2016)

S.Özdemir (2016), TUSAGA ve TUSAGA Aktif İstasyonlarının hassas koordinat ve hızlarının hesaplanmasına yönelik çalışmada Doğu Anadolu Fayının güneyinde nokta hızlarını 9-14 mm/yıl olarak hesaplamıştır [8] (Şekil 1.5).



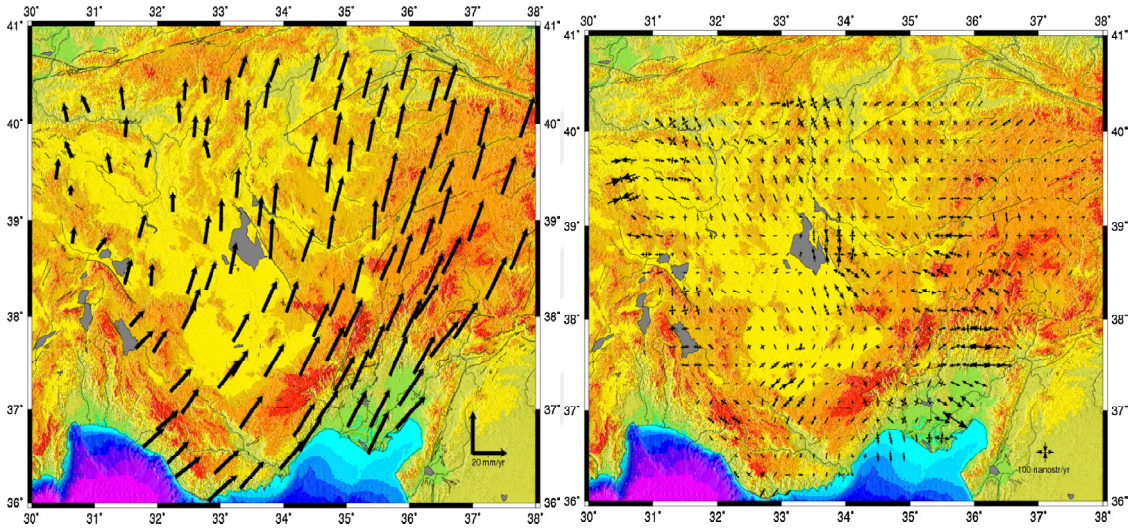
Şekil 1.5 ITRF 2008 sisteminde elde edilen hızlar ve %95 güven elipsleri (Özdemir, 2016)

Nalbant vd., (2001), 1822 yılından beri DAFZ boyunca oluşan gerilimi inceledikleri çalışmada Kahramanmaraş-Malatya bölgesinde gerilim miktarının transferini 12.4-20 bar arasında, Elazığ-Bingöl bölgesinde ise 13.2-16.3 bar arasında olduğunu belirlemiştir [9] (Şekil1.6).



Şekil 1.6 1822-2001 yılları arasında DAFZ boyunca oluşan gerinim miktarı(Nalbant vd. 2001)

B. Aktuğ vd. (2013) GPS ile Anadolu bölgesinin deformasyon ve gerinim miktarını inceledikleri çalışmada Anadolu'nun batıya doğru, dönme rotası boyunca hesaplanan hızların düzenli değil, her 100 km de 0.7-1.3 mm meyilli olarak 1.9 ± 0.3 mm/yıl hareket ettiğini, batıya doğru hızlanan hareketinin Anadolu'nun doğusundansa güney batısındaki güçlerden kaynaklandığını, doğu-batı yönündeki genişleme oranının Karlıova'nın batısından Afyon'a kadar kuzey güney yönünde yaklaşık 0.1 µstrain olduğunu belirlemişlerdir. Çukurova havzası ve Adana fayı yakınlarında Orta Anadolu'nun gerinme oranlarını 0.05 µstrain'den küçük, genişleme oranını 0.1 µstrain'den büyük olarak hesaplamışlardır [10] (Şekil1.7).



Şekil 1.7 Anadolu'nun merkezinde başlıca hız (a) ve gerinim (b) miktarları (B.Aktuğ vd. 2013)

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, Doğu Anadolu Fayı'nın güney kesiminde, Kahramanmaraş üçlü eklemi bölgesinde GPS ölçme yöntemi kullanılarak meydana gelen yatay yerkabuğu deformasyonlarının ve gerinim birikimine ilişkin bilgilerin belirlenmesidir.

1.3 Hipotez

Yerkabuğunda oluşan deformasyonların belirlenmesi ve farklı fay segmentleri üzerinde olabilecek olası depremlerin yerlerinin belirlenmesi deprem tehlikesi ile karşı karşıya kalan bölgeler için büyük önem taşımaktadır.

Bu kapsamda, aşağıdaki iki hipotez öngörülmektedir.

- Doğu Anadolu Fayı'nın güneyinde Kahramanmaraş üçlü eklem bölgesinde 2006-2014 yılları arasında gerçekleştirilen GPS ölçülerine göre yatay yerkabuğu hareketleri bulunmaktadır.
- Çalışma bölgesi kuzey yönlü bir gerinim birikimine sahiptir.

BÖLÜM 2

TEKTONİK YAPI

2.1 Türkiye'nin Genel Tektonik Durumu

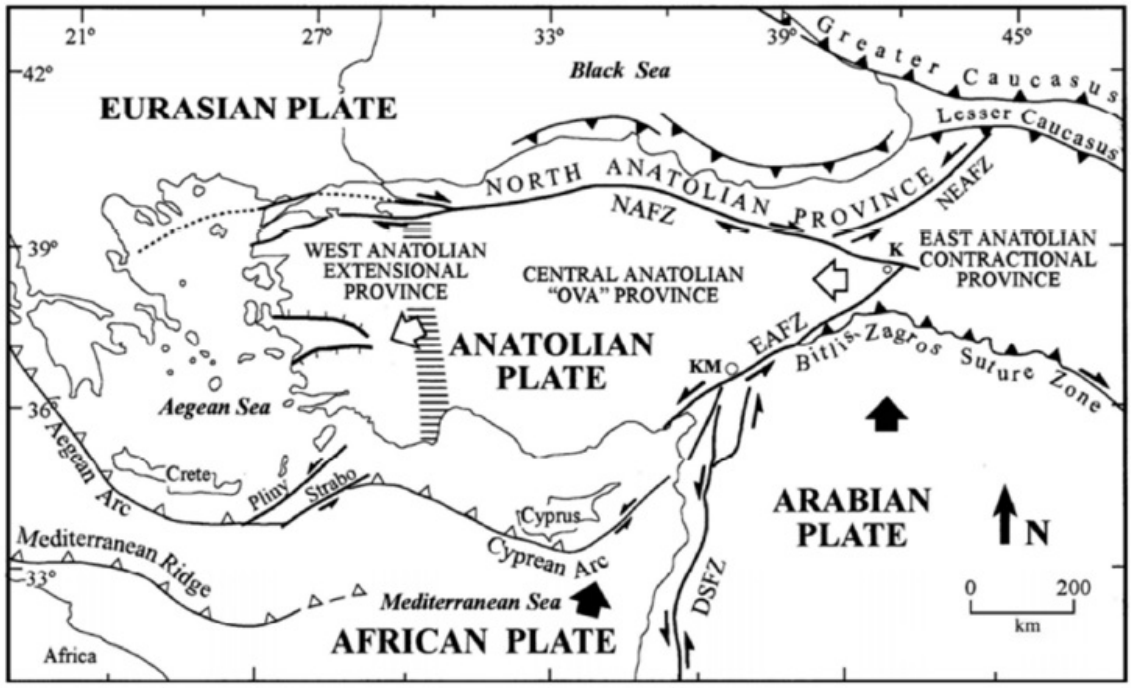
Türkiye dünyanın en aktif deformasyon bölgelerinden biridir ve yıkıcı depremlerin uzun bir geçmişi vardır. Türkiye'nin neotektonik ve aktif tektonik özelliklerinin daha iyi anlaşılabilmesi sadece Türkiye için değil tüm Doğu Akdeniz bölgesi için fikir sağlayacaktır. Türkiye'nin aktif tektonik yapısı erken pliyosen dönemden beri (yaklaşık 5 milyon yıl önce) tektonik kaçma ve kıtalararası çarpma yaklaşma hareketi ile ilgili deformasyonun sonucudur. Türkiye'nin neotektoniğini üç büyük yapı yönetir. Bunlar sağ yanal Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), sol yanal Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ile Ege-Kıbrıs Yayı ve sol yanal Ölü Deniz Fayı dır [11].

Avrasya ve Anadolu tektonik levhasının sınırlarını oluşturan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), dünyanın en büyük doğrultu atımlı fayı olup Türkiye'nin kuzey kısmı boyunca uzanır. 1200 km uzunluğundaki KAFZ, kabaca Batıda Saroz körfezinin doğusundan, doğuda Bingöl ilinin Karlıova ilçesine kadar Karadeniz'e paralel olarak uzanır. Doğu Anadolu sıkışma bölgesi ve Ege genişleme bölgesi ile bağlantılıdır [12]. Genişliği ise 100m ile 10km arasında değişmektedir. KAFZ'ın farklı kesimlerinde kayma oranları 10mm/yıl ile 20.5mm/yıl arasında olduğu hesaplanmıştır [1]. Doğu Anadolu Fay Zonu, Türkiye'nin doğusunda Karlıova ile İskenderun Körfezi arasında KD-GB doğrultusunda uzanan sol yanal doğrultu atımlı bir fay zonudur . DAFZ sol yanal atımının yanında, eğim atımına da sahip, birbirine paralel kayma düzlemleri boyunca hareket eden, birkaç m ile 10 km'ye ulaşan zon içinde izlenebilen aktif bir faydır. Fay sistemi farklı

doğrultularda, yer yer kademeli yön değiştiren çok sayıda bölümden (segment) oluşmakta ve genç morfolojisi ile arazide açık olarak izlenmektedir. Barka ve Kadinsky-Cade (1988) DAFZ'ı Karlıova ile Türkoğlu (Maraş) arasında 14 segmente ayırmış ve tanıtmış, fayın Akdeniz'e doğru devam ettiğini belirtmiştir [13]. DAFZ ile KAFZ Türkiye'nin doğusunda Karlıova üçlü ekleminde kesişmektedir [12] .

KAFZ ve DAFZ'ın oluşumu, Anadolu levhasının batıya doğru kaçışı Türkiye'de 4 farklı neotektonik bölgenin meydana gelmesine neden olmuştur (Şekil 2.1).

- Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi
- Kuzey Anadolu Bölgesi
- Orta Anadolu 'Ova' Bölgesi
- Batı Anadolu Genişleme Bölgesi [14]



Şekil 2.1 Türkiye'nin genel tektonik durumu [11]

Kıbrıs Yayı, Doğu Akdeniz'de güneyde Afrika levhası ile kuzeydeki Anadolu levhası arasındaki yakınsamayı temsil eden bir sınırdır. Kıbrısın batısında Doğu Akdeniz okyanusal litosferinin kuzeydoğuya doğru daldığı, deprem merkezlerince öne sürülmüş ve Ege yayının devamı olduğu belirtilmiştir. Kuzeye doğru dalma-batma deniz adasının çarpışmasından etkilenmiştir. Bazılarına göre Kıbrıs adası doğusundan itibaren dalma-batma yoktur ve bu kesimde doğrultu atımlı deformasyon egemendir. Bu bölgede iyi

tanımlanmış sınır yoktur. Kıbrıs'ın kuzey ve güneyindeki levha sınırları iki farklı sınır şeklindedir. Sismisiteye dayalı olarak aktif yakınsama Kıbrıs'tan İskenderun körfezine, oradan DAFZ, ÖDFZ'nun birleştiği Kahramanmaraş üçlü eklemine uzanır. Afrika ve Anadolu levhaları arasındaki yakınsama, Kıbrıs yayının batısındaki Ege yayı tarafından temsil edilir [15]. Doğu Akdeniz bölgesinin tektonik evriminde büyük ölçüde Ege yayı boyunca meydana gelen dalma-batma zonunun etkileri hakimdir [16].

Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) 1000 km uzunluğunda Kuzey-Güney gidişli bir transform fay zonudur. Arabistan levhasının Afrika levhasına göre kuzeye doğru daha hızlı hareket etmesi sebebiyle Afrikadan Ölü Deniz Fayı ile ayrılmıştır [17]. Levha içi sol yönlü doğrultu atımlı bir zondur. Fay zonu boyunca 1000 m'ye varan bölgesel yükselmeler de bulunur. Güneyde Kızıl Denizden, kuzeyde DAFZ'na kadar uzanır. ÖDFZ, Afrika ve Arap levhalarını birbirinden ayıran transform fay özelliğindedir [13].

2.2 Doğu Anadolu Bölgesinin Tektonik Yapısı ve Levha Tektoniği

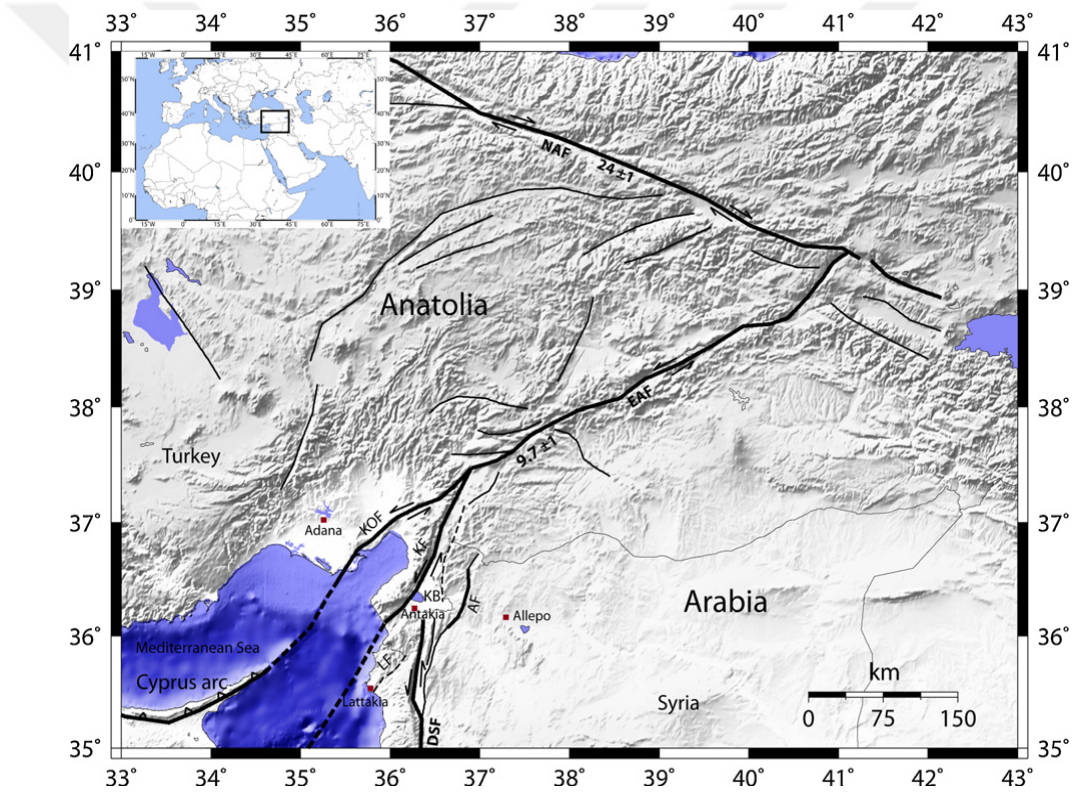
Doğu Anadolu Miyosen'den itibaren kuzey-güney sıkışması sonucu Arabistan ve Avrasya Levhaları arasındaki dalma batmaya bağlı jeolojik evrim geçiren KAF ile DAF'nın Karlıova birleşme noktasından kuzeyde Pontidlere, güneyde Kenar Kıvrımlarına, doğuda Türk-İran sınırına uzanan geniş bir alan kaplamaktadır.

Anadolu ve Arap levhalarının Bitlis-Zagros sütur zonu boyunca kuzey-kuzeybatı yönünde kıta içi çarpışması KAFZ'ın oluşmasıyla sonuçlanmıştır. KAFZ ve DAFZ'ın oluşumu, Anadolu levhasının batıya doğru hareketiyle beraber, Arabistan levhasının Afrika levhasına göre kuzey yönde daha hızlı hareket etmesini sağlamıştır [18], [19], [20], [21]. Bunun sonucunda ise Anadolu-İran platosunda kabuk kalınlaşması ve yükselme meydana gelmiştir [22].

Arap ve Avrasya levhalarının yakınsama hareketleri, okyanusal dalmaya olanak olmadığından kıtasal yamulmaya dönüşerek iki ana yolla karşılanmaktadır. Bir yandan Anadolu levhası KAFZ ve DAFZ ile batıya doğru kaçmakta, bir yandan da Karlıova üçlü ekleminden doğuya doğru ise kıvrım ve bindirme tektoniği ile kısalıp kalınlaşmaktadır [23].

Doğu Akdeniz bölgesi 4 önemli tektonik zon içerir; Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ), Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Bitlis-Zagros Bindirme Kuşağı (BZBK) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ). Doğu Anadolu Fayı (DAFZ) , Ölü Deniz Fayı (ÖDF) ve Kıbrıs Yayı ile Kahramanmaraş'da, Kahramanmaraş üçlü ekleminde kesişir. Türkiye'nin güney doğusunda ve Suriye'nin kuzey batısında Anadolu Afrika ve Arap levha sınırlarının arasında kalan Kahramanmaraş tektonik bölgesi fay-fay-hendek (FFT) üçlü eklemine denk gelmektedir [5] (Şekil 2.2).

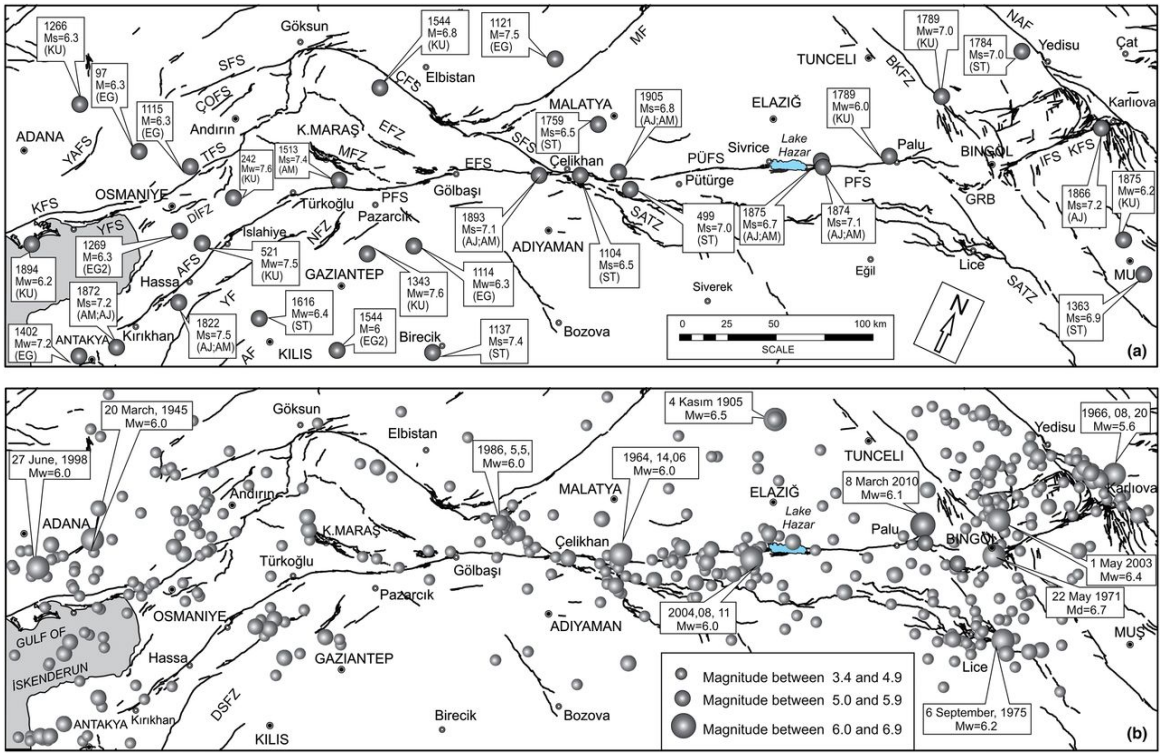
Kahramanmaraş üçlü eklem bölgesi kısmen kıtalararası olduğu için benzersiz bir avantaja sahiptir. DAF, ÖDF ve Kıbrıs dalma-batma zonu arasında açık bir şekilde kabul edilebilir bir kavşaktır.



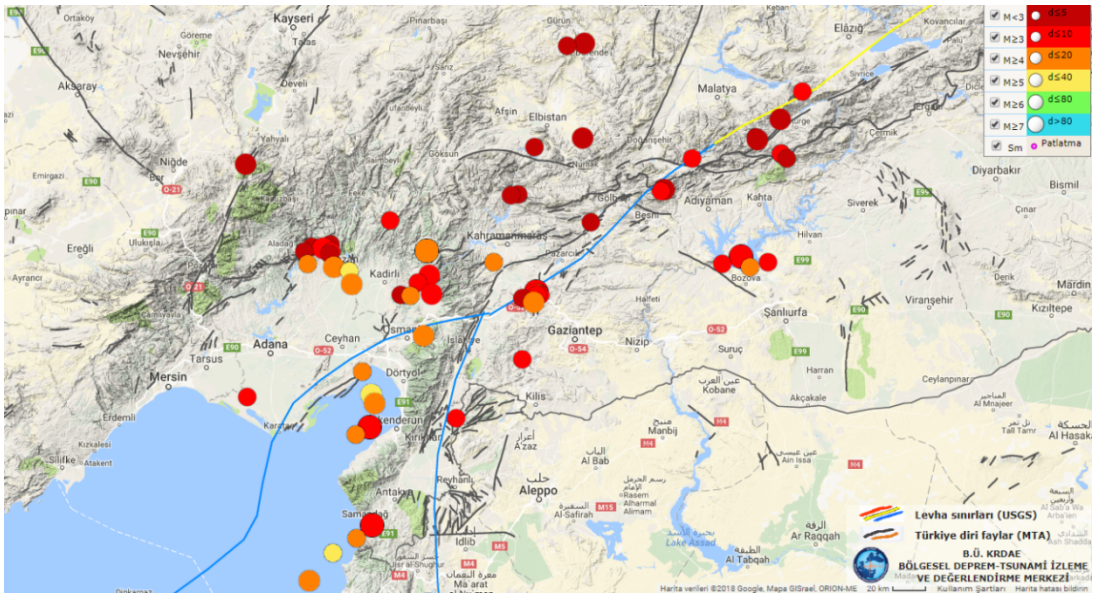
Şekil 2.2 Kahramanmaraş Üçlü Eklem Bölgesi ve DAFZ [5]

Kahramanmaraş üçlü eklem bölgesi günümüzde gereksiz ve depremselliği düşük bir bölge gibi görünür ancak büyük, aktif vurma kayma fayının bulunduğu ve kosismik kırılma yer değişimleri ile büyük depremlerin olma ihtimalinin gittikçe arttığı bir bölgedir. Nitekim Kahramanmaraş üçlü eklem bölgesi tarihte bir çok depremin olduğu bir yerdir. Özellikle DAF'da 19 Kasım 1114 de (Mw.7.8), DSF'da 29 Aralık 1408 de (Mw.7.4), Karasu Fayında (KF) 13 Ağustos 1822 de (Mw.7.3), Çelikhan-Gölbaşı

segmentinde (Mw.7.4) ,2 Mart 1893 de (Mw.7.1) Malatya; 4 aralık 1905 de (Mw.6.8) Malatya depremleri; DAF yakınlarında 1998 de Adana depremi (Mw.6.2) ve 1996 da Kıbrıs dalma-batma zonu depremi (Mw.6.8) son zamanlardaki büyük deprem oluşumlarını kanıtlar(Şekil 2.3 - Şekil 2.4)). Üçlü eklem bölgesi son yüzyılda nispeten sessizdir ancak son dördüncül tektonik, tarihsel sismik ve jeodezik çalışmalar bu bölgede önemli sismik gerinimin serbest kalabileceğini göstermektedir [5], [15], [24].



Şekil 2.3 DAFZ Boyunca Meydana Gelen Tarihsel Depremler [24]



Şekil 2.4 2006-2014 yılları arasında DAF'ın güneyinde yaşanan depremler (Mw.4≤) [25]

Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS), kuzeyde Anadolu levhası ile güneyde Afrika-Arabistan levhaları arasında yer alan 30 km genişliğinde, 700 km uzunluğunda ve KD-GB doğrultulu sol yanal bir doğrultu atımlı fay sistemidir. Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) bu ana gidişe paralel, yarı paralel ve oblik olarak yönlenmiş bir dizi faydan oluşur [26].

DAFZ, kuzey doğuda Karlıova'da KAFZ ile bir üçlü eklem oluşturacak şekilde başlamakta, güneybatıya doğru Bingöl'e kadar uzanmaktadır. Basamaklanma, bükülme ve kollara ayrılma gibi çok sayıda karmaşıklıklar içerir. 1972 Bingöl depremi bu fay üzerinde gelişmiş ve odak mekanizması çözümü doğrultu atımlı fay karakteri vermiştir. Güneybatıya doğru Palu civarında fay izi oldukça belirgindir ve Hazar gölünün kuzeydoğu bitimine kadar uzanmaktadır. Bu gölün güney kenarında tekrar ortaya çıkmakta ve gölün fayın sol yönlü basamaklanmasına bağlı bir çek-ayır havza olduğunu göstermektedir. Daha güneybatıya doğru fayın gidişi açık değildir. Fakat Çelikhan yöresindeki Siro nehrine yakın geçmekte, Aksu nehrinin üst bölümündeki üç göle ulaştığında tekrar yüzeye çıkmaktadır. Burada Ahırdağ civarında güneybatıya doğru bükülmekte ve Bahçe'ye yakın kesimden geçmektedir. Güney bölümü Kuzey bölümüne göre daha az düzdür ve olasılıkla bindirme bileşeni taşımaktadır. DAFZ'nun sol yönlü hareketi, Anadolu levhasının batıya kaçışını sağlamaktadır. DAFZ ve ÖDFZ

Kahramanmaraş civarında üçlü kavsak oluşturur. Üçlü kavsak zonunda fayın geometrisi tartışmalıdır [26], [27].

DAF fay doğrultusundaki değişimlere ve fay sıçramalarına göre farklı segmentlere bölünmüştür.

Barka ve Kadinsky-Cade (1988), DAF'ın 14 segmentten oluştuğunu belirtmiştir. Türkoğlu'nda ÖDFZ ile karşılaştıktan sonra fayın GB yönünde Adana havzasına doğru uzanıp buraya ulaştıktan sonra yön değiştirip Misis-Yumurtalık fayının bir parçası olduğunu belirtmişlerdir. Perinçek ve Çemen (1990), DAF'ı üç bölüme ayırarak incelemiştir. Bunlardan güneybatı bölümünde K-KD doğrultulu Amanos Fayının, DAFZ'nun ana koluyla Türkoğlu civarında birleştiğini ve Amanos Fayından KD yönünde Islahiye civarında bir fay ayrıldığını ve diğer bir fayın da Kırıkhan civarında ayrıldığını ve bunun DAFZ'nun güney uzantısı olduğunu, Amanos Fayı ile bu uzantının ana faya bağlandığını belirtmiştir. Muehlberger ve Gordon (1987) ve Westaway (1994) ise fay zonunu 5 segmente ayırmışlardır, bunlardan en güneydeki segmentin Aksu nehrini geçtikten sonra ÖDFZ'nun bir kolu haline geldiğini belirtmişlerdir. Şaroğlu vd., (1992), fay zonunun farklı doğrultu ve özellikteki 6 segmentten meydana geldiğini ifade etmiştir. Bu segmentler kuzeyden güneye doğru sırasıyla şöyledir (Şekil 2.5):

1. Karlıova-Bingöl segmenti;

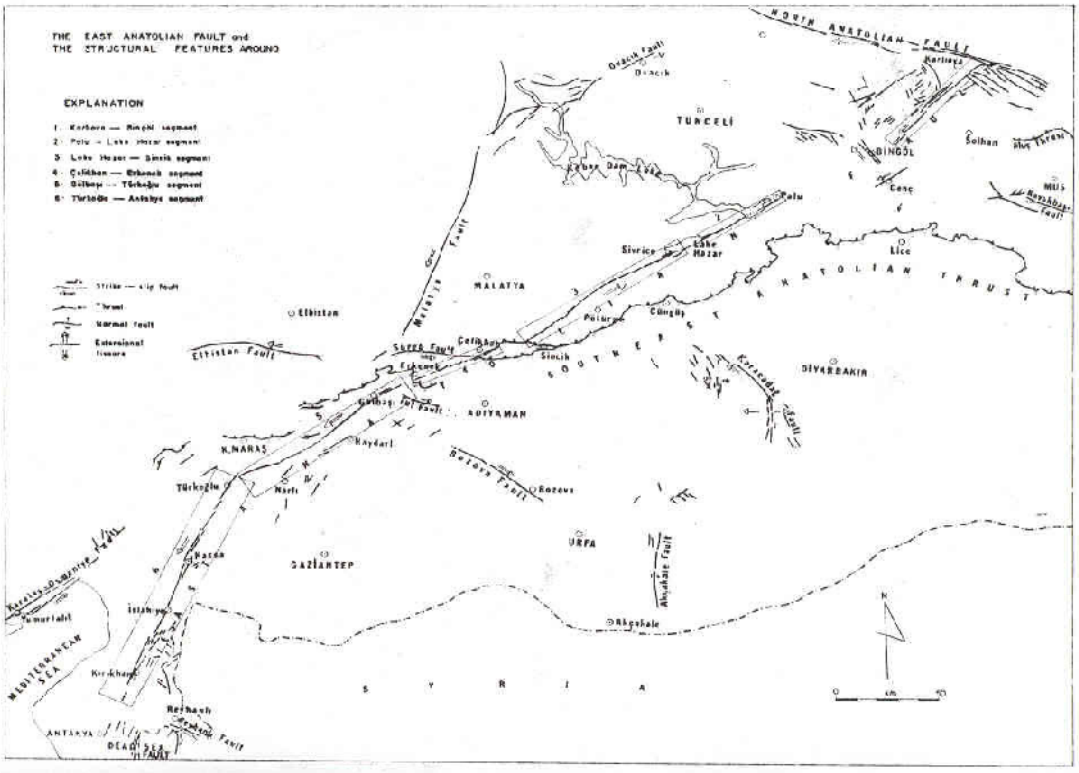
2. Palu-Hazar Gölü segmenti;

3. Hazar Gölü-Sincik segmenti;

4. Çelikhan-Erkenek segmenti;

5. Gölbaşı-Türkoğlu segmenti;

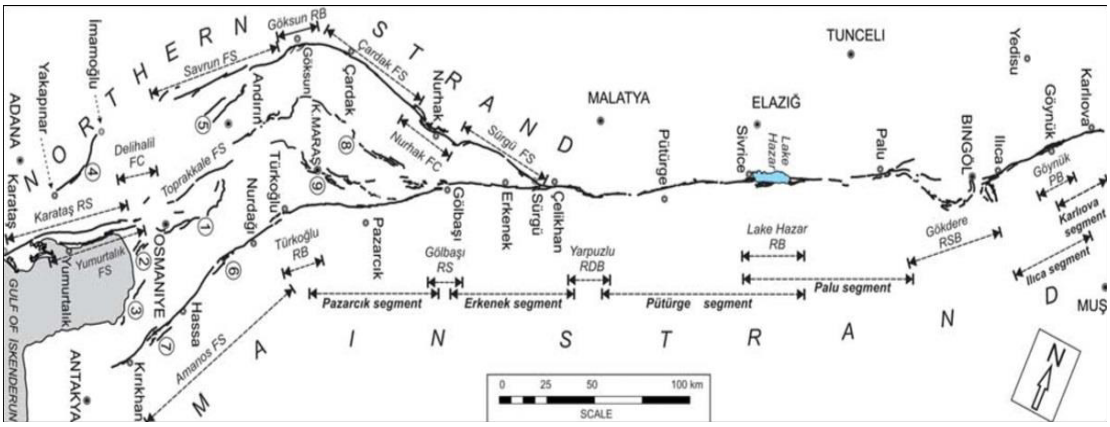
6. Türkoğlu-Antakya segmenti.



Şekil 2.5 DAFZ için Bölünme Modeli Önerisi [28], [29], [14]

Karlıova-Türkoğlu arasında Doğu Anadolu Fayı'nın genel trendinin KD-GB iken, bunun tersi olarak Antakya Grabeni'nde ise DAF'nın yönünü KKD-GGB olarak değiştirdiğini ve Antakya havzasının doğuda sol yönlü doğrultu atımlı ÖDF ile GB'da ise sağ yönlü doğrultu atımlı Reyhanlı fayı ile sınırlandırıldığını açıklamışlardır [14].

Sismik Kaynak Karakterizasyonu modellemesine göre deprem kırığı tahmini ve fay bölümleme modellerinin tanımlanması için DAFZ de farklı kriterlere dayalı birkaç bölümleme modeli önerilmiştir. Bunlardan Şaroğlu vd. (1992) DAFZ'yi yanal fay atımına ve bölüm uzunlukları boyunca ayrı ayrı hareket edebileceğini varsayarak vurma değişimine dayanarak 6 bölüme ayırmıştır. Duman ve Emre (2013), benzer bir yaklaşımla 31-113 km arasında değişen bölüm uzunluklarına sahip 7 bölüm olarak tanımlamışlardır. Duman ve Emre (2013) tarafından önerilen fay bölümleme modeli Türkiye Güncellenmiş Aktif Fay Haritasında da kabul edilmiştir. Duman ve Emre (2013) tarafından DAFZ ana hattı için önerilen bölümlendirme modeline göre Gökdere, Ilıca ve Karlıova Kırığı Bölümü, Pütürge-Palu Kırığı Bölümü, Pazarcık-Erkenek Kırığı Bölümü birleştirilmiştir (Şekil 2.6) [24] .



Şekil 2.6 DAFZ için Bölünme Modeli Önerisi [24]

BÖLÜM 3

DEFORMASYON ANALİZİ

Yerkabuğu hareketlerinin saptanması için yapılan jeodezik ölçmelere "deformasyon ölçmeleri", elde edilen ölçülerin değerlendirilerek deformasyonların istatistiksel yöntemle saptanması ve yorumlanmasına da "deformasyon analizi" adı verilmektedir. Yeni ölçme donanımları ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler deformasyon ölçme ve analizinde yeni bir çağ açmıştır. Tektonik deformasyonların jeodezik ölçme teknikleri ile izlenmesi günümüzde deformasyonların büyüklüğü yanında hızı, ivmesi ve hatta ivmesinin zamana bağlı değişimi yüksek prezisyonlu olarak belirlenebilmektedir. Deformasyonların belirlenmesi, söz konusu bölgede belirlenen karakteristik noktalarda zamana ve/veya etkiyen kuvvetlere bağlı olarak anlamlı bir hareketin var olup olmadığının belirlenmesi demektir [30].

Deformasyona uğradığı düşünülen cisimler jeodezik noktalarla karakterize edilir. Bu noktaların bir koordinat sistemindeki koordinat elemanlarında meydana gelen değişimler incelenerek, deformasyonlar belirlenmeye çalışılır. Jeodezide deformasyonların izlenmesi olarak adlandırılan bu işlem bütünü, jeodezik deformasyon ağlarının kurulması, ölçülmesi ve farklı zamanlarda (ölçü periyotlarında) elde edilen ölçülerin en küçük kareler yöntemine göre dengelenmesi, sonuçların analiz edilmesi (deformasyon analizi) aşamalarından oluşur [31].

3.1 Global Eşdeğerlik Testi

Global test, iki amaca yöneliktir:

- Jeodezik ağın bütününde deformasyon olup olmadığını,
- Jeodezik ağın bir kısmında (örneğin referans noktalarında) deformasyon olup olmadığını belirlemek.

Eğer ilgili noktalarda blok olarak öteleme ya da dönüklük varsa global test ile bunu cevaplamak mümkün değildir. Bu yüzden global testin amacı, jeodezik ağın ilgili bölümündeki noktaların koordinatlarında anlamlı bir değişim olup olmadığını belirlemek şeklinde de ifade edilebilir [32].

Aralarında korelasyon olmayan 1. ve 2. periyot ölçmeleri için serbest dengeleme ile aynı datumda elde edilmiş bilinmeyenler vektörleri x_1 ve x_2 olsun. Konum değişim vektörü,

$$d = x2 - x1 \tag{3.1}$$

ve bunun ağırlık katsayıları matrisi, ağırlık katsayıları yayılma kuralı ile,

$$Q_{dd} = (A^T{}_1 P_1 A_1)^+ + (A^T{}_2 P_2 A_2)^+ = Q_{x1x1} + Q_{x2x2} \tag{3.2}$$

olur.

Periyotlar arasında anlamlı bir hareket olmadığını ileri süren sıfır hipotezine (H_0) karşı d vektörünün sıfırdan farklı olduğu varsayımına dayanan seçenek karşıt hipotez (H_k),

$H_0 : E(d) = 0$ (Bir grup datum noktası için deformasyon anlamlı değil) (3.3)

$H_k : E(d) \neq 0 = d_k$ (Bir grup datum noktası için deformasyon var) (3.4)

(3.3) ve (3.4) ile karşılaştırılırsa, E birim matris olmak üzere, $B = [-E \; E]$, $x = [x_1 \; x_2]^T$ ve $w=0$ olduğu görülür.

$$R = (B_x - w)^T (B (A^T P A) + B^T) + (B_x - w) \tag{3.5}$$

modeline göre,

$$R = d^T Q^+_{dd} d \tag{3.6}$$

çıkar. Sıfır hipotezi geçerliyse test büyüklüğü,

$$T = \frac{R/h}{\Omega/f} = \frac{d^T Q^+_{dd} d}{h S_0^2} \sim F(h,f) \tag{3.7}$$

olur. Serbestlik derecesi h, Qdd matrisinin mertebesine (rangına) eşittir (h = rank (Qdd)). Her iki periyotta ağ şekli özdeşse, d defekt sayısı olmak üzere, h=u-d dır. Birleştirilmiş deneysel varyans (pooled variance) s_0^2, her iki periyoda ilişkin varyanslar istatistiksel olarak birbirine eşitse,

$$s_0^2 = \frac{\Omega}{f} = \frac{v_1^T P_1 v_1 + v_2^T P_2 v_2}{f_1 + f_2} \tag{3.8}$$

olur.

(3.7) test büyüklüğü; F dağılımı $F_{h,\, f,1-\alpha}$ sınır değerinden büyükse, 1-α güven düzeyi ile periyotlar arasında geçen zamanda anlamlı bir hareket olduğu sonucuna ulaşılır.

3.2 Deformasyon Büyüklüklerinin Belirlenmesi

Deformasyon büyüklüklerinin belirlenmesi için d konum değişim vektörünün oluşturulması gerekmektedir. Herhangi bir P noktasının t1 ve t2 periyotlarında belirlenen konum değişim vektörü,

$$d = \begin{bmatrix} x_t^2 - x_t^1 \\ y_t^2 - y_t^1 \\ z_t^2 - z_t^1 \end{bmatrix} \tag{3.9}$$

ve bu vektörün boyu,

$$d = \sqrt{d^T d} \tag{3.10}$$

olur. (3.9) ve (3.10) eşitlikleriyle hesaplanan hareket vektörlerinin anlamlı olup olmadıklarını test

etmek için H_0 hipotezi kurulur:

$H_0 : d = 0$ (3.11)

Test büyüklüğü,

$$T = \frac{d^T Q_{\hat{d}\hat{d}}^{-1} d}{3 S_0^2} \tag{3.12}$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu test büyüklüğü $F_{3,f,1-\alpha}$ değeri ile karşılaştırılır. T> $F_{3,f,1-\alpha}$ ise P noktasının iki periyot arasında 1-α güven düzeyi ile hareket ettiği kabul edilir [33], [34].

BÖLÜM 4

GERİNİM ANALİZİ

Deformasyon çalışmalarında nokta hareketlerinin yanı sıra noktalar arasında oluşan gerinim de önemlidir. Son yıllarda deformasyon analizinde, epoklar arasındaki koordinat farklarının deformasyon olarak yorumlanmasının yanında bu değişimlere yol açan kuvvetler de incelenmektedir. Bir cismin birim miktarındaki gerinime karşı meydana gelen şekil ve hacim değişmesine strain (birim deformasyon) denir. Gerinim, bir noktanın komşu noktalara göre yer değiştirme miktarının noktanın başlangıçtaki yeri ile referans noktası arasındaki uzaklığa bölümü şeklinde tanımlanabilir [35], [36]. Bu çalışmada GPS ile elde edilen koordinat farklarını kullanarak iki boyutlu gerinim parametreleri hesaplanmıştır. Homojen gerinim teorisine göre bağıl konum değişim vektörü,

$$d_u = dFr + u_0 \tag{4.1}$$

olarak verilmektedir [35], [37]. Burada, $u_0 = [t1\ t2]^T$ tüm noktalar için geçerli olan katı blok kuvveti hareketi (öteleme), dF bağıl konum değişim gradyent tensörü ve $r = [x\ y]^T$ koordinatlarıdır. Bağıl konum değişim gradyent tensörü dF, simetrik ve antisimetrik iki matrisin toplamı şeklinde yazılabilir:

$$dF = dR + E \tag{4.2}$$

burada E simetrik gerinim tensörü,

$$E = \begin{bmatrix} e_{xx} & e_{xy} \\ e_{xy} & e_{yy} \end{bmatrix} \tag{4.3}$$

dR ise ters simetrik dönme tensörüdür:

$$dR=\begin{bmatrix} 0 & \omega \\ -\omega & 0 \end{bmatrix} \tag{4.4}$$

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

(4.1) eşitliğinde (4.3) ve (4.4) göz önüne alınır ve yeniden düzenlenirse her bir nokta için eşitlikler

$$\begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} x & y & 0 & y & 1 & 0 \\ 0 & x & y & -x & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} e_{xx} \\ e_{xy} \\ e_{yy} \\ \omega \\ t_1 \\ t_2 \end{bmatrix} \tag{4.5}$$

olur [35], [38] .

Gerinim tensör parametreleri en küçük kareler yöntemine göre dengeleme ile belirlenir. İki boyutlu gerinim parametreleri için aşağıdaki eşitlikler geçerlidir [39], [40]:

Maksimum asal gerinim;

$$\varepsilon_{max}=\frac{1}{2}\left[\left(e_{xx}+e_{yy}\right)+\sqrt{\left(e_{xx}-e_{yy}\right)^2+4e_{xy}^2}\right] \tag{4.6}$$

Minimum asal gerinim;

$$\varepsilon_{min}=\frac{1}{2}\left[\left(e_{xx}+e_{yy}\right)-\sqrt{\left(e_{xx}-e_{yy}\right)^2+4e_{xy}^2}\right] \tag{4.7}$$

Saf kayma (püre shear);

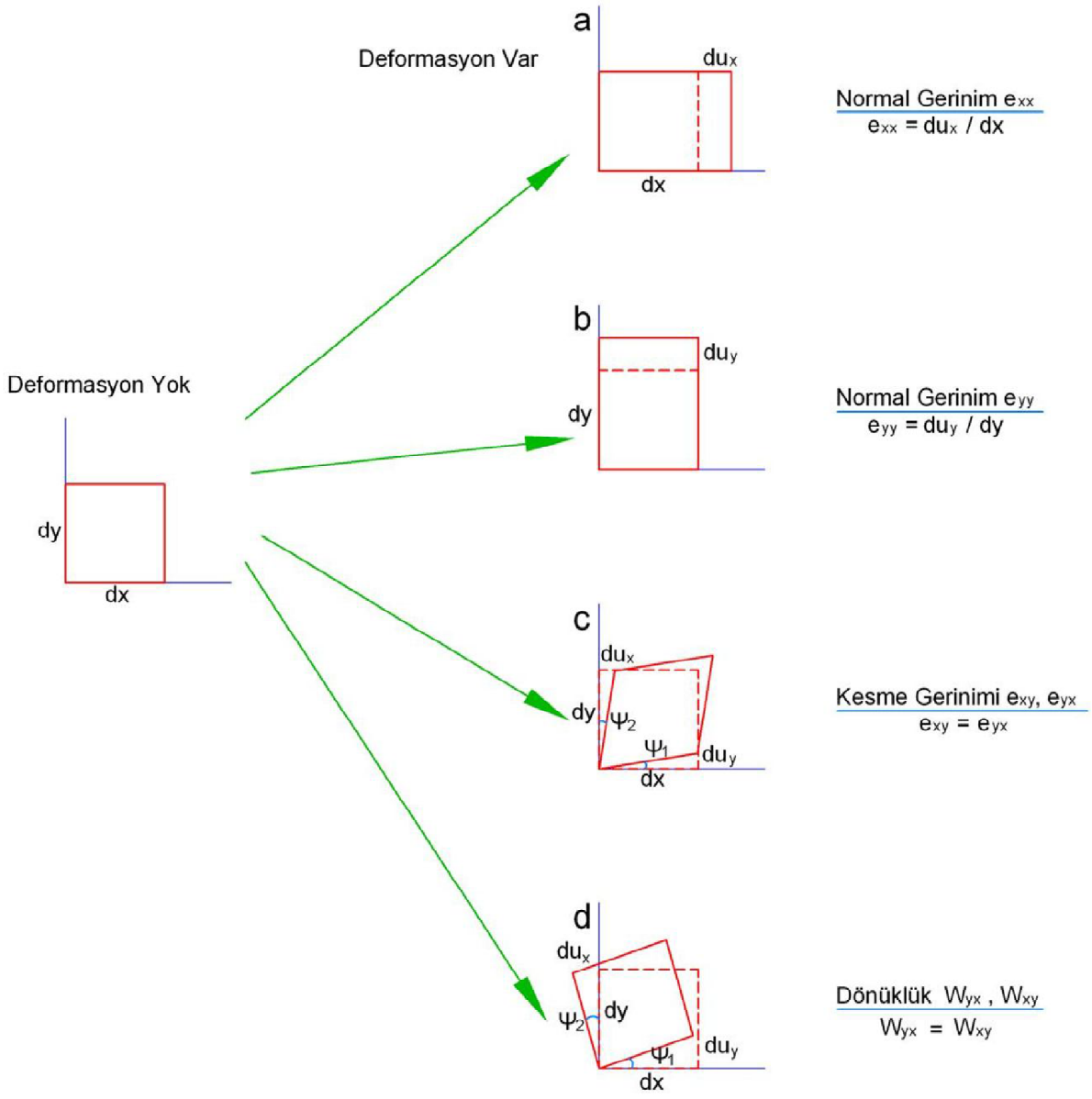
$$\gamma_1 = e_{xx} - e_{yy} \tag{4.8}$$

Mühendislik kayması (engineering shear);

$$\gamma_2 = 2e_{xy} \tag{4.9}$$

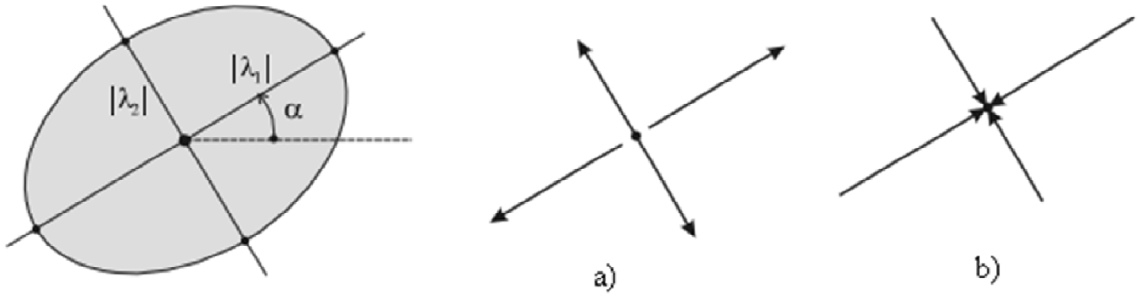
Maksimum gerinim yönü;

$$\varphi = 0{,}5 \tan^{-1}\left(\gamma_1/\gamma_2\right) \tag{4.10}$$



Şekil 4.1 Deformasyondan önceki ve sonraki durum [41]

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



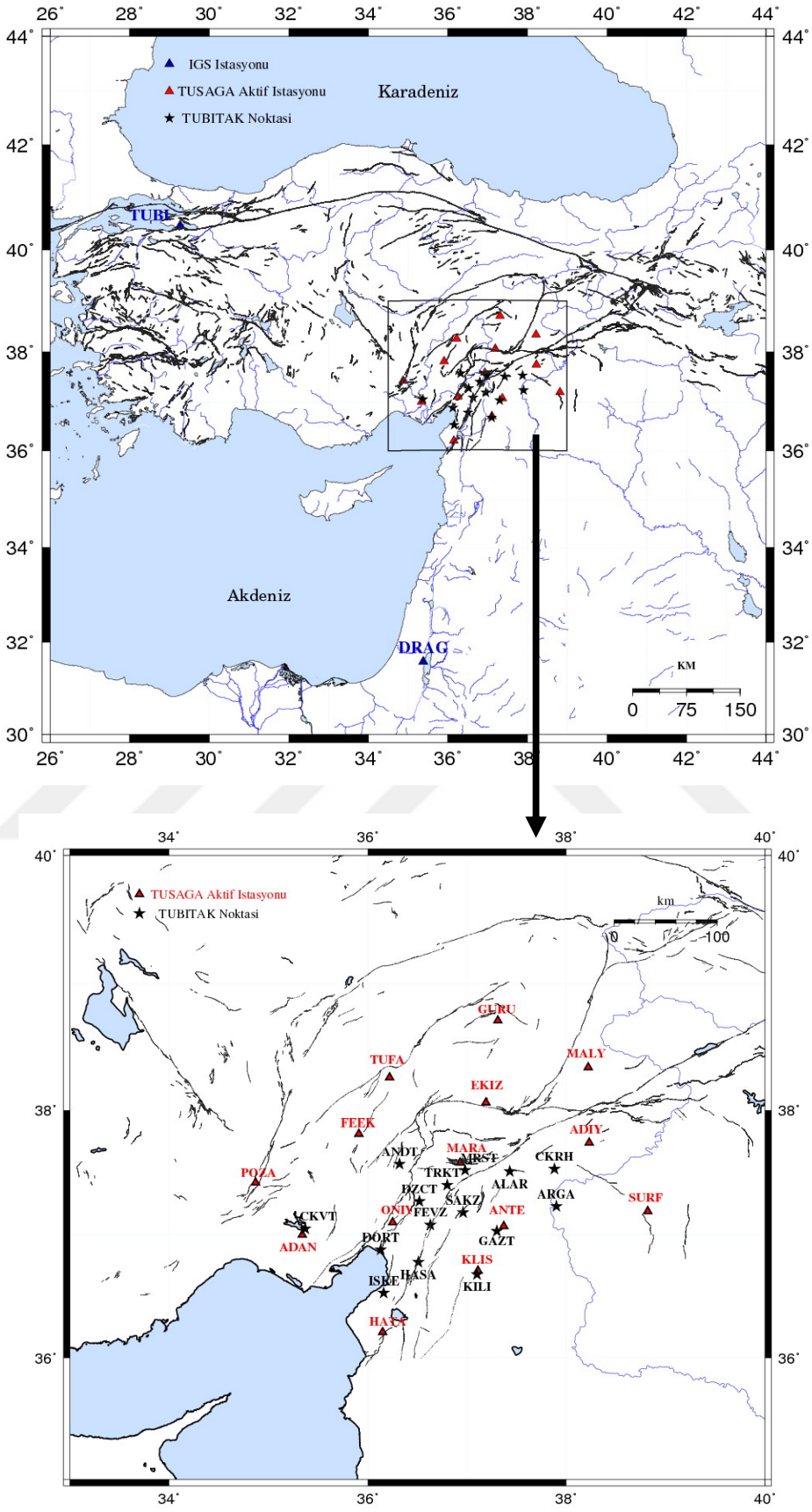
Şekil 4.2 Gerinim elipsi. signλ1 = signλ2, a) genişlemeyi (dışarı yöndeki oklar) ve b)sıkışmayı (içeri yöndeki oklar) gösterir [35], [42].

BÖLÜM 5

UYGULAMA

5.1 GPS Ölçmeleri

Türkiye'nin güneyinden başlayan DAFZ'ın güney kesiminde noktalardaki yer değişimlerini, hızlarını ve gerinim miktarlarını belirlemek amacıyla, Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü ve TUBITAK-MAM dan temin edilen nokta ölçümleri ile bölgeyi tanımlayıcı 14 adet TUSAGA, 2 adet IGS ve 15 adet TUBITAK noktası olmak üzere 31 nokta kullanılmıştır (Şekil 5.1). Periyotlara ilişkin GPS günleri ve nokta dağılımları Çizelge 5.1 'de gösterilmiştir.



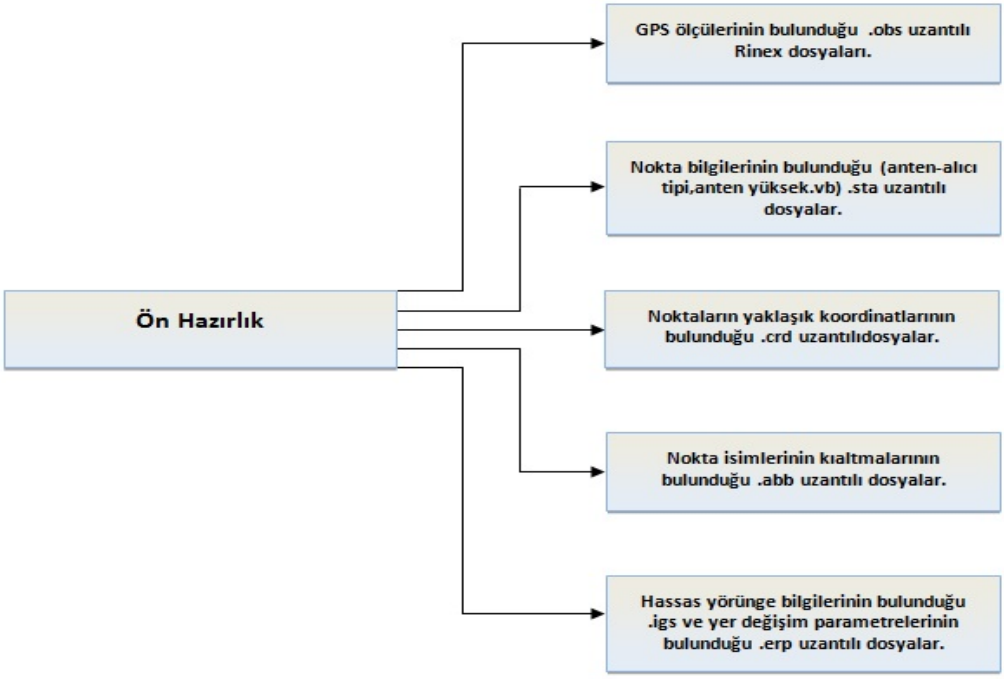
Şekil 5.1 GPS kampanya ve kullanılan GPS ağı

Çizelge 5.1 Ölçüm Günleri

| yıl | 2006 | | | | | | | | | | | | 2007 | | | | | | | | | | | | 2008 | | | | | | | | | | | | 2009 | | | | | | | | | | | | 2010 | | | | | | | | | | | | 2011 | | | | | | | | | | | | 2012 | | | | 2013 | | | | 2014 | | |
|---|---|---

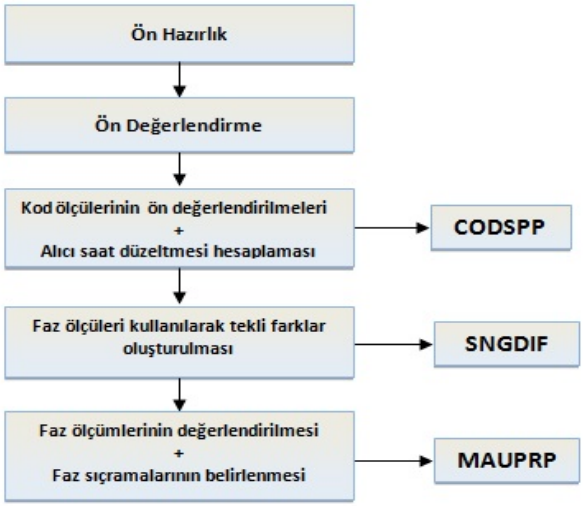
5.2 GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Bernese yazılımı ile değerlendirmeye başlamadan önce bazı dosyaların hazırlanması gerekmektedir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Bernese GNSS yazılımı ön hazırlık işlem akışı

Ön hazırlık aşamasından sonra ön değerlendirme aşamasına geçilir (Şekil 5.3)

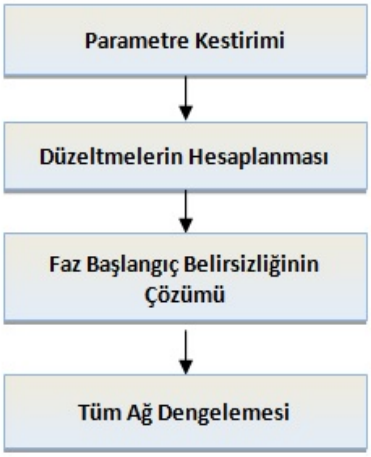


Şekil5.3 Bernese GNSS yazılımı ön değerlendirme işlem akışı

Ön değerlendirme işlem akışında ilk olarak CODSPP'ye ait yazılımı ile noktaların gözlenen her epoğu için saat düzeltmeleri hesaplanır. Bu aşamadan sonra SNGDIF alt yazılımı ile alıcılar arasında tekli farklar oluşturulur. Bu aşamanın son işlem aşamasında faz ölçülerinin ön değerlendirmesi ile;

- Düşük uydu yüksekliğinde L1 ve L2 frekansları için kısa süreli veriler belirlenir.
- Faz kesiklikleri belirlemek için referans olacak epok farkları hesaplanır.
- Tüm veriler kontrol edilerek faz kesiklikleri olan zaman aralıkları belirlenir ve düzeltilir [43], [35].

Ön değerlendirme aşamasından sonra parametre kestirim aşamasına geçilir (Şekil 5.4)



Şekil 5.4 Bernese GNSS yazılımı parametre kestirimi işlem akışı

Bu aşamanın ikinci adımında faz başlangıç belirsizliği çözümü gerçekleştirilir. Faz başlangıç belirsizliğinin çözümünde birçok yöntem bulunur. Tüm yöntemler temel olarak iki adımdan oluşur.

I. Faz başlangıç belirsizlikleri, diğer parametreler ile birlikte gerçek sayılar olarak kestirilir.
II. Faz başlangıç belirsizliğinin tam sayı değerleri analiz edilir ve istatistiksel testlerle sonuçların güvenilir olup olmadığı araştırılır [35].

Tez çalışmasında faz başlangıç belirsizliği çözümü her bir baz için QIF (Kuazi-İyonosfer-Bağımsız Çözümü) algoritmasına göre yapılmıştır.

Parametre kestiriminin son aşamasında tüm ağın değerlendirilmesi yapılır. İyonosferden bağımsız olarak tek noktaya göre sıkı koşul uygulanarak ağ dengelemesi gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasında GPS ölçülerinin günlük değerlendirme stratejisi aşağıdaki adımlara göre uygulanmıştır.

- İyonosferden bağımsız L3 frekansı kullanılmış,
- IGS sitesinden duyarlı GPS yörünge ve yer dönme parametreleri kullanılmış,
- SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) sitesinden TUBI ve DRAG istasyonlarının ITRF2008, 2005.00 epok koordinatlarına ayrı ayrı sıkı koşul (1 mm standart sapma uygulanmış,
- Faz başlangıç belirsizliği yönteminde QIF yöntemi kullanılmış,
- Troposfer modeli olarak Niell modeli kullanılmıştır.

Bernese 5.0 yazılımı ile bir güne ilişkin ölçülerin değerlendirilmesi sonucunda bilinmeyen parametrelere ilişkin normal denklemler elde edilmiş, günlük normal denklemlerin birleştirilmesi ve çözümü programa ait yazılım olan ADDNEQ ile yapılmıştır.

Günlük serbest çözümlerin birleştirilmesi sonucunda noktaların birleştirilmiş koordinatlarının günlük koordinatlardan olan farkları yardımıyla noktalara ve tüm kampanyaya ilişkin günlük tekrarlılıklar hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 5.5-Şekil 5.13'de gösterilmektedir. Ayrıca noktaların yerel koordinat sistemi farkları 2006 yılının ilk gün koordinatı başlangıç alınarak zaman serileri oluşturulmuş ve Ek-A'da verilmiştir.

Şekil 5.5'e göre, 2006 yılı için ortalama tekrarlılık değerleri yatayda yaklaşık 5 mm, düşeyde ise yaklaşık 20 mm'nin altında (DORT noktası hariç) belirlenmiştir. Bu dönemde faz başlangıç belirsizliği çözümü %70-%90 arasında gerçekleştirilmiştir.

2007 yılı için ortalama tekrarlılık değerleri yatayda yaklaşık 4 mm'nin altında iken düşeyde yaklaşık 8 mm'nin altında yer almaktadır (HASA noktası hariç)(Şekil 5.6). Bu dönemde faz başlangıç belirsizliği çözümü oranı %70-%80 arasında değişmektedir.

2008 yılında ise ortalama tekrarlılık değerleri yatayda yaklaşık olarak 5 mm'nin altında iken, düşey bileşende yaklaşık olarak 12 mm'nin altında olduğu görülmektedir (Şekil5.7). Bu dönemde başlangıç faz belirsizliği çözümü %50-%96 arasındadır.

Şekil 5.8'e göre 2009 yılı için ortalama tekrarlılık değerleri yatayda yaklaşık olarak 3mm'nin altında değişmektedir.Düşey bileşende ise yaklaşık olarak 10 mm'nin altında yer almaktadır. Başlangıç faz belirsizliği çözümü ise %65-%90 arasında belirlenmiştir.

2010 yılı için ortalama tekrarlılık değerleri yatayda yaklaşık olarak 4mm'nin altında (HATA noktası hariç), düşeyde ise 10 mm'nin altında belirlenmiştir (Şekil 5.9). Bu dönemde başlangıç faz belirsizliği çözümü %60-%85 arasındadır.

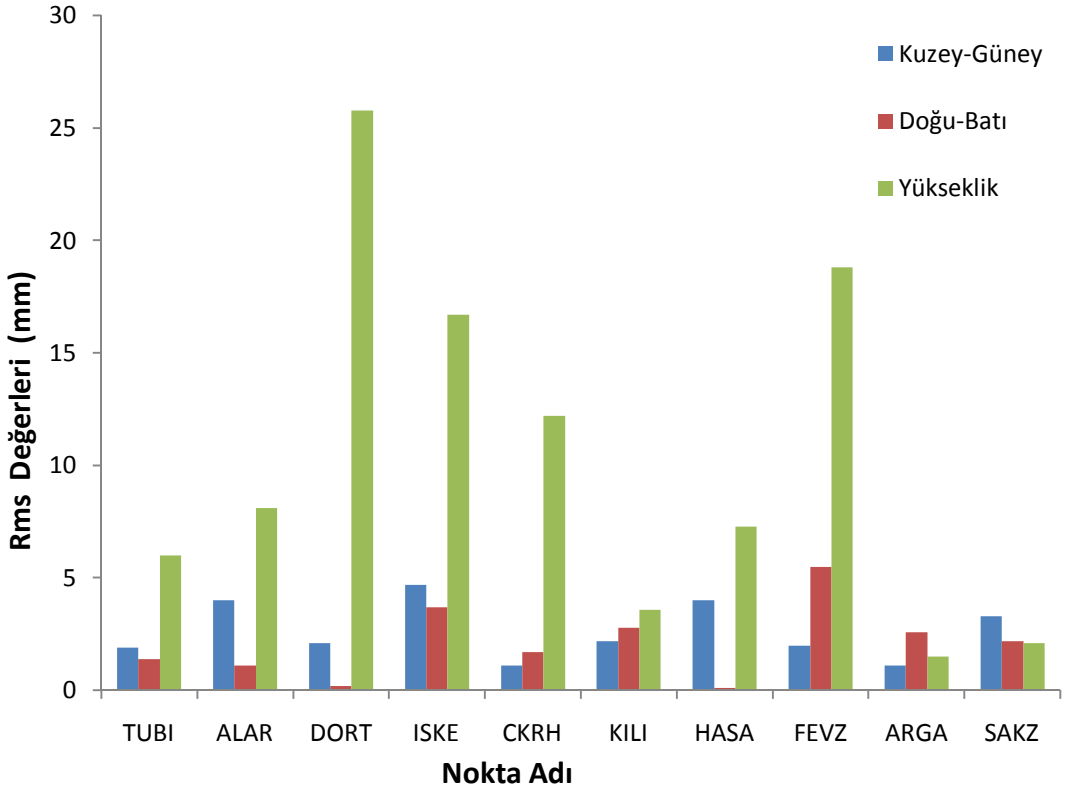
Şekil 5.10'a göre, 2011 yılı için ortalama tekrarlılık değerleri yatayda yaklaşık olarak 6mm'nin altında iken, düşeyde yaklaşık olarak 10 mm'nin altında (SURF noktası hariç) hesaplanmıştır. Başlangıç faz belirsizliği çözümü %65-%90 arasında belirlenmiştir.

2012 yılı için ortalama tekrarlılık değerleri yatayda yaklaşık olarak 3 mm'nin altında iken düşeyde 10 mm'nin altında (MALY ve POZA noktaları hariç) (Şekil 5.11). Bu dönemde faz başlangıç belirsizliği çözümü %55-%80 arasında değişmektedir.

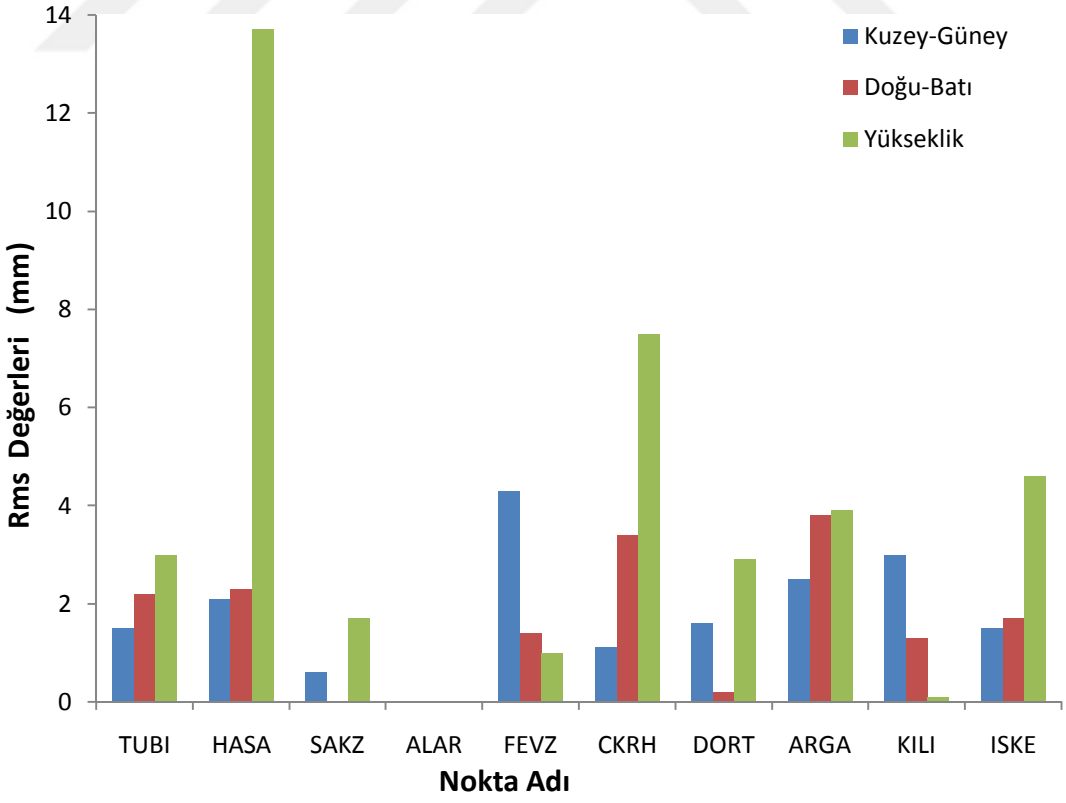
Şekil 5.12'ye göre 2013 yılı için ortalama tekrarlılık değerlerinin yatay ve düşeyde yaklaşık olarak 5 mm'nin altında olduğu görülmektedir (TUBI hariç). Bu dönemde faz başlangıç belirsizliği çözümü %55-%85 arasında belirlenmiştir.

2014 yılı için ortalama tekrarlılık değerleri yatayda yaklaşık olarak 3 mm'nin altında iken, düşeyde yaklaşık olarak 10 mm'nin altında (FEEK noktası hariç) belirlenmiştir (Şekil 5.13). Faz başlangıç belirsizliği oranı %55-%85 arasında değişmektedir.

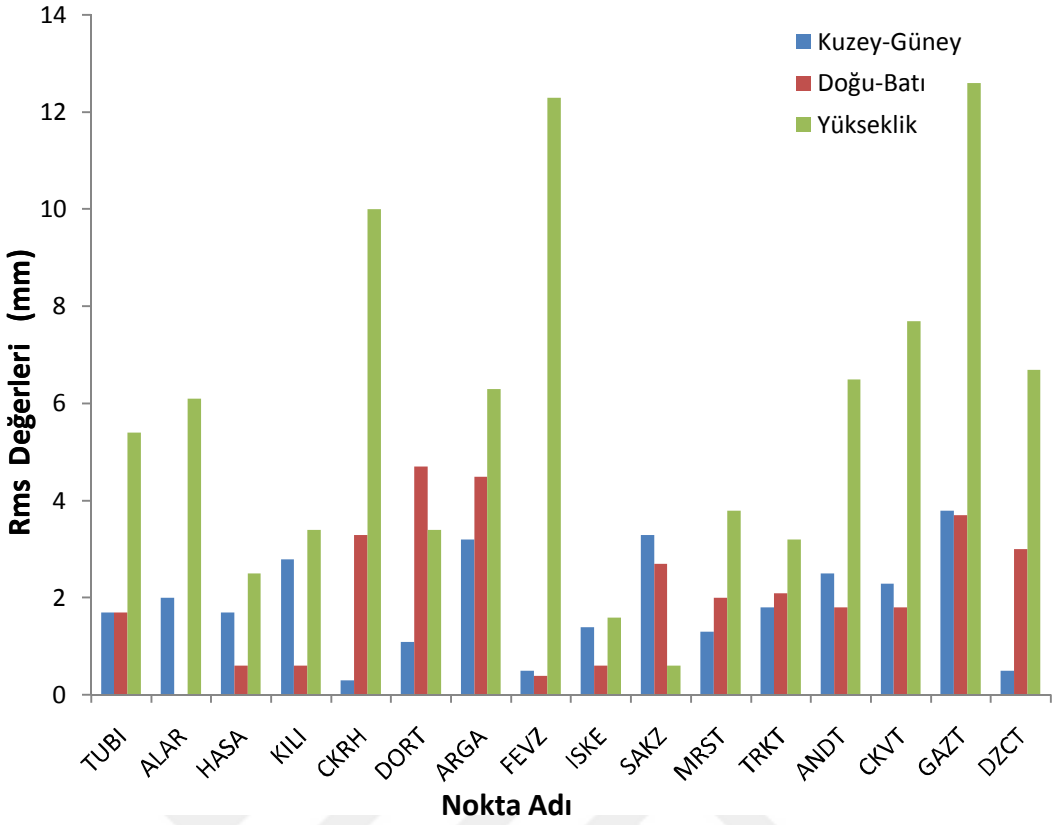
2006-2014 yıllarında gerçekleştirilen GPS ölçülerine göre genel olarak yatay bileşende 3-5 mm, düşey bileşende ise 5-15 mm arasında değişen ortalama tekrarlılık değerleri belirlenmiştir. GPS'in düşey bileşen doğruluğunun yataya göre 3 kat daha düşük olduğu burada ki çözümlerde de görülmüştür.



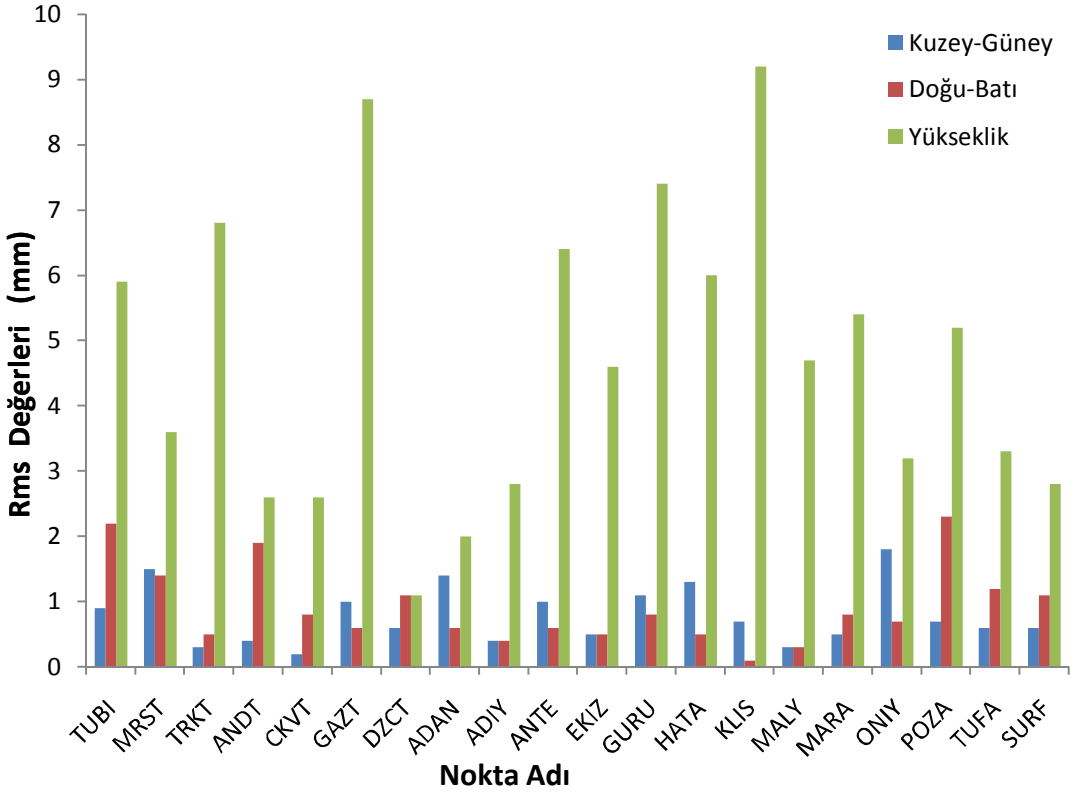
Şekil 5.5 2006 yılına ait günlük tekrarlılıklar



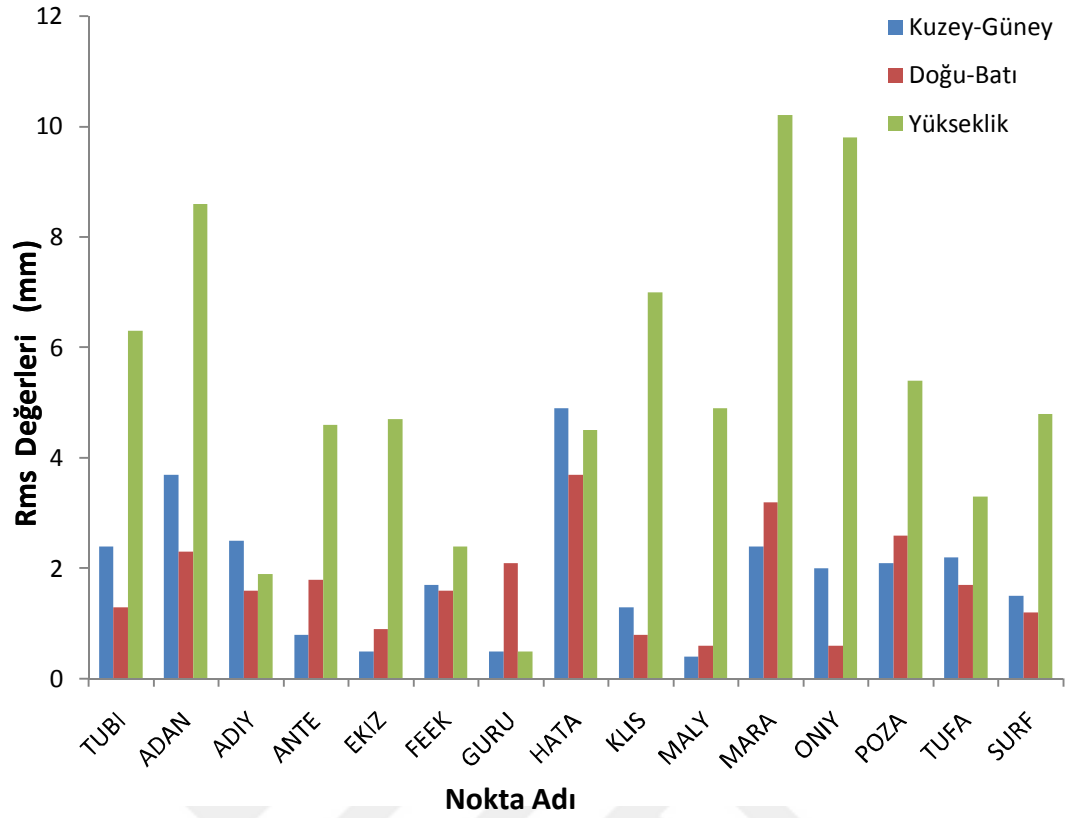
Şekil 5.6 2007 yılına ait günlük tekrarlılıklar



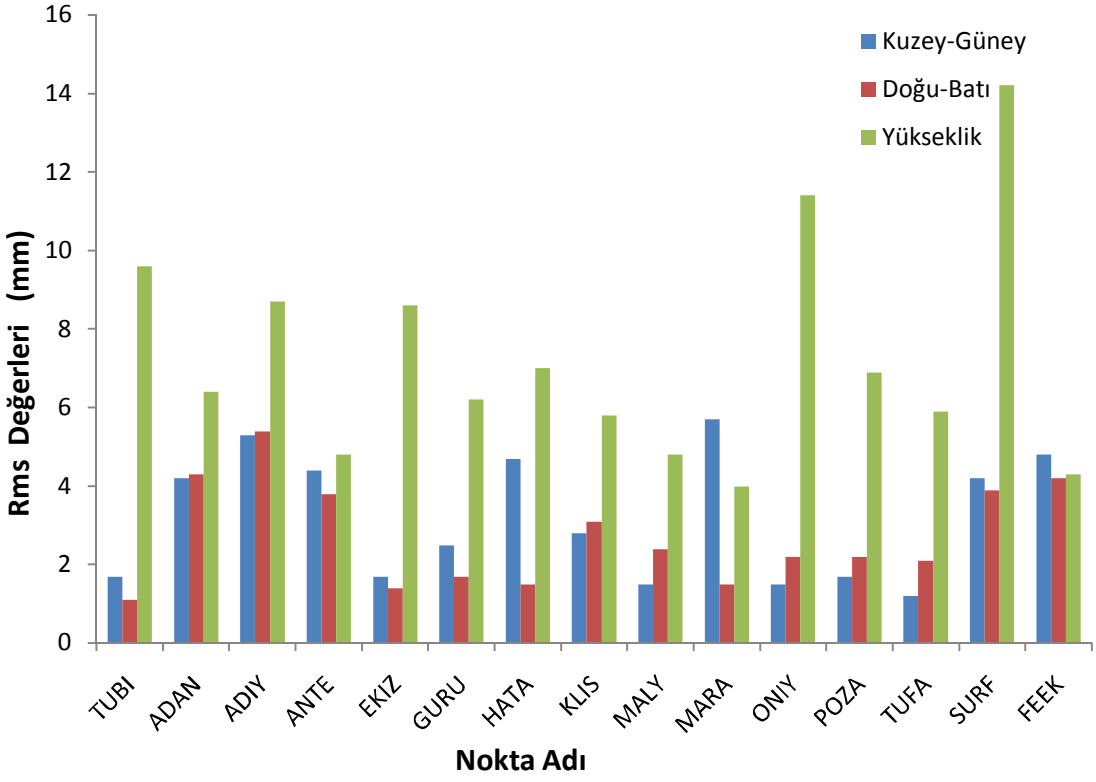
Şekil 5.7 2008 yılına ait günlük tekrarlılıklar



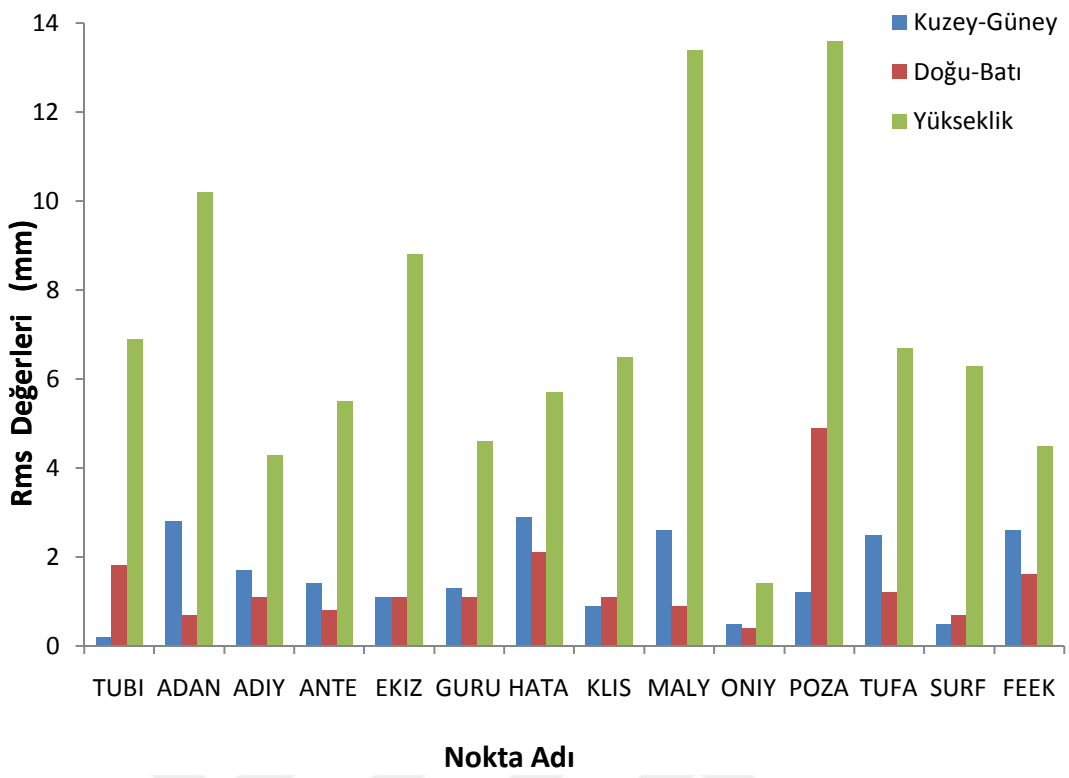
Şekil 5.8 2009 yılına ait günlük tekrarlılıklar



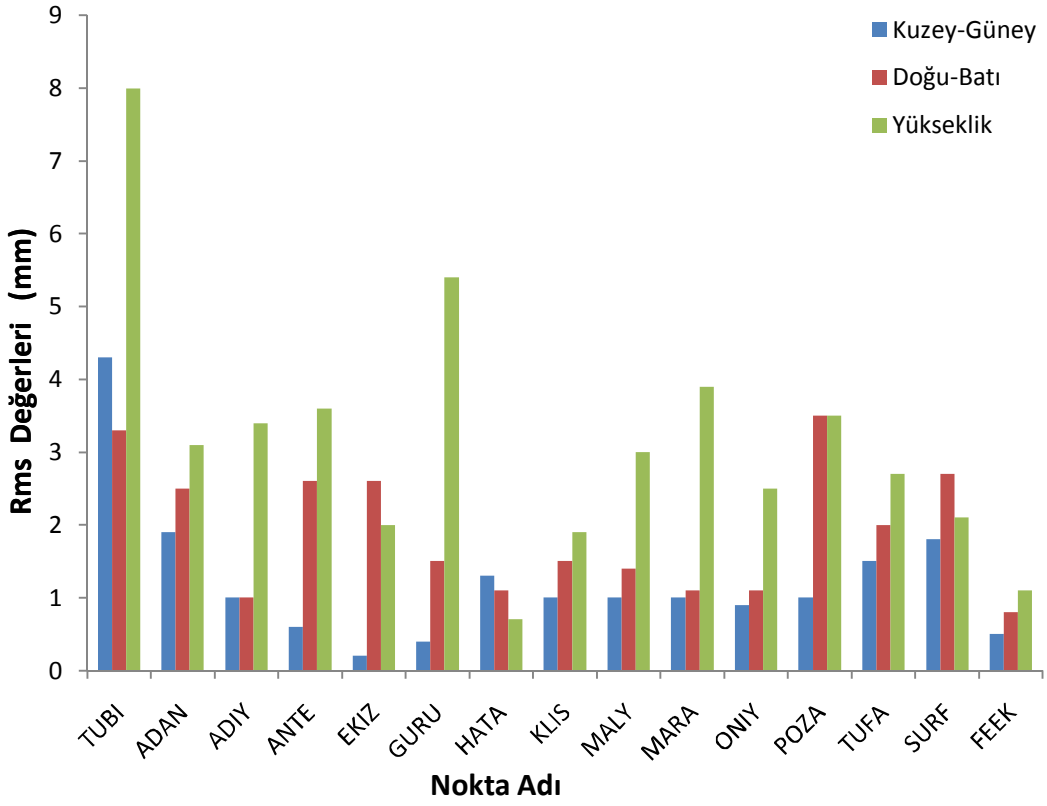
Şekil 5.9 2010 yılına ait günlük tekrarlılıklar



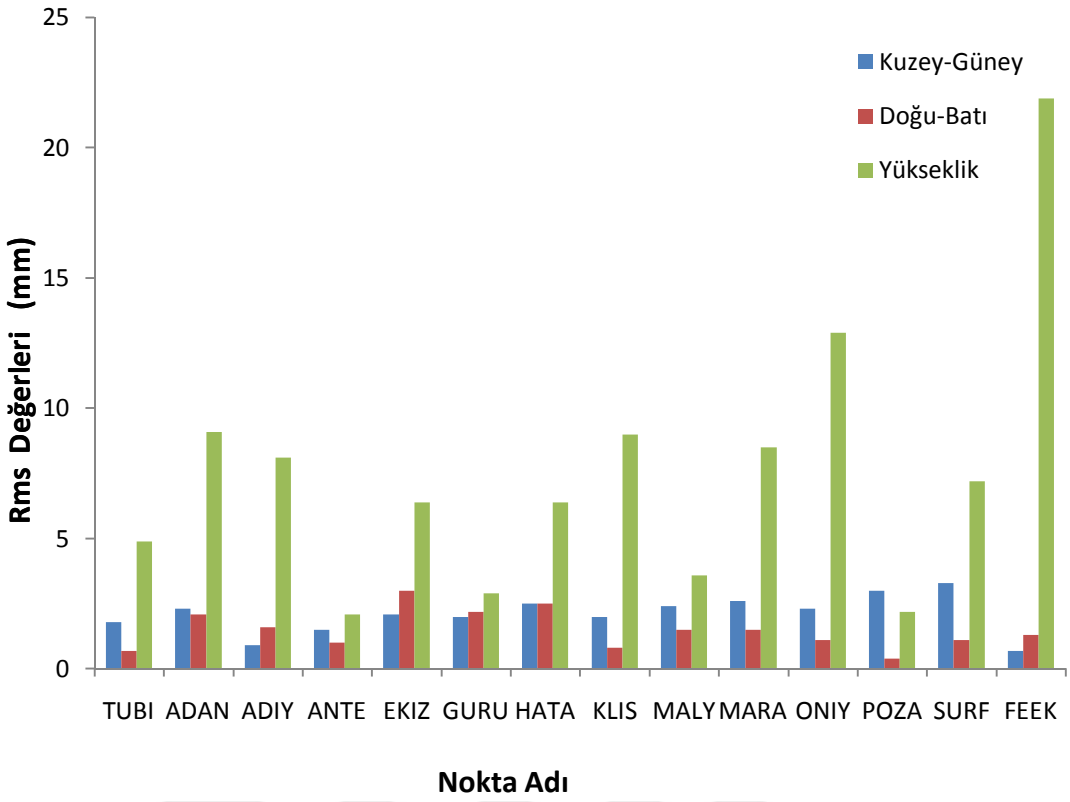
Şekil 5.10 2011 yılına ait günlük tekrarlılıklar



Şekil 5.11 2012 yılına ait günlük tekrarlılıklar



Şekil 5.12 2013 yılına ait günlük tekrarlılıklar



Şekil 5.13 2014 yılına ait günlük tekrarlılıklar

5.3 Periyotlara İlişkin Deformasyon Analizi ve Konum Değişim Vektörlerinin Belirlenmesi

Periyotlar arasında nokta konum değişimlerini belirlemek amacıyla, üç boyutlu kartezyen koordinat sistemindeki verileri (koordinatlar ve standart sapmaları) yerel koordinat sistemine dönüştürülerek iki boyutlu olarak incelenmiştir. Periyotlar arasında noktalara ilişkin hareket vektörlerinin anlamlı olup olmadıklarını test etmek için H_0 hipotezi (3.11) kurulmuş ve karşılaştırmalar sonucunda $T > F_{2,f,1-\alpha}$ çıkan noktalarda hipotezin geçersiz olduğu ve noktanın 1-α (α : 0.05 anlamlılık düzeyi) güven düzeyi ile hareket ettiği kabul edilmiştir.

Bu çalışmada, periyotlar arasında nokta konum değişimleri DRAG Noktasına (Arap levhası) göre belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2-Çizelge 5.9 ve Şekil 5.16-5.23 'de verilmektedir.

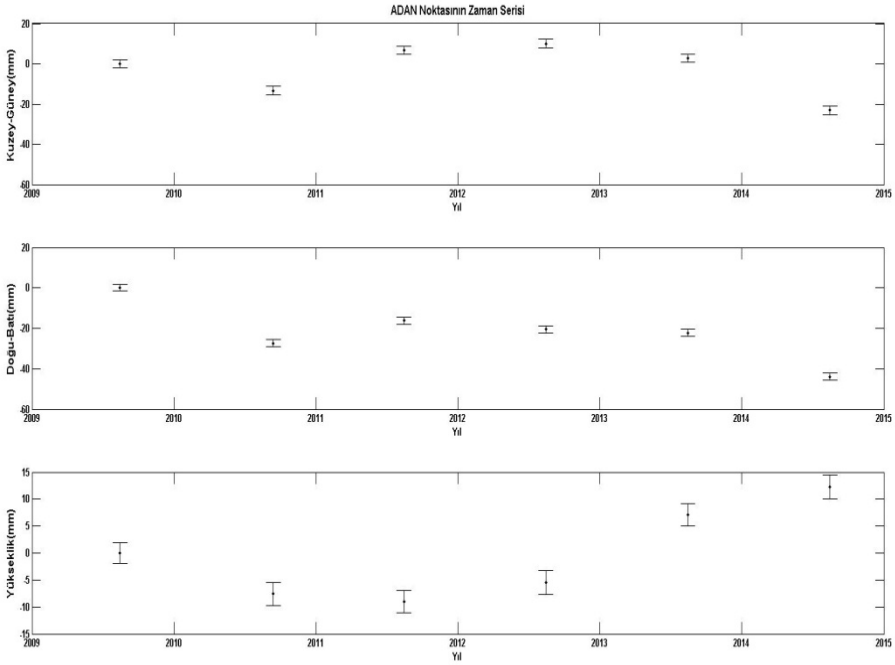
2006-2007 periyotları arasında DRAG noktasına göre FEVZ noktası hariç diğer noktalarda istatistiksel olarak anlamsız yer değiştirme vektörleri belirlenmiştir

(Çizelge5.2). FEVZ noktasında 10.7 ± 4.47 mm/yıl yatay yer değişim gözlenmiştir (Şekil 5.16).

2007-2008 periyotları arasında yatay yönde istatistiksel olarak anlamlı en büyük yer değiştirme ALAR noktasında (8.1 ± 3.7 mm/yıl) gözlemlenmiştir. Bu dönemde CKRH, FEVZ, HASA, ISKE ve SAKZ noktalarında istatistiksel olarak anlamsız yer değiştirme büyüklükleri belirlenmiştir (Çizelge 5.3, Şekil 5.17).

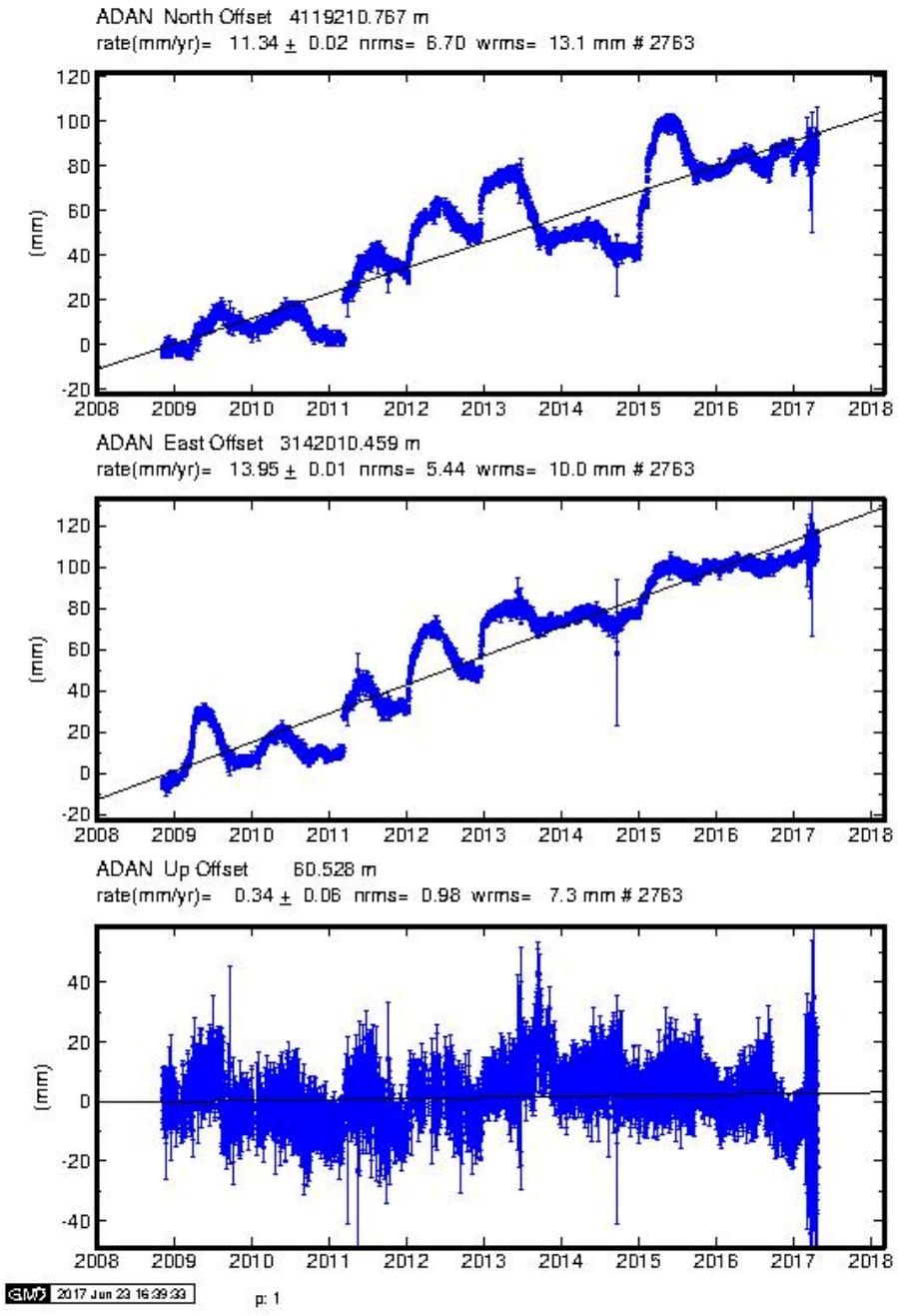
2008-2009 periyotları arasında CKVT noktası hariç diğer noktalarda yatay yönde istatistiksel olarak anlamsız yer değiştirme vektörleri belirlenmiştir.CKVT noktasında ise 9.7 ± 3.4 mm/yıl değerinde istatistiksel olarak anlamlı yer değiştirme gözlenmiştir (Çizelge 5.4, Şekil 5.18).

2009-2010 periyotları arasında ADAN, EKIZ ve SURF noktaları hariç, diğer noktalarda yatay yönde istatistiksel olarak anlamsız yer değiştirme büyüklükleri belirlenmiştir. Bölgede yatay yönde istatistiksel olarak anlamlı en büyük yer değiştirme ise ADAN (38.9 ± 4.2 mm/yıl) noktasında güney batı yönünde bir hareket gözlenmiştir (Çizelge 5.5, Şekil 5.19). ADAN noktasının zaman serisi incelendiğinde 2009 yılında yapılan ölçümden kaynaklanan bir değişim olduğu görülmektedir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14 ADAN noktasının zaman serisi

ADAN noktasının hız hesabında 2009 yılındaki ölçü göz önüne alınmamıştır. Ayrıca, Harita Genel Komutanlığı tarafından yapılan değerlendirmelerde bu noktanın uzun dönem zaman serisi Şekil 5.15'de verilmektedir. Şekil 5.15'e göre, ADAN noktasının zaman serisindeki oynamaların, noktanın lokal probleminden kaynaklandığı ve bu sebepten nokta konum doğruluğunun diğer noktalara göre düşük olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.15 ADAN Noktasının yer dönme merkezine göre zaman serisi (44)

2010-2011 periyotları arasında ADAN,EKIZ ve POZA noktaları hariç, diğer noktalarda yatay yönde istatistiksel olarak anlamsız yer değiştirme büyüklükleri belirlenmiştir. Bölgede yatay yönde istatistiksel olarak en büyük yer değiştirme POZA noktasında (17.3 ± 4.5 mm/yıl) gözlenmiştir (Çizelge 5.6, Şekil 5.20).

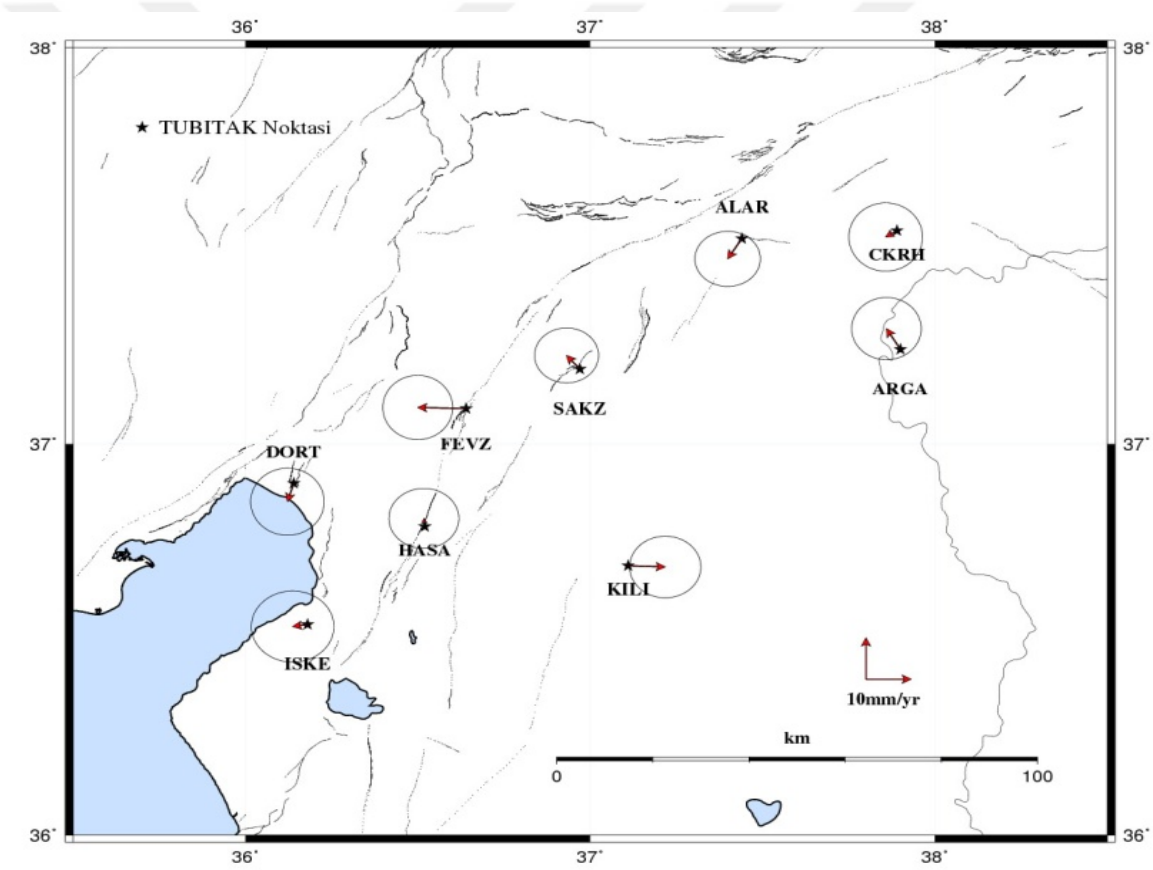
2011-2012 periyotları arasında FEEK ve TUFA noktaları hariç diğer noktalarda yatay yönde istatistiksel olarak anlamsız yer değiştirme vektörleri hesaplanmıştır. Bölgede yatay yönde istatistiksel olarak en büyük yer değiştirme FEEK noktasında 14.5 ± 3.8 mm/yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.7, Şekil 5.21).

2012-2013 periyotları arasında ADAN, GURU ve POZA noktaları hariç diğer noktalarda yatay yönde istatistiksel olarak anlamsız yer değiştirme büyüklükleri belirlenmiştir. Bölgede yatay yönde istatistiksel olarak anlamlı en büyük ADAN noktasında (15.2 ± 3.6 mm/yıl) güneye doğru bir yer değiştirme gözlenmiştir (Çizelge 5.8, Şekil 5.22).

2013-2014 periyotları arasında noktaların çoğunda (EKIZ, FEEK, POZA, SURF hariç) yatay yönde istatistiksel olarak anlamlı yer değiştirme büyüklükleri belirlenmiştir. Bölgede en büyük ADAN noktasında 43.5 ± 3.6 mm/yıl yer değiştirme gözlenmiştir (Çizelge 5.9, Şekil 5.23).

Çizelge 5.2 2007-2006 yılları arasında noktalara ilişkin hareket vektörlerinin anlamlılık test sonuçları

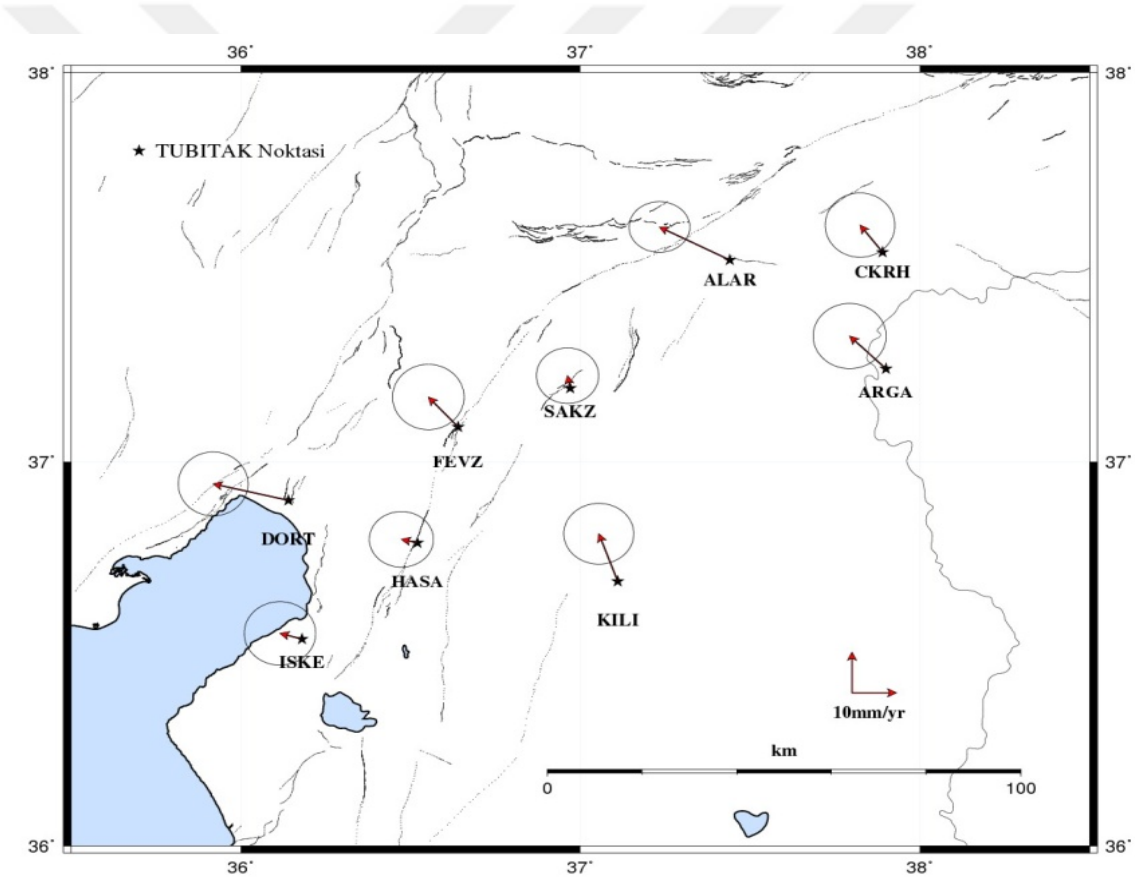
Nokta Adı	Test Değeri	F2,f,1-α	Test Sonucu
ALAR	0.5638	1.8618	Anlamsız
ARGA	0.5697	1.8618	Anlamsız
CKRH	0.1450	1.8618	Anlamsız
DORT	0.3656	1.8618	Anlamsız
FEVZ	1.8861	1.8618	Anlamlı
HASA	0.0998	1.8618	Anlamsız
İSKE	0.1834	1.8618	Anlamsız
KILI	1.1083	1.8618	Anlamsız
SAKZ	0.3274	1.8618	Anlamsız



Şekil 5.16 2007-2006 yılları arasında konum değişimleri

Çizelge 5.3 2008-2007 yılları arasında noktalara ilişkin hareket vektörlerinin anlamlılık test sonuçları

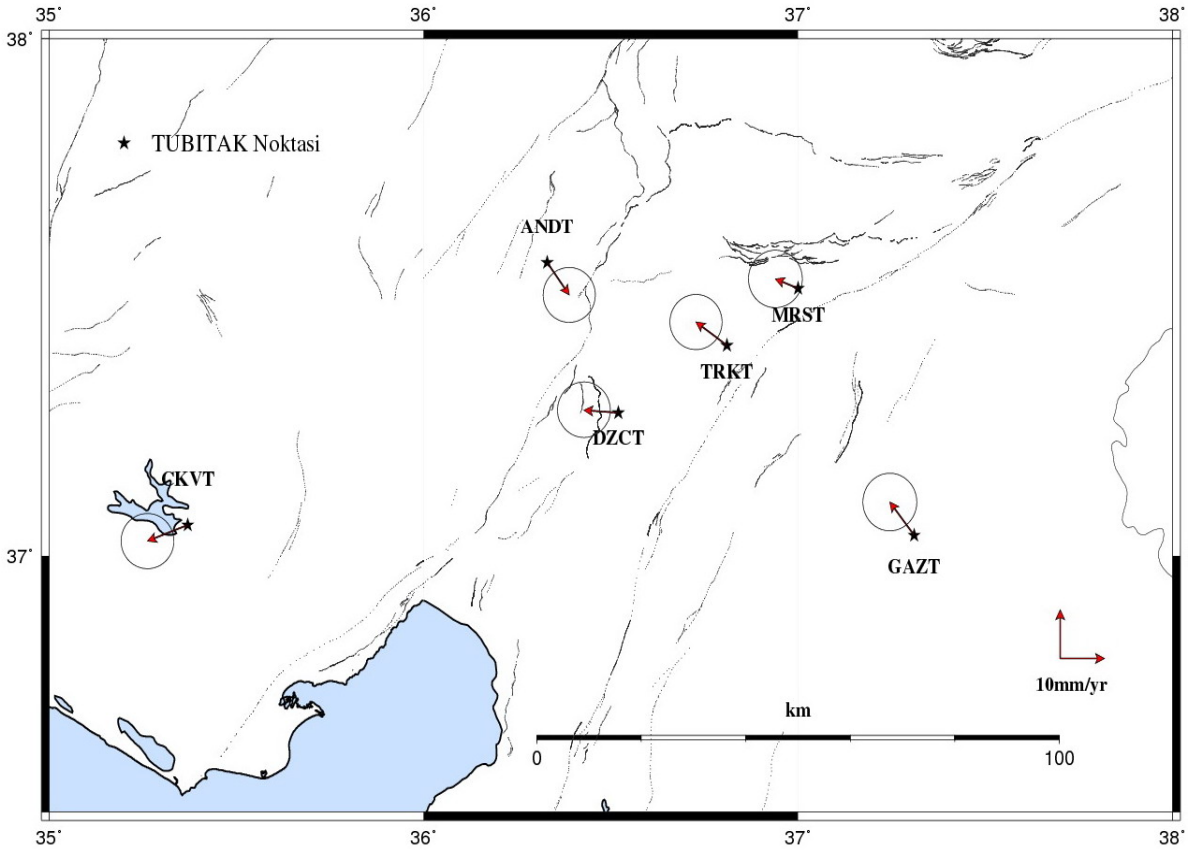
Nokta Adı	Test Değeri	F2,f,1-α	Test Sonucu
ALAR	5.1893	1.8618	Anlamlı
ARGA	2.1868	1.8618	Anlamlı
CKRH	1.1671	1.8618	Anlamsız
DORT	4.9781	1.8618	Anlamlı
FEVZ	1.6403	1.8618	Anlamsız
HASA	0.3400	1.8618	Anlamsız
İSKE	0.4438	1.8618	Anlamsız
KILI	2.5577	1.8618	Anlamlı
SAKZ	0.1641	1.8618	Anlamsız



Şekil 5.17 2008-2007 yılları arasında konum değişimleri

Çizelge 5.4 2009-2008 yılları arasında noktalara ilişkin hareket vektörlrinin anlamlılık test sonuçları

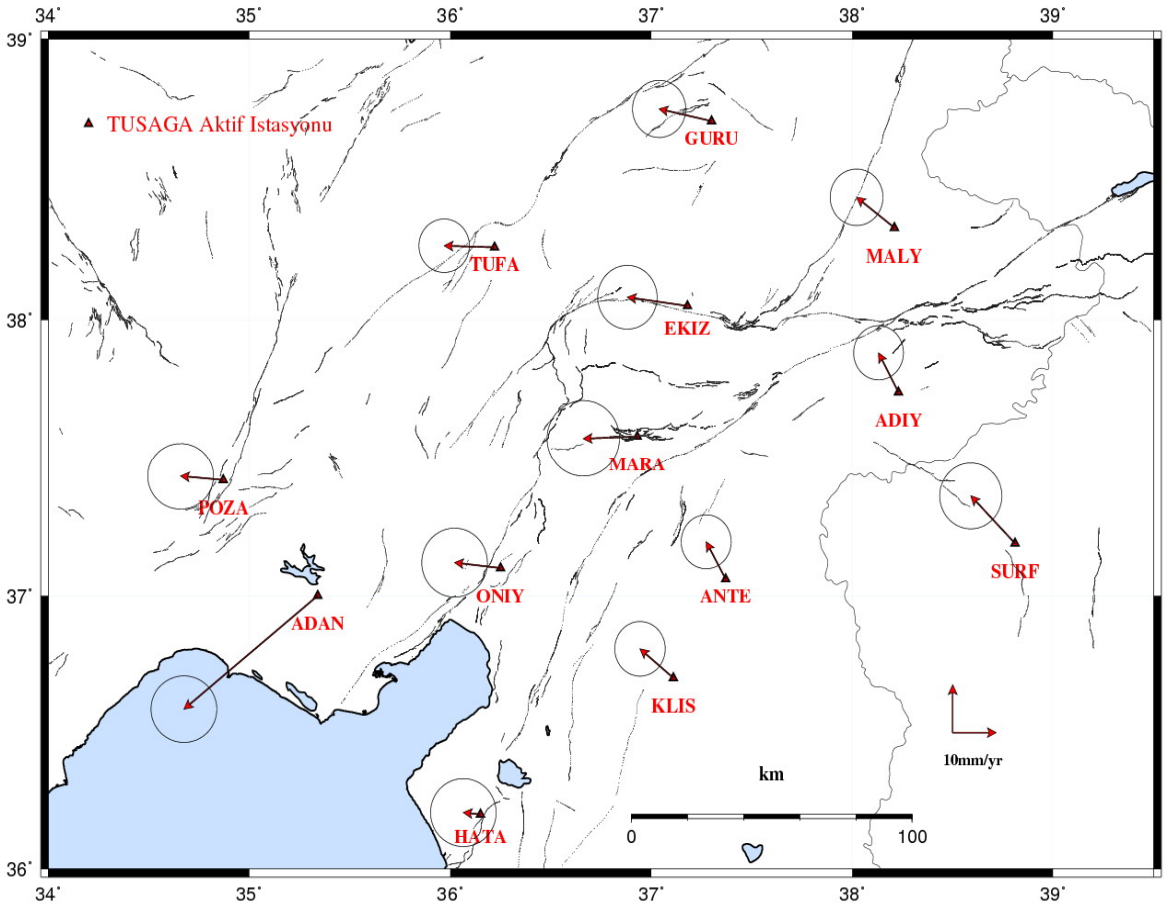
Nokta Adı	Test Değeri	F2,f,1-α	Test Sonucu
ANDT	1.7257	2.1232	Anlamsız
CKVT	2.3136	2.1232	Anlamlı
DZCT	1.5084	2.1232	Anlamsız
GAZT	1.8886	2.1232	Anlamsız
MRST	0.7410	2.1232	Anlamsız
TRKT	1.7788	2.1232	Anlamsız



Şekil 5.18 2009-2008 yılları arasında konum değişimleri

Çizelge 5.5 2010-2009 yılları arasında noktalara ilişkin hareket vektörlerinin anlamlılık test sonuçları

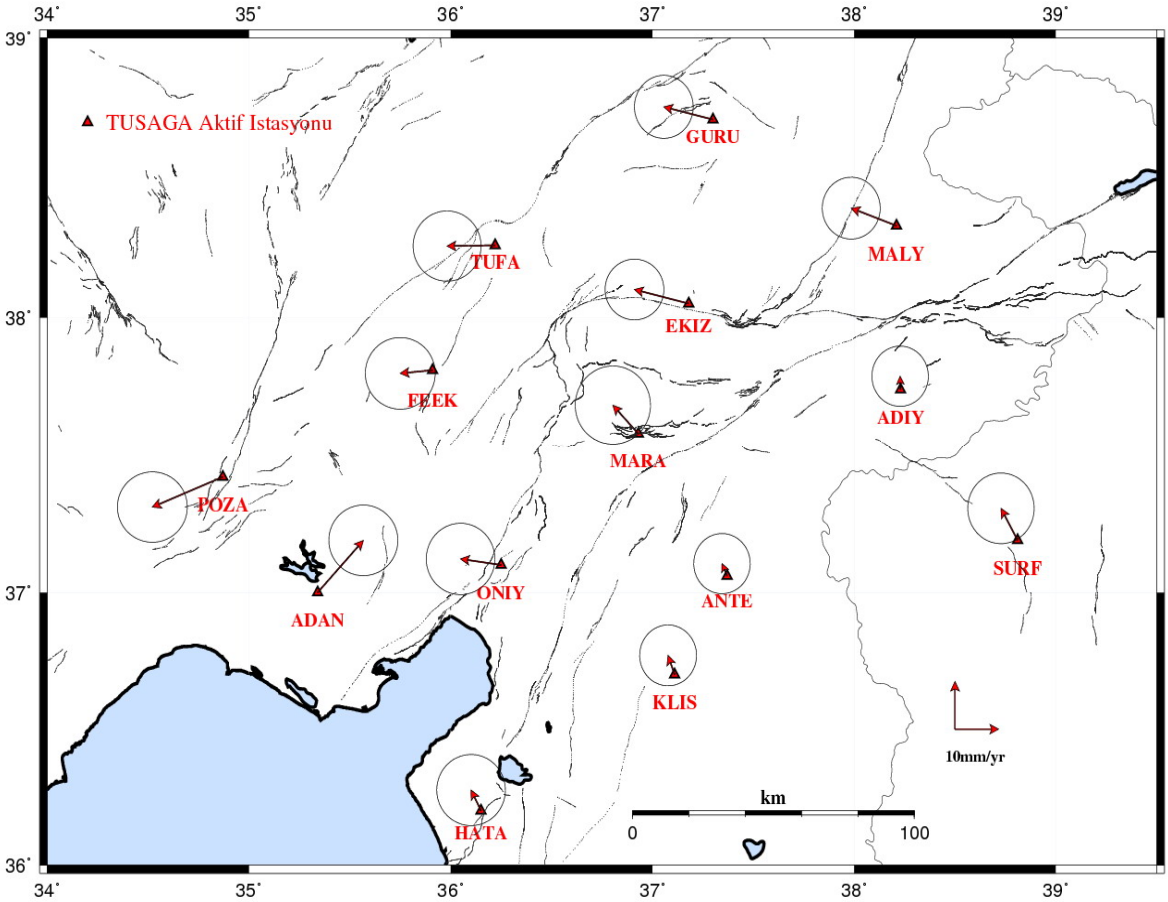
Nokta Adı	Test Değeri	F2,f,1-α	Test Sonucu
ADAN	16.0326	1.6828	Anlamlı
ADIY	0.9529	1.6828	Anlamsız
ANTE	0.8581	1.6828	Anlamsız
EKIZ	2.0495	1.6828	Anlamlı
GURU	1.6208	1.6828	Anlamsız
HATA	0.1626	1.6828	Anlamsız
KLIS	1.0212	1.6828	Anlamsız
MALY	1.2344	1.6828	Anlamsız
MARA	1.6297	1.6828	Anlamsız
ONIY	1.2042	1.6828	Anlamsız
POZA	1.0231	1.6828	Anlamsız
SURF	2.1592	1.6828	Anlamlı
TUFA	1.4249	1.6828	Anlamsız



Şekil 5.19 2010-2009 yılları arasında konum değişimleri

Çizelge 5.6 2011-2010 yılları arasında noktalara ilişkin hareket vektörlerinin anlamlılık test sonuçları

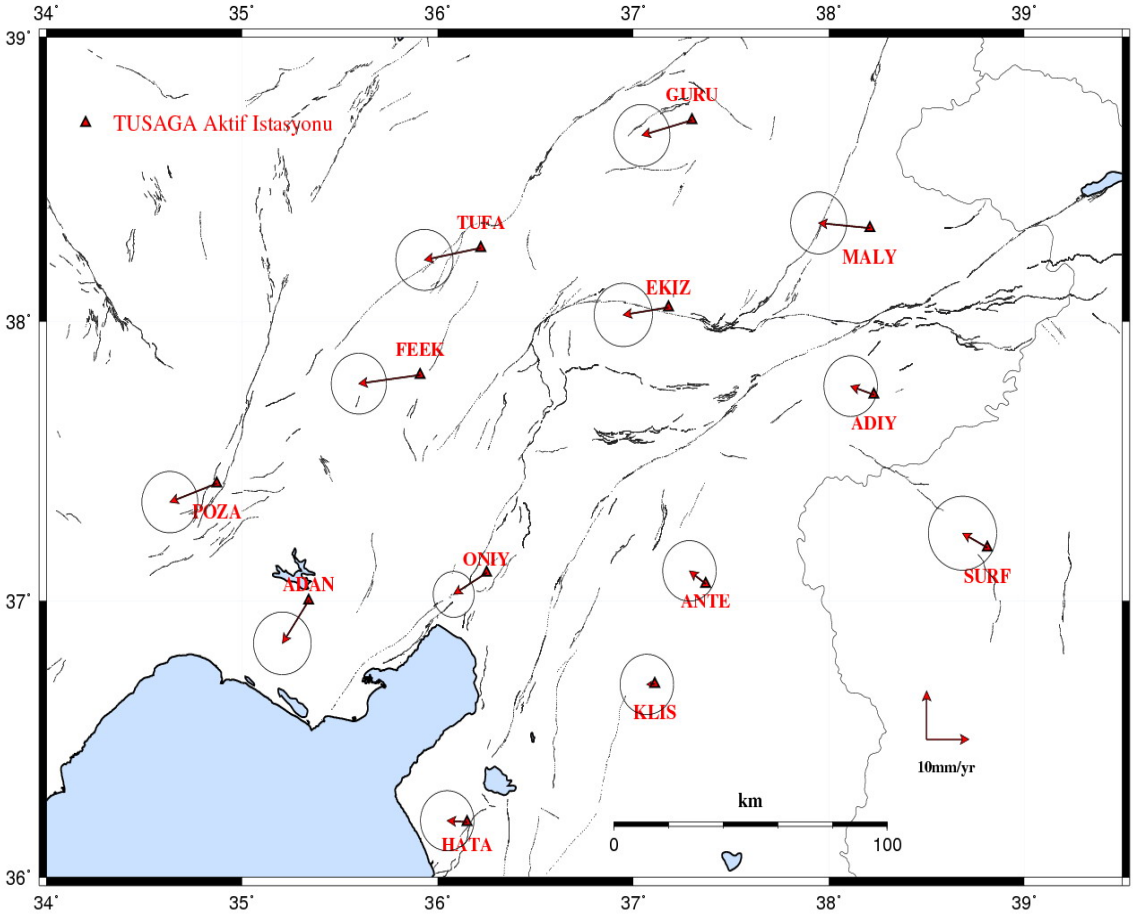
Nokta Adı	Test Değeri	F2,f,1-α	Test Sonucu
ADAN	2.4239	1.6521	Anlamlı
ADIY	0.0831	1.6521	Anlamsız
ANTE	0.0868	1.6521	Anlamsız
EKIZ	1.7223	1.6521	Anlamlı
GURU	1.4284	1.6521	Anlamsız
HATA	0.2608	1.6521	Anlamsız
FEEK	0.5847	1.6521	Anlamsız
KLIS	0.1931	1.6521	Anlamsız
MALY	1.2894	1.6521	Anlamsız
MARA	0.7369	1.6521	Anlamsız
ONIY	0.9331	1.6521	Anlamsız
POZA	3.1630	1.6521	Anlamlı
SURF	0.6278	1.6521	Anlamsız
TUFA	1.2808	1.6521	Anlamsız



Şekil 5.20 2011-2010 yılları arasında konum değişimleri

Çizelge 5.7 2012-2011 yılları arasında noktalara ilişkin hareket vektörlerinin anlamlılık test sonuçları

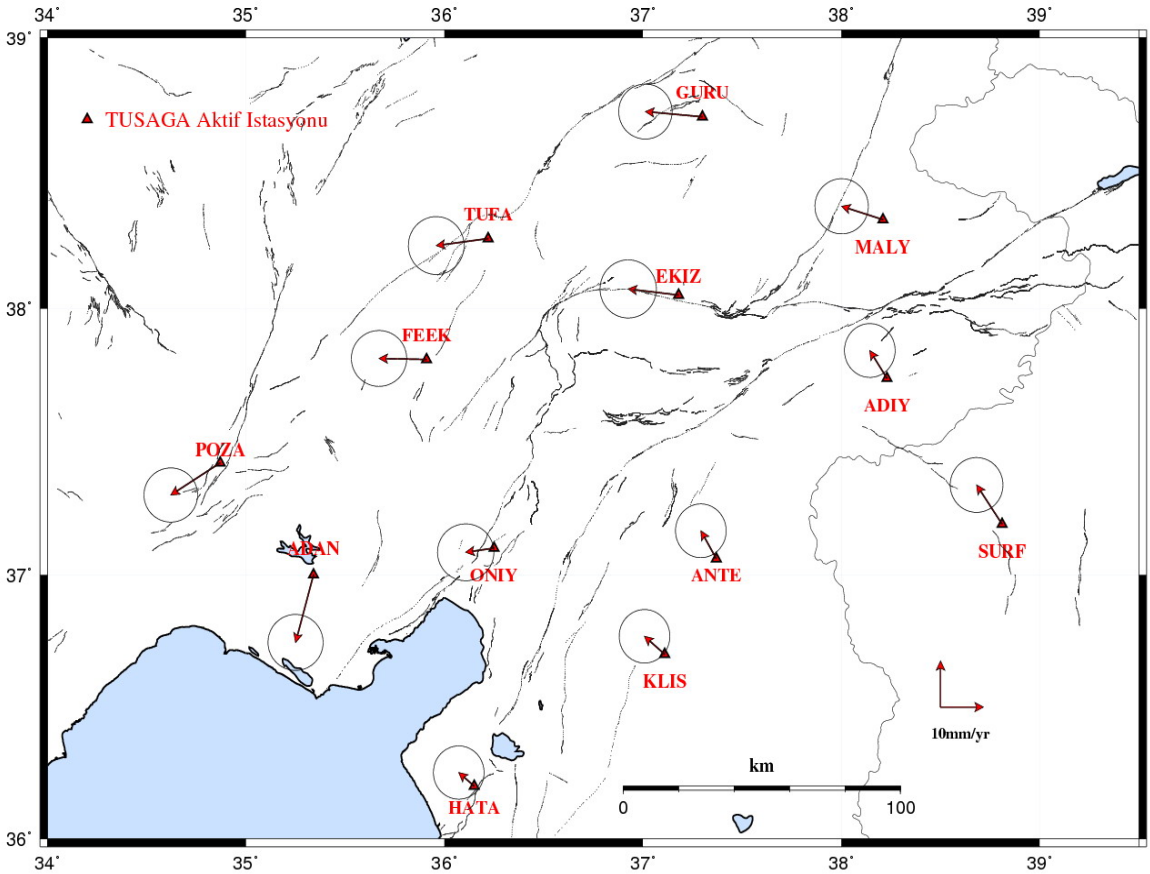
Nokta Adı	Test Değeri	F2,f,1-α	Test Sonucu
ADAN	1.2262	1.6828	Anlamsız
ADIY	0.3544	1.6828	Anlamsız
ANTE	0.2299	1.6828	Anlamsız
EKIZ	1.2386	1.6828	Anlamsız
GURU	1.5751	1.6828	Anlamsız
HATA	0.2347	1.6828	Anlamsız
FEEK	2.2592	1.6828	Anlamlı
KLIS	0.0383	1.6828	Anlamsız
MALY	1.5621	1.6828	Anlamsız
ONIY	0.8581	1.6828	Anlamsız
POZA	1.4648	1.6828	Anlamsız
SURF	0.4512	1.6828	Anlamsız
TUFA	1.9380	1.6828	Anlamlı



Şekil 5.21 2012-2011 yılları arasında konum değişimleri

Çizelge 5.8 2013-2012 yılları arasında noktalara ilişkin hareket vektörlerinin anlamlılık test sonuçları

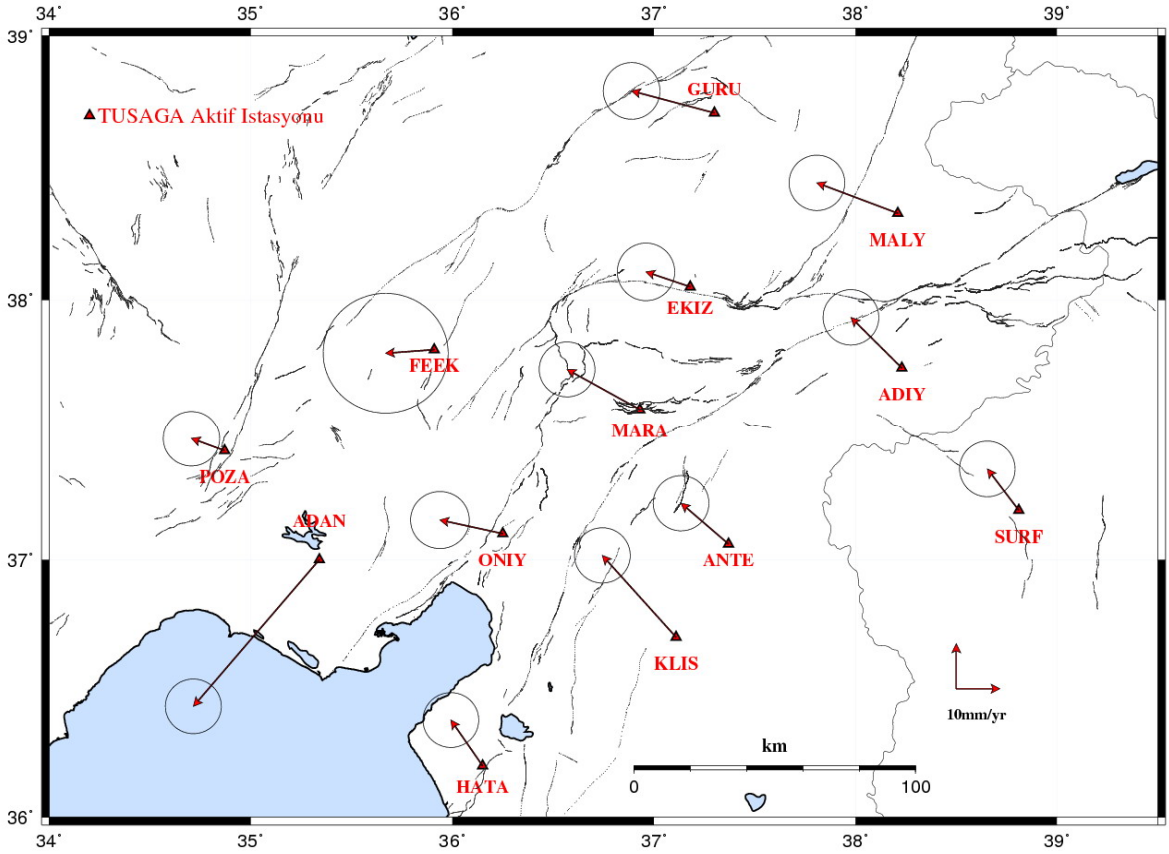
Nokta Adı	Test Değeri	F2,f,1-α	Test Sonucu
ADAN	2.4733	1.6828	Anlamlı
ADIY	0.5503	1.6828	Anlamsız
ANTE	0.5309	1.6828	Anlamsız
EKIZ	1.4665	1.6828	Anlamsız
GURU	1.8847	1.6828	Anlamlı
HATA	0.2261	1.6828	Anlamsız
FEEK	1.3042	1.6828	Anlamsız
KLIS	0.3947	1.6828	Anlamsız
MALY	1.0642	1.6828	Anlamsız
ONIY	0.4695	1.6828	Anlamsız
POZA	1.9180	1.6828	Anlamlı
SURF	1.1329	1.6828	Anlamsız
TUFA	1.5731	1.6828	Anlamsız



Şekil 5.22 2013-2012 yılları arasında konum değişimleri

Çizelge 5.9 2014-2013 yılları arasında noktalara ilişkin hareket vektörlerinin anlamlılık test sonuçları

Nokta Adı	Test Değeri	F2,f,1-α	Test Sonucu
ADAN	20.0843	1.6521	Anlamlı
ADIY	2.7998	1.6521	Anlamlı
ANTE	2.1335	1.6521	Anlamlı
EKIZ	1.1947	1.6521	Anlamsız
GURU	4.0742	1.6521	Anlamlı
HATA	1.6649	1.6521	Anlamlı
FEEK	1.3106	1.6521	Anlamsız
KLIS	6.5275	1.6521	Anlamlı
MALY	4.1110	1.6521	Anlamlı
MARA	3.8084	1.6521	Anlamlı
ONIY	2.2895	1.6521	Anlamlı
POZA	0.6884	1.6521	Anlamsız
SURF	1.4442	1.6521	Anlamsız



Şekil 5.23 2014-2013 yılları arasında konum değişimleri

5.4 Hız Alanlarının Belirlenmesi

Jeodezik yöntemlerle faylanma ve tektonik hareketlere bağlı değişimlerin incelenebilmesi için nokta koordinatlarındaki değişim miktarlarının belirlenmesi

gerekmektedir. Bunun için en yaygın yöntem belirli aralıklarla gerçekleştirilen GPS kampanyalarıdır. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmalarda öncelikle GPS kampanyaları değerlendirilerek hız vektörleri elde edilmekte ve elde edilen hız vektörleri ile bölgedeki fay sistemleri ve aktiviteleri hakkında fikir sahibi olunmaktadır. Hız vektörleri koordinatlara veya koordinat farklarına göre hız modeli oluşturmak üzere iki şekilde belirlenmektedir.

Koordinatlara göre hız modelinde bir jeodezik ağın bir P noktasının t_0 zamanındaki koordinatları x_0,y_0,z_0; hız vektörlerinin bileşenleri $u_{x,0}$, $u_{y,0}$, $u_{z,0}$ olsun. Buna göre P noktasının t_k zamanındaki koordinatları,

$$x_k = x_0 + (t_k - t_0)u_{x,0} \tag{5.1}$$

$$y_k = y_0 + (t_k - t_0)u_{y,0} \tag{5.2}$$

$$z_k = z_0 + (t_k - t_0)u_{z,0} \tag{5.3}$$

olur. t_0 başlangıç zamanına göre fonksiyonel model;

$$\begin{bmatrix} Vx \\ Vy \\ Vz \end{bmatrix} = \left[\underline{\underline{A}} A.(t_k - t_0) \right] . \begin{bmatrix} \underline{x} \\ \underline{y} \\ \underline{z} \end{bmatrix}_{t_0} - l_{t_k} \tag{5.4}$$

olur. Burada yalın terimler vektörü;

$$-l_{t_k} = \begin{bmatrix} x_0 - x_k \\ y_0 - y_k \\ z_0 - z_k \end{bmatrix} \tag{5.5}$$

A katsayılar matrisi;

$$\underline{\underline{A}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{5.6}$$

şeklindedir. Stokastik model;

$$\underset{-}{P} = \sigma_0^2 C_{xx}^2 \tag{5.7}$$

şeklindedir [45].

Hız kestirimi için,

- Koordinatlar için datum parametreleri belirlenmeli,
- Hızlar için datum parametreleri belirlenmeli,
- Her epoktaki ölçüler aynı doğrulukta olmalı,
- Dengelemeli çözüm için en az 3 periyot ölçü olmalı,
- Periyotlar için ayrı dengelemeler yapılarak uyuşumsuz ölçüler çıkartılmalı,
- Stokastik modeller gerçeğe uygun öngörülmelidir [46], [47].

Bu çalışmada, hız değerlerinin belirlenmesi amacıyla koordinatlara göre oluşturulan hız modeli kullanılmış ve TUBI (Avrasya levhası) ve DRAG (Arap levhası) noktalarına göre ayrı ayrı, her periyoda ilişkin dengelemeli çözümler yerel koordinat sisteminde elde edilmiştir. Çalışmada, öncelikle 2009-2014 yılları için her bir TUSAGA Aktif noktasının hız değerleri belirlenmiştir. FEEK noktasının GPS ölçümleri 2010 yılında başladığından bu nokta için hız değerleri 3 periyot göz önüne alınarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.10-5.11). Ayrıca 2006-2009 yılları için her bir TUBITAK noktasının hız değerleri belirlenmiştir (Çizelge 5.12-5.13). Her periyot için GPS ölçülerinin değerlendirilmesi sonucunda ölçülere ait ağırlıkların belirlenmesi için önsel varyans σ_0=1.5 mm olarak alınmıştır. Elde edilen hız değerleri ve bunlara ilişkin güven elipsleri, standart sapma değeri GMT programında çizilmiştir (Şekil 5.23 - 5.26).

DRAG noktasına göre, bölgede DAFZ boyunca nokta hızlarının homojen olmadığı, DAFZ'ın doğu kısmındaki Arap levhasında yer alan TUSAGA noktalarının kendi içinde tutarlı olarak hızlarının yaklaşık 7-10 ± 0.5-1.4 mm/yıl lık bir hareketle batıdan doğuya doğru giderek arttığı görülürken, DAFZ'ın batı kısmındaki Anadolu levhasında yer alan noktalarda ise (ADAN noktası hariç) kendi içinde tutarlı olarak saat yönünün tersi şeklinde doğudan batıya doğru yaklaşık 11-13 ± 0.4-1.2 mm/yıl'lık hızla hareket ettiği; Doğu Anadou Fayı, Ölü Deniz Fayı ve Kıbrıs dalma batma zonu arasında kalan Kahramanmaraş üçlü eklem bölgesindeki noktaların doğudan batıya doğru yaklaşık 6-9 ± 0.6-1.1 mm/yıl'lık hızla hareket ettiği görülmektedir (Şekil 5.23). DAFZ'ın doğusunda,

Arap levhasında yer alan TUBITAK noktalarının hızlarının 4-10 ± 1-7 mm/yıl'lık bir hızla, DAFZ'ın batısında Anadolu levhasında yer alan noktaların 8-10 ± 3.3 mm/yıl'lık bir hızla, Kahramanmaraş üçlü eklem bölgesinde kalan noktaların ise 6-10 ± 1-5 mm/yıl'lık hızla saat yönünün tersi yönde hareket ettiği görülmüştür.

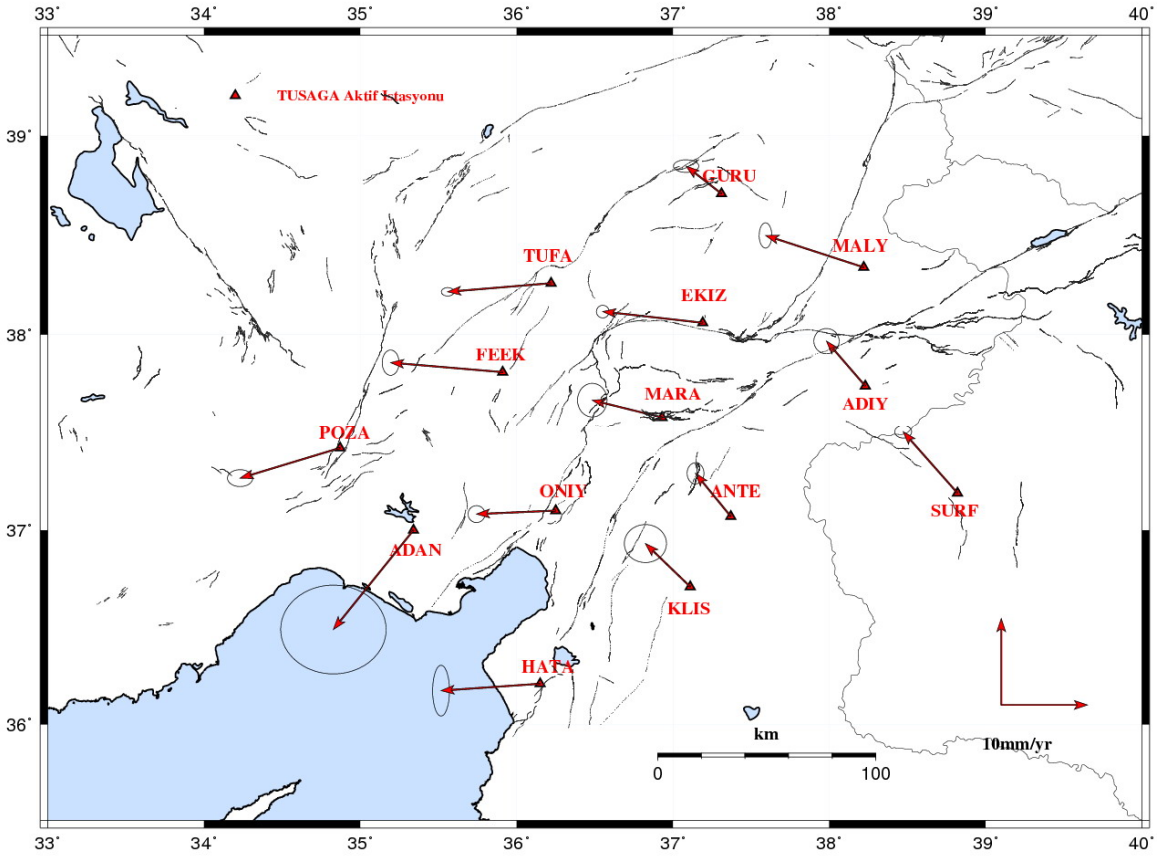
Anadolu levhası üzerinde yer alan nokta hızlarının doğudan batıya doğru artmasının Arap levhasının Anadolu levhasını sıkıştırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

TUBI noktasına göre ise bölgede DAFZ'ın doğu kısmındaki Arap levhasında yer alan noktaların kendi içinde tutarlı olarak yaklaşık 14-17 ± 0.6-1.1 mm/yıl lık bir hareketle batıdan doğuya doğru arttığı görülürken, DAFZ'ın batı kısmındaki Anadolu levhasında yer alan noktalarda (ADAN noktası hariç) kendi içinde tutarlı olarak saat yönünün tersi şeklinde doğudan batıya doğru yaklaşık 11-15 ± 0.6-1.5 mm/yıl'lık hızla gittiği; Doğu Anadou Fayı, Ölü Deniz Fayı ve Kıbrıs dalma batma zonu arasında kalan Kahramanmaraş üçlü eklem bölgesindeki noktalarda doğudan batıya doğru yaklaşık 11-13 ± 0.5-0.6 mm/yıl'lık hızla hareket ettiği DAFZ boyunca nokta hızlarının homojen olmadığı görülmektedir (Şekil 5.24). DAFZ'ın doğusunda, Arap levhasında yer alan TUBITAK noktalarının hızlarının 13-19 ± 0.6-4 mm/yıl'lık bir hızla, DAFZ'ın batısında Anadolu levhasında yer alan noktaların 7-9 ± 3.4 mm/yıl'lık bir hızla, Kahramanmaraş üçlü eklem bölgesinde kalan noktaların ise 12-15 ± 2.3-3.7 mm/yıl'lık hızla saat yönünün tersi yönde hareket ettiği görülmüştür.

Şekil 5.23 ve Şekil 5.24 incelendiğinde aynı yönlü hareketler görülürken Anadolu levhası üzerindeki nokta hızlarının fay hattından uzaklaştıkça arttığı ve Arap levhası üzerindeki hızlarda ise homojen bir dağılım görülmektedir. DAFZ'ın doğusu ve batısındaki noktaların hız değişimi sayısal olarak Çizelge 5.12-5.13'de verilmiş ve grafiksel olarak Şekil 5.27-5.28'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.10 TUSAGA noktalarının DRAG noktasına göre 2009-2014 yılları arasındaki hız değerleri ve standart sapmaları

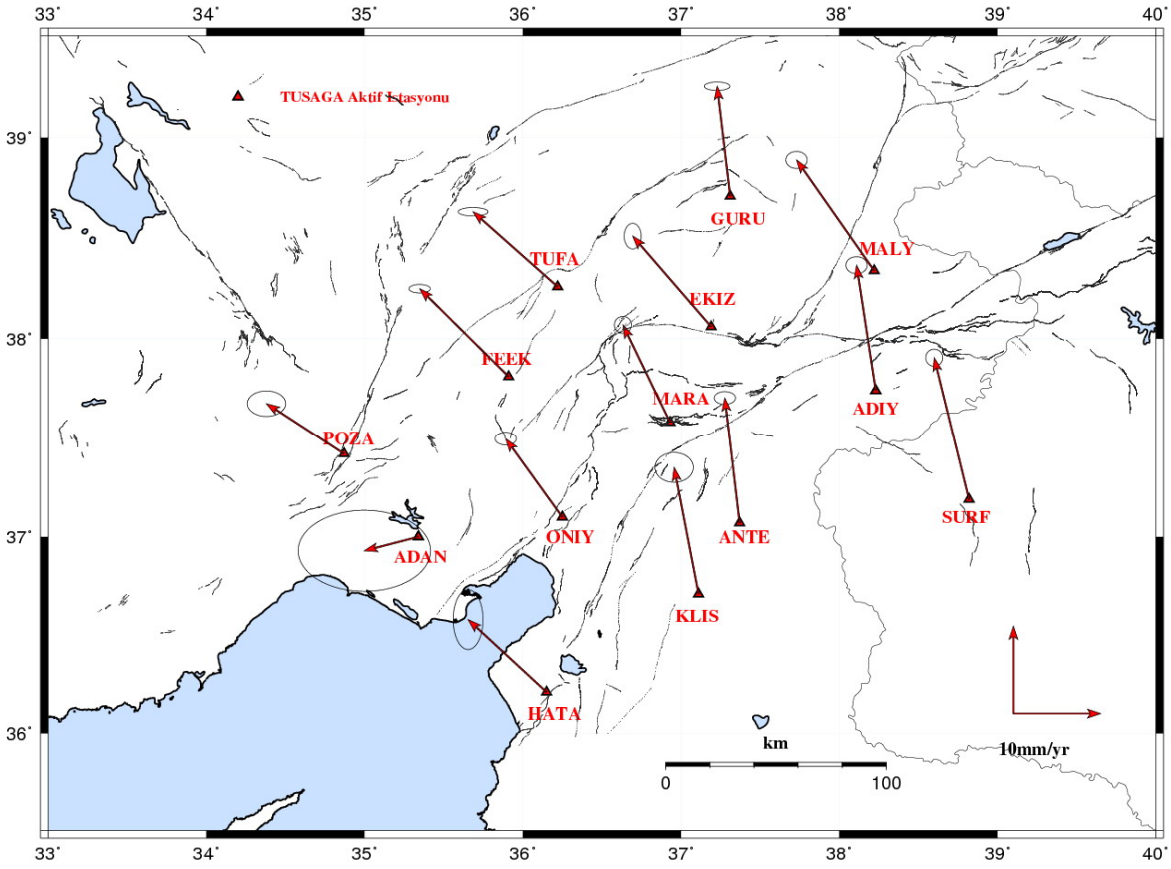
Nokta Adı	Vn (mm/yıl)	σn (mm)	Ve (mm/yıl)	σe (mm)
ADAN	-11.48	± 2.47	-9.26	± 2.07
ADIY	5.17	± 0.58	-4.50	± 0.61
ANTE	5.02	± 0.44	-4.14	± 0.53
EKIZ	1.30	± 0.29	-11.64	± 0.27
GURU	1.05	± 0.39	-13.04	± 0.59
HATA	3.24	± 0.64	-4.12	± 0.30
FEEK	-0.80	± 0.42	-11.54	± 1.20
KLIS	5.02	± 1.00	-5.24	± 0.92
MALY	3.67	± 0.35	-11.41	± 0.57
MARA	2.01	± 0.71	-8.13	± 0.84
ONIY	-0.42	± 0.43	-9.24	± 0.42
POZA	-3.46	± 0.58	-11.63	± 0.44
SURF	7.07	± 0.38	-6.34	± 0.25
TUFA	-0.99	± 0.28	-12.00	± 0.16



Şekil 5.24 TUSAGA noktalarının DRAG noktasına göre hız değerleri ve güven elipsleri

Çizelge 5.11 TUSAGA noktalarının TUBI noktasına göre 2009-2014 yılları arasındaki hız değerleri ve standart sapmaları

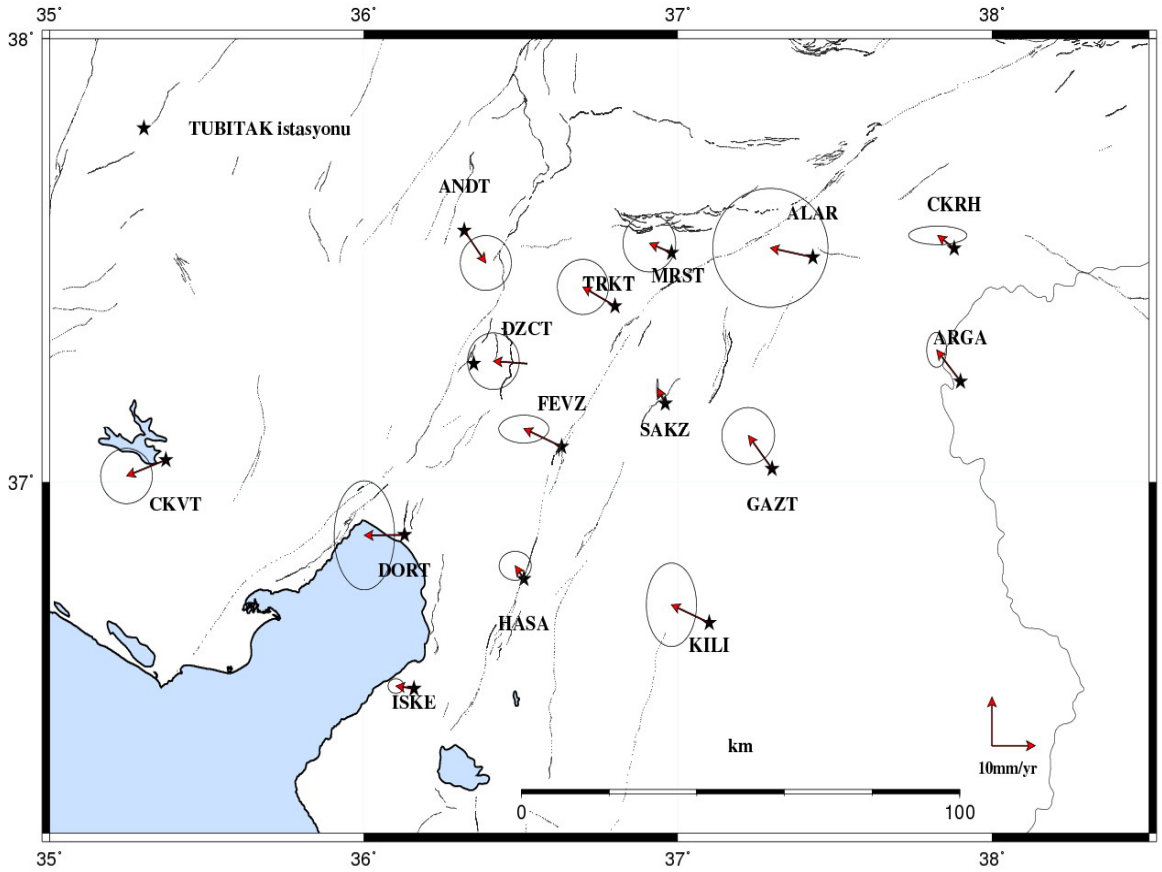
Nokta Adı	Vn (mm/yıl)	σn (mm)	Ve (mm/yıl)	σe (mm)
ADAN	-1.59	± 3.13	-6.20	± 1.94
ADIY	14.42	± 0.49	-2.24	± 0.42
ANTE	14.45	± 0.47	-1.71	± 0.34
EKIZ	10.41	± 0.36	-9.05	± 0.57
GURU	10.11	± 0.52	-10.24	± 0.21
HATA	12.59	± 0.57	-1.49	± 0.20
FEEK	8.31	± 0.74	-8.97	± 1.39
KLIS	14.54	± 0.90	-2.78	± 0.65
MALY	12.72	± 0.53	-8.94	± 0.37
MARA	11.24	± 0.41	-5.44	± 0.44
ONIY	8.98	± 0.47	-6.45	± 0.28
POZA	5.75	± 0.85	-8.93	± 0.61
SURF	16.33	± 0.43	-3.99	± 0.38
TUFA	8.61	± 0.68	-9.72	± 0.17



Şekil 5.25 TUSAGA noktalarının TUBI noktasına göre hız değerleri ve güven elipsleri

Çizelge 5.12 TUBITAK noktalarının DRAG noktasına göre 2006-2009 yılları arasındaki hız değerleri ve standart sapmaları (* noktaların hızları iki yıllık periyotlardır)

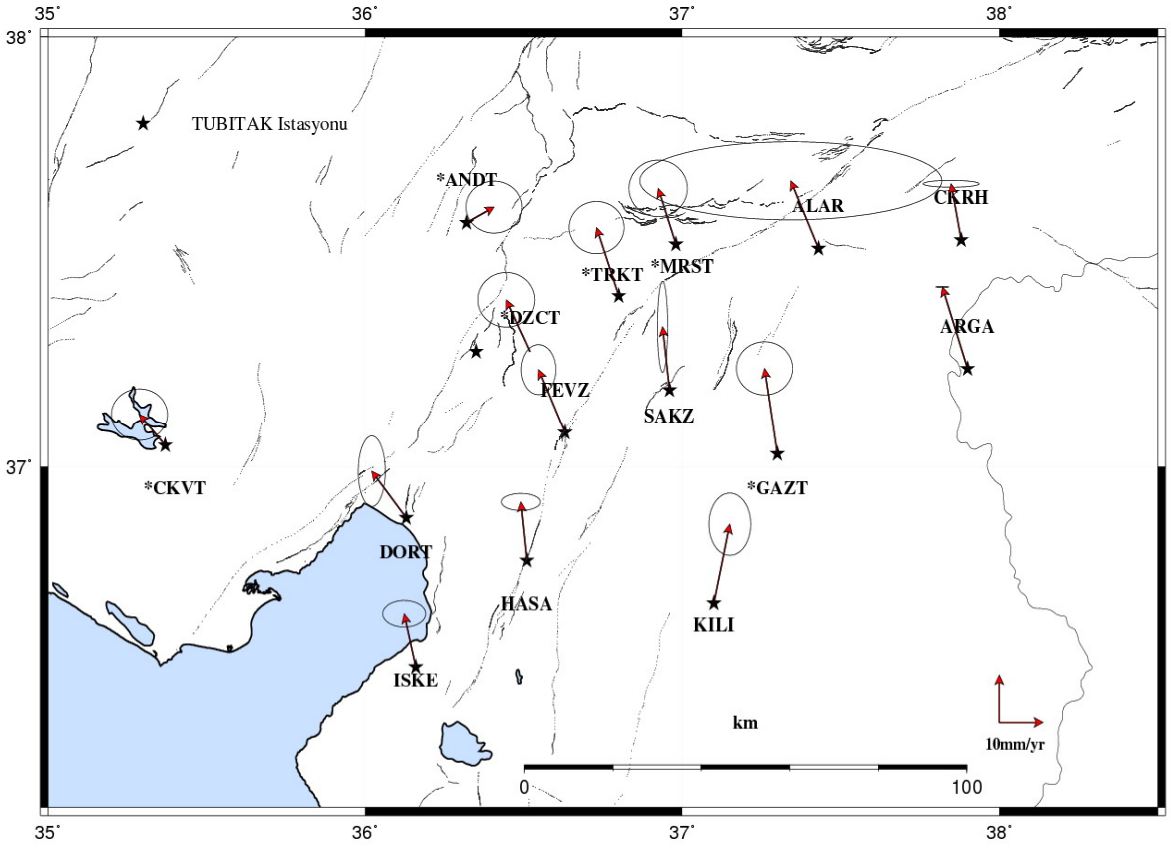
Nokta Adı	Vn (mm/yıl)	σn (mm)	Ve (mm/yıl)	σe (mm)
ALAR	1.91	± 5.44	-9.82	± 4.99
***ANDT**	-6.65	± 2.41	4.98	± 2.30
ARGA	6.46	± 0.94	-5.52	± 1.47
CKRH	2.66	± 2.75	-3.81	± 0.78
***CKVT**	-3.30	± 2.44	-9.10	± 2.32
DORT	-0.09	± 2.85	-9.29	± 4.57
***DZCT**	0.51	± 2.44	-7.78	± 2.37
FEVZ	3.71	± 2.37	-8.74	± 1.21
***GAZT**	6.83	± 2.49	-5.50	± 2.42
HASA	2.69	± 1.52	-2.02	± 1.21
İSKE	0.54	± 0.74	-4.18	± 0.62
KİLİ	5.72	± 3.66	1.99	± 3.50
***MRST**	1.95	± 2.49	-5.13	± 2.41
SAKZ	3.18	± 0.08	-1.80	± 0.77
***TRKT**	3.92	± 2.41	-7.43	± 2.31



Şekil 5.26 TUBITAK noktalarının DRAG Noktasına göre hız değerleri ve güven elipsleri

Çizelge 5.13 TUBITAK noktalarının TUBI noktasına göre 2006-2009 yılları arasındaki hız değerleri ve standart sapmaları (* noktaların hızları iki yıllık periyotlardır)

Nokta Adı	Vn (mm/yıl)	σn (mm)	Ve (mm/yıl)	σe (mm)
ALAR	14.34	± 14.12	-6.36	± 3.38
***ANDT**	3.30	± 2.62	6.28	± 2.25
ARGA	17.33	± 0.60	-5.78	± 0.05
CKRH	11.88	± 2.62	-2.31	± 0.30
***CKVT**	6.53	± 2.63	-5.90	± 2.24
DORT	9.86	± 1.27	-7.91	± 3.06
***DZCT**	10.97	± 2.66	-5.42	± 2.37
FEVZ	13.39	± 1.62	-6.04	± 2.17
***GAZT**	18.18	± 2.63	-2.93	± 2.31
HASA	12.38	± 1.82	-1.36	± 0.74
İSKE	11.28	± 2.01	-2.65	± 1.15
KİLİ	16.69	± 1.96	3.64	± 2.69
***MRST**	11.82	± 2.73	-4.05	± 2.45
SAKZ	13.42	± 0.48	-1.60	± 3.95
***TRKT**	14.45	± 2.57	-5.10	± 2.26



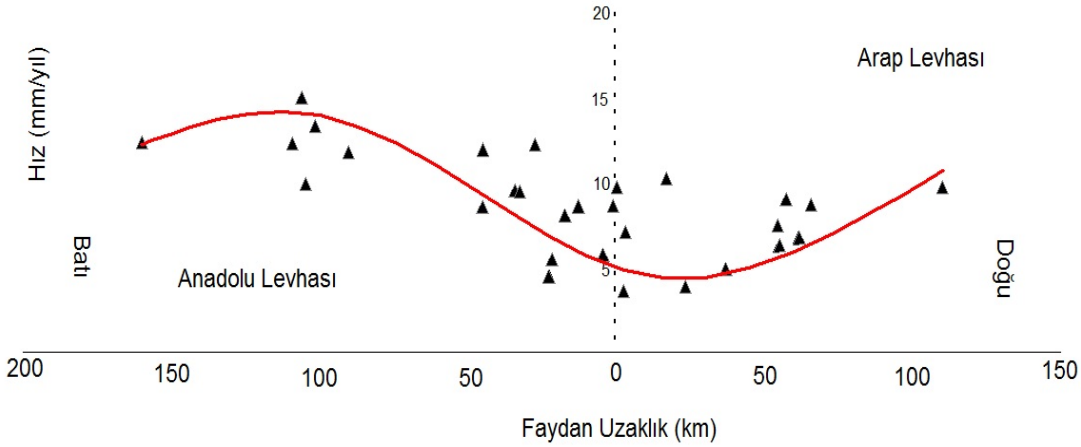
Şekil 5.27 TUBITAK noktalarının TUBI Noktasına göre hız değerleri ve güven elipsleri

Ayrıca GPS noktalarının faydan olan uzaklıkları göz önüne alınarak DRAG noktasına göre oluşturulan bölgedeki hız alanlarının dağılımı Çizelge 5.14 ve Şekil 5.28 de gösterilmiştir.

Şekil 5.28'e göre, Anadolu levhası üzerindeki nokta hızlarının fay hattından uzaklaştıkça arttığı ve Arap levhası üzerindeki noktaların hızlarının homojen bir dağılım gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 5.14 Noktaların hızlarının faya göre doğu-batı yönlü değişimi

DAF'ın Doğusundaki Noktalar (DRAG noktasına göre)		
Nokta No	**Faydan Uzaklık (km)**	**Ortalama Hız (mm/yıl)**
FEVZ	0.34	9.5
HASA	2.51	3.37
ADIY	3.20	6.85
ALAR	16.97	10.0
SAKZ	23.46	3.66
CKRH	37.04	4.65
KLIS	54.63	7.26
KILI	55.11	6.06
GAZT	57.40	8.77
ANTE	61.79	6.51
ARGA	65.88	8.49
SURF	110.17	9.5
DAF'ın Batısındaki Noktalar (DRAG noktasına göre)		
Nokta No	**Faydan Uzaklık (km)**	**Ortalama Hız (mm/yıl)**
TRKT	0.93	8.4
MRST	4.37	5.49
MARA	12.77	8.37
DZCT	17.28	7.8
HATA	21.64	5.25
ISKE	22.64	4.21
MALY	27.34	11.99
ONIY	32.5	9.25
DORT	34.16	9.29
EKIZ	45.01	11.71
ANDT	45.11	8.31
FEEK	90.36	11.57
GURU	101.44	13.09
CKVT	104.76	9.68
ADAN	106.14	14.75
TUFA	109.28	12.04
POZA	159.9	12.14

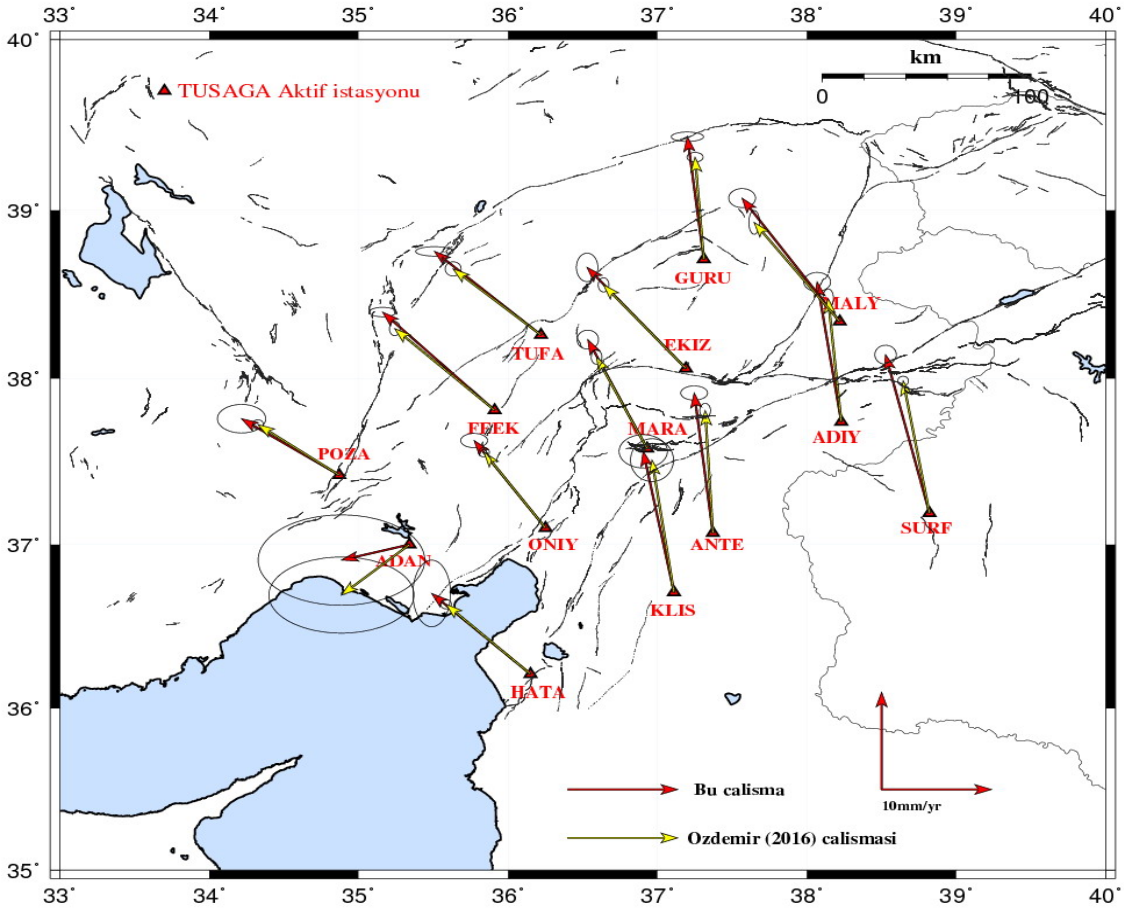


Şekil 5.28 Nokta hızlarının faya göre konumları (DRAG noktasına göre)

Bu çalışmada kuzey (Vn) ve doğu (Ve) yönde elde edilen hız değerleri Özdemir (2016) çalışması ile karşılaştırılmış, hızlar arasındaki farkların (ADAN noktası hariç) kuzey ve doğu yönde ortalama 1.5 mm/yıl olduğu görülmüştür (Çizelge 5.14). Bu farklılık Özdemir (2016) çalışmasında daha geniş veri seti ile çalışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 5.29).

Çizelge 5.15 Bölgedeki hız değerlerinin karşılaştırılma sonuçları (TUBI noktasına göre)

Nokta Adı	Bu çalışma				Özdemir(2006) çalışması			
	Vn	σn (mm)	Ve	σe (mm)	Vn	σn (mm)	Ve	σe (mm)
ADAN	-1.6	3.1	-6.2	1.9	-5.2	2.7	-6.2	1.6
ADIY	14.4	0.5	-2.2	0.4	12.7	0.2	-1.2	0.4
ANTE	14.4	0.5	-1.7	0.3	12.6	0.2	-0.7	0.3
EKIZ	10.4	0.4	-9.0	0.6	8.6	0.2	-7.5	0.3
GURU	10.1	0.5	-10.2	0.2	8.4	0.2	-9.1	0.3
HATA	12.6	0.6	-1.5	0.2	10.5	0.3	-0.8	0.2
FEEK	8.3	0.7	-9.0	1.4	7.2	0.2	-7.7	0.2
KLIS	14.5	0.9	-2.8	0.7	13.6	0.8	-2.0	0.9
MALY	12.7	0.5	-8.9	0.4	10.2	0.2	-7.8	0.5
MARA	11.2	0.4	-5.4	0.4	9.4	0.2	-4.6	0.3
ONIY	9.0	0.5	-6.5	0.3	7.8	0.2	-5.6	0.2
POZA	5.8	0.9	-8.9	0.6	5.2	0.2	-7.4	0.2
SURF	16.3	0.4	-4.0	0.4	13.6	0.2	-2.4	0.2
TUFA	8.6	0.7	-9.7	0.2	6.8	0.3	-8.0	0.3

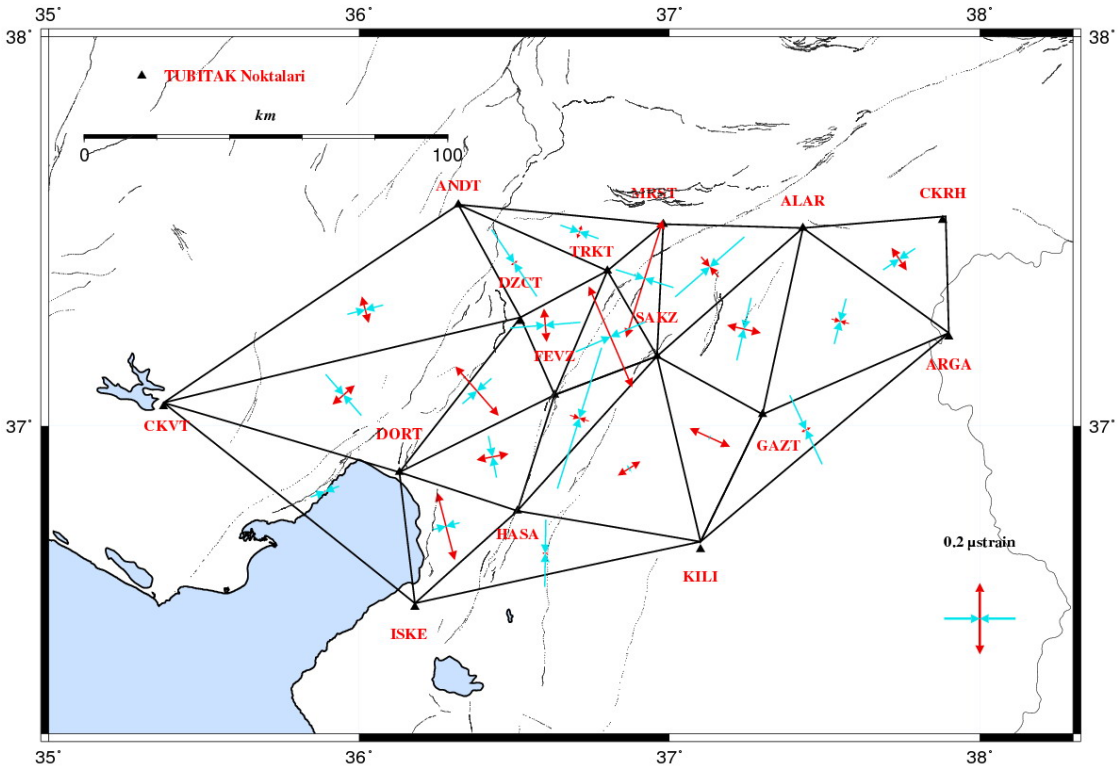


Şekil 5.29 Bölgedeki hız değerlerinin karşılaştırılması (TUBI noktasına göre)

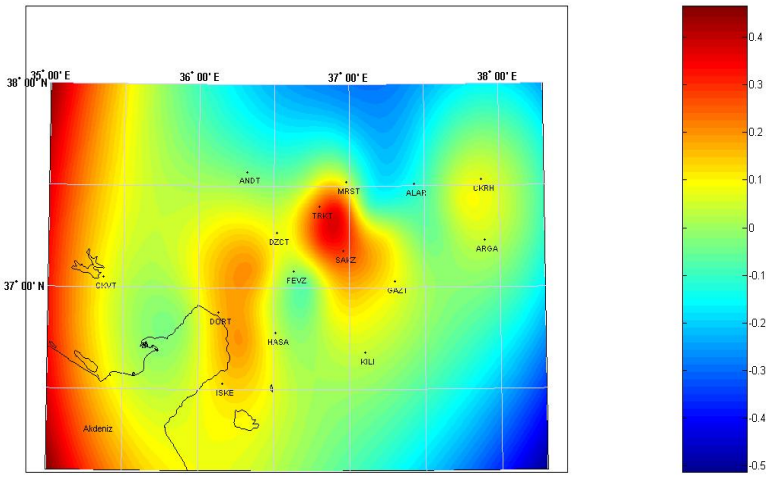
5.5 Gerinim Miktarlarının Belirlenmesi

Bu çalışmada gerinim analizi, iki boyutlu olarak koordinat farklarına göre yapılmıştır. Çalışma bölgesinde, noktalar arasındaki uzaklıkların çok küçük olmaması ve yeterli büyüklükte uygun üçgenleme olanağı sağlayan noktalar seçilerek delaunay yöntemiyle üçgenler oluşturulmuş ve oluşturulan üçgenlerin ağırlık merkezi kartezyen koordinat değerleri yerel koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Üçgenin kapladığı alan için geçerli olan gerinim parametreleri DRAG noktasına göre; ADAN, ADIY, ANTE, EKIZ, FEEK, GURU, HATA, KLIS, MALY, MARA, ONIY, POZA, TUFA, SURF noktaları kullanılarak 2009-2014 periyotları için en küçük kareler yöntemi ile dengelemeli olarak ve ALAR, ARGA, CKRH, DORT, FEVZ, HASA, ISKE, KILI, SAKZ, ANDT, CKVT, DZCT, GAZT, MRST, TRKT noktaları kullanılarak 2006-2009 periyotları için en küçük kareler yöntemi ile dengelemeli olarak hesaplanmıştır. Üçgenler köşe nokta isimleri, üçgenlerin ağırlık noktalarının coğrafi koordinatları, gerinim parametreleri ve parametrelerin standart sapmaları ve ortalama değerleri hesaplanarak Çizelge 5.15-5.18'de verilmiş ve grafiksel olarak Şekil 5.30-5.35' de gösterilmiştir.

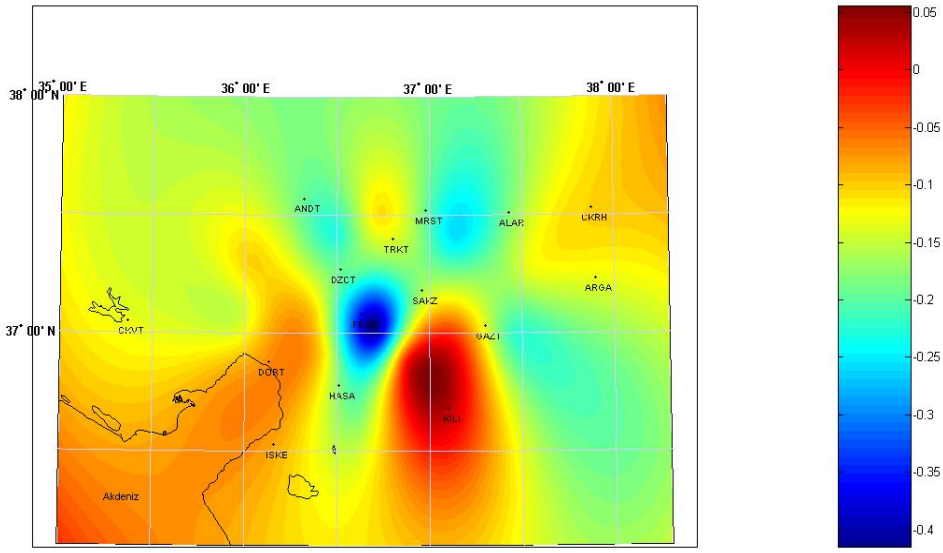
Şekil 5.26'ya göre DAF'ın batı bölgesinin Kuzeydoğu-Güneybatı (KD-GB) yönünde genişlediğini ve Kuzeybatı-Güneydoğu (KB-GD) yönünde sıkıştığı görülmektedir. Bu bölgede elde edilen maksimum asal gerinim 0.6721 ± 0.1747 μstrain, minimum asal gerinim -0.0347 ± 0.0846 μstrain olarak belirlenmiştir.



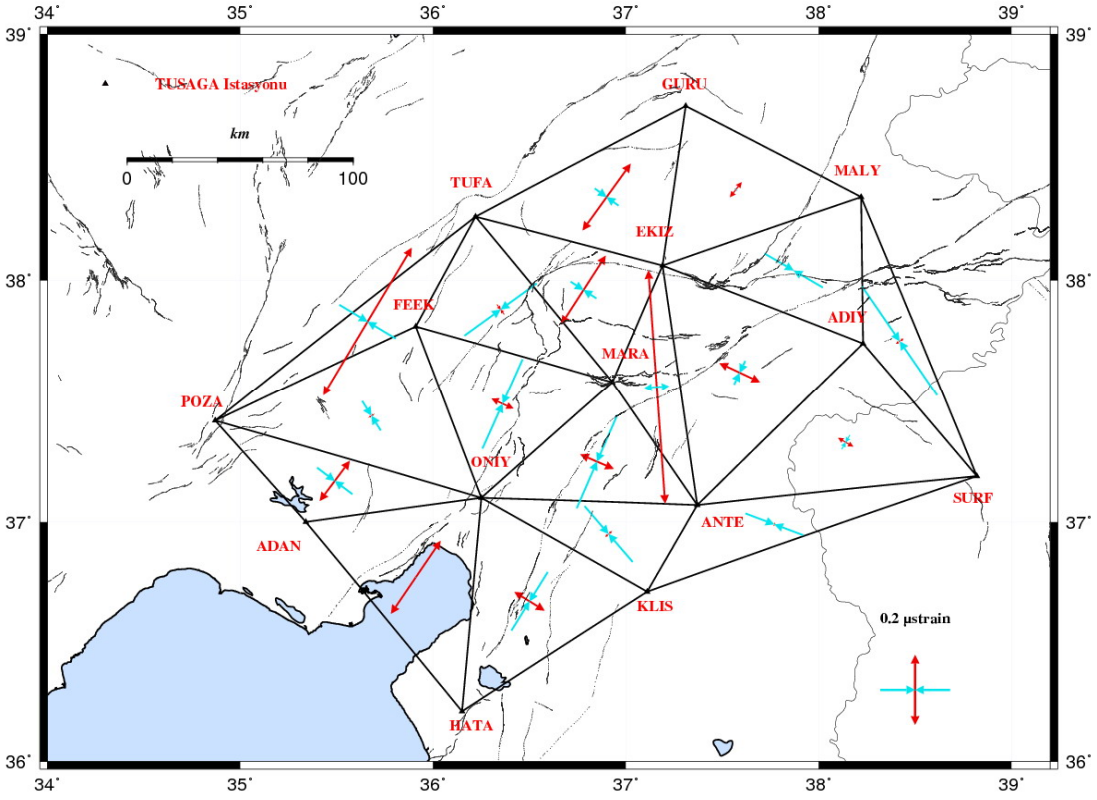
Şekil 5.30 TUBITAK noktalarının DRAG Noktasına göre 2006-2009 periyotlarına ilişkin gerinim miktarları



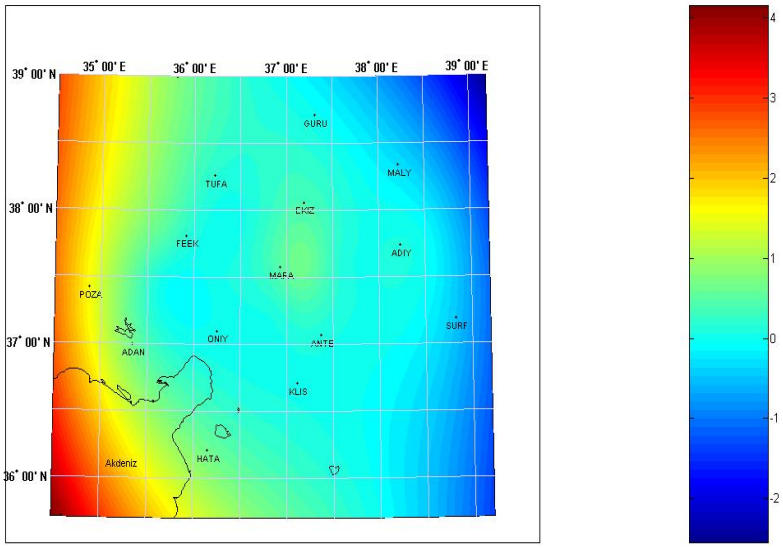
Şekil 5.31 2006-2009 periyotlarında TUBITAK noktalarının DRAG noktasına göre maximum asal gerinim miktarları (µstrain)



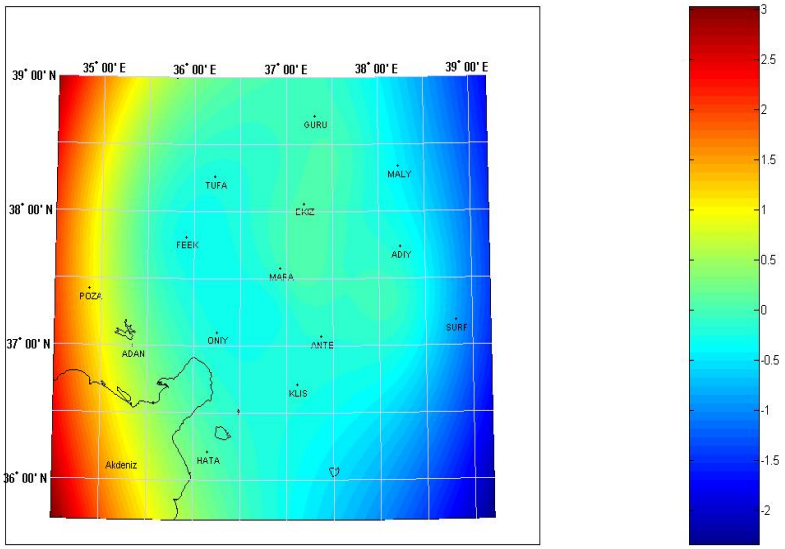
Şekil 5.32 2006-2009 periyotlarında TUBITAK noktalarının DRAG noktasına göre minimum asal gerinim miktarları (µstrain)



Şekil 5.33 TUSAGA noktalarının DRAG Noktasına göre 2009-2014 periyotlarına ilişkin gerinim miktarları



Şekil 5.34 2009-2014 periyotlarında TUSAGA noktalarının maksimum asal gerinim miktarları (µstrain)



Şekil 5.35 2009-2014 periyotlarında TUSAGA noktalarının minimum asal gerinim miktarları (µstrain)

Çizelge 5.16 TUSAGA noktalarının gerinim analizi sonuçları (DRAG noktasına göre)

Üçgen Noktaları	Enlem	Boylam	ε max (μ strain)	ε min (μ strain)	Max.Gerinimin Yönü (Φ')	Saf Kayma (γ1) (μ strain)	Mühendislik Kayması (γ2) (μ strain)	Dönüklük (W) (μ rad)
KLIS-HATA-ONIY	36,6730	36,5063	0.102 ± 0.0415	-0.1969 ± 0.0525	121.8689 ± 0.1110	-0.268 ± 0.0670	-0.1322 ± 0.0662	0.0432 ± 0.0331
KLIS-ANTE-ONIY	36,9586	36,9132	0.0254 ± 0.0313	-0.2112 ± 0.0718	49.1852 ± 0.1698	0.2341 ± 0.0784	-0.0344 ± 0.0802	-0.0404 ± 0.0401
KLIS-ANTE-SURF	36,9885	37,7679	0.0109 ± 0.0332	-0.1767 ± 0.0899	20.5821 ± 0.2573	0.1235 ± 0.0952	0.1413 ± 0.0977	-0.0681 ± 0.0488
ADIY-ANTE-SURF	37,3342	38,1404	0.0498 ± 0.0270	-0.0462 ± 0.0383	119.7014 ± 0.2410	-0.0827 ± 0.0467	-0.0489 ± 0.0466	0.0602 ± 0.0233
MARA-ANTE-EKIZ	37,5682	37,1642	0.6721 ± 0.1747	0.0717 ± 0.0542	175.8885 ± 0.1529	-0.0859 ± 0.1831	0.5943 ± 0.1833	-0.0781 ± 0.0917
MARA-ANTE-ONIY	37,2493	36,8529	0.1051 ± 0.0735	-0.2914 ± 0.0832	113.4628 ± 0.1384	-0.2896 ± 0.1103	-0.2708 ± 0.1113	-0.0261± 0.0556
ADAN-HATA-ONIY	36,7713	35,9168	0.253 ± 0.0857	0.0046 ± 0.0561	34.2993 ± 0.2022	0.2313 ± 0.1026	0.0907 ± 0.1003	-0.1195 ± 0.0502
ADAN-POZA-ONIY	37,1759	35,4897	0.1442 ± 0.1296	-0.1266 ± 0.1552	36.8999 ± 0.3747	0.2601 ± 0.2011	0.0756 ± 0.2052	-0.1345 ± 0.1026
FEEK-POZA-ONIY	37,4465	35,6793	-0.0191 ± 0.0590	-0.0998 ± 0.0794	57.988 ± 0.6256	0.0725 ± 0.0993	-0.0353 ± 0.1003	0.0050 ± 0.0501
POZA-TUFA-FEEK	37,8326	35,6683	0.4937 ± 0.2499	-0.1885 ± 0.1496	30.9283 ± 0.2119	0.6016 ± 0.2942	0.3218 ± 0.2832	0.2542 ± 0.1416
MARA-TUFA-FEEK	37,8855	36,3548	-0.0347 ± 0.0846	-0.2553 ± 0.1255	144.2126 ± 0.3386	-0.2092 ± 0.1507	0.0697 ± 0.1506	-0.1358± 0.0753
MARA-FEEK-ONIY	37,4994	36,3658	0.0692 ± 0.0797	-0.2821 ± 0.0860	114.1067 ± 0.1677	-0.2619 ± 0.1172	-0.2341 ± 0.1179	-0.0059 ± 0.0590
MARA-TUFA-EKIZ	37,9667	36,7800	0.2347 ± 0.1200	-0.088 ± 0.0643	32.8972 ± 0.2077	0.2943 ± 0.1361	0.1323 ± 0.1341	0.0189 ± 0.0671
GURU-TUFA-EKIZ	38,3456	36,9056	0.236 ± 0.0716	-0.084 ± 0.0429	35.8887 ± 0.1283	0.304 ± 0.0835	0.1001 ± 0.0820	0.1064 ± 0.0410
GURU-MALY-EKİZ	38,3713	37,5709	0.0547 ± 0.0632	0.011 ± 0.0511	38.5587 ± 0.9229	0.0426 ± 0.0812	0.0097 ± 0.0808	-0.0066 ± 0.0404
ADIY-MALY-EKIZ	38,0475	37,8782	0.0031 ± 0.0422	-0.1937 ± 0.0617	30.1465 ± 0.1912	0.171 ± 0.0745	0.0975 ± 0.0757	0.0786 ± 0.0379
ADIY-ANTE-EKIZ	37,6232	37,5971	0.1292 ± 0.0309	-0.0753 ± 0.0345	115.0301 ± 0.1135	-0.1568 ± 0.0464	-0.1313 ± 0.0463	0.0595 ± 0.0231
ADIY-MALY-SURF	37,7585	38,4215	0.0259 ± 0.0516	-0.3789 ± 0.1237	55.4572 ± 0.1680	0.3781 ± 0.1343	-0.1445 ± 0.1354	-0.2138 ± 0.0677

Çizelge 5.17 TUBITAK noktalarının gerinim analizi sonuçları (DRAG noktasına göre)

Üçgen Noktaları	Enlem	Boylam	ε max (μ strain)	ε min (μ strain)	Max.Gerinimin Yönü (Φ')	Saf Kayma (γ1) (μ strain)	Mühendislik Kayması (γ2) (μ strain)	Dönüklük (W) (μ rad)
CKVT-ANDT-DZCT	37,3048	36,0175	0.0767 ± 0.0189	-0.1034 ± 0.0589	165.4527 ± 0.1687	-0.0876 ± 0.0617	0.1574 ± 0.0611	-0.0016 ± 0.0305
CKVT-DORT-DZCT	37,0803	35,9534	0.0823 ± 0.0579	-0.1528 ± 0.0762	49.0394 ± 0.2038	0.2328 ± 0.0956	-0.033 ± 0.0962	0.01028 ± 0.0481
CKVT-DORT-İSKE	36,8339	35,8948	-0.0089 ± 0.0608	-0.0849 ± 0.1088	159.0693 ± 0.7963	-0.0508 ± 0.1232	0.0566 ± 0.1241	-0.0265 ± 0.0621
HASA-DORT-İSKE	36,7424	36,2803	0.1959 ± 0.1044	-0.079 ± 0.1059	165.4124 ± 0.2707	-0.134 ± 0.1489	0.2401 ± 0.1484	0.0321 ± 0.0742
HASA-DORT-FEVZ	36,9250	36,4347	0.0911 ± 0.0954	-0.1192 ± 0.1649	79.1115 ± 0.4536	0.078 ± 0.1907	-0.1953 ± 0.1904	-0.1909 ± 0.0952
DZCT-DORT-FEVZ	37,0887	36,3789	0.1839 ± 0.1059	-0.1083 ± 0.1919	138.7674 ± 0.3722	-0.2897 ± 0.2194	0.0383 ± 0.2173	0.0803 ± 0.1087
DZCT-TRKT-FEVZ	37,2603	36,6020	0.0934 ± 0.1927	-0.1976 ± 0.1068	175.2695 ± 0.3798	-0.0478 ± 0.2202	0.2871 ± 0.2215	0.1381 ± 0.1107
TRKT-ANDT-DZCT	37,4221	36,4975	0.0212 ± 0.0716	-0.2258 ± 0.0445	55.9841 ± 0.1690	0.2291 ± 0.0845	-0.0924 ± 0.0830	-0.0132 ± 0.0415
TRKT-ANDT-MRST	37,5030	36,7107	0.0374 ± 0.1223	-0.1135 ± 0.0405	19.3136 ± 0.4180	0.0942 ± 0.1283	0.1179 ± 0.1273	0.0774 ± 0.0637
TRKT-SAKZ-MRST	37,3755	36,9248	0.3458 ± 0.1234	-0.1689 ± 0.0676	17.3528 ± 0.1337	0.293 ± 0.1399	0.4231 ± 0.1393	-0.1360 ± 0.0696
TRKT-SAKZ-FEVZ	37,2308	36,8073	0.3081 ± 0.1369	-0.2125 ± 0.1245	156.7614 ± 0.1758	-0.3775 ± 0.1839	0.3585 ± 0.1854	-0.0645 ± 0.0927
HASA-SAKZ-FEVZ	37,0220	36,7129	-0.0552 ± 0.1348	-0.4149 ± 0.1921	107.3724 ± 0.3292	-0.205 ± 0.2373	-0.2956 ± 0.2316	-0.2016 ± 0.1158
HASA-İSKE-KİLİ	36,6710	36,6032	0.0165 ± 0.0451	-0.1886 ± 0.1142	90.8919 ± 0.2951	-0.0064 ± 0.1212	-0.205 ± 0.1243	0.0043 ± 0.0621
HASA-SAKZ-KİLİ	36,8878	36,8672	0.0740 ± 0.0546	-0.0222 ± 0.0483	57.8319 ± 0.3784	0.0867 ± 0.0729	-0.0417 ±0.0728	-0.0633 ± 0.0364
GAZT-SAKZ-KİLİ	36,9723	37,1291	0.1243 ± 0.0860	-0.0153 ± 0.0895	114.7136 ± 0.4442	-0.1061 ± 0.1236	-0.0908 ± 0.1251	0.0357 ± 0.0626
GAZT-SAKZ-ALAR	37,2498	37,2390	0.0966 ± 0.0790	-0,1802 ± 0,0676	102,9236 ± 0.1844	0,1207 ± 0,1026	-0,2491 ± 0,1049	0,0525 ± 0.0525
ALAR-SAKZ-MRST	37,4100	37,1345	-0,0745 ± 0,0494	-0,2567 ± 0.0986	139,0426 ± 0.2992	-0,1804 ± 0,1103	-0,0256 ± 0,1089	0,0611 ± 0.0545
GAZT-ARGA-ALAR	37,2652	37,5492	-0,0502 ± 0,0617	-0,1315 ± 0.0564	104,5695 ± 0,5154	-0,0396 ± 0,0843	-0,0710 ± 0,0824	-0,0034 ± 0.0412
CKRH-ARGA-ALAR	37,4320	37,7414	0,0761 ± 0,1021	-0.1082 ± 0,0706	146,3597 ± 0.3438	-0,1699 ± 0,1239	0.0712 ± 0,1271	0,0006 ± 0.0636
GAZT-ARGA-KİLİ	36,9877	37,4392	0.0271 ± 0.0669	-0.2139 ± 0.1571	64.9699 ± 0.3653	0.1848 ± 0.1724	-0.1547 ± 0.1729	-0.0636 ± 0.0865

Çizelge 5.18 2009-2014 yıllarına göre TUSAGA noktalarının ortalama gerinim parametreleri

	ε max (μ strain)	**ε min (μ strain)**	**Max.Gerinimin Yönü (φ')**	**Saf Kayma (ɣ1) (μ strain)**	**Mühendislik Kayması (ɣ2) (μ strain)**	**Dönüklük (W) (μ rad)**
P=P DRAG Noktasına göre	0,142	-0,145	73,728	0,076	0,033	-0,011
P=E DRAG Noktasına göre	0,145	-0,137	75,514	0,084	0,033	-0,010

Çizelge 5.19 2006-2009 yıllarına göre TUBITAK noktalarının ortalama gerinim parametreleri

	ε max (μ strain)	**ε min (μ strain)**	**Max.Gerinimin Yönü (φ')**	**Saf Kayma (ɣ1) (μ strain)**	**Mühendislik Kayması (ɣ2) (μ strain)**	**Dönüklük (W) (μ rad)**
P=P DRAG Noktasına göre	0,083	-0,155	105,510	-0,019	0,015	-0,014
P=E DRAG Noktasına göre	0,089	-0,148	103,866	-0,021	0,013	-0,009

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Doğu Anadolu Bölgesi'nin güneyinde yerkabuğu hareketlerini ve gerinim alanlarını belirlemek amacıyla 2006 - 2014 yılları arasında bölgeyi tanımlayan 29 noktadan 15 tanesi TUBITAK noktası olan noktalarda 4 periyot ve 14 tanesi TUSAGA noktası olan noktalarda 5 periyot olarak gerçekleştirilen GPS ölçüleri kullanılmıştır.

GPS ölçüleri Bernese 5.0 yazılımı ile değerlendirilmiş, değerlendirme aşamasında IGS noktalarından TUBI ve DRAG noktalarının 2005.0 epoğundaki ITRF 2008 koordinatları üzerine sıkı koşul konarak (datum tanımı) ağın diğer noktalarının ITRF 2008 koordinatları belirlenerek tüm günler için ayrı ayrı çözüm gerçekleştirilmiştir.

Değerlendirme sonucunda 2009 yılı GPS kampanyasında yapılan ölçümlerde FEEK noktasında kaba hata belirlenmiş ve 2009 yılı için bu nokta değerlendirmelerden çıkarılmıştır.

Değerlendirme aşamasından sonra, üç boyutlu kartezyen koordinat sistemindeki veriler periyotlar arasında anlamlı bir hareket olup olmadığını belirlemek amacıyla yerel koordinat sistemine dönüştürülerek iki boyutlu olarak incelenmiş, global eşdeğerlik testi yapılarak nokta konumlarının değişmediği varsayımına dayanan H_0 hipotezinin geçersiz olduğu sonucuna varılmıştır.

Periyotlar arasında anlamlı bir hareket olduğu sonucuna varıldıktan sonra DRAG noktasına göre noktalara ilişkin hareket vektörlerinin anlamlı olup olmadıkları test

edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bölgede yer alan noktalarda anlamlı konum değişimleri gözlenmiştir.

Bölgedeki hız değerlerinin belirlenmesi için koordinatlara göre oluşturulan hız modeli kullanılmış ve TUBI ve DRAG noktalarına göre ayrı ayrı her periyoda ilişkin dengelemeli çözümler yerel koordinat sisteminde elde edilmiştir.

Elde edilen hız değerleri incelendiğinde DRAG noktasına göre bölgede DAFZ boyunca noktaların yatay hızlarının homojen olmadığı, DAFZ'ın doğu kısmındaki Arap levhasında yer alan noktaların kendi içinde tutarlı olarak yaklaşık 7-10 ± 0.5-1.4 mm/yıl lık bir hareketle batıdan doğuya doğru giderek arttığı görülürken, DAFZ'ın batı kısmındaki Anadolu levhasında yer alan noktalarda ise (ADAN noktası hariç) kendi içinde tutarlı olarak saat yönünün tersi şeklinde doğudan batıya doğru yaklaşık 11-13 ± 0.4-1.2 mm/yıl'lık hızla hareket ettiği; Doğu Anadou Fayı, Ölü Deniz Fayı ve Kıbrıs dalma batma zonu arasında kalan Kahramanmaraş üçlü eklem bölgesindeki noktaların doğudan batıya doğru yaklaşık 6-9 ± 0.6-1.1 mm/yıl'lık hızla hareket ettiği görülmektedir. DAFZ'ın doğusunda, Arap levhasında yer alan TUBITAK noktalarının hızlarının 4-10 ± 1-7 mm/yıl'lık bir hızla, DAFZ'ın batısında Anadolu levhasında yer alan noktaların 8-10 ± 3.3 mm/yıl'lık bir hızla, Kahramanmaraş üçlü eklem bölgesinde kalan noktaların ise 6-10 ± 1-5 mm/yıl'lık hızla saat yönünün tersi yönde hareket ettiği görülmüştür.

Anadolu levhası üzerinde yer alan nokta hızlarının doğudan batıya doğru artmasının Arap levhasının Anadolu levhasını sıkıştırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

TUBI noktasına göre ise bölgede DAFZ'ın doğu kısmındaki Arap levhasında yer alan noktaların kendi içinde tutarlı olarak yaklaşık 14-17 ± 0.6-1.1 mm/yıl lık bir hareketle batıdan doğuya doğru arttığı görülürken, DAFZ'ın batı kısmındaki Anadolu levhasında yer alan noktalarda (ADAN noktası hariç) kendi içinde tutarlı olarak saat yönünün tersi şeklinde doğudan batıya doğru yaklaşık 11-15 ± 0.6-1.5 mm/yıl'lık hızla hareket ettiği; Doğu Anadou Fayı, Ölü Deniz Fayı ve Kıbrıs dalma batma zonu arasında kalan Kahramanmaraş üçlü eklem bölgesindeki noktalarda doğudan batıya doğru yaklaşık 11-13 ± 0.5-0.6 mm/yıl' lık hızla gittiği DAFZ boyunca nokta hızlarının homojen olmadığı görülmektedir. DAFZ'ın doğusunda, Arap levhasında yer alan TUBITAK noktalarının

hızlarının 13-19 ± 0.6-4 mm/yıl'lık bir hızla, DAFZ'ın batısında Anadolu levhasında yer alan noktaların 7-9 ± 3.4 mm/yıl'lık bir hızla, Kahramanmaraş üçlü eklem bölgesinde kalan noktaların ise 12-15 ± 2.3-3.7 mm/yıl'lık hızla saat yönünün tersi yönde hareket ettiği görülmüştür.

Bölgenin gerinim birikimlerinin belirlenmesi amacıyla koordinat farklarına göre sonlu elemanlar yöntemine göre gerinim modeli, iki boyutlu olarak yerel koordinat sisteminde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 2009-2014 yılları arasında TUSAGA noktalarının DRAG noktasına göre ortalama çekme ve sıkışma miktarları εmax = 0.142 μstrain, εmin = -0.145μstrain, maksimum gerinim yönü (ϕ) = 73.728^0, saf kayma (γ1) = 0.076 μstrain,mühendislik kayması (γ2) = 0.033 μstrain, dönüklük(ω) = -0.011 μrad; P=E için ortalama çekme ve sıkışma miktarları εmax = 0.145 μstrain, εmin = -0.137μstrain, maksimum gerinim yönü (ϕ) = 75.514^0, saf kayma (γ1) = 0.084 μstrain,mühendislik kayması (γ2) = 0.033 μstrain, dönüklük(ω) = -0.010 μrad'dır.

2006-2009 yılları arasında TUBITAK noktalarının DRAG noktasına göre ortalama çekme ve sıkışma miktarları εmax = 0.083 μstrain, εmin = -0.155 μstrain, maksimum gerinim yönü (ϕº) = 105.510, saf kayma (γ1) = -0.019 μstrain, mühendislik kayması (γ2) = 0.015 μstrain, dönüklük(ω) = -0.014 μrad; P=E için ortalama çekme ve sıkışma miktarları εmax = 0.089 μstrain, εmin = -0.148 μstrain, maksimum gerinim yönü (ϕº) = 103.866, saf kayma (γ1) = -0.021 μstrain,mühendislik kayması (γ2) = 0.013 μstrain, dönüklük(ω) = -0.009 μrad'dır.

Bu uygulamadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, bölgede belirli bir gerinim birikimi olduğu görülmektedir. Maksiumum ve minimum asal gerinim parametreleri DAFZ'ın KB – GD yönünde sıkıştığını ve KD – GB yönünde genişlediğini göstermektedir. Dönüklük parametresinin (ω) negatif olması saat yönünün tersi, pozitif olması saat yönünde bir dönme hareketini göstermektedir.

[1] Gürkan, O., Özener, H., Doğru, A.G., Yılmaz, O. ve Turgut, B., (2005). ''Tektonik Deformasyonların Jeodezik Ölçme Teknikleri İle İzlenmesi (KAFZ Batı Kesimi Çalışmaları)'', TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28 Mart-1 Nisan 2005, Ankara.

[2] Setan, H. ve Singh, R., (2001), "Deformation Analysis of a Geodetic Monitoring Network", Geomatica, 55(3).

[3] Özener, H. ve Doğru, A., (2009).''Jeodezik ve Sismik Verilerden Yararlanarak Kabuk Deformasyonu Alanının Belirlenmesi'', TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 11-15 Mayıs 2009, Ankara.

[4] McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, K., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, M., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M. N., ve Veis, G., (2000). "Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics and Dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus", Journal of Geophys. Res., 105(B3): 5695-5719.

[5] Mahmoud, Y., Masson, F., Meghraoui, M., Cakir, Z., Alchalbi, A., Yavasoglu, H., Yönlü, O., Daoud, M., Ergintav, Semih. ve Inan, S., (2013).''Kinematic study at the junction of the East Anatolian Fault and the Dead Sea Fault from GPS Measurement'', Journal of Geodynamics, 67:30-39.

[6] Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R. ve Karam, G., (2006). ''GPS Constrain on Continental Deformation in the Africa-Arabia-Eurasia Continental Collision Zone and İmplications for the Dynamics of Plate İnteractions'', Journal of Geophysical Research, 111 , B05411.

[7] Aktuğ, B., Özener, H., Doğru, A., Sabuncu, A., Turgut, B., Halıcıoğlu, K., Yılmaz, O. ve Havazlı, E., (2016). ''Slip Rates and Seismic Potential on the East Anatolian Fault System Using an Improved GPS Velocity Field'', Journal of Geodynamics, 94-95,1-12.

[8] Özdemir, S., 2016. ''TUSAGA ve TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Hassas Koordinat ve Hızlarının Hesaplanması Üzerine'', Harita Dergisi, 155, Ankara.

[9] Nalbant, S.S., McCloskey, J., Steacy, S. ve Barka, A.A, (2002). ''Stress Accumulation and Increased Seismic Risk in Eastern Turkey'', Earth and Planetary Science Letters,195:291-298.

[10] Aktuğ, B., Parmaksız, E., Kurt, M., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Gürdal, M.A., ve Özdemir, S., (2013). Deformation of Central Anatolia:GPS İmplications'', Journal of Geodynamics, 67: 78-96.

[11] Bozkurt, E., (2001), “Neotectonics of Turkey-a synthesis”, Geodinamica Acta., 14: 3-30.

[12] Tatar, O., Poyraz, F., Gürsoy, H., Cakir, Z., Ergintav, S., Akpınar, Z., Koçbulut, F., Sezen, F., Türk, T., Hastaoğlu, K.Ö., Polat, A., Mesci, B.L., Gürsoy, O., Ayazlı, İ.E., Çakmak, R., Belgen, A. ve Yavaşoğlu, H., (2012). ''Crustal Deformation and Kinematics of the Eastern Part of the North Anatolian Fault Zone(Turkey) from GPS Measurements'', Tectonophysics, 518-521, 55-62.

[13] Özdemir, M.A. ve İnceöz, M., ''Comparison of the Ofsets in Dreinage Network with Some Tectonic Data between Karlıova-Türkoğlu in the East Anatolian Fault Zone''.

[14] Çıplak, R., 2004. Erkenek-Gölbaşı (Adıyaman) Arasında Doğu Anadolu Fayının Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Katı Yer Bilimleri Anabilim Dalı, İstanbul.

[15] Eren, Y., (2009). Neotektonik Ders Notları, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Lisans ders notu, Konya.

[16] Taymaz, T., Tan, O. ve Yolsal, S.,. ''Active Tectonics of Turkey and Surroundings and Seismic Risk in the Marmara Sea Region'', İstanbul Technical University, İstanbul.

[17] Parlak, O., (2004). Çelikhan-Erkenek Arasında Doğu Anadolu Fayının Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Katı Yer Bilimleri Anabilim Dalı, İstanbul.

[18] DeMets, C., Gordon, R.G., Argus, D.F. ve Stein, S., (1990). ''Current Plate Motions'', Geophysical Journal International, 101(B2): 425-478.

[19] Terlemez, H., Şentürk, K., Ateş, Ş., Sümengen, M., ve Oral, A., (1992). ''Gaziantep Dolayının ve Pazarcık-Sakçagöz-Kilis-Elbeyli-Oğuzeli Arasının Jeolojisi'', M.T.A. Rap.No.9526,Ankara(Yayınlanmamış).

[20] Barka, A., ve Reilinger, R., (1997). ''Active Tectonics of the Eastern Mediterranean Region:Deduced from GPS Neotectonic and Seismicity Data'', Anals of Geophysics, 40 (3): 587-609.

[21] Reilinger, R.E., McClusky, S.C., Oral, M.B., King, R.W., Toksoz, M.N., Barka, A.A., Kinik, I., Lenk, O., ve Sanli, I., (1997). ''Global Positioning System Measurements of Present-Day Crustal Movements in the Arabia-Africa-Eurasia Plate Collision Zone'', Journal of Geophysical Research:Solid Earth, 102 (B5): 9983-9999.

[22] Şengör, A.M.C., ve Kidd, W.S.F, (1979), "The post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian Plateau and a Comparison with Tibet", Tectonophysics., 55 (3-4): 361-376.

[23] Şengör, A.M.C, (1980). ''Türkiyenin Neotektoniğinin Esasları'', Konferans Serisi:2, Türkiye Jeoloji Kurumu.

[24] Duman, T.Y. ve Emre, Ö. (2013).'' The East Anatolian Fault: Geometry, Segmentation and Jog Characteristics Geological Society'', London, Special Publications.

[25] Boğaziçi Üniversitesi, ''www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb'', 01 Şubat 2018.

[26] Aktif Tektonik Araştırma Grubu (ATAG) 7.Toplantısı, Bildiri Özleri Kitabı, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 01-03 Ekim 2003, Van.

[27] McKenzie, D., (1976). '' The East Anatolian Fault: a major structure in eastern Turkey'', Earth and Planetary Science Letters, 29 (1):189-193.

[28] Arpat, A.E., ve Şaroğlu, F., (1975). ''Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlem ve düşünceler'', Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 73:1-9.

[29] Arpat, A.E., ve Şaroğlu, F., (1975). ''Türkiyede bazı önemli genç tektonik olaylar'', Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 18:29-41.

[30] Gürkan, O., Özener, H., Doğru, A.G., Yılmaz, O. ve Turgut, B., 2005. ''Tektonik Deformasyonların Jeodezik Ölçme Teknikleri ile İzlenmesi(KAFZ Batı Kesimi Çalışmaları)'', TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10 Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28Mart - 1Nisan 2005, Ankara.

[31] Aydın, C., Arslan, N. ve Demirel, H., 2004. ''Deformasyon Analizinde Duyarlılık'', HKM Jeodezi,Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi,2004/90.

[32] Aydın, C., (2013). Geodetic Deformation Analysis, YTÜ Lisansüstü Ders Notu, İstanbul.

[33] Niemeier, W., (1985), "Deformations Analyse", Geodatische Netzein Landes- und Ingenieurvermessung, 559-623.

[34] Demirel, H., (1987), "S- Transformasyonu ve Deformasyon Analizi", Türkiye 1. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.

[35] Selendi, A., (2011). Marmara Bölgesinde Yerkabuğu Hareketlerinin GPS ve Gravite Ölçmeleri (2006-2010) İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

[36] Poyraz, F. ve Aydın, Ö., (2009). ''Jeodezik Verilerden Strain (Gerinim) Elemanlarının Belirlenmesi Üzerine Bir İnceleme'', TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 11 - 15 Mayıs 2009, Ankara.

[37] Kakkuri, J. ve Chen, R., (1990). “Four Dimensional Adjustment of the Finish First Order Triangulation: Results of a Test Computation”, Lecture Notes in Earth Sciences, 29, Springer Verlag.

[38] Aktuğ, B., (2006). Jeodezik Ölçüler İle Deprem Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[39] Doğan, U., (2002). 17 Ağustos 1999 İzmit Depreminden Kaynaklanan Deformasyonların Kinematik Modellerle Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

[40] Frank, F. G., (1966), “Detection of Earth Strain from Survey Data”, Bull. Seismol. Soc. Am., 56:35-42.

[41] Martel, S., (2003), Lecture 15: Finite Strain and Infinitesimal Strain, University of Hawaii.

[42] Cai, J., Grafarend, E. W. ve Schaffrin, B., (2005), “Statistical Analysis of the Eigenspace Components of the Two-Dimensional, Symmetric Rank-Two Random Tensor” , Geophys. J. Int., 78:425-436.

[43] Dach, R., Hugentobler, U.,Fridez, P. ve Meindl, M., 2007: Bernese GNSS Software Version 5.0 User manual, Astronomical Institute, Universtiy of Bern.

[44] Harita Genel Komutanlığı, ''http://www.hgk.msb.gov.tr/sunum/'' , 05 Nisan 2018.

[45] Baysal, D., Aktuğ, B. ve Koçyiğit A., 2010. ''GPS Nokta Koordinatlarındaki Zamana Bağlı Değişimlerin Analizi ve Yorumu: İzmir Bölgesinde Uygulama'', Harita Dergisi, 144.

[46] Çolak, B., (2010). Marmara Bölgesi’nin Doğu Kesiminde Yatay Yerkabuğu Hareketleri ve Gerinim Birikiminin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

[47] Doğan, U., Ergintav, S., Demirel, H., Çakmak, R. ve Özener, H., (2003). “Estimation of the time-dependent crustal movements of the İzmit Eartquake”, Journal of Geodynamics, 36:615-632.

[48] Özdemir, A., (2016). 23 Ekim 2011 Van Depreminin Yakın Alan Deprem Anı Deformasyonlarının GPS ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik

Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

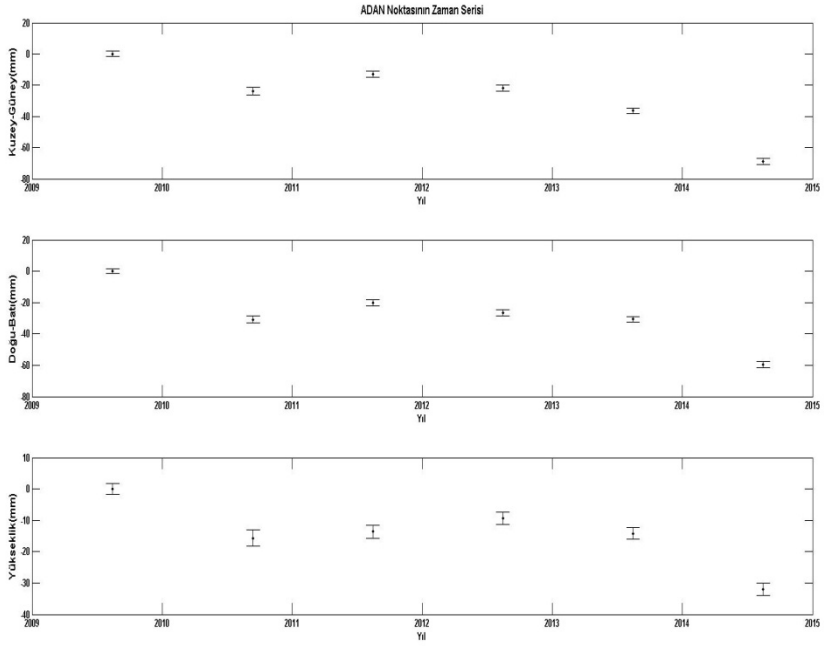
[49] Dach, R., Lutz, S., Walser, P. ve Fridez P., (Eds); 2015: Bernese GNSS Software Version 5.2. User manual, Astronomical Institute, Universtiy of Bern, Bern Open Publishing. DOI: 10.7892/boris.72297; ISBN: 978-3-906813-05-9.

[50] Feigle, K.L., King, R.W. ve Jordan, T.H., (1990). "Geodetic Measurements of Tectonic Deformation in the Santa Maria Fold and Trust Belt, California", Journal of Geophysical Research, 95:2679-2699.

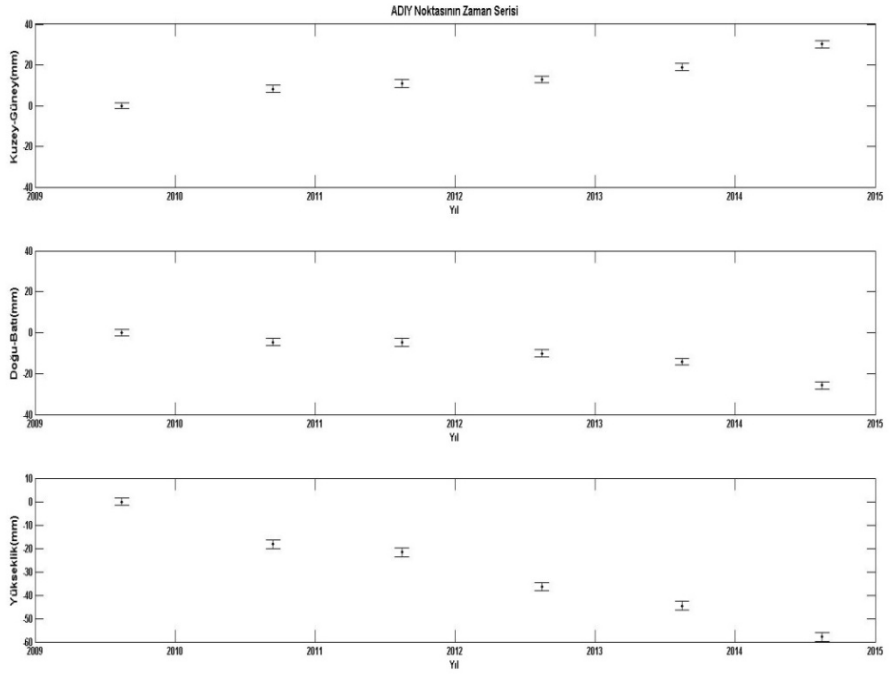
[51] Khalifa, A., Çakır, Z., Owen L.A., ve Kaya. Ş., (2018) "Morphotectonic Analysis of the East Anatolian Fault,Turkey",Turkish Journal of Earth Science, 27:110-126.

EK-A

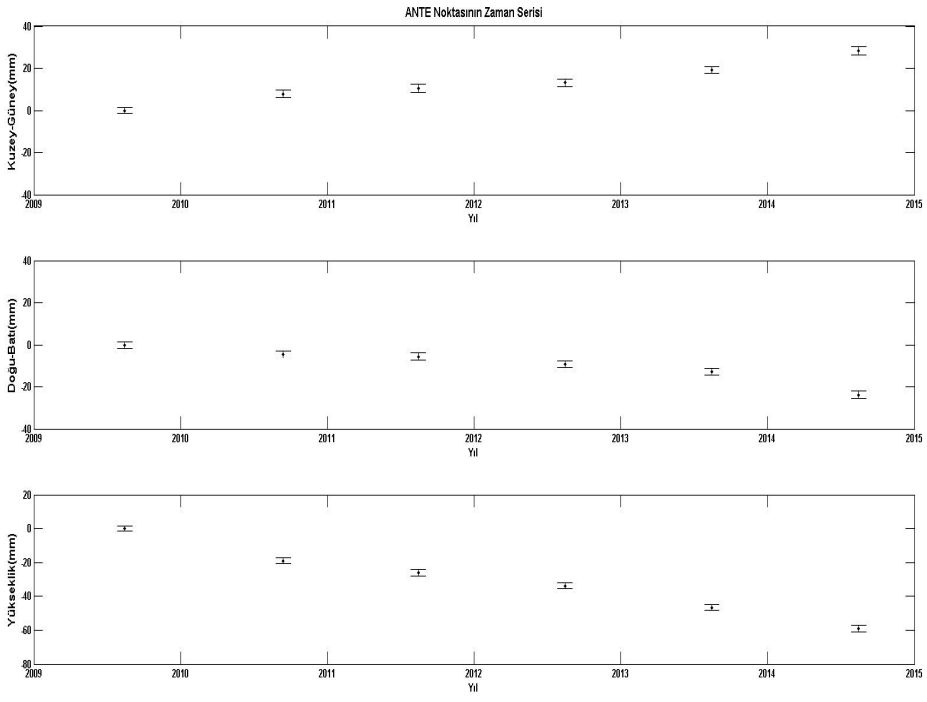
KAMPANYA NOKTALARININ DRAG NOKTASINA GÖRE YEREL KOORDİNAT SİSTEMİNDE GÜNLÜK DEĞİŞİMLERİ



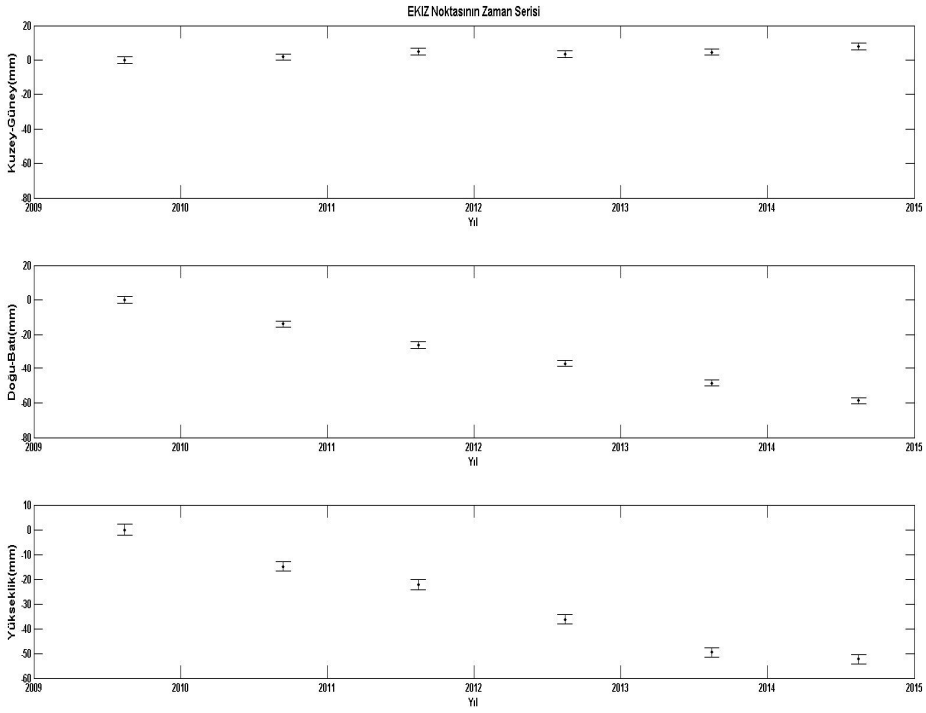
Şekil A.1 ADAN noktasının zaman serisi



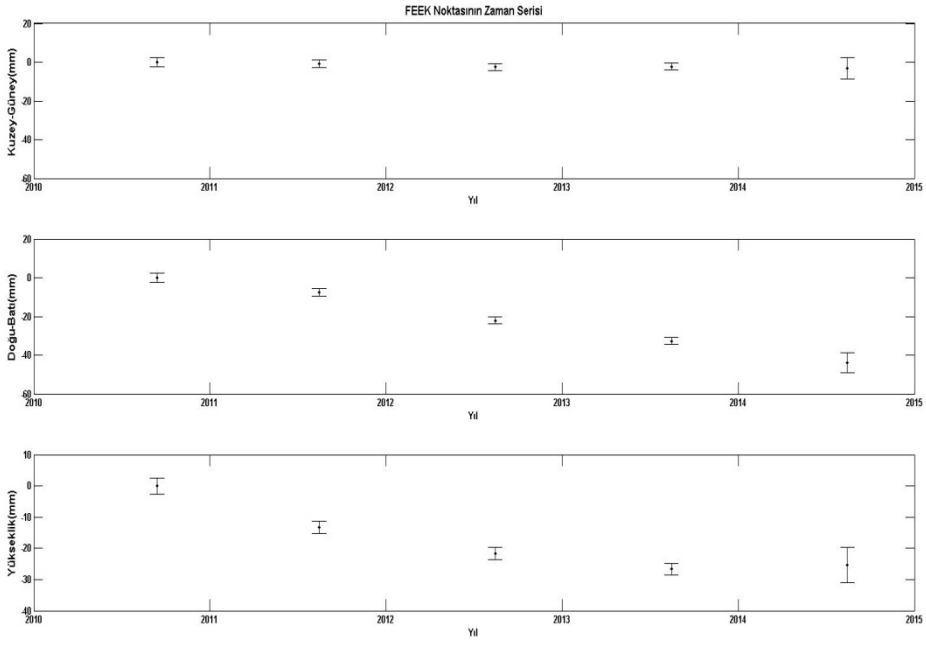
Şekil A.2 ADIY noktasının zaman serisi



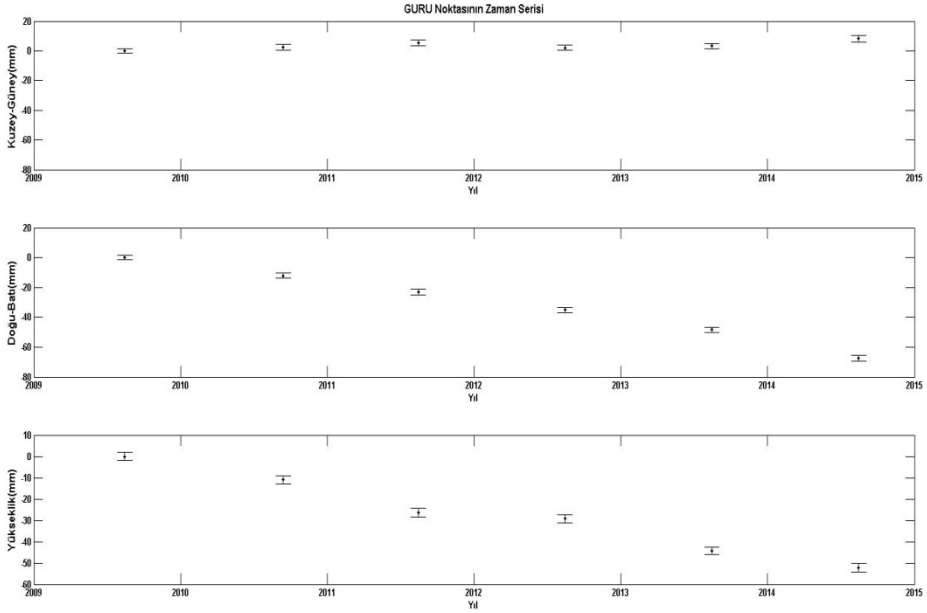
Şekil A.3 ANTE noktasının zaman serisi



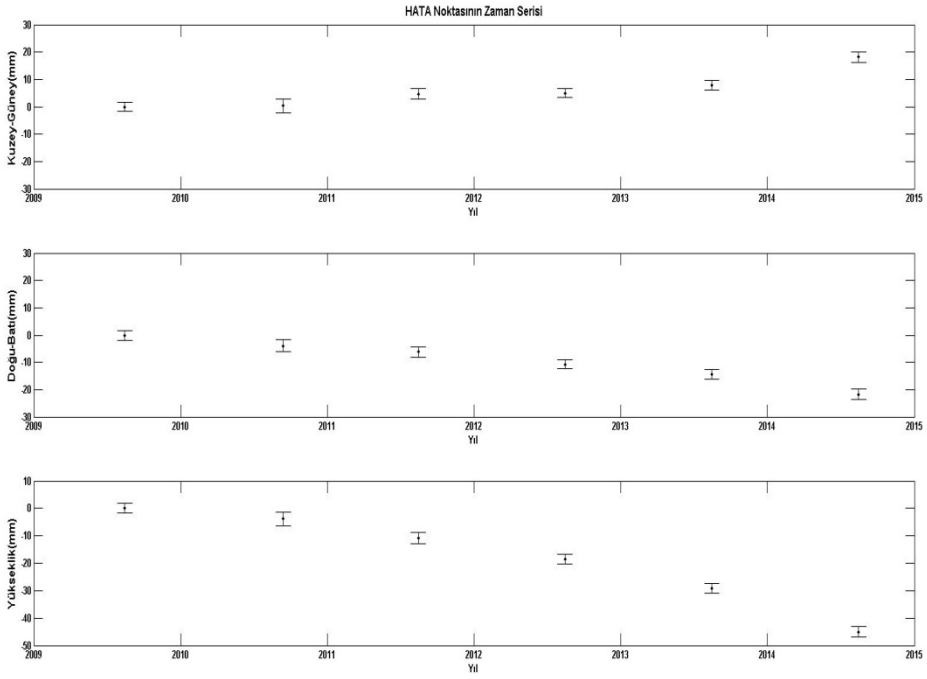
Şekil A.4 EKIZ noktasının zaman serisi



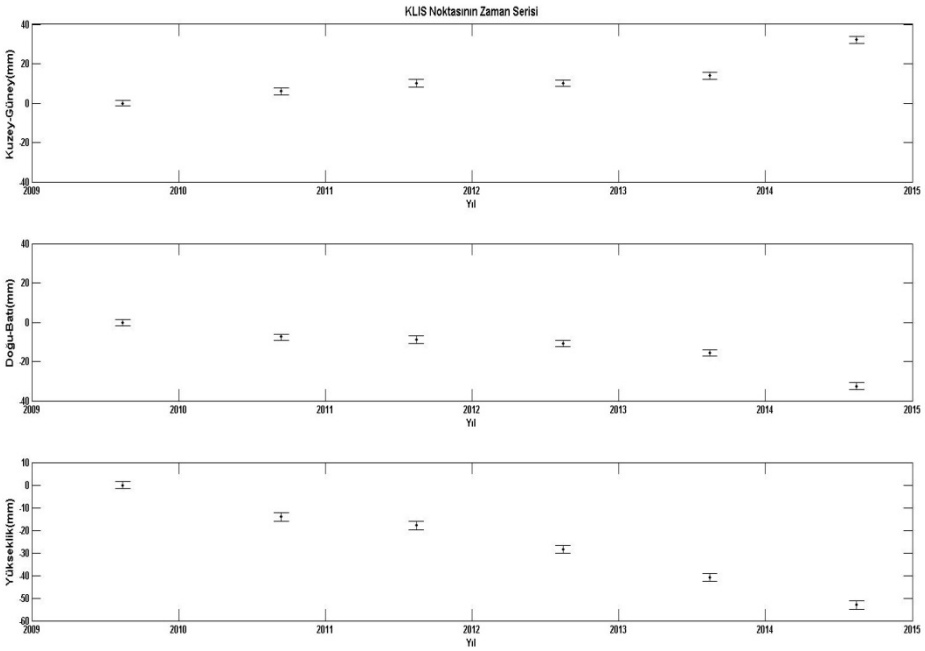
Şekil A.5 FEEK noktasının zaman serisi



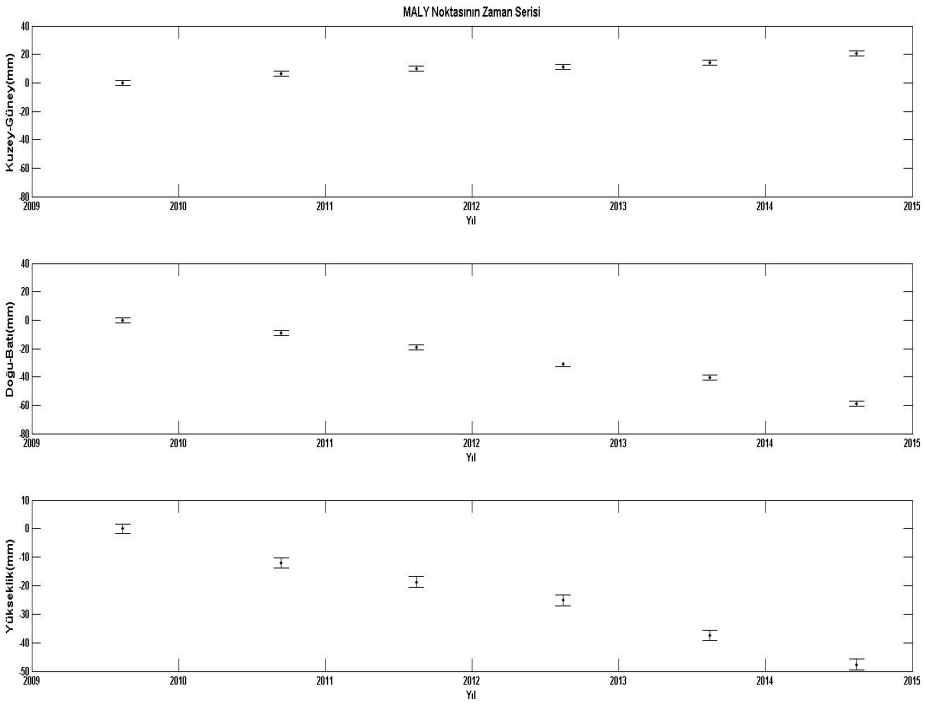
Şekil A.6 GURU noktasının zaman serisi



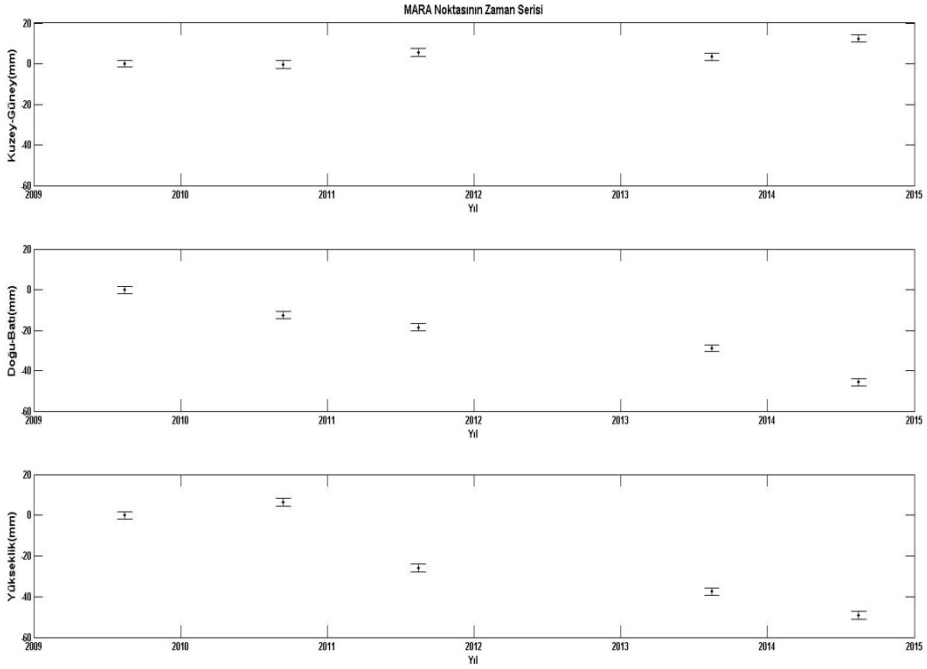
Şekil A.7 HATA noktasının zaman serisi



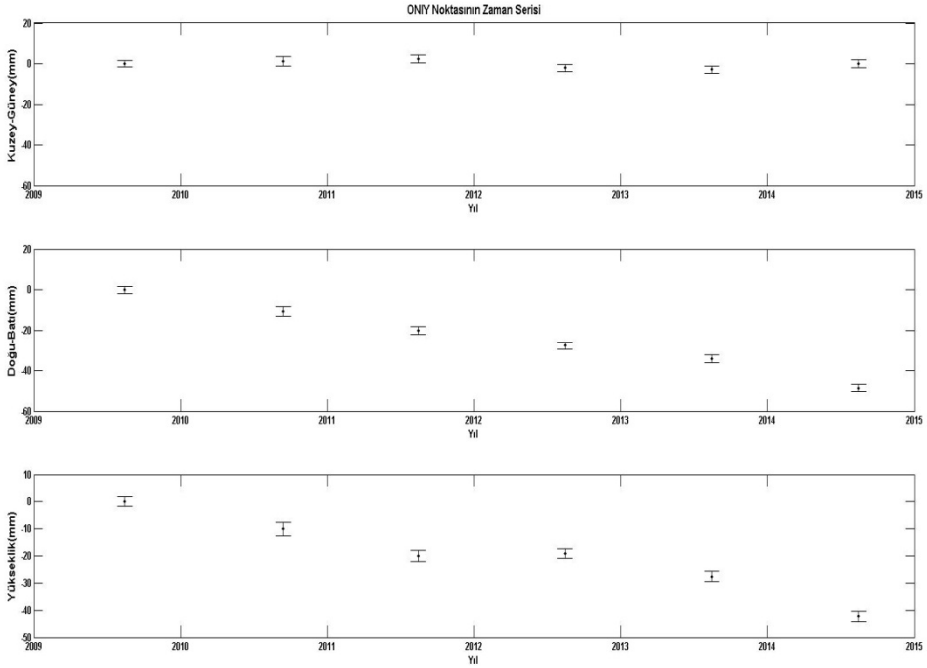
Şekil A.8 KLIS noktasının zaman serisi



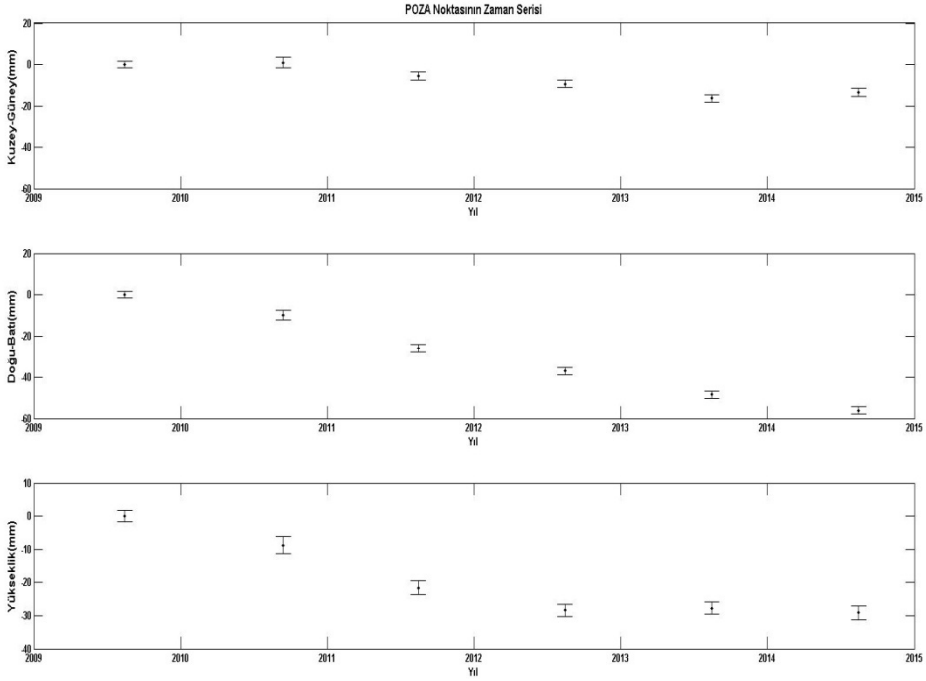
Şekil A.9 MALY noktasının zaman serisi



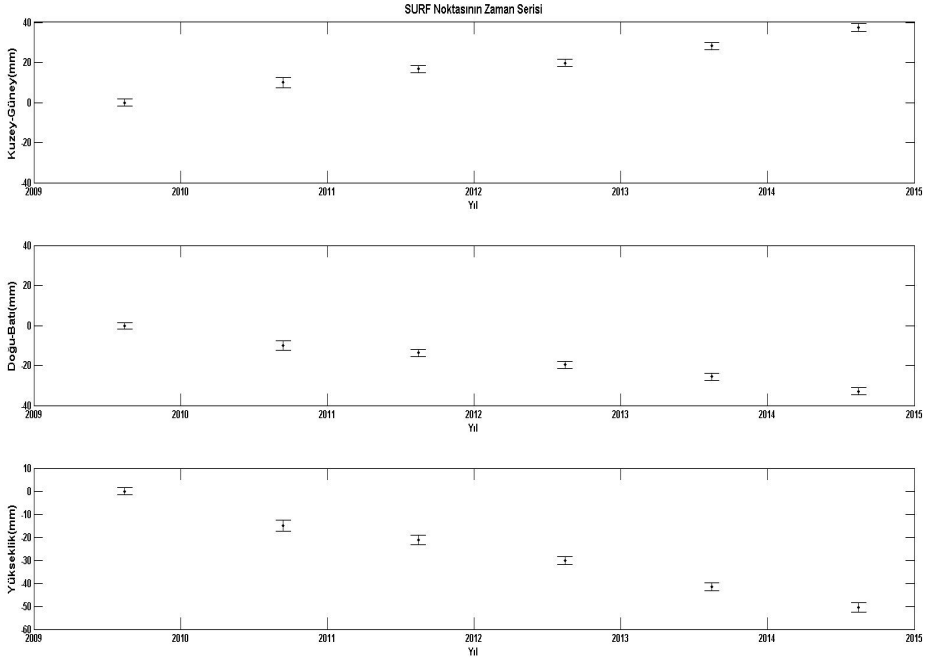
Şekil A.10 MARA noktasının zaman serisi



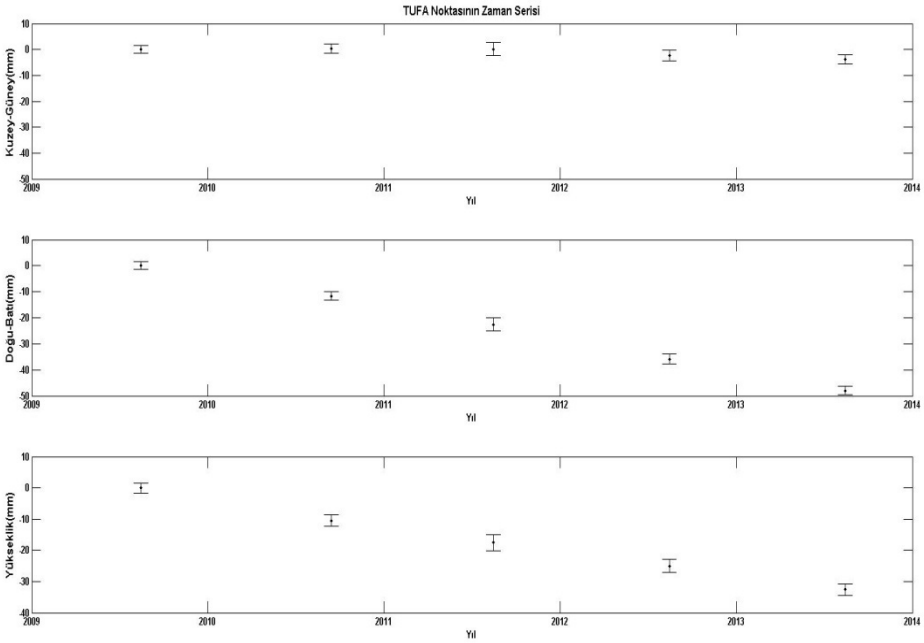
Şekil A.11 ONIY noktasının zaman serisi



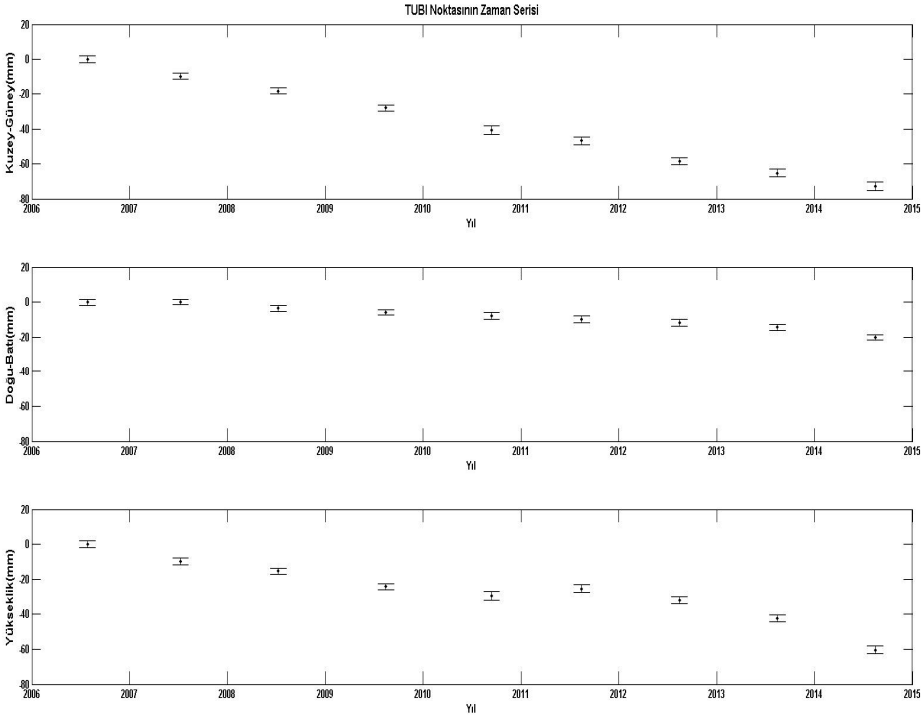
Şekil A.12 POZA noktasının zaman serisi



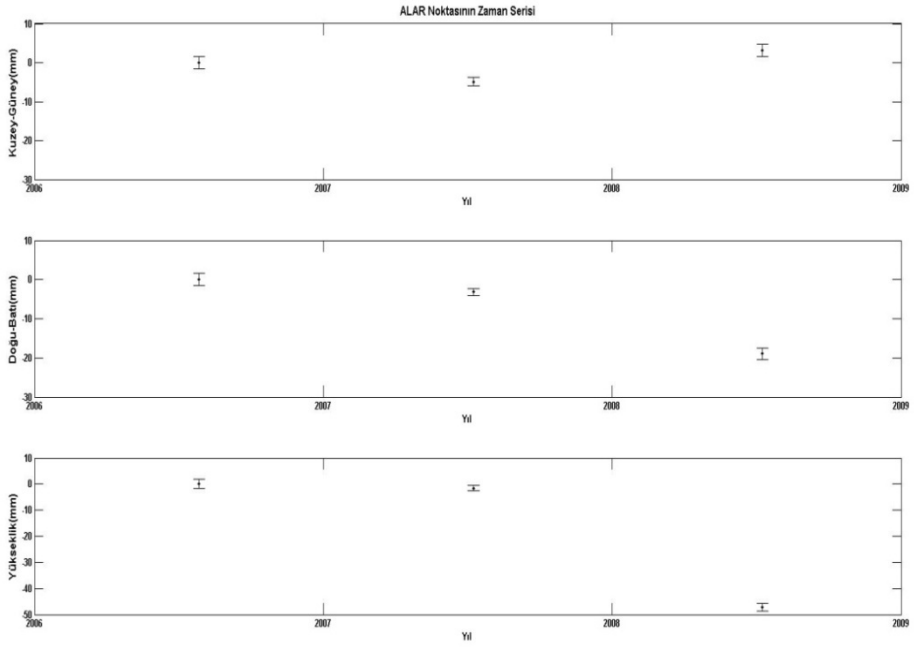
Şekil A.13 SURF noktasının zaman serisi



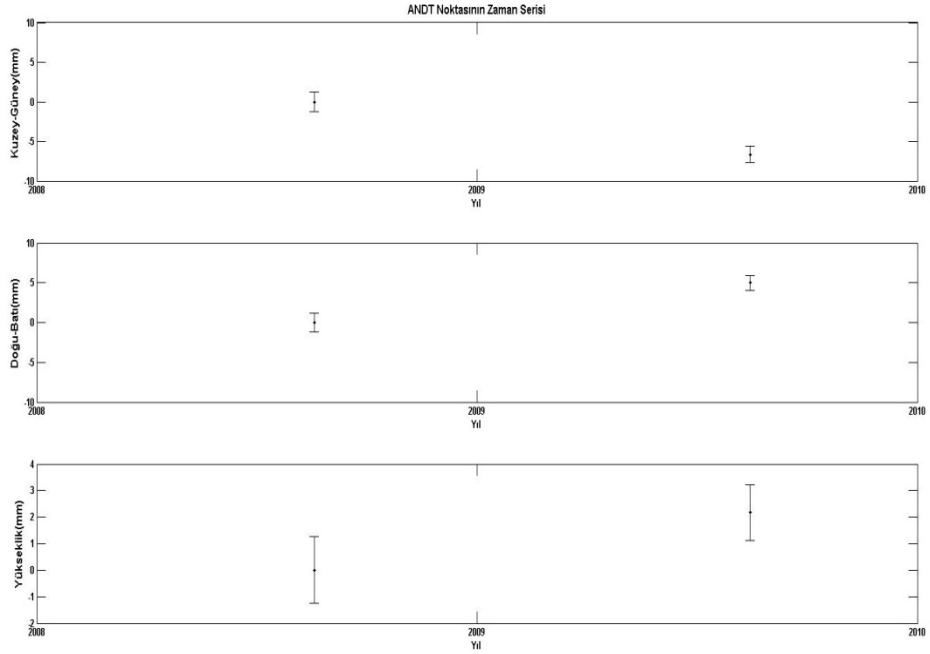
Şekil A.14 TUFA noktasının zaman serisi



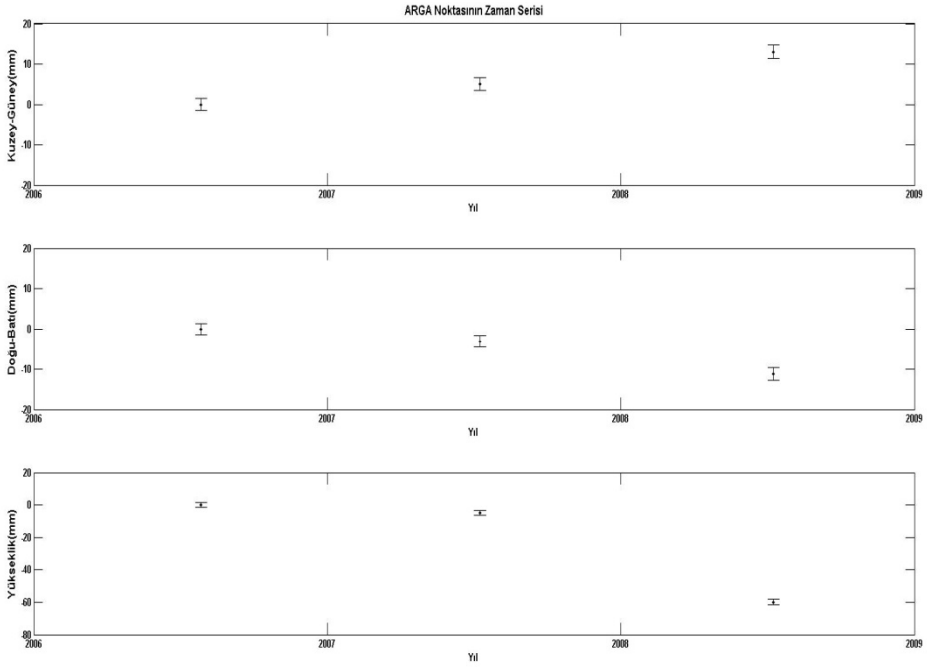
Şekil A.15 TUBI noktasının zaman serisi



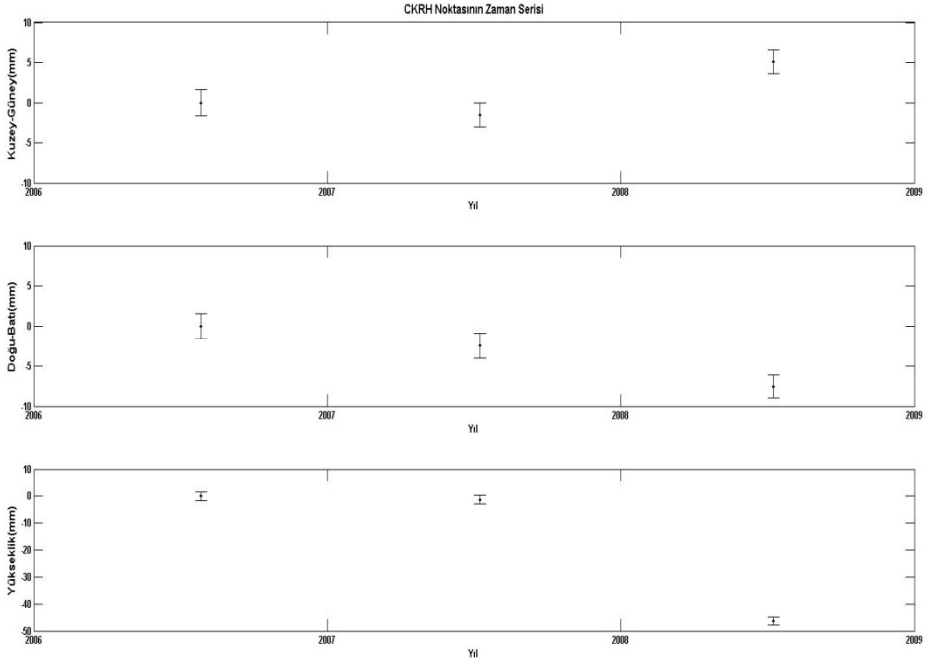
Şekil A.16 ALAR noktasının zaman serisi



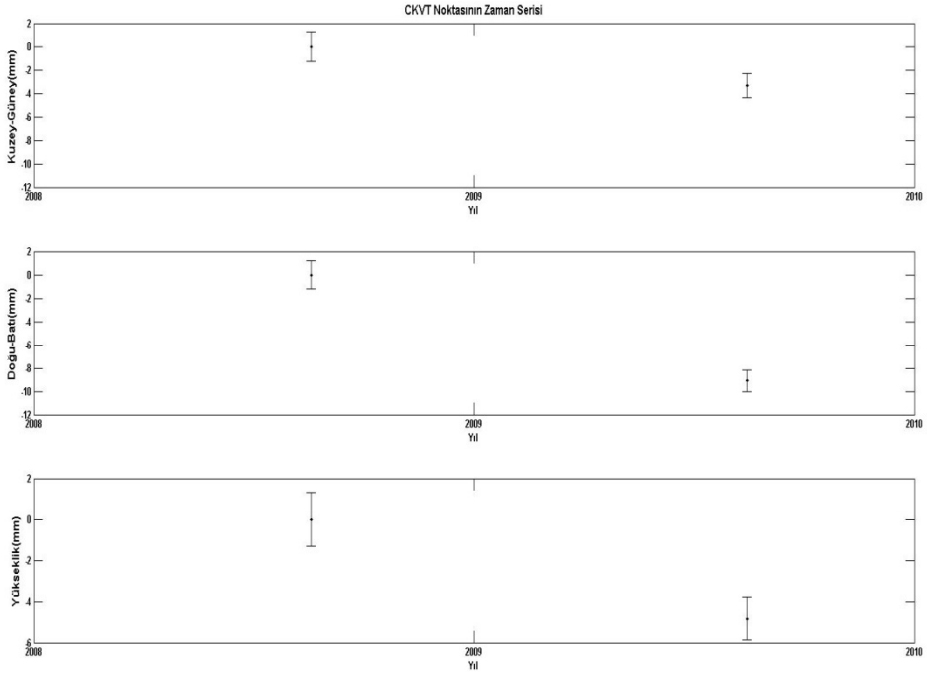
Şekil A.17 ANDT noktasının zaman serisi



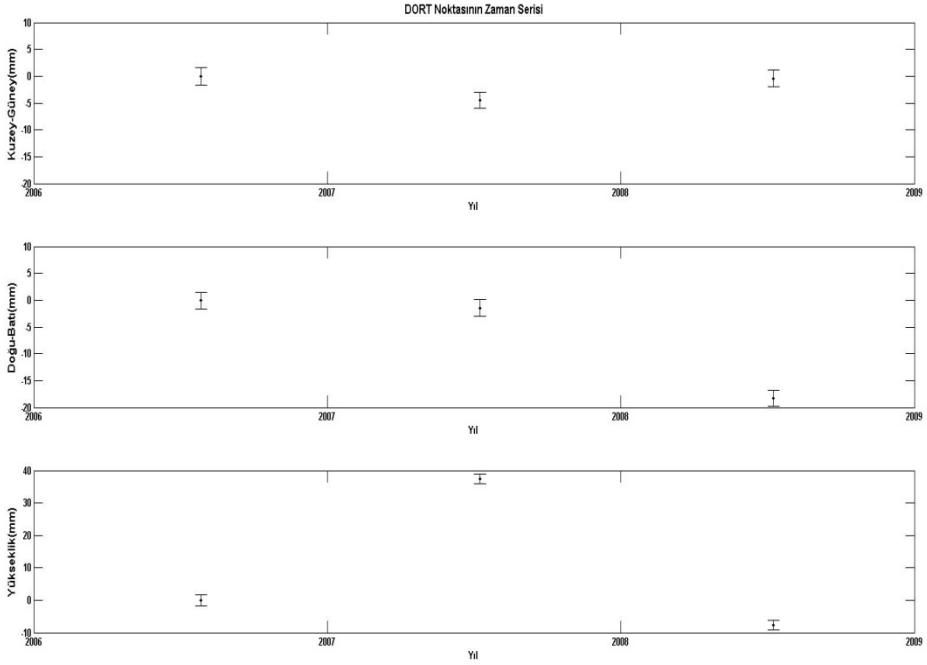
Şekil A.18 ARGA noktasının zaman serisi



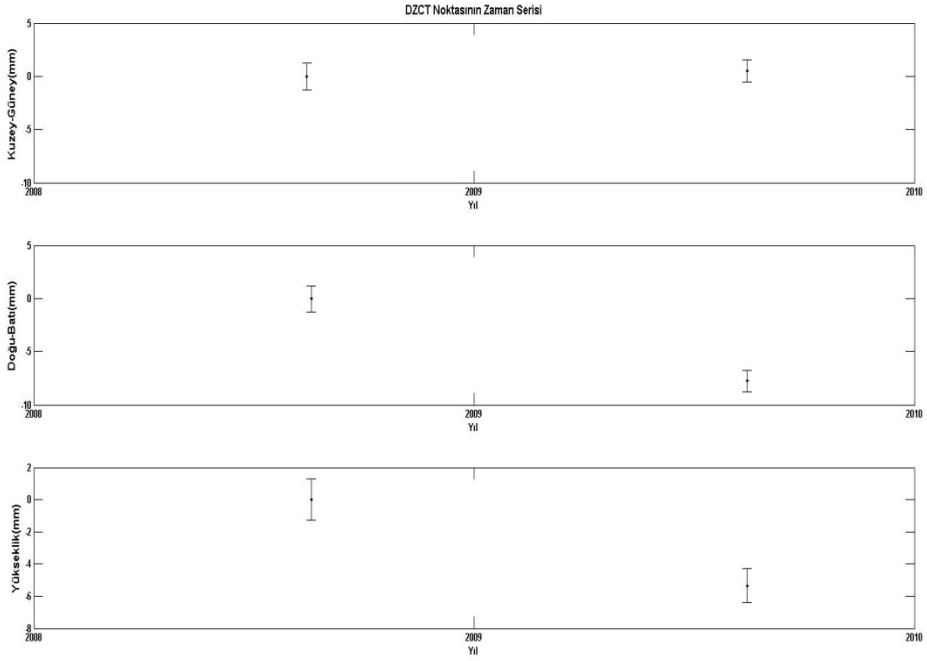
Şekil A.19 CKRH noktasının zaman serisi



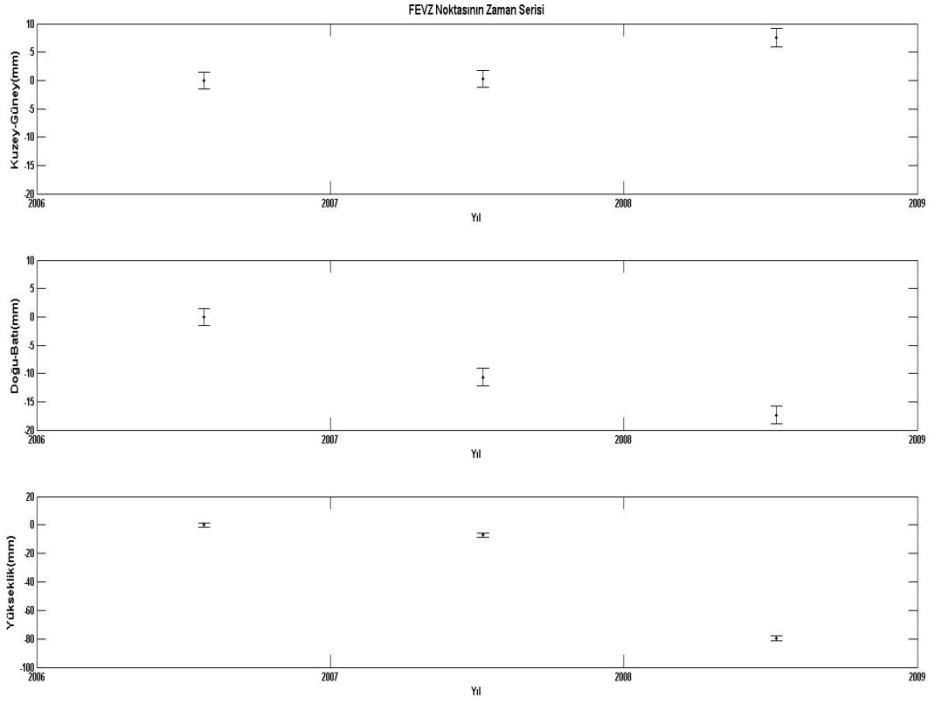
Şekil A.20 CKVT noktasının zaman serisi



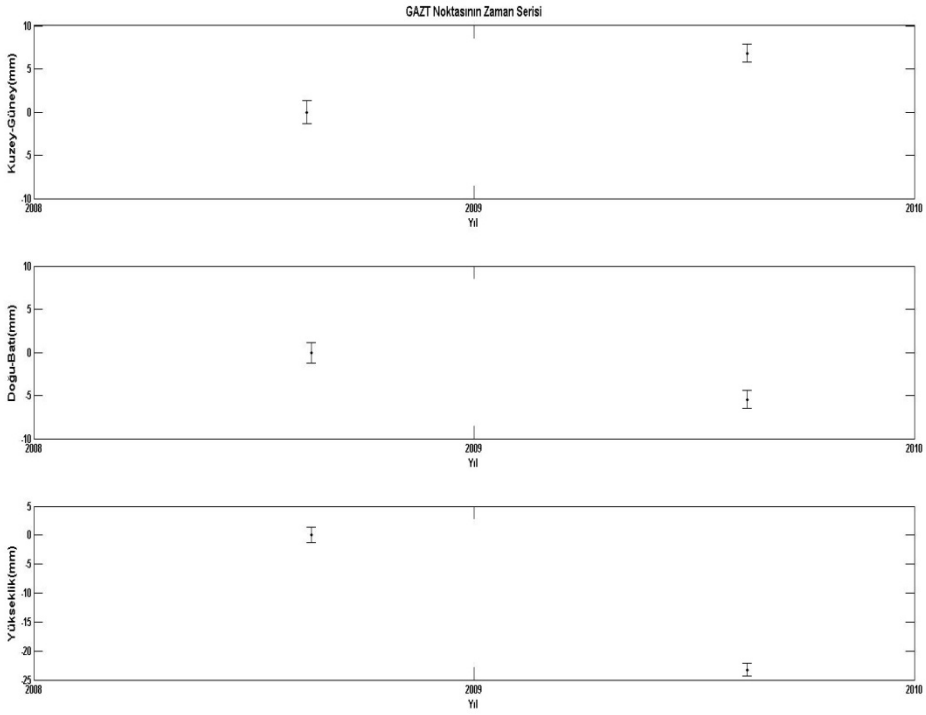
Şekil A.21 DORT noktasının zaman serisi



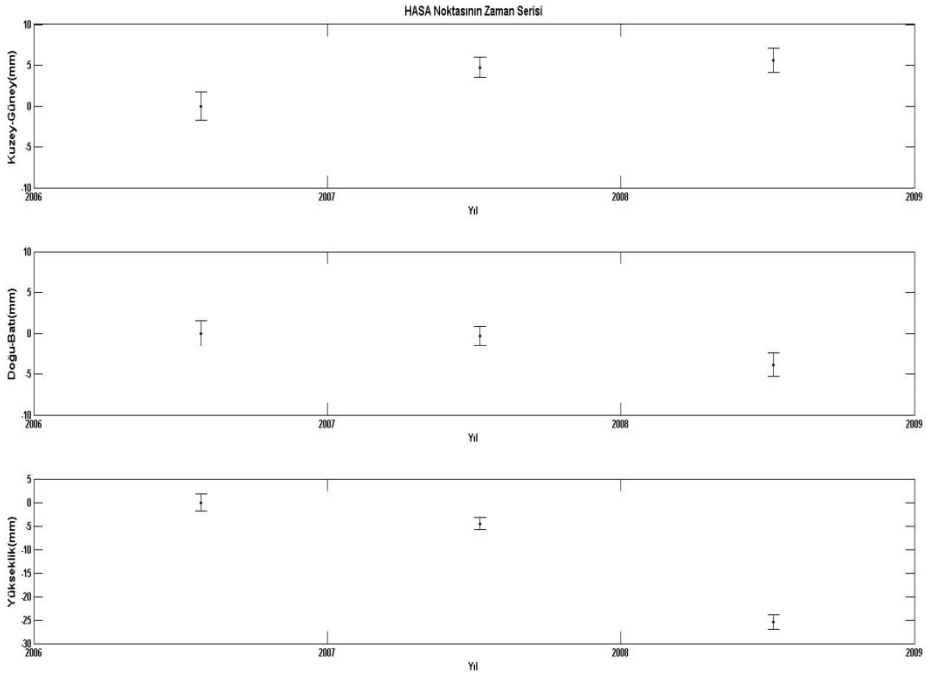
Şekil A.22 DZCT noktasının zaman serisi



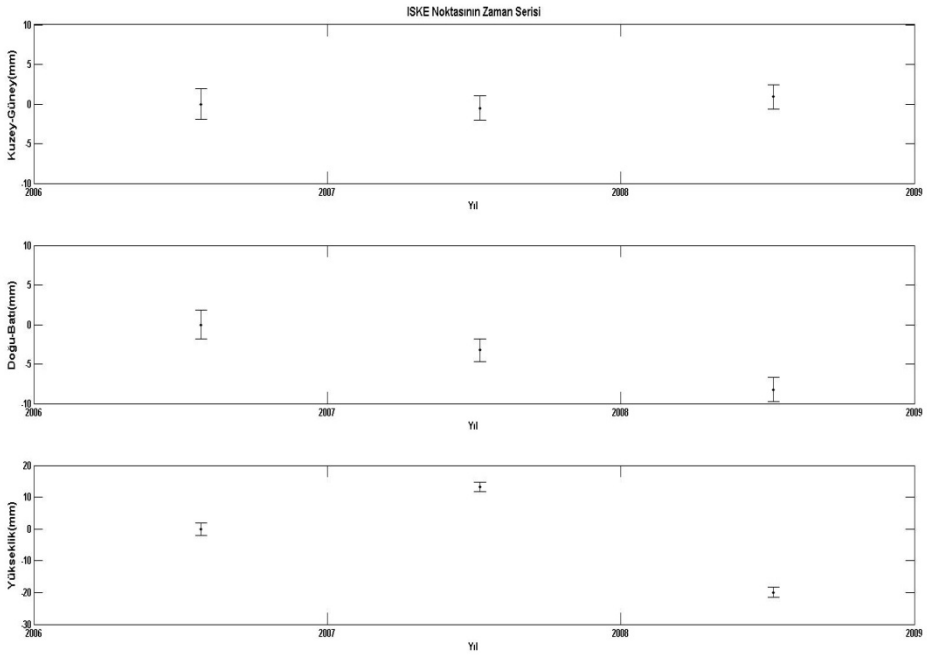
Şekil A.23 FEVZ noktasının zaman serisi



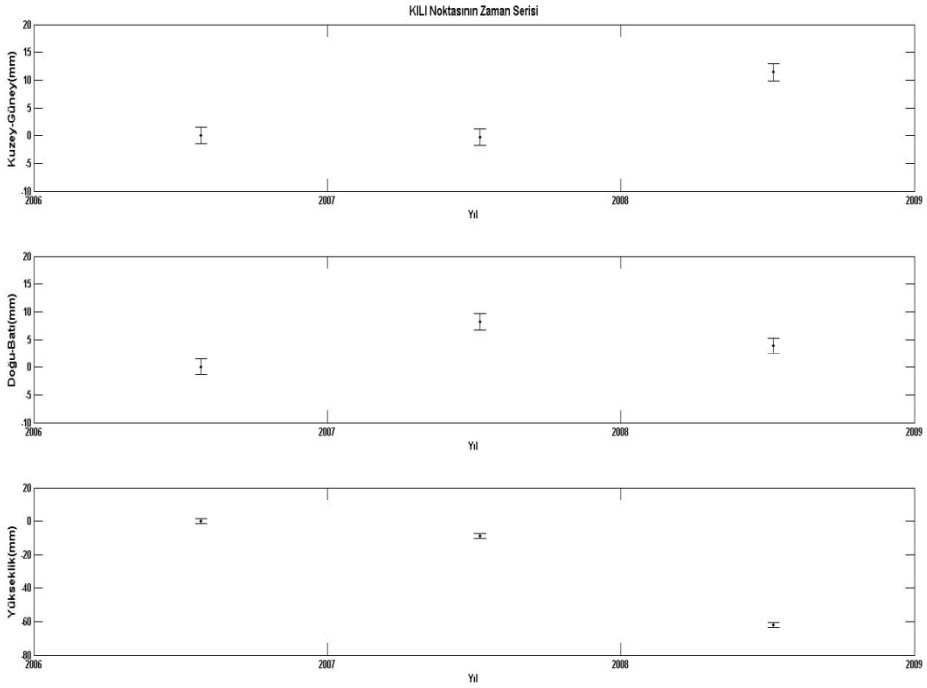
Şekil A.24 GAZT noktasının zaman serisi



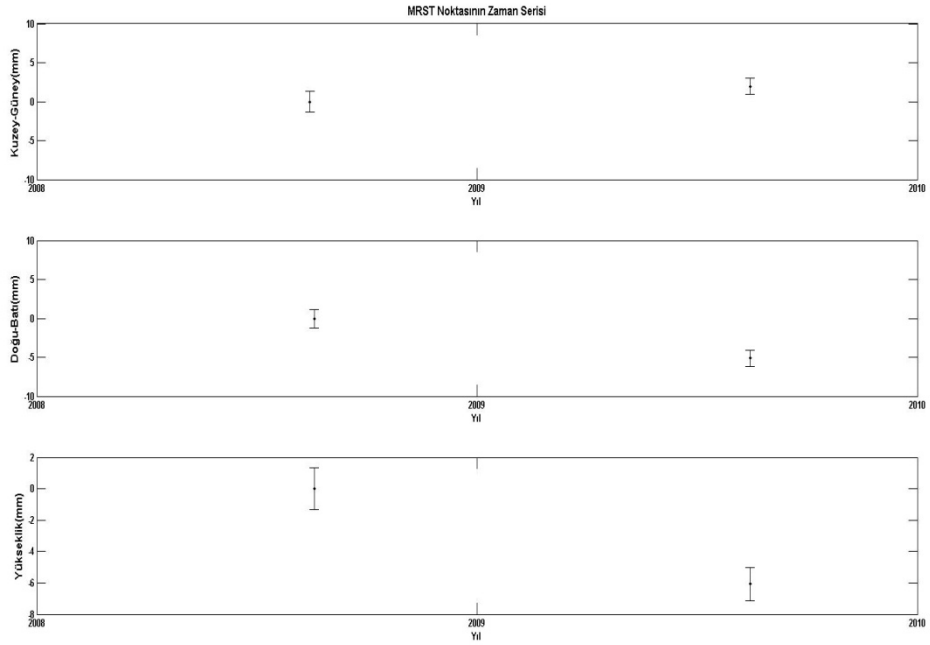
Şekil A.25 HASA noktasının zaman serisi



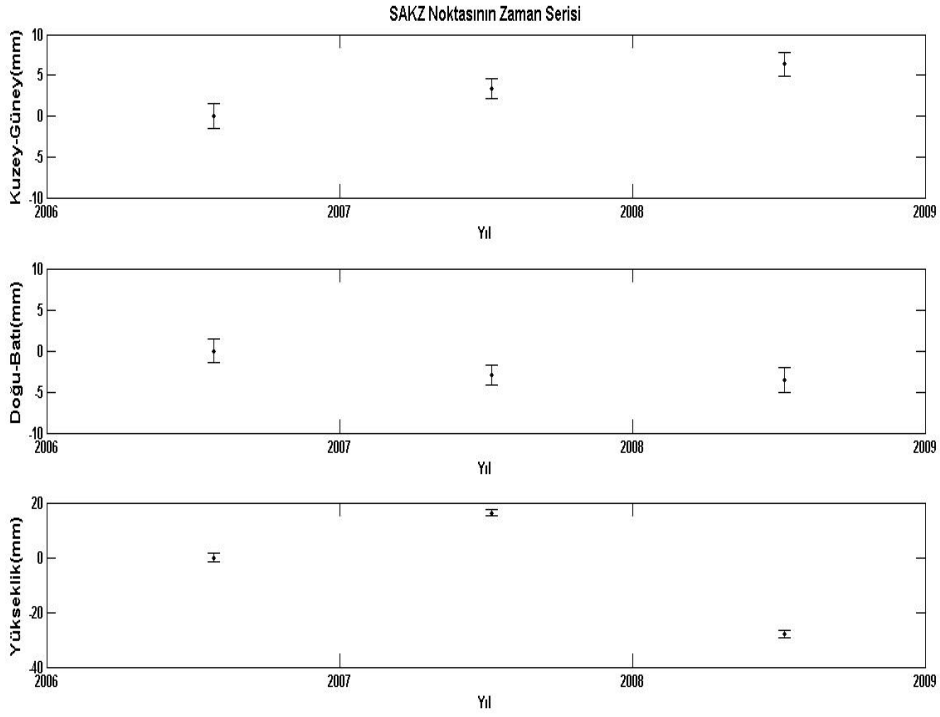
Şekil A.26 ISKE noktasının zaman serisi



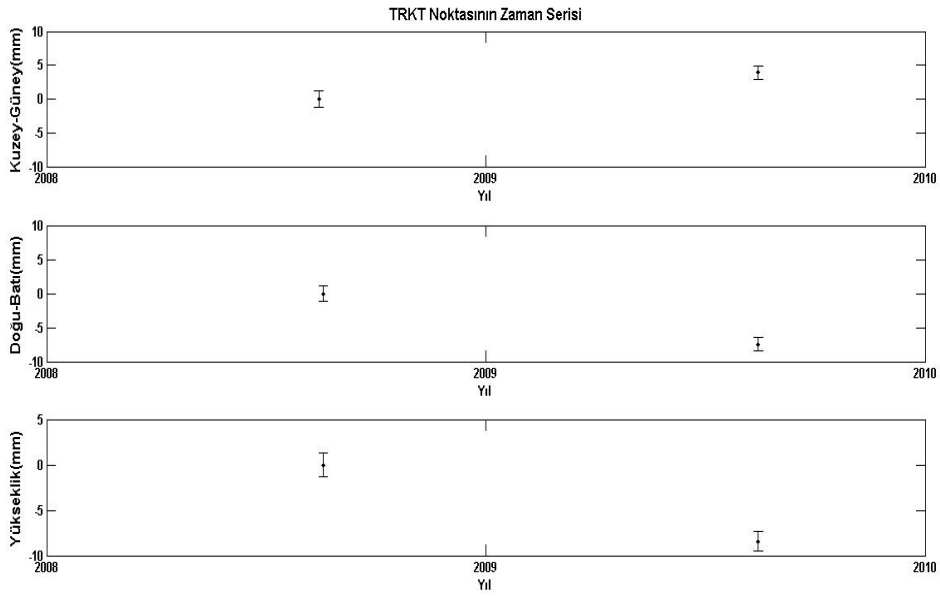
Şekil A.27 KILI noktasının zaman serisi



Şekil A.28 MRST noktasının zaman serisi



Şekil A.29 SAKZ noktasının zaman serisi



Şekil A.30 TRKT noktasının zaman serisi

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gizem GÜL TANRIVERDİ

Doğum Tarihi ve Yeri : 07.12.1987 - Elazığ

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : ggtanriverdi@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Harita Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	Balak Gazi Süper Lisesi	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2011-2013	İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü /BİTLİS	Harita Mühendisi
2011-2013	Kadastro Müdürlüğü /MALATYA	Harita Mühendisi