

**ALAŞEHİR (MANİSA) BÖLGESİNDEKİ GERİNİM ALANLARIN JEODEZİK
VERİLERDEN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali İhsan UMUTLU

Danışman

Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2019

Bu tez çalışması 17.FENBİL.34 numaralı proje ile AKU BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALAŞEHİR (MANİSA) BÖLGESİNDEKİ GERİNİM ALANLARIN
JEODEZİK VERİLERDEN BELİRLENMESİ

Ali İhsan UMUTLU

Danışman
Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Ali İhsan UMUTLU tarafından hazırlanan "ALAŞEHİR (MANİSA) BÖLGESİNDEKİ GERİNİM ALANLARIN JEODEZİK VERİLERDEN BELİRLENMESİ" adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 21/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. İbrahim TIRYAKIOĞLU

İmza

Başkan : Doç. Dr. Fatih POYRAZ
Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Tamer BAYBURA
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. İbrahim TIRYAKIOĞLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

21/06/2019


İmza
Arifhsan UMUTLU

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**ALAŞEHİR (MANİSA) BÖLGESİNDEKİ GERİNİM ALANLARIN JEODEZİK
VERİLERDEN BELİRLENMESİ**

Ali İhsan UMUTLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Batı Anadolu, geçmişten bugüne kadar birçok şiddetli depremten etkilenmiştir. Bu şiddetli depremler Büyük Menderes, Gediz ve Denizli/Pamukkale grabenleri çevresinde yoğunluklu olarak görülmüştür. Depremlerin menfi tesirlerini azaltmak veya minimuma indirebilmek için, depremlere neden olan levha hareketlerinin incelenmesi gereklidir. Manisa ili Sarıgöl ve Alaşehir ilçe merkezleri ve çevresi deprem riski olan bölgelerden birisidir. Bugüne kadar, Gediz Grabenin doğu kesiminde ayrıntılı olarak jeodezik çalışmalar gerçekleştirilmemiştir. Çalışma bölgesinde tektonik hareketler sonucu deformasyon etkisinde kalan bölge, GNSS yöntemi ile geçmiş yılların verileri kullanılarak ve iki yıl (2017 ve 2018 yıllarında) takip edilmiştir. GNSS ölçülerinin değerlendirilmesi aşamasında GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılmıştır. GNSS sonuçlarından elde edilen yatay hız bileşenleri 18 mm/yıl ile 29 mm/yıl arasında, düşey hızlar ise -15 mm/yıl ile -108 mm/yıl arasında hesaplanmıştır. GNSS verilerinin değerlendirilmesi sonucu bölge tektoniğine uygun sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan gerinim analizinde bölgede G-K rejiminin baskın olduğu görülmüştür. Gerinim analiz sonuçlarından elde edilen Jeodezik Deprem Tekrarlama Haritaları incelendiğinde 6 dan büyük depremlerin tekrarlama periyodu 39-100 yıl arasında hesaplanmıştır.

2019, ix + 44 sayfa

Anahtar Kelimeler: Deprem, Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS), Alaşehir Fayı, GAMIT/GLOBK

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

**MONITORING OF TECTONICS MOVEMENTS OF GEDİZ FAULT
WITH GNSS OBSERVATIONS**

Ali İhsan UMUTLU

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Western Anatolia has been affected by many severe earthquakes from past to present. These severe earthquakes have occurred intensively around Büyük Menderes, Gediz and Denizli / Pamukkale grabens. In order to reduce or minimize the negative effects of earthquakes, it is necessary to examine the plate movements causing earthquakes. Sarıgöl and Alaşehir district centers in Manisa province are ones of the regions with earthquake risks. To date, no detailed geodetic studies have been conducted in the eastern part of the Gediz Graben. The region under the effect of deformation as a result of tectonic movements in the study area was followed by using the GNSS data of previous years and two years (in 2017 and 2018). GAMIT/GLOBK software was used to evaluate GNSS measurements. The horizontal velocity components obtained from the GNSS results were calculated between 18 mm/yr and 29 mm/yr, and the vertical velocities components were calculated between -15 mm / year and -108 mm/year. As a result of the evaluation of GNSS data, suitable results were obtained for the region tectonics. Strain analysis showed that G-K regime was dominant in the region. When the Geodetic Earthquake Repetition Maps obtained from the strain analysis results were examined, the repetition period of earthquakes greater than 6 was calculated between 39-100 years.

2019, ix + 44 pages

Keywords: Earthquake, Global Navigation Satellite Systems (GNSS), Alaşehir Fault, GAMIT/GLOBK

TEŞEKKÜR

Kendisini yüksek lisans eğitimimde tanıma fırsatı bulduğum, teorik ve pratik bilgisi, çalışma disiplini, vizyonu, azmi, özverisi, fikir üretme yeteneği, öğrenme ve öğretme yönüyle bana kılavuz olan sayın danışmanım Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU ‘na, lisans ve yüksek lisans eğitimlerim sırasında destek ve yardımlarını esirgemeyen, üzerimde emeği olan değerli hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Sağladığı destekler için Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi’ne (Proje: 17.FEN.BİL.34) teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışmasında en az benim kadar emeği ve özverisi olan sevgili yol arkadaşım Dicle’ye, yüksek lisans eğitimim sırasında bana her zaman destek veren başarılı olacağıma beni inandıran annem Rabia’ya teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Ali İhsan UMUTLU
AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. GNSS VE TEKTONİK HAREKETLERİN GNSS ÖLÇÜLERİ İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ	3
2.1 GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi ve Kullanılan Yazılımlar	5
3. FAYLARIN KİNEMATİK YAPILARI VE ALAŞEHİR FAY ZONUNUN TEKTONİK YAPISI	7
3.1 Deprem Türleri	7
3.2 Fay ve Faylanma	7
3.3 Deprem Odak Mekanizması ve Deprem Çizimleri	10
3.4 Gediz Grabeni Tektoniği	13
3.4.1 Emcelli Fayı	14
3.4.2 Selimiye Fayı	14
3.4.3 Sarıgöl Fayı	15
3.4.4 Tırazlar Fayı	16
3.4.5 Çaköy Fayı	16
4. GERİNİM ANALİZİ VE JEODEZİK DEPREM TEKRARLAMA PERİYOTLARI HESABI	17
4.1 Gerilme Analizi	17
4.2 Gerinim Analizi	19
4.3 Gerinim Verilerinden Jeodezik Deprem Tekrarlama Periyotlarının Hesaplanması	19
5. UYGULAMA	24
5.1 Çalışma Alanın Tanıtılması	24
5.2 Kurulan GNSS Ağı ve Ölçüleri	24
5.3 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi ve Nokta Hızlarının Hesaplanması	27

5.3.1 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi	28
5.3.1.1 Verilerin Hazırlanma Aşaması.....	28
5.3.1.2 Değerlendirme Aşaması.....	30
5.3.1.3 Kontrol ve Sonuç Aşaması	30
5.3.2 GAMIT Sonuçlarının GLOBK'de Değerlendirilmesi	31
5.3.3 Gerinim Analizi ve Jeodezik Deprem Tekrarlama Haritaları.....	34
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	36
7. KAYNAKLAR.....	38
ÖZGEÇMİŞ.....	44



KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
GAMİT	GPS Analysis at MIT
GLOBK	Global Kalman Filtre
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning Systems
IGS	International GNSS Service
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
LTT	Levha Tektoniği Teorisi
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NRMS	Normalized Root Mean Square
PRN	Pseudo Random Numbers
RINEX	Receiver Independent Exchange
SLR	Satellite Long Range
TUSAGA	Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 GPS istasyonunda güvenilir ölçüm için gerekli uygu sayısı (Aydan 2000).....	4
Şekil 2. 2 GPS alıcısının üç uyduya bağlanması durumu.....	4
Şekil 3. 1 Fay çeşitleri (Dönmez 2018).	8
Şekil 3. 2 Normal ve ters faylanma (İnt.Kyn.2).	8
Şekil 3. 3 Doğrultu atımlı fay (İnt.Kyn.2).	9
Şekil 3. 4 Normal faylanma ters faylanma (İnt.Kyn.2)	9
Şekil 3. 5 Depremde oluşan dalgalar (Dönmez 2018).....	10
Şekil 3. 6 P dalgası yayılımı (İnt.Kyn.3).	11
Şekil 3. 7 S dalgası yayılımı (İnt.Kyn.3).	11
Şekil 3. 8 Elastik kürenin elipsoide dönmesi (İnt.Kyn.3).	12
Şekil 3. 9 Odak küresi üzerindeki hareketler ve yönleri (İnt.Kyn.3).	12
Şekil 3. 10 İnceleme alanının tektonik haritası (Gül 2016).....	14
Şekil 4. 1 Bir cisme etkiyen dış F kuvveti.	17
Şekil 4. 2 a) Çekme b) Sıkışma Gerilmesi	18
Şekil 5. 1 GAMIT klasör yapısı.	30
Şekil 5. 2 TRAZ ve AKCL noktalarının yıllık tekrarlılık grafikleri.	32
Şekil 5. 3 Avrasya sabit hız alanı.	33
Şekil 5. 4 Gerinim alanı.....	34
Şekil 5. 5 Jeodezik deprem tekrarlama haritaları ($M>6$).....	35
Şekil 5. 6 Jeodezik deprem tekrarlama haritaları. ($M>7$).....	35

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 5. 1 GNSS ağının kampanya tarihleri.	25
Çizelge 5. 2 GNSS ağının ölçü noktaları.	26
Çizelge 5. 3 GNSS ölçü zaman çizelgesi.	27
Çizelge 5. 4 GNSS ağının ölçü noktaları.	29



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3. 1 Gediz Grabeni Alaşehir ilçesi etrafındaki fay hatları (Emre <i>et al.</i> 2011).	13
Resim 3. 2 İnceleme alanının jeoloji haritası (Gül 2016).	16
Resim 5. 1 Fay genel görünüm.....	24
Resim 5. 2 Kurulan GNSS ağı.....	25
Resim 5. 3 BTLL(A), BHDR(B), TRAZ(C), CRTK(D) noktaları.....	28
Resim 5. 4 Örnek q dosyasındaki postfit nrms değeri.....	31



1. GİRİŞ

Batı Anadolu’da Büyük Menderes, Gediz ve Denizli/Pamukkale grabeni çevresinde yoğunlaşan birçok deprem tarih boyunca Batı Anadolu’da etkisini göstermiştir. Batı Anadolu’nun en önemli yapılarından biri de K-G genişlemeli Alaşehir Grabenidir. 140 km uzunluğunda olan bu grabenin Batı tarafı D-B gidişli, Doğu tarafı ise KB-GB yönelimlidir. “Gediz Grabeni” olarak bilinir.

Bugüne kadar, Gediz Grabenin doğu kesiminde ayrıntılı olarak jeodezik çalışmalar gerçekleştirilmemiştir. Bu bölgenin sismik aktivitesi ve yüzeysel deformasyonların artarak devam ettiği için hassas sonuçlar elde edilebilen GNSS tekniği yöntemine ihtiyaç vardır. GNSS tekniği ile bölgenin bugüne kadar yapılmayan ve kabuksal deformasyon derecesini ortaya koymayı amaçlayan GNSS çalışmaları büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmalar iki periyot boyunca GNSS ölçümleri alınarak gerçekleştirilmiştir.

GNSS ölçülerinin değerlendirilmesi aşamasında GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılmıştır. GAMIT/GLOBK yazılımının kullanımı ile doğru sonuçları elde edebilmek için değerlendirme aşamasında yapılması gereken çalışmalar detaylı olarak açıklanmıştır. Yerkabuğu üzerindeki levha hareketlerinin belirlenmesi ile ilgili yapılan güncel makale ve çalışmalarda meslektaşlarımızın, GNSS teknolojisini kullanarak jeodezik ağ kurma ve bu kurulan ağın hassasiyet, maliyet, zaman ve tekrarlılık açısından optimum işletilmesindeki, bilgi ve tecrübelerinin, konuya aktif katkı sağladığı dikkat çeken bir husus olarak kendini göstermektedir.

Levha hareketlerinin belirlenmesi için jeoloji, jeodezi, inşaat, jeofizik ve maden mühendislikleri gibi mühendislik dallarında çalışan insanlar tarafından çalışmalar yapılmaktadır. Günümüzde, levha hareketleri araştırma yaptığımız levha üzerinde tesis ettiğimiz sabit noktaların düzenli periyotlar halinde ölçülmesiyle tespiti yapılabilmektedir. Bu ölçümler bize plaka içindeki gerilme değerleri, basınç değerleri gibi değerleri verebilmektedir. Bu yüzden GPS ölçümlerimizin yüksek doğrulukla yapılması gereklidir. Bu araştırmalarla depremlerin meydana gelebilme olasılığını tahmin etme açısından önemlidir.

Bu tez Gediz Grabenin doğu kesiminde yeralan Alaşehir bölgesinde kabuk deformasyonları ve blok kinematiki ayrıca bölgenin depremselliğini araştırmak üzere yapılmıştır. Bu tezin sonuç çıktıları, farklı disiplinlerdeki yerbilimcilerin yapacağı birçok araştırmada önemli bir veri seti olarak kullanılacaktır. Ayrıca elde edilen GNSS hızları ile çalışılan bölgenin fay sistemlerinin hareket hızı belirlenmiştir. Bu hızlara bağlı olarak olası bir depremin ne zaman olacağı konusunda bilgi sahibi olunabilecek, depremin üreteceği şiddet ve zararlar ortaya konabilecektir.



2. GNSS VE TEKTONİK HAREKETLERİN GNSS ÖLÇÜLERİ İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ

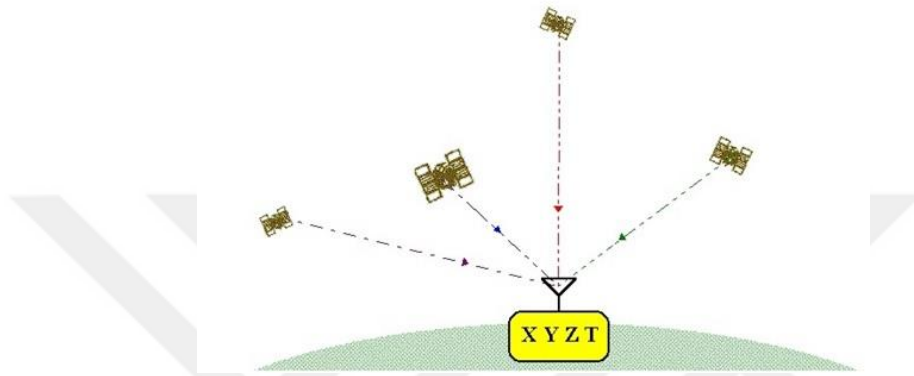
Günümüzde gelişmekte olan teknoloji ile birlikte doğa olayları geçmiş yıllara göre daha hassas bir biçimde tespit edilebilmektedir. Gelişen teknoloji ile beraber disiplinler arası etkileşime ve çalışmaya da olanak sağlamıştır. Depremler, deprem parametrelerinin tespiti, fay mekanizmaları, depreminin yer yüzeyinde ve altında yol açtığı etkileri gibi bir çok konuda araştırma yapan mühendislik dalları bu gelişmelerin başında gelmektedir. Amerika Birleşik Devletlerinin askeri amaçlı kullandığı KSS (Küresel Konumlandırma Sistemi) sistemlerinin sivil amaçlı olarak kullanılmaya başlamasıyla beraber jeodezi, arkeoloji, maden gibi farklı iş disiplinlerinde kendi amaçlarında uygulama alanı sağlamıştır.

GPS sistemi dünya yörüngesini sürekli olarak dolaşan uydulardan ve dünyadaki alıcı-kontrol sistemlerinden oluşmaktadır. GPS uyduları konum belirlemek amaçlı iki frekansa sahip olup, bunlar L1 ve L2 frekanslarıdır. Çift frekans gönderilmesinin nedeni ise, L1 frekansında oluşabilecek kesilme veya elektronik karıştırmaya maruz kalmasıdır. Böylelikle daha hassas ölçümler yapılabilmektedir. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisleri olarak bu sistemi daha çok sınırların ve yapıların belirlenmesinde kullanılmaktayız. Bu proje için tespitini yaptığımız çalışma sahasına GPS ağı tesisi yapıp yer küre üzerindeki yer değiştirme ve gerilme değerleri tespit edilmiştir.

GPS, uydulara dayalı olarak ilk konum belirleme sistemi olsa da günümüzde tek sistem değildir. Günümüzde Rusya'ya ait olan tamamlanamamış GLONASS, uydularının fırlatılmasına devam edilen Avrupa Birliğine ait GALILEO ve Çin Halk Cumhuriyetine ait BEIDOU konum belirleme sistemleri mevcuttur (Tiryakioğlu 2012, Dönmez 2018).

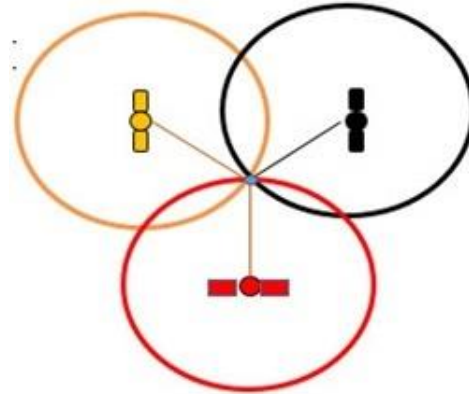
Mevcut olan bu konum belirleme sistemlerinden GPS, GLONASS ve GALILEO sistemleri birleştirilerek Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System, GNSS) adını almıştır. GNSS alıcıları diğer alıcılara göre büyük bir avantaja sahiptir. Bu sahip olduğu avantaj konum belirleme sistemlerinin çalışma prensipleri ile açıklanabilir. Herhangi bir konum belirleme sistemine ait alıcının üç bilinmeyenli

(enlem, boylam ve yükseklik) bir koordinatı hesapla çözmesi gerekir. Alıcı bu koordinat çözümünü de, kendisi ile bağlandığı uydu arasındaki mesafeyi belirleyerek yapar. Yani Şekil 2.1 de görüldüğü gibi alıcı kendisi ile bağlandığı uydu arasındaki mesafeyi belirlediğin de, uyduyu merkez olarak alan bir dairenin yarıçapını da belirlemiş olur (Dönmez 2018).



Şekil 2. 1 GPS istasyonunda güvenilir ölçüm için gerekli uydu sayısı (Aydan 2000).

Bu sebeple şekil 2.2 de görüldüğü gibi alıcının bulunduğu enlem ve boylamı belirleyebilmesi için en az üç uyduya bağlanabilmesi gerekir. Eğer enlem ve boylama ek olarak yükseklikte bulunacaksa bağlanılabilen uydu sayısı en az dört olmalıdır. Bu sebeple alıcılar en az dört uyduya bağlandıktan sonra koordinat çözümlemesi yapmaya başlarlar. Bağlanılan uydu sayısı ne kadar artarsa alıcının elde ettiği konumun hassaslığı da o oranda artar (Aktuğ ve Kılıçoğlu 2006). GNSS alıcısının diğer alıcılara göre en büyük avantajı bağlanabileceği uydu sayısının diğer sistemlerinkinden daha fazla olmasıdır (Dönmez 2018).



Şekil 2. 2 GPS alıcısının üç uyduya bağlanması durumu.

GNSS alıcısının konum belirlemesi matematiksel olarak basit olsa da gerçekte durum bu kadar basit değildir. Alıcı konum belirlemek için iki gözlem yapar. Bunlardan biri kod ölçümü diğeri ise taşıyıcı dalga faz ölçümüdür (Dönmez 2018).

2.1 GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi ve Kullanılan Yazılımlar

GNSS verilerinin değerlendirilmesi dört ana başlık altında incelenebilir. Bunlar sırayla; verilerin değerlendirmeye hazır hale getirilmesi, ön değerlendirme, parametre kestirimleri ve sonuçların elde edilmesidir. Verilerin değerlendirmeye hazır hale tirilmesi aşamasında arazide farklı alıcılar yardımıyla elde edilmiş olan ham verilerin alıcıdan bağımsız formata dönüştürülmesi (RINEX: The Receiver Independent Exchange Format) gerekmektedir. Bu dönüşüm işlemi hazır programlar yardımı ile kolaylıkla yapılabilmektedir. Ham verileri RINEX formatında dönüştürdükten sonra GNSS verilerinin değerlendirilmesinde en önemli kısımlardan biri olan faz kesikliklerinin belirlenmesi işlemi yapılmaktadır. Düzeltilebilir ve düzeltilemez olmak üzere iki çeşit faz kesikliği bulunmaktadır. Faz kesiklikleri belirlenip düzeltildikten sonra uydu saat hatalarını modellemek için uydu yörünge bilgileri gerekmektedir. Uydu yörünge bilgileri hem IGS web ortamından hem de uydulardan alınan navigasyon mesajları ile elde edilebilmektedir. Verilerin değerlendirmeye hazır hale getirilmesindeki son aşama ise fiziksel modellerin (troposferik, iyonosferik, rölativistik, güneş radyasyon, atmosferik sürüklenme, yeryüzü gelgit) belirlenmesi aşamasıdır (Tiryakioğlu *et al.* 2012, Xu 2007, Kahveci 2010). Bu fiziksel modeller kullanılacak GNSS değerlendirme programlarının (Gamit, Bernese vb.) kendi kütüphanelerinde bulunmaktadır. GNSS verilerinin ön değerlendirmesi aşamasında, alıcıya ait mutlak konum belirlenmektedir. Mutlak konum belirleme ise tek nokta konum belirleme ve hassas nokta konum belirleme olmak üzere iki yöntemle yapılmaktadır. Her iki yöntemde de istasyon koordinatları ve alıcı saat hataları belirlenmektedir (Seeber 2003).

GNSS verilerinin değerlendirilmesi için çok sayıda ticari ve bilimsel yazılım bulunmaktadır. Ticari yazılımlar GNSS alıcı üreticileri tarafından geliştirilmekte ve kendi müşterilerinin ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde tasarlanmaktadır. Ticari yazılımlarda kullanım kolaylığı ve arayüz gibi kullanıcılarına zaman kazandıracak etkenler bulunmasına rağmen yazılımın çalışma prensibi ve içerdiği algoritmaların kullanıcı

tarafından inceleme, kontrol ve düzenlemeye kapalı olması ve bilinmeyenlerle dolu olması nedeniyle gizemini korumaktadır. TRIMBLE TOTAL CONTROL PINNACLE, ASHTECH OFFICE SUITE, LEICA GEO OFFICE, THALES GNSS örnek ticari yazılımlardan bazılarıdır. Bu yazılımlar alıcı üreten firmaların ürettiği yazılım olmakla beraber GNSS seti ile verilmektedir. Her alıcı uydulardan gelen sinyalleri kendi formatlarında kayıt etmekle beraber, kendi yazılımlarıyla okunabilmektedir. Bilimsel yazılımlar daha hassas sonuçların ihtiyaç olduğu bilimsel amaçlı projelerle kullanılmaktadır. Günümüzde yapılan çok sayıda bilimsel çalışmada GAMIT/GLOBK, ve BERNESE gibi bilimsel yazılımlar tercih edilmektedir (İnal ve Salgın 2008). Ticari yazılımlarda kullanma kılavuzu takip edildiğinde önemli bir sorun ortaya çıkmamaktadır. Bilimsel yazılımlar ise daha karmaşık bir yapıya sahip olup kullanılan yazılım hakkında iyi bir eğitim ve bilgi gereklidir. Yazılım, değerlendirme aşamasının her aşamasında ilgili parametreleri değiştirebilme olanağı sağladığı için sonuçlarda farklılık gösterebilir. (Kahveci ve Yıldız 2012, İnal ve Salgın 2008)

3. FAYLARIN KİNEMATİK YAPILARI VE ALAŞEHİR FAY ZONUNUN TEKTONİK YAPISI

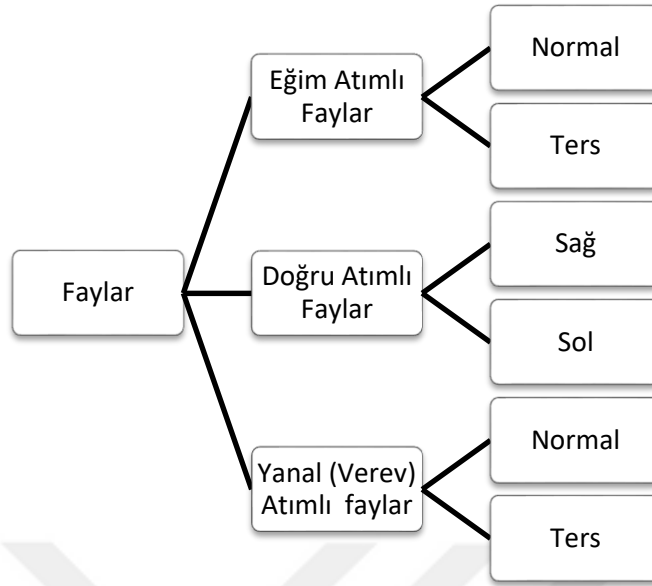
3.1 Deprem Türleri

Depremler, zaman içerisinde fay düzlemlerinin biriktirdiği potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşmesi sonucunda ortaya çıkan ani yer değiştirmelerdir. Kökenlerine göre depremler volkanik, çöküntü, tektonik deprem ve tsunami olarak 4'e ayrılır (Demirtaş ve Erkmen 2000, Karaman 2006).

Levha hareketleri sonuculevha sınırları yada içlerinde oluşan depremlerin tünü tektonik depremler olarak adlandırılır. Yer kabuğunun derinliklerinde mağma odalarında aşırı gaz basıncı sonucu mağmanın hareket etmesi sonucu oluşan depremlere de volkanik depremler denilmektedir. Çöküntü depremler ise, özellikle karstik yapılı alanlarda yerlatı mağara ve boşluklarının çökmesi sonucu oluşur. Deniz tabanındaki kırılma, deprem, volkanik patlama, deniz altı heyelanları gibi nedenlerle deniz tabanının sarsılması ile deniz yüzeyinde açığa çıkan uzun periyodlu büyük dalgalara da tsunami denilmektedir (Demirtaş ve Erkmen 2000, Karaman 2006).

3.2 Fay ve Faylanma

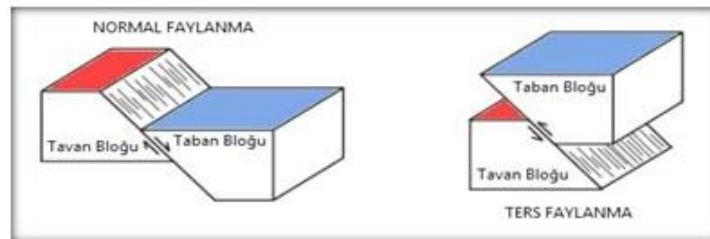
Yer kabuğunu oluşturan levhalar, başınc altında oldukları zaman farklı şekillerde kayarlar. Kırılmadan önce ve sonra oluşan kısımlar birbirlerine uyum gösteriyorsa bu kırılmalara rijid kırılmalar denir. Doğada çeşitli ölçeklerdeki öteme yüzeyleri fay olarak bilinir. Fayın blokları deprem sırasında enerjisini boşalatarak ani kayma gösterebilir ya da derece olarak kayabilir. Anı kırılmalar sonucu fayların karşılıklı bloklarında yer alan çizgiler yer değiştirir.



Şekil 3. 1 Fay çeşitleri (Dönmez 2018).

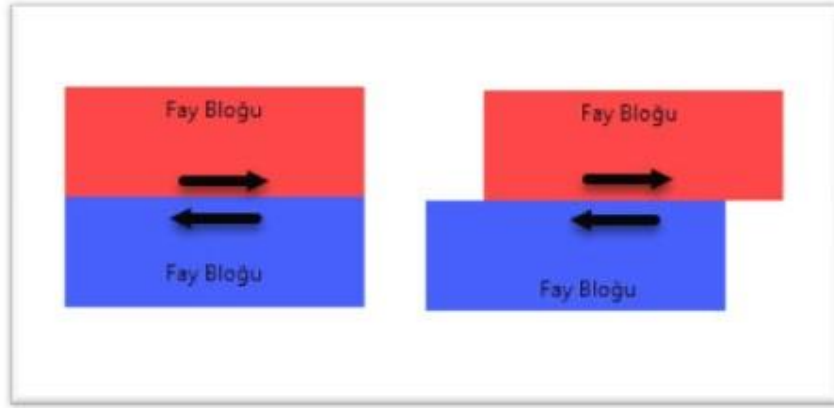
Faylar çeşitleri atım yönlerine göre Ters Faylar, Eğim Atımlı Normal Faylar, Doğrultu Atımlı Faylar ve Bindirmeler olarak sınıflandırılırlar. Doğrultu atımlı faylar üzerinde ayrıca normal veya ters fay hareketleri de gözlenebilir. Her iki atıma gözlenen faylara ise Yanal Atımlı Oblik Faylar denilmektedir. (Demirtaş ve Erkmen 2000, Karaman 2006).

Normal Atımlı Faylar : Bu tip faylarda fay düzleminin bir tarafındaki blok yükselirken diğer tarafındaki aşağıya doğru düşer yani kayar. Burada hareket yine göreceli olarak devam etmektedir. Bir başka deyişle bir taraftaki blok yükselirken diğer taraftaki blok yerinde sabit kalır yada aşağıya doğru hareket eder. 1995 Dinar depremi normal atımlı faylardır (Demirtaş ve Erkmen 2000, Karaman 2006).



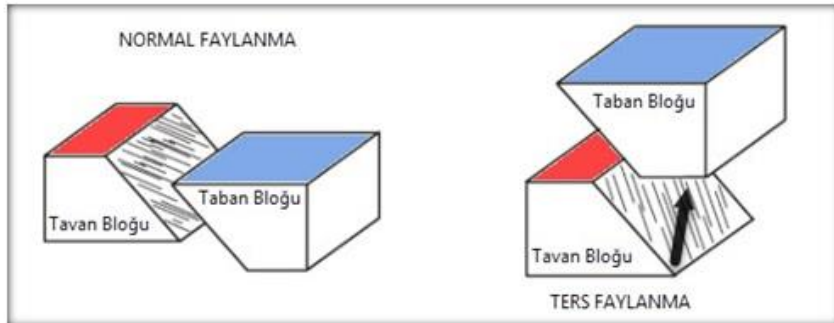
Şekil 3. 2 Normal ve ters faylanma (İnt.Kyn.2).

Doğru Atımlı Faylar: Bu tip faylar yeryüzünde 90 dereceye yakın dik bir konumda olan ve yerin içine doğru hafifçe eğimlenen yalnızca yatay atımın olduğu yanıl atımlı faylardır. Karşıdan bakıldığında bloktaki obje depremin ardından sağa doğru kaymışsa, Sağ Yanal Doğrultu Atımlı Fay, sola tarafa doğru kaymışsa Sol Yanal Doğrultu Atımlı Fay denilir.



Şekil 3. 3 Doğrultu atımlı fay (İnt.Kyn.2).

Ters Atımlı Faylar: Bu tip faylar da düşey atımlı faylar olup, sıkışmalı bölgelerde ters bir fay düzlemi üstünde kalan blok, düzlemin altındaki bloğa göre yükselmesiyle oluşur. bloklar birbirine göre yaklaşmaktadır. Bu tür fay gelişmelerinde fay düzleminin yataya yakın olduğu ve yükselen tavan bloğunun, taban bloğu üzerinde uzun mesafelerde ilerlemesi sonucu gelişen özel tür ters fay, Bindirme olarak adlandırılır. Örneğin 197 yılındaki Lice depremindeki faylar ters atımlı faylardır (Demirtaş ve Erkmen 2000, Karaman 2006).



Şekil 3. 4 Normal faylanma ters faylanma (İnt.Kyn.2).

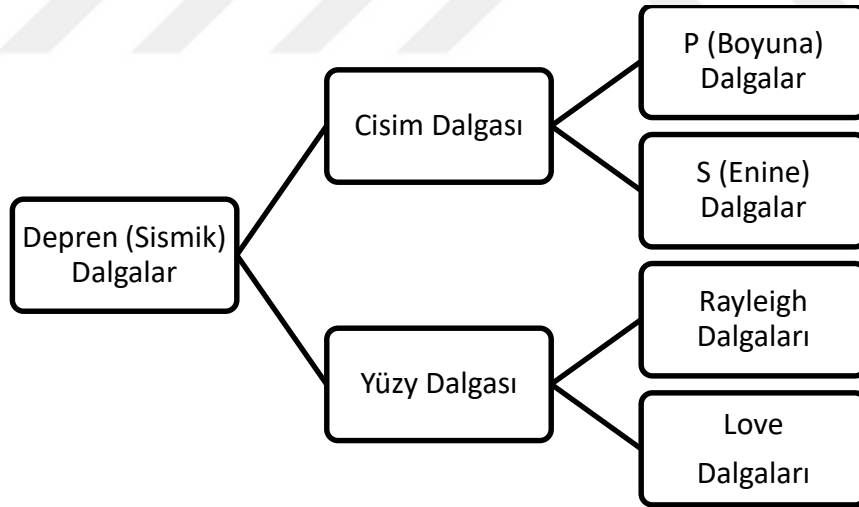
3.3 Deprem Odak Mekanizması ve Deprem Çizimleri

Odak mekanizması çalışmalarını ilk olarak 1910'lu yıllarda Prof. Shida 1906 San Fransisko depremi için başlatmış olup, bu yıllarda Prof. Shida P-dalgasının ilk hareketinin episantr çevresinde azimutal ve sistematik bir çözülüm gösterdiğini ifade etmiştir. Odak mekanizmasının depremlerde fiziği karışık olduğu için yer değiştirme basit matematiksel modüllerle gösterilmeye çalışılmıştır.

Deprem odak mekanizmalarının çözümlenebilmesi için, etkin kuvvet sisteminin, depremde oluşan fay düzlem doğrultusu ile eğiminin, kayma vektör geometrisi ve odağının dinamik değiştirgenlerinin saplanabilmesi gereklidir.

Elastik Ribaunt Teorisinde anlatılan ve deprem ile açığa çıkan kinetik enerjini büyük bir kısmı deprem dalgaları halinde yeraltından ilerler. Bu yüzden deprem dalgaları odak mekanizması için çok önemli bilgiler bulundurur.

Deprem sonucunda, cisim dalgaları ve yüzey dalgaları olarak iki tür elastik dalga meydana gelmektedir.

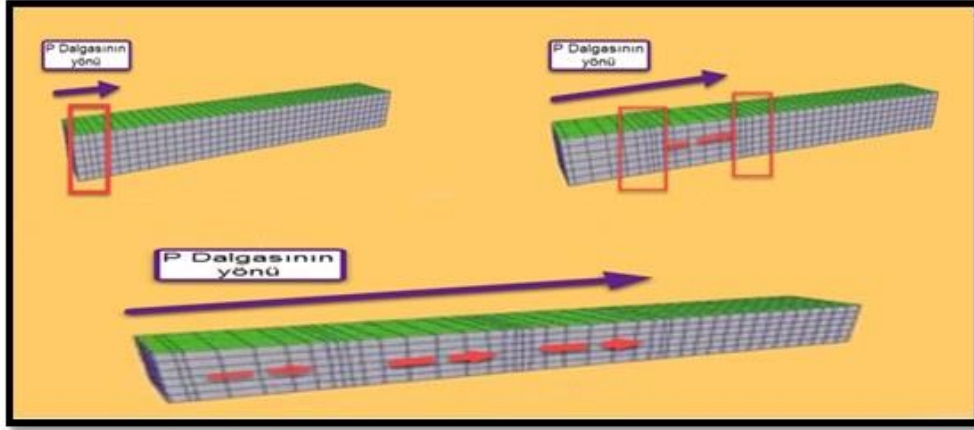


Şekil 3. 5 Depremde oluşan dalgalar (Dönmez 2018).

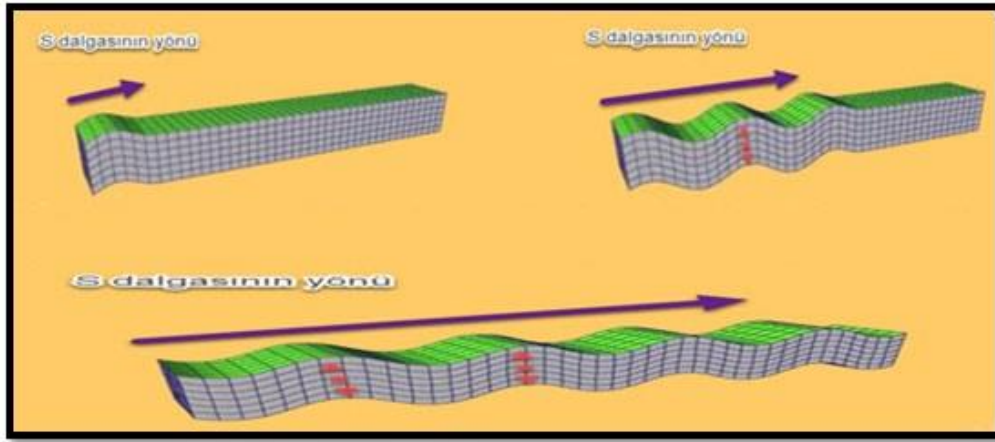
Boyuna dalgalar (P) ve enine dalgalar (S) olmak üzere cisim dalgaları ikiye ayrılırlar. P ve S dalgalarının özellikleri şu şekilde sıralanabilir; (Demirtaş ve Erkmen 2000, Karaman 2006).

- I. P dalgaları sismografa ilk ulaşan dalgalar, S dalgaları ise sismografa ikinci ulaşan dalgalardır.

- II. P dalgasının hızı yer kabuğunun yapısına göre saniyede 1,5 km ile 8km arasında, S dalgasının hızı saniyede 1km ile 6,4 km arasındadır.
- III. P dalgası yeryüzündeki katı, sıvı, gaz ortamların hepsinde, S dalgaları sadece katı ortamda yayılırlar.



Şekil 3. 6 P dalgası yayılımı (İnt.Kyn.3).

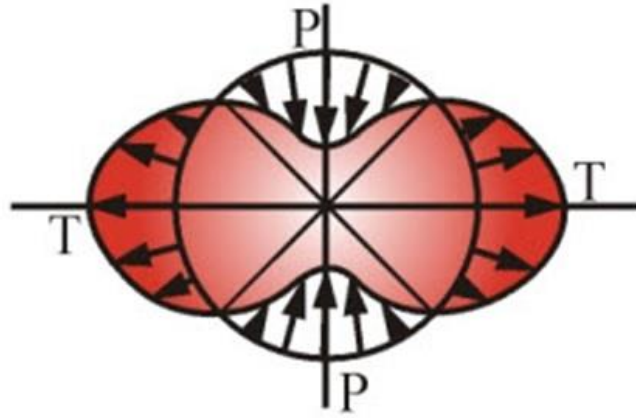


Şekil 3. 7 S dalgası yayılımı (İnt.Kyn.3).

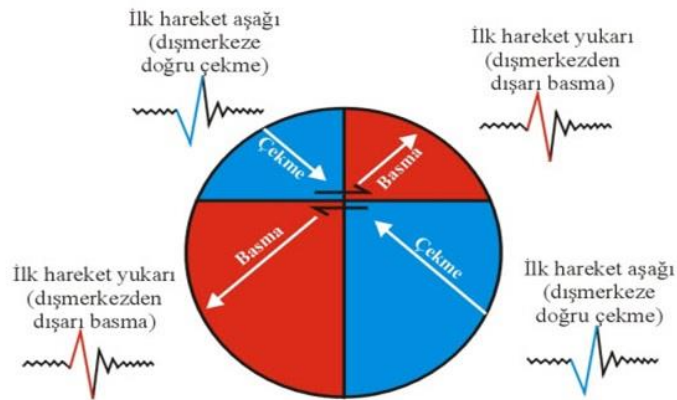
P dalgalarının başlangıç hareketinden faydalanılarak odak mekanizmasının Elastik Rebound Teorisinde tarif edildiği gibi bir faylanma olduğu, faylanın ilk hareketinin iki kuvvet çiftiyle gösterilebileceği öngörülür. Odaktaki faylanmanın türü ile geometrisi P dalgasının ilk hareketinden faydalanılarak çözülmeye çalışılır (İnt.Kyn.3).

Deprem odağı olarak homojen ve elastik olduğunu düşündüğümüz bir küreyi ele alalım (Şekil 3.8) ve küre merkezinde etkin momentsiz kuvvet çiftinin varlığını kabul edelim. Küre bu etkinin sonucunda elipsoid şekline geçiş yapacaktır. En büyük çekme ile basıncın

bulunduğu noktada deformasyonun en büyük olduğu yer olarak görünecektir. Bunlarla 45° açı yapan ve birbirlerine dik iki düzlem üzerinde en küçük olarak görülecektir. Şekilde (Şekil 3.8) de görüldüğü üzere dört bölgenin ikisinde sıkışma ikisinde de genişleme oluşacaktır. Kesme gerilmelerinin cismin direncinden fazla olması durumunda düzlemlerden birinde hareket başladığı görülecektir. Bu hareket sırasında odak küresinin dışında, en büyük basınç kadranına karşılık gelen bölgede odak küresinin merkezine doğru, en büyük çekmeye karşılık gelen bölgede ise merkezden dışarı doğru bir ilk hareket başlayacaktır. İlk hareketler yeryüzünün farklı noktalarındaki yönünün saptanması için yerleştirilen Şekil 3.8 Elastik kürenin deformasyonu sismogralarla saptanabilir (Şekil 3.9). Odak küresinde sıkışma ve genişleme bölgelerini bölmek ve bu sayede fay düzleminin konumunu bulmak mümkün kılınacaktır (İnt.Kyn.3).



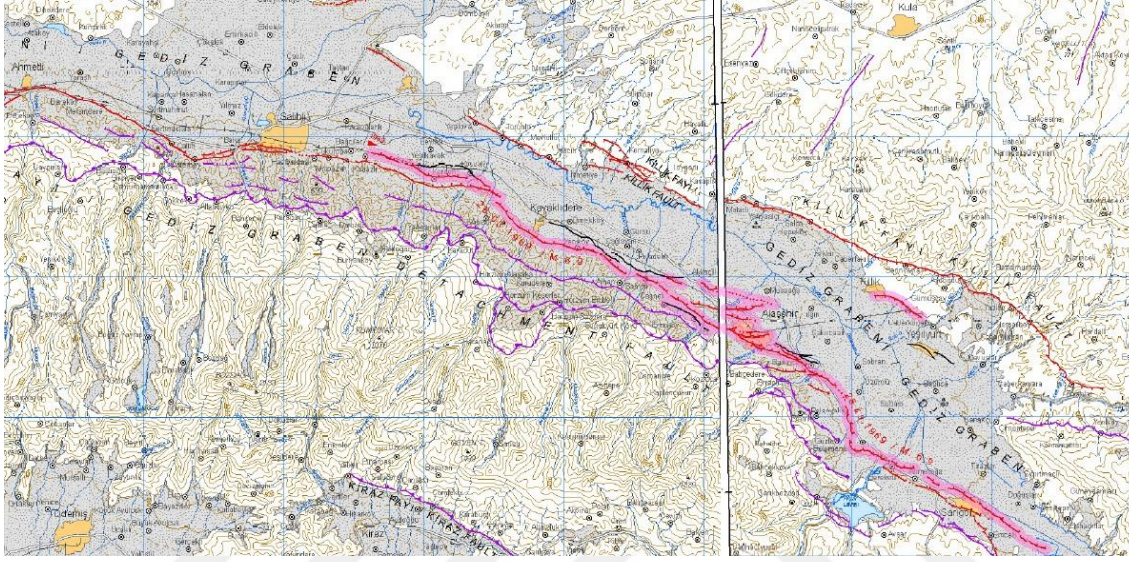
Şekil 3. 8 Elastik kürenin elipsoide dönmesi (İnt.Kyn.3).



Şekil 3. 9 Odak küresi üzerindeki hareketler ve yönleri (İnt.Kyn.3).

3.4 Gediz Grabeni Tektoniği

Gediz Grabeni Manisa'dan Pamukkale'ye kadar uzanan yaklaşık 200 km uzunluğunda, grabenin ana fayı güney kenarı boyunca uzanan, bir tektonik yapıdır. Graben içinde oluşan son yüzyılda 28 Mart 1969 tarihinde $M=6.9$ büyüklüğünde Alaşehir depremi meydana gelmiştir (Seyitoğlu ve Scott, 1996, Emre, 1996b) (Şekil 3.10).



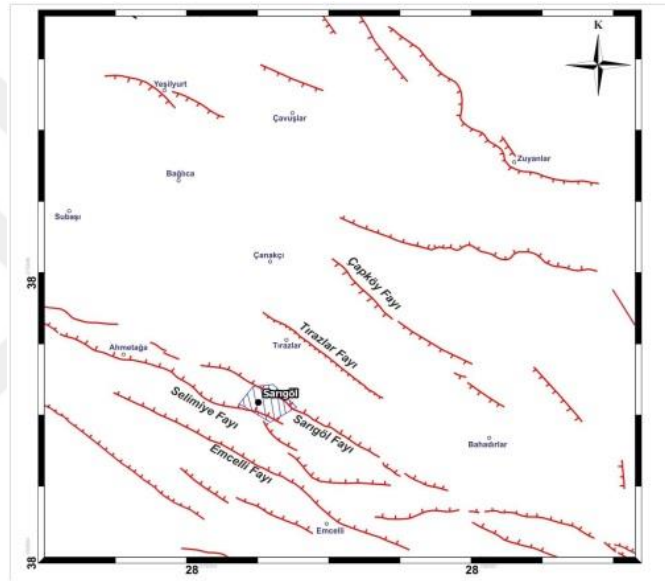
Resim 3. 1 Gediz Grabeni Alaşehir ilçesi etrafındaki fay hatları (Emre *et al.*2011).

Gediz grabeni içinde bulunan Alaşehir-Sarıgöl bölgesi D-B uzanımlı birçok normal fay ile sınırlandırılmıştır. Bununla birlikte graben kuzeyinde yer yer ana graben fayının antitetik bileşeni yer almaktadır. Bu bölgede bulunan Sarıgöl ve çevresi Batı Anadolu'nun genişleme alanı içinde bulunduğundan, oluşan tektonik hatlar bu doğrultuya dik olacak şekilde oluşum göstermektedir. Özellikle Sarıgöl ilçe merkezi ve çevre ilçeleri sınırlandıran eğim atımlı normal faylar gözlemlenmektedir (Gül 2016).

Son 20 yıldır güncel yüzey deformasyonlarının olduğu Alaşehir, Gediz çöküntü alanının doğu başlangıcında yer almaktadır. Alaşehir ve yakın çevresinde çöküntü alanını sınırlandıran eğim atımlı normal faylar çok belirgin olarak izlenmektedir. Bu faylar güneyde kuzeybatıya eğimli Emcelli, Selimiye ve Sarıgöl faylarıdır. Kuzeydeki faylar ise güneydoğuya eğimli Tırazlar ve Çapköy faylarıdır (Gül 2016).

3.4.1 Emcelli Fayı

Bölgede KB-GD doğrultusunda uzanan Emcelli fayı yaklaşık 8 km uzunluğunda eğim atımlı normal faydır. Yapılan Jeolojik çalışmalarda en güneyde yer alan kenar fay 250 m ile 650 m arasında dik bir yükselti oluşturduğu görülmüştür (Gül 2016). K50-70 B gidişli bu fay, Menderes Metamorfikleri ile Pliyo-Pleyistosen yaşlı Asartepe formasyonunu yan yana getirmiştir. Bu fayın güney bloğu yükselmiş kuzey bloğu ise düştüğü ve grabenin güney sınır fayını oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 3. 10 İnceleme alanının tektonik haritası (Gül 2016).

3.4.2 Selimiye Fayı

Çalışma alanının güney sınırı ve yakınında en güneydeki fay ile aynı yönelime sahip bir başka eğim atımlı normal fay tarafından sınırlandırılmıştır. Bu faylar Selimiye Fayı olarak adlandırılmıştır. Fayın konumu K65B 45 KD'dur. Söz konusu fayın güney bloğu yükselmiş kuzey bloğu düşmüştür.

Emcelli Fayı ile Selimiye Fayı arasında yaklaşık olarak 80 m civarında görünür düşey atım meydana gelmektedir. Düşey atımlar sonucu Asartepe formasyonunun sürekli kırılması, kıvrımlanması ve parçalanması günümüz morfolojisinin oluşmasına yol açmıştır. Fayın yönelimi K55B 70GB olarak ölçülmüştür. Fay 10-15 m genişlikte bir zon

içerisinde, fay zonu ise daha geniş bir zon içerisinde gelmektedir. Fay boyunca atımın 10-20 m'den daha fazla olduğu tahmin edilir (Gül 2016).

3.4.3 Sarıgöl Fayı

Sarıgöl yerleşim yeri içerisinde geçen normal faydır. Bu faya ait veriler yerleşim yeri içinde gözlenir. Fay özellikle belli doğrultuda yüzey kırığı oluşturacak şekilde gelişmiştir. Bu yüzey kırığı ortalama 20 cm atım gösteren normal fay şeklindedir. 28 Mart 1969 tarihinde $M=6.5$ büyüklüğünde Alaşehir depremi bu fay üzerinde yüzey kırığı oluşturmuştur.

Sarıgöl Fayı üzerinde, son 20 yılda KD bloğu 10-50 cm arasında düşen, gidişleri K50B ile D-B arasında değişen yaklaşık 4 km uzunlukta yüzey kırıkları meydana gelmiştir (Koca *et al.* 2011, Poyraz *et al.* 2019).

Belediye binası ve Pazar yerinin bulunduğu küçük tepenin önünde bu fayın oluşturduğu 5 metrelik düşey atım söz konusudur. Fayın yükselen bloğunda 210 m yüksekliğinde olan söz konusu tepe önünde faydan hemen sonra gelen düzlük 205 m yüksekliktedir. Bu durum adı geçen fayın yüzey kırığı oluşturmada öncede var olduğunu ve 5 metreye ulaşan düşey atımlara neden olduğunu göstermektedir (Koca *et al.* 2011).

Sarıgöl ilçesi kurulduktan sonra ise 20 cm'ye varan güncel atımların gelişmesi günümüzdeki mikrosismik aktiviteye bağlanabilir. Yüzey kırığının gözlemlendiği yerden yapılan ölçümlerde kırığın ortalama K65B doğrultulu ve KD'ya eğimli olduğu görülür. Kırığın güney bloğu yükselmiş kuzey bloğu düşmüştür. Özellikle yerleşim yerindeki yol, bahçe duvarı ve evlerdeki deformasyon verilerinden gözlenebilen bu yüzey kırığı doğrultusu boyunca 2.5 km izlenebilmekte, daha ileride ise tarlalarda kaybolmaktadır.

Kırık batı ve doğu uçlarında D-B gidişli iken orta bölümünde K50-70B gidiş göstermektedir. Kırıklar, kademeli olup, birkaç on metre ile birkaç yüz metre uzunluklara sahiptir. Kırıklar genel olarak eğim atımlı normal fay karakterinde gelişmiş olup, yer yer gerilme çatlakları şeklinde izlenmektedir. Kırıklar boyunca 10 cm ile 50 cm arasında değişen ötelenmeler ölçülmüştür. Kırıkların KD blokları aşağıya doğru düşmüştür. Kırık boyunca maksimum 60 cm ötelenme gelişmiştir.

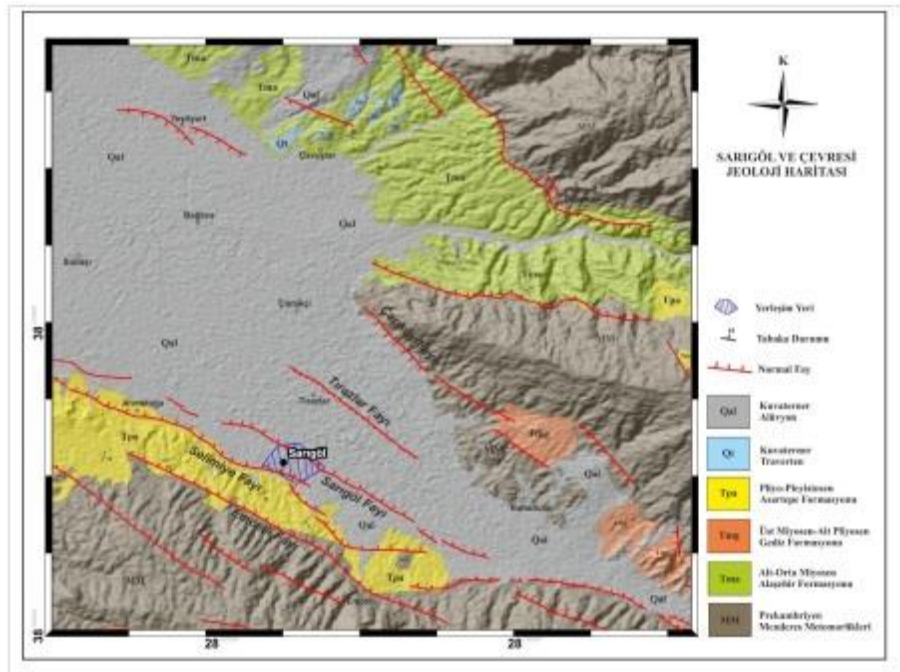
3.4.4 Tırazlar Fayı

Tırazlar köyünde, alüviyal çökeller içerisinde, GB bloğu 10-20 cm arasında düşen, gidişleri K50-60 B arasında değişen yaklaşık 4 km uzunlukta normal fay gözlenmektedir. Bu fay Tırazlar Fayı olarak isimlendirilmiştir. Fay KB-GD doğrultulu ve GB'ya eğim göstermektedir (Gül 2016).

3.4.5 Çapköy Fayı

Grabenin kuzey kenarında birbirini belli açıyla kesen iki normal fay gözlenir. Bunlardan güneydeki K30B doğrultulu ve 55 GB'ya eğimlidir. Bu fayın hemen kuzeyinde K40B doğrultulu olan normal fay metamorfik kayaların içinde gelişmiştir. Bu faylar Çapköy fayı olarak adlandırılmıştır.

Bölge yukarıda açıklanan yapısal özelliklere göre KB-GD doğrultulu bir graben yapısına sahiptir. Gözlenen fayların tümü Neojen ve sonrası dönemde gelişmiştir. Sarıgöl ve Tırazlar içinden geçen yüzey kırıkları ise güncel deformasyonun varlığını kanıtlamaktadır (Gül 2016).



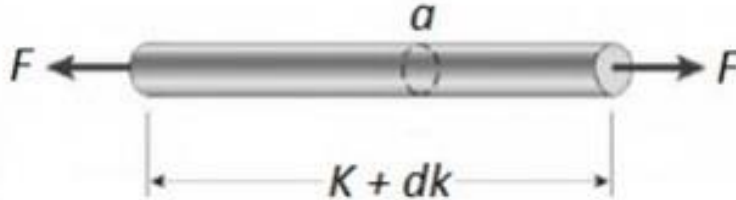
Resim 3. 2 İnceleme alanının jeoloji haritası (Gül 2016).

4. GERİNİM ANALİZİ VE JEODEZİK DEPREM TEKRARLAMA PERİYOTLARI HESABI

4.1 Gerilme Analizi

Gerilme, birim yüzeye düşen yük (kuvvet) olarak tanımlanabilir. Belirli bir kuvvet etkisinde kalan parçanın içerisinde oluşan zorlama miktarını gösterir. Gerilme vektörü yükleme çeşidine göre genel olarak iki gruba ayrılabilir. İncelenen kesitin yüzeye dik etki ettiği durumlarda normal gerilme, yatay etki ettiği durumlarda ise kayma gerilmesi meydana gelmektedir. Temelde bu iki gruba ayrılan gerilmeler değişik yüklemeler doğrultusunda çekme, basma, burulma, kesme vb. karma şekillerde de bulunabilir (Poyraz 2009). Cisimlerin iç ve dış yüzeylerine iki tip kuvvet etki eder. Dış kuvvetler genellikle iki cismin karşı karşıya gelmesi ve birbirlerinin üstüne kuvvet uygulaması ile meydana gelir. İç kuvvetler ise genellikle gravite çekimi, merkezkaç etkisi ve diğer güçlerin etkisi ile meydana gelir. Gerilim kavramı katı maddelerin kırılmaya karşı dirençlerini ve dayanıklılıklarını hesaplamaya yönelik araştırmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Dış kuvvetlere karşı koymaya yarayan iç kuvvetler sistemi gerilme (stres) olarak adlandırılmaktadır (Karaman 2006). Gerilim analizi Malzeme, Mukavemet, Mekanik, Zemin Mekaniği gibi birçok disiplin tarafından sıklıkla kullanılmaktadır. (Poyraz 2009). Uzunluğu L olan bir cisim merkezi yatay ekseninden F büyüklüğünde bir kuvvet ile çekilirse cismin boyunda bir miktar uzama meydana gelecektir (Şekil 5.1). Oluşan bu uzama dk olarak adlandırılır ise bu durumda gerilme;

$$\varepsilon = \frac{\text{Uzama Miktarı}}{\text{Gerçek Uzunluk}} = \frac{dk}{K} \quad (4.1)$$

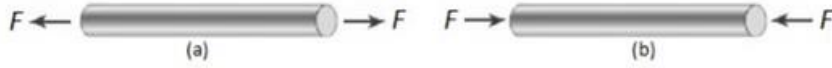


Şekil 4. 1 Bir cisme etkiyen dış F kuvveti.

olarak tanımlanabilir. Elde edilen bu gerilme bağıntısında $K=1$ (gerçek uzunluk) olarak kabul dilirse bu durumda $dk = \epsilon$ olacaktır. Bu eşitlik ise birim uzunluğun ölçek değişimini ifade etmektedir. Gerilmenin birimi strain = s'dir. Mikrostrain 1ppm=s $\mu 1$ olur (Deniz 1990, Deniz 1997, Poyraz 2009). Cisme uygulanan F kuvveti sonucunda cismin iç moleküler kuvvetleri tarafından bir direnç gösterilecektir. Cismin herhangi bir kesitinde alan “a” olarak kabul edilirse moleküler kuvvet veya gücün büyüklüğü "f" olmak üzere F kuvveti;

$$axf = F \quad (4.2)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir. Bu büyüklük birim alandaki kuvvet birimi olarak ($2 \text{ kg} / \text{m}$) tanımlanır (Deniz 1997, Poyraz 2009).



Şekil 4. 2 a) Çekme b) Sıkışma Gerilmesi

Bir cisim dış kuvvetler tarafından çekme ya da germe etkisinde bulunuyorsa cisim üzerinde meydana gelen gerilme çekme gerilmesi olarak adlandırılır (Şekil 4.2 a). Eğer dış kuvvet tarafından sıkıştırılıyorsa bu durumda cisim üzerinde sıkışma gerilmesi meydana gelir (Şekil 4.2 b). Cisim eksenel doğrultuda çekmeye maruz kaldığında ya da baskı uygulandığında cisimde tek eksen doğrultusunda gerilmeler olur. Böyle gerilmelerde sadece normal gerilmeler vardır. Bu nedenle çekme ve sıkışma gerilmeleri basit gerilmeler olarak adlandırılmaktadır. Tek eksenli çekme gerilmesi altındaki bir parça, gerilme yönünde uzarken aynı zamanda gerilmeye dik yönde daralır. Dış kuvvetlerin etkisi altında malzemeler şekil ve boyut değiştirir. Elastik (tersinir) deformasyon etkisi cisim üzerinde kalıcı değildir. Yani F dış kuvveti cisimden ayrıldığında cisim üzerindeki etkisi kaybolmakta ve cisim tekrar orijinal şekline ve boyutlarına dönmektedir. Elastik bölge malzemelerin çoğunda lineerdir. Lineer elastik ya da hemen hemen lineer-elastik davranış görülen bölgede gerilmenin kuvvete oranı sabittir. Buna göre;

$$\frac{Kuvvet}{Gerilme} = \frac{F}{\varepsilon} = f_x \frac{k}{dk} = Sabit = E \quad (4.3)$$

olur. Burada E, elastisite modülü (elastiklik modülü) olarak tanımlanır. Birimi ise MPa veya (2 kg / m) olarak kullanılır (Solak 2015).

4.2 Gerinim Analizi

Gerinim, ismin komşu noktaları arasında fiziksel ve mekanik bağ kopmadan, gerilmeler etkisiyle meydana gelen yer değiştirmelerdir. Diğer bir ifade ile gerilim sonucu oluşan kopma ya da uzunluk ve hacimde meydana gelen değişimdir. Ortalama gerinim ise uzunluktaki değişimin gerçek uzunluğa bölünmesi elde edilir. Yer değiştirmelerin izlenmesi için deformasyon alanını en uygun şekilde temsil edecek noktalar seçilmelidir. Yer değiştirmeler ile hesaplanacak gerinim elemanları için gerinimin homojen olduğu kabul edilmelidir. Bu yaklaşımlar sonucunda gerinim problemi, aslında bir dönüşüm problemine dönecektir. Yer değiştirme, aynı noktanın iki farklı zamanda hesaplanan kartezyen koordinatları arasındaki fark olarak düşünülebilmektedir. Bir noktanın t1 zamanındaki koordinatının homojen deformasyona uğrayarak t2 zamanında koordinatına haline gelmesi arasındaki ilişki basit bir afin dönüşüm eşitliği ile açıklanabilmektedir (Brunner 1979).

Bu yaklaşımlar çerçevesinde bağıl konum değişimi;

$$du = (E + W)r + t_0 \quad (4.4)$$

şeklinde elde edilir (Kakkuri and Chen 1992). Burada E simetrik gerinim tensörü, w ters simetrik gerinim tensörüdür. 0 t tüm noktalar için geçerli olan ötelenme katı blok hareketi, r ise koordinatları göstermektedir (Solak 2015).

4.3 Gerinim Verilerinden Jeodezik Deprem Tekrarlama Periyotlarının Hesaplanması

Depremlerin tektonikle doğrudan ilişkisi nedeniyle bir bölgedeki depremsellik uzayın olduğu kadar zamanın da fonksiyonudur. Herhangi bir bölgenin depremselliğinden söz

ederken inceleme periyodunun da belirlenmesi gerekir. Depremsellik çalışmalarında istatistiksel hesaplamalar ağırlıklı olduğundan, inceleme bölgesinde geçmişte oluşan tüm depremler hesaplamalara dahil edilirler. Bu hesaplamalarda kullanılan depremlerin başlangıç tarihleri aletsel (sismograf) kayıtların başlangıcıyla aynıdır. Çünkü deprem büyüklüğü (magnitüdü) deprem kayıtlarından (sismogramlardan) hesaplanır. Deprem tekrarlama periyotları genel olarak sismolojik verilerden hesaplanır. Sismolojik veriler yardımıyla uzun periyodlu gözlemlerde depremlerin zamana göre dağılımları genel olarak yıllık (inceleme periyodu çok geniş olduğunda 5, 10 yıllık) dilimlerle incelenir ve deprem oluş frekansı (deprem sayısı/yıl) olarak ifade edilir. Bu verilerin hepsi meydana gelen depremlerin kayıt doğruluğu (deprem katoloğu) ile doğrudan ilişkilidir. Ülkemizde aletsel dönem olarak 1950 yıllardan sonra yıllar düşünülmektedir. Ancak 1950 li yıllarda bile deprem kayıt cihazlarının sayısı oldukça azdır. Bu nedenle meydana gelen depremlerin büyüklüğü ve yeri konusunda tutarlı bilgiler oldukça azdır. Bununla birlikte depremlerin uzun dönem tekrarlama periyotlarının da olduğu bilinmektedir. Ancak aletsel dönem kataloglarının son 50-60 yıllık bir dönemi kapsadığı düşünülürse uzun dönem tekrarlama periyotları olan depremlerin bu hesaplamalara katılmadığı yada eksik olarak dahil edilmektedir.

Son yıllarda meydana gelen gelişmeler ile gerinim verilerinde jeodezik deprem tekrarlama haritaları üretilmektedir. Bu haritalar GNSS hızları kullanılarak elde edilen gerinim değerlerinden elde edilmektedir (Aktuğ 2017).

Belirli bir büyüklükteki (M , $M < M_{max}$) yıllık deprem sayısı (N) aşağıdaki şekilde Kesikli Gutenberg-Richter modeli ile ifade edilebilir

$$N(M) = 10^{a+bM} (M < M_{max}) \quad (4.5)$$

Buna göre büyüklüğü M 'ye eşit veya daha büyük depremlerin ortalama tekrarlama aralığı ise

$$T(\geq M) = \frac{1}{10^a \int_M^{M_{max}} 10^{bM} dM} \quad (4.6)$$

şeklinde hesaplanabilir. Sismik moment (M_0) ile moment büyüklüğü (M_w) arasında Hanks and Kanamori (1979) tarafından verilen

$$M_0 = 10^{\frac{3}{2}(M_w+6.07)} \quad (4.7)$$

bağıntısı, tüm depremler için toplam yıllık moment hızı (M_0)

$$M_0 = 10^a \int_{-\infty}^{M_{max}} 10^{(1.5+b)M_w+9.1} dM \quad (4.8)$$

şeklinde hesaplanabilir (Ward 1994). Burada 10^a terimi eşitliğin sol tarafında kalacak şekilde (4.8) eşitliği yeniden düzenlenirse

$$10^a = \frac{M_0}{\int_{-\infty}^{M_{max}} 10^{(1.5+b)M_w+9.1} dM} \quad (4.9)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitliğin integrali alınarak

$$10^a = \frac{(1.5+b)M_0 \cdot \log 10}{10^{(1.5+b)M_{max}+9.1}} \quad (4.10)$$

bulunabilir (Ward, 1994). (4.10) eşitliğindeki 10^a değeri (4.6) eşitliğinde yerine konursa büyüklüğü M' 'ye eşit veya daha büyük depremlerin ortalama tekrarlama aralığı

$$T(\geq M) = \frac{\int_{-\infty}^{M_{max}} 10^{(1.5+b)M_w+9.1} dM}{M_0 \int_M^{M_{max}} 10^{bM} dM} \quad (4.11)$$

şeklinde hesaplanabilir (Ward, 2007). Burada, paydadaki integral hesaplanıp, paydaki integral yerine (4.10) eşitliği kullanılırsa (4.11) eşitliği;

$$T(\geq M) = \frac{b}{(1.5+b)} \frac{10^{(1.5+b)M_w+9.1}}{M_0(10^{bM_{max}} - 10^{bM_w})} \quad (4.12)$$

haline gelir.

Jeodezik moment hızlarının hesaplanması için daha önce hesaplanan hız alanı kullanılmıştır. Önceki raporda verilen yöntem kullanılarak Akşehir Sultandağı Fay Zonu Örneği için gerinim hızları elde edilmiştir

Gerinim tensöründen maksimum gerinim hızının belirlenmesi için çeşitli yöntemler olmakla birlikte en fazla kabul gören

$$\varepsilon_{max} = \max(\lambda_1, \lambda_2) \quad (4.13)$$

eşitliği kullanılmıştır. Birim alandaki yıllık moment hızı ise maksimum gerinim hızı kullanılarak

$$M_0^{geodetic} = 2\mu H_{sismojenik} \varepsilon_{max} \quad (4.14)$$

Elde edilen sonuçlar, ülkemiz için $M_{max}=8.0$ ve b için ise -1.0 ile -0.9 arasındaki bir değerin kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. (4.12) eşitliğindeki sismik moment hızı yerine, jeodezik verilerden hesaplanan moment hızı kullanıldığında (4.12) eşitliği

$$T(\geq M) = \frac{b}{(1.5+b)} \frac{10^{(1.5+b)M_w+9.1}}{2\mu H_{sismo} \varepsilon_{max}(10^{bM_{max}} - 10^{bM_w})} \quad (4.13)$$

şekline gelir.

5. UYGULAMA

5.1 Çalışma Alanının Tanıtılması

Çalışma bölgesi Batı Anadolu fay kuşağında bulunmaktadır. İncelenen fay Manisa ili Akkeçili köyünün güneyinden başlayıp, Alaşehir ilçesinin içinden, Badınca köyünün güneyinden, Delemenler köyünün güneyinden geçerek ilçenin güney doğusuna doğru devam etmektedir (Resim 5.1). Çalışma alanı Manisa ili Alaşehir ilçesini merkez alan yaklaşık 26 km yarıçaplı bir daireyi içermektedir. Çalışma alanı yaklaşık olarak 1270 km² dir.



Resim 5. 1 Fay genel görünüm.

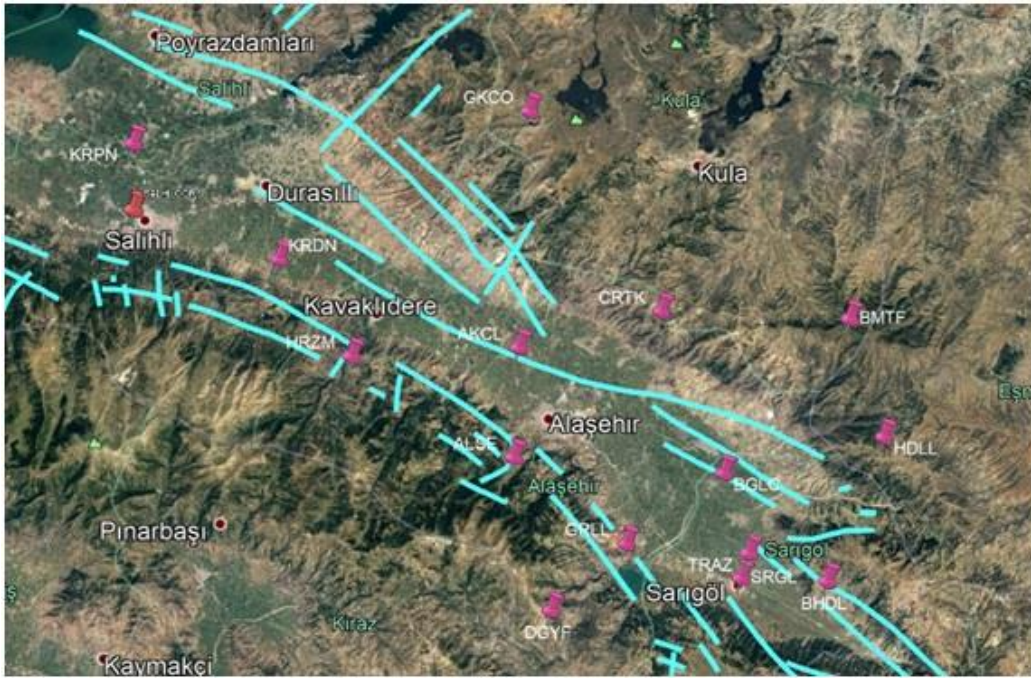
5.2 Kurulan GNSS Ağı ve Ölçüleri

Çalışma bölgesinin 2013 yılında UDAP-Ç-13-07 no'lu proje ve TÜBİTAK tarafından 113Y526 projeler kapsamında Maden Teknik Arama Kurumu'nun diri fay haritası temel alınarak istikşafı yapılmıştır. Bu projelerde fayı kuzey – güney doğrultusunda dik ve doğu – batı doğrultusunda paralel takip edebilen 10 noktalı bir GNSS ağı kurulmuş ve 3

kampanya ölçü yapılmıştır. 2017 yılında AKÜ BAPK tarafından 17.FEN.BİL.34 nolu proje ile bu ağı 6 nokta ilave edilerek 16 noktalı bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Yeni ilave edilen 6 noktanın geçmiş yıllarda yapılan tesis ölçüleri bölgede bulunan harita mühendislerinden temin edilmiştir. Bundan sonra bu GNSS ağında 2017-2018 yıllarında 2 kampanya ölçü yapılmıştır. Tüm GNSS ölçüleri, en az 8 saatlik eş zamanlı olarak 2 gün ölçülmüştür. Yapılan Kampanya tarihleri Çizelge 5.1 de ve genişletilen GNSS ağı Resim 5.2 de verilmiştir.

Çizelge 5. 1 GNSS ağına kampanya tarihleri.

Kampanya No	Tarih
1. Kampanya	2013
2. Kampanya	2014
3. Kampanya	2015
4. Kampanya	2017
5. Kampanya	2018



Resim 5. 2 Kurulan GNSS ağı.

Kurulan GNSS ağına ait ölçü noktaları Çizelge 5.2 de verilmiştir.

Çizelge 5. 2 GNSS ağıının ölçü noktaları.

SIRA NO	NOKTA ADI	GPS NOKTA ADI	ALICI TİPİ	İL	İLÇE	Enlem	Boylam	Tesis Türü
1	Gireli	GRLI	AKT	Manisa	Alaşehir	38.254	28.588	Pilye
2	Dağhacıyusuf	DGYF	AKT	Manisa	Alaşehir	38.203	28.523	Pilye
3	Hardallı	HDLL	ZX	Uşak	Eşme	38.339	28.822	Pilye
4	Çarıktekke	CRTK	ZX	Manisa	Alaşehir	38.424	28.613	Pilye
5	Battal Mustafa Kozluca	BMTF	ZX	Manisa	Kula	38.424	28.786	Pilye
6		ALSE	ZMAX	Manisa	Alaşehir	38.314	28.483	Pilye
7	Bahadırlar	BHDL	ZMAX	Manisa	Alaşehir	38.232	28.7743	Pilye
8	Tırazlar	TRAZ	ZMAX	Manisa	Sarıgöl	38.250	28.702	Pilye
9	Akkeçeli	AKCL	ZMAX	Manisa	Alaşehir	38.393	28.483	Pilye
10	Bağlıca	BGLC	ZMAX	Manisa	Sarıgöl	38.308	28.675	Pilye
11	Eşme	ESME	ZMAX	Uşak	Eşme	38.403	28.975	Pilye
12	Gökçe	GKCO	ZMAX	Manisa	Kula	38.567	28.484	Pilye
13	Horzum	HRZM	ZMAX	Manisa	Alaşehir	38.383	28.330	Pilye
14	Kordon	KRDN	ZMAX	Manisa	Salihli	38.451	28.259	Pilye
15	Karapınar	KRPN	ZMAX	Manisa	Salihli	38.531	28.120	Pilye
16	Sarıgöl	SRGL	ZMAX	Manisa	Sarıgöl	38.232	28.695	Pilye

Ağ ölçümünde ölçü kampanyalarında faz başlangıç belirsizliklerinin hassas modellenebilmesi için GNSS alıcıları 15 sn'lik epoklarla veri kaydı yapılmıştır. Anten yükseklik açısı 50 seçilmiştir. Merkezleştirme hatasını azaltabilmek için ölçü noktalarının pilye tesisi olarak seçilmiştir. Ağı ölçülmesi sırasında yapılan kampanyalara ait GNSS ölçü çizelgesi çizelge 5.3 de verilmiştir.

Çizelge 5. 3 GNSS ölçü zaman çizelgesi.

SIRA NO	GPS NOKTA ADI	NOKTA ADI	Eski	2013	2014	2015	2017	2018
1	GİRELİ	GRLI		X	X	X	X	
2	DAĞHACIY USUF	DGYF		X	X	X	X	
3	HARDALLI	HDLL		X	X	X	X	X
4	ÇARIKTEKK E	CRTK		X	X	X	X	
5	BATTAL MUSTAFA	BMTF		X	X	X	X	
6	KOZLUCA	ALSE		X	X	X	X	
7	BAHADIRLAR	BHDL		X	X	X		
8	TIRAZLAR	TRAZ	X	X	X	X	X	X
9	AKKEÇELİ	AKCL		X	X	X		
10	BAĞLICA	BGLC		X	X	X	X	
11	EŞME	ESME	X					X
12	GÖKÇE	GKCO	X					X
13	HORZUM	HRZM	X					X
14	KORDON	KRDN	X					X
15	KARAPINAR	KRPN	X					X
16	SARIGÖL	SRGL	X					X

5.3 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi ve Nokta Hızlarının Hesaplanması

Bu çalışmada Massachussets Teknoloji Entitüsü (MIT) tarafından geliştirilip, açık kodlu olarak yazılmış GAMIT/GLOBK programları kullanılmıştır. GAMIT yer istasyonlarının üç boyutlu koordinatlarını, uydu yörüngelerini, atmosferik zenit gecikmelerini, yer yönelim parametrelerini bulmak için faz verilerini işleyen bir programdır. GLOBK ise ana amacı GPS, VLBI ve SLR ölçmeleri gibi çeşitli jeodezik çözümleri birleştiren bir Kalman filtresidir (İnt.Kyn.4).



Resim 5. 3 BTLL (A), BHDR (B), TRAZ (C), CRTK (D) noktaları.

GAMIT yazılımı herhangi bir ticari kuruluşa hizmet vermemektedir. Bu yüzden GNSS ham verilerinin işlenmesi sırasında, uluslararası format olan Rinex (Receiver Independent Exchange Format)’i kullanır. Rinex ASCII dosya tipinde üç dosyadan oluşur. Bu dosyalar gözlem veri dosyası, navigasyon mesajı dosyası ve meteorolojik veri dosyasıdır (İnt.Kyn.6). Bütün marka ve modeldeki GNSS alıcılarının, çeşitli formatlarda kaydettiği veri dosyaları bir dönüştürücü program kullanılarak Rinex formatına rahatlıkla dönüştürülebilmektedir. Bu çalışmadaki GNSS alıcılarının kaydettiği dosyalar “GNSS Solution” ve “TEQC” programı kullanılarak Rinex formatına dönüştürülmüştür.

5.3.1 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Rinex formatındaki ham veriler GAMIT programında değerlendirilmesi aşamasında üçe bölünebilir. Bu işlemler; hazırlık, değerlendirme, kontrol ve sonuç olarak adlandırılabilir.

5.3.1.1 Verilerin Hazırlanma Aşaması

Bilgisayarın hard diskinde uygun bir yere ismi yalnızca dört karakterden oluşan bir klasör

açılır. Bu açılacak olan klasör bütün girdi ve çıktı dosyalarını barındıracak olan ana klasördür. Örneğin “ALAS” gibi. Bu ana klasör içerisine Ölçülerin yapıldığı yıllara ait yıl klasörleri açılır. Her bir yıl klasörünün içerisine de Rinex adında bir klasör daha açılır. Bu Rinex klasörü ilgili yıla ait Rinex formatındaki ham veri dosyasını içerir. Yıl klasörünün içerisinde olması gereken bir diğer klasörde “Tables” klasörüdür. Bu klasör terminalden “sh_setup –yr YILADI” komutu ile otomatik oluşturulur. Bu klasör içersin de GAMIT programının GNSS verilerini değerlendirirken gereksinin duyduğu bütün dosyaları içerir (Herring *et al.* 2009). Bu tez çalışmasında da yukarıdaki hazırlık adımları aynen takip edilerek station.info, process.defaults, site.defaults, lfile dosyalarında gerekli olan düzenleme ve eklemeler yapıldı. station.info dosyasında stabilizasyon ve tekrarlılık için kullanılacak IGS istasyonları girilmiştir. IGS istasyonları çizelge 5.4 de verilmiştir.

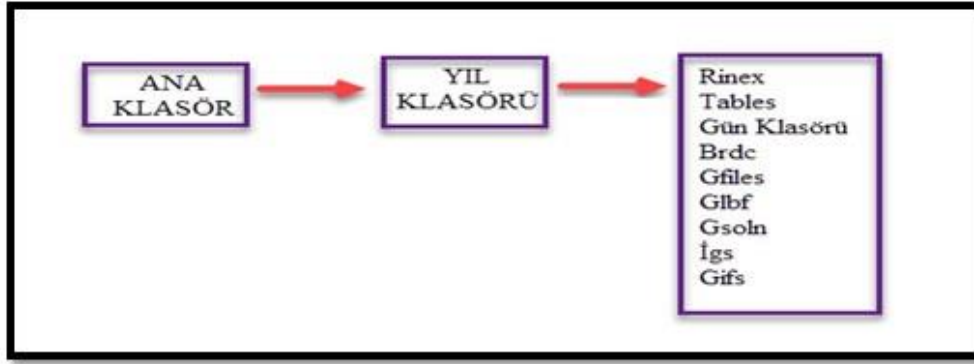
Çizelge 5. 4 GNSS ağıının ölçü noktaları.

Nokta Adı	Ülke	Şehir	Nokta Adı	Ülke	Şehir
ADIS	Ethiopia	Adis Ababa	LAUG	Lübnan	Lebanese
ANKR	Türkiye	Ankara	MATE	İtalya	Basılıcata
BAKU	Azerbaycan	Bakü	NICO	Kıbrıs	Lefkoşe
BOR1	Polonya	Wielkopolska	NOT1	İtalya	Sicilya
BUCU	Romanya	Bükreş	ONSA	İsveç	Onsala
CRAO	Ukrayna	Simeiz	POLV	Ukrayna	Poltava
DRAG	İsrail	Metzoki	POTS	Almanaya	Brandenburg
GLSV	Ukrayna	Kiev	RAMO	İsrail	Ramon
GRAS	Fransa	Maritimes	SOFI	Bulgaristan	Sofya
GRAZ	Avusturya	Graz	TEHN	İran	Tahran
ISTA	Türkiye	İstanbul	TELA	İsrail	Telaviv
KOSG	Hollanda	Kootwijk	VILL	İspanya	Madrid
KUWT	Kuveyt	Kuveyt	ZECK	Rusya	Zelenchukskaya

Process.default dosyası düzeltildikten sonra sestbl dosyası hazırlanmıştır. Sestbl dosyasında oluşturulan donanımsal ve çözüm stratejisi aşağıdaki gibidir. Veri toplama aralığı 15 sn. uydu yükseklik açısı 10o, yörünge bilgisi IGS-F,anten faz merkezi bilgisi yüksekliğe bağlı model (IGS05_1552_plus.atx), yer dönme parametre bilgisi USNO_bull_b , çözüm için iterasyon sayısı dört, kullanılan troposfer model Sastamoinen öncül standart modele dayalı olarak 2 saat aralıklı, taşıyıcı dalga faz belirsizliği çözümü İyonosferden Bağımsız (Ionosphere-free) olarak girilmiştir.

5.3.1.2 Değerlendirme Aşaması

GAMIT programında değerlendirme aşaması manuel olarak veya otomatik olarak 2 şekilde yapılabilir. Bu tez çalışmasında “sh_gamit” komutu çalıştırılarak değerlendirme işlemi otomatik olarak yapılmıştır. Komut girildikten sonra programdan herhangi bir hata mesajı vermedi. “sh_gamit” komutu çalıştırıldıktan sonra ana klasörün içindeki yıl klasörlerinin her birinin içinde ölçü yılına ait gün klasörleri, brdc klasörü, control klasörü, gfiles klasörü, gsoln klasörü, figs klasörü, glbf klasörü, ionex klasörü, met klasörü, mkrinex klasörü, raw klasörü ve igs klasörü oluşur (Şekil 5.1) (Dönmez 2018, Poyraz 2009, Tiryakioğlu 2012).



Şekil 5. 1 GAMIT klasör yapısı.

5.3.1.3 Kontrol ve Sonuç Aşaması

GAMIT programında “sh_gamit” değerlendirme komutu çalıştırıldıktan sonra yıl klasörünün içerisinde açılan gün klasörlerinin içinde çeşitli sonuç dosyaları program tarafından oluşturur. Örnek olarak 2013 yılı “sh_gamit” komutu “sh_gamit -d 2013 252 253 254 – expt alas –orbit IGSF” şeklinde çalıştırıldı. Bu oluşan sonuç dosyalarının hatalı olup olmadıklarının denetiminin yapılması gerekir. Kontrol işlemi için bakılması gereken dosyalardan biri gün klasörü içerisinde oluşan “qxxxxa.ddd” dosyasıdır. Burada belirtilen q dosyasının ismi, GAMIT programının genel isim oluşturma formasyonu ile verilmektedir. Bu formasyonda “xxxx” yazan yer ana klasörün adını başka bir deyişle proje adını, “ddd” yazan yerde ölçüm yılının hangi gününe ait olduğu belirtmektedir. Örneğin “qalasa.252” dosyasının proje adı ALAS, ölçüm yılındaki günü 252 dir. Oluşan

q dosyasının içi açılarak en son satıra inilir. Burada bulunan postfit.nrms değerine bakılır (Şekil 5.5). Buradaki normlandırılmış karesel ortalama hata (nrms – Normalized Root Mean Square) değeri 0.15 den büyük 0.25 den küçük olmalıdır. Eğer nrms değeri bu değerler arasında ise kurulan modelin doğrudur ve ölçülerin noise seviyeleri kabul edilebilirdir. Ayrıca q dosyasının içerisinde istasyon koordinatları, yer dönüşüm parametreleri ve uydu bilgileri sınırlamaları bulunmaktadır (Herring *et al.* 2009, Poyraz 2009, Tiryakioğlu 2012).

```

qgrna.193.k
# NAME  NAME_GS  N  E  W  S  X  Y  Z
4 KIRS  KIRS_GPS  2  0.01000  0.01000  100.0  0.01000  0.01000  100.0
5 MATE  MATE_GPS  2  0.01000  0.01000  100.0  0.01000  0.01000  100.0
6 SOFI  SOFI_GPS  2  0.01000  0.01000  100.0  0.01000  0.01000  100.0

**** Summary of biases-free solution ****

Total parameters: 432  live parameters: 273
Prefit nrms: 0.72362E+00  Postfit nrms: 0.18363E+00
-- Uncertainties not scaled by nrms

End of loose solution with LC  observable and ambiguities free

Performing LC biases-fixed loose solution

**** Summary of biases-fixed solution ****

Total parameters: 432  live parameters: 181
Prefit nrms: 0.72164E+00  Postfit nrms: 0.18835E+00
-- Uncertainties not scaled by nrms

End of loose solution with LC  observable and ambiguities fixed

Normal stop in SOLVE
  
```

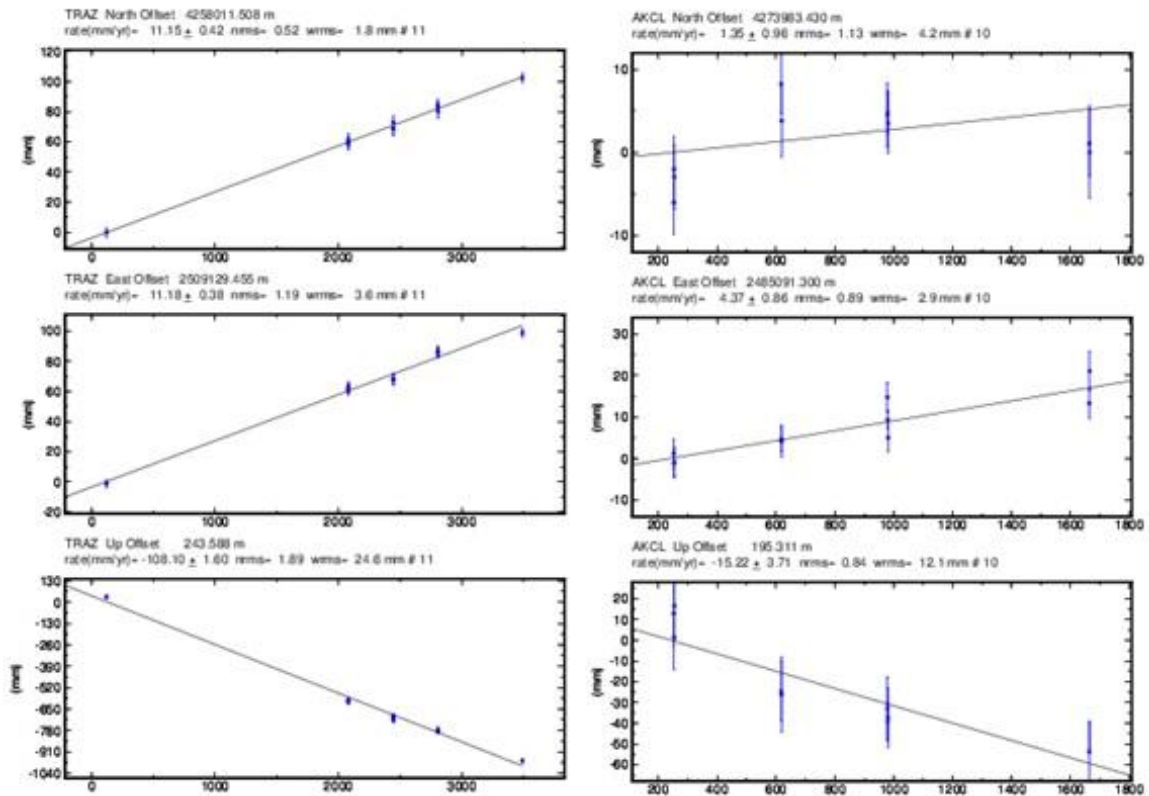
Resim 5. 4 Örnek q dosyasındaki postfit nrms değeri.

5.3.2 GAMIT Sonuçlarının GLOBK'de Değerlendirilmesi

Yeryüzü parçalı bir plaka sisteminden oluşmaktadır. Bununla birlikte yeryüzü her saat ve her an dinamik bir hareketin etkisi altındadır. Özellikle yeryüzünün yapısını ve depremleri inceleyen jeoloji bilimi ile konum belirleme ve konumlandırma yapan harita biliminde bu hareketin yönünün ve hızının bilinmesi hayati bir öneme sahiptir. Her iki bilim dalında bu hareketin yönü ve hızı belirlenip modellendikten sonra ancak hesaplamaların ve ölçümlerin sonuçları anlamlı ve doğru bir şekilde değerlendirilip

yorumlana bilmektedir. Bu çalışmada kullanılan GLOBK programı da yukarıda bahsedilen plaka hareketlerinin modellenmesinde ve nokta konum değişikliklerine bağlı zaman serilerinin üretiminde kullanılan bir Kalman Filtrelemesidir. Kalman Filtresi basit olarak elde var olan verileri değerlendirip bir model kurar ve bu kurduğu modele göre gelecekteki verilerin ne olacağını tahmin eder. Eldeki veri miktarı ne kadar artarsa tahmindeki kesinlikte o oranda artar (Dong *et al.* 1998).

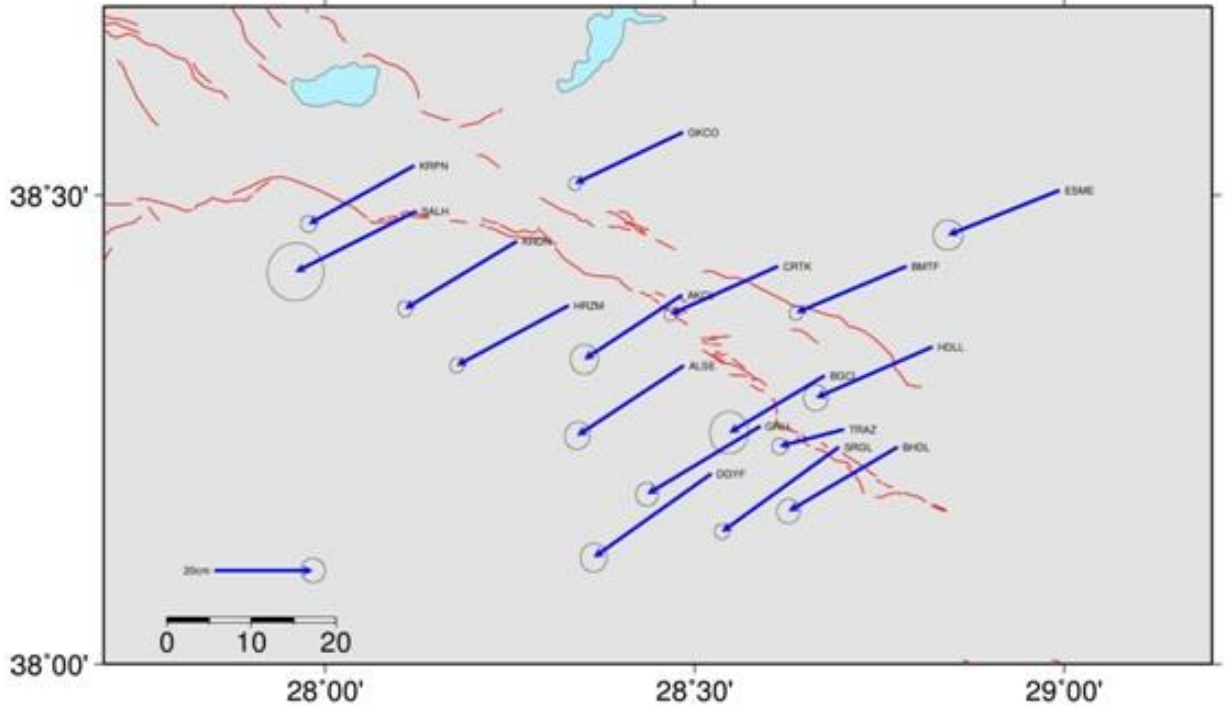
GLOBK programında tektonik hareketlerin gözlemlenmesini sağlayacak uzun dönem zaman serilerine (Yıllık Tekrarlılık) ihtiyaç vardır. Ölçüm ağına ait noktaların uzun dönem zaman serilerine ait grafikler GLOBK programında üretilerek noktalar tektonik açıdan değerlendirilir.” Globk programını çalışmalarımızda “sh_glred -s 2013 252 2013 254 -expt alas -opt H G E” komutuyla kullanılmıştır.



Şekil 5. 2 TRAZ ve AKCL noktalarının yıllık tekrarlılık grafikleri.

Bu çalışmada 26 tane IGS istasyonu Global stabilizasyon işlemi için kullanılmıştır. Bu istasyonlar çizelge 5.4 de verilmiştir. GLOBK stabilizasyon sonrası hesaplanan hız

değerlerinin post RMS değerleri 1 mm/yıl altında, Avrasya plakası için 0.50 mm/yıl olarak elde edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucu Avrasya sabit olarak elde edilen hızlar Şekil 5.3 de verilmiştir.

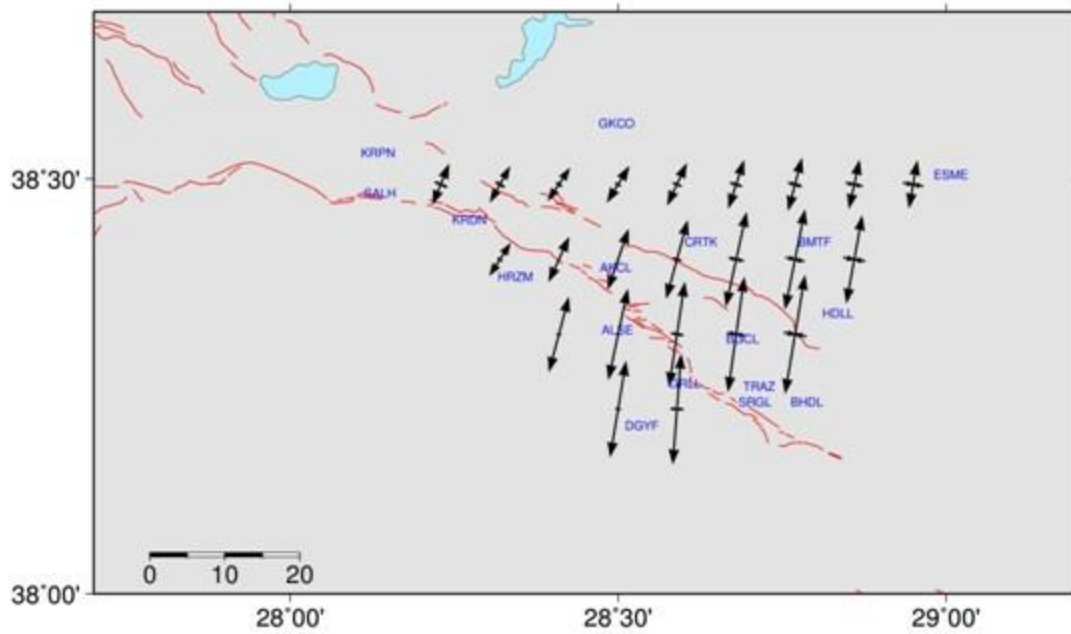


Şekil 5. 3 Avrasya sabit hız alanı.

Şekil 5.3'da TRAZ, AKCL, SALH noktalarının hata elipslerinin (1-2 mm) daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.7 incelendiğinde TRAZ ve SALH noktalarının bölge ile uyumlu hareket etmediği görülmüştür. Bununla beraber TRAZ noktası Alaşehir Grabeni içinde kalıp, (Poyraz *et al.* 2019) da belirtildiği gibi deformasyon zonu içinde kalmaktadır. Şekil 5.2 da görüldüğü gibi TRAZ noktasında yaklaşık 83 mm/yıl civarında düşey yer değiştirme meydana gelmektedir. Benzer şekilde AKCL istasyonu da Alaşehir Grabeni içinde kalıp 15 mm/yıl yer değiştirme gözlenmektedir. Bu noktalar çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde kullanılmayacaktır.

5.3.3 Gerinim Analizi ve Jeodezik Deprem Tekrarlama Haritaları

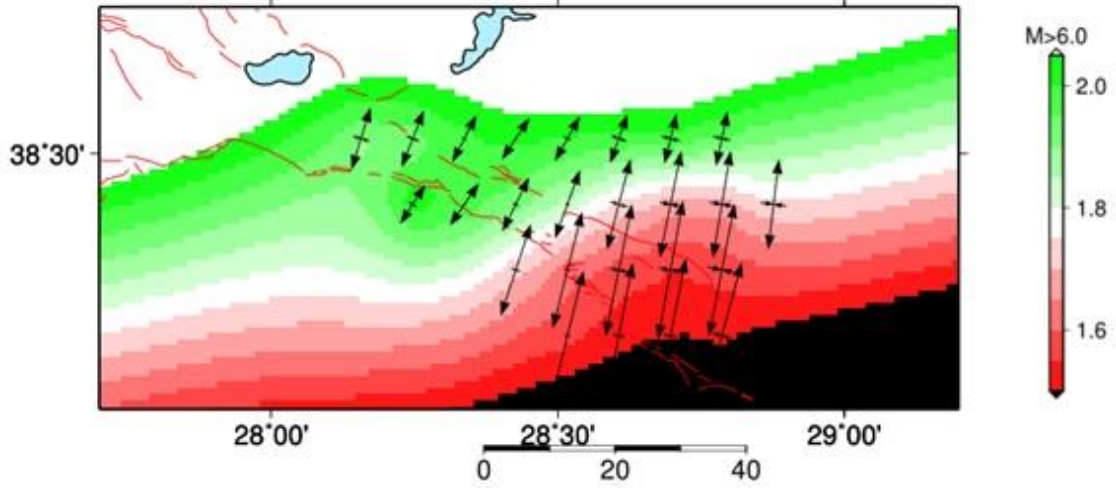
Bu tez çalışmasında gerinim analizi Geosuid yazılımı ile yapılmıştır. Geosuid programını gerinim alanlarının hesaplanabilmesi için, Şekil 5.3 de verilen GNSS noktalarını hızları ile bu hızların standart sapmaları girdi olarak verilmiştir. Geosuid yazılımı matematiksel algoritması Bölüm 4’de verilmiştir. Bu çalışmada 2 boyutlu gerinim analizi yapılmıştır. Bunun temel sebebi GNSS teknolojisinin henüz üçüncü boyutta istenilen doğruluğu vermemesidir. Çalışma bölgesi 10 x 10 km’lik gridlere ayrılarak her grid köşesine ilişkin gerinim alanları hesaplanmıştır. Elde edilen gerinim alanları Şekil 5.4’de gösterilmektedir.



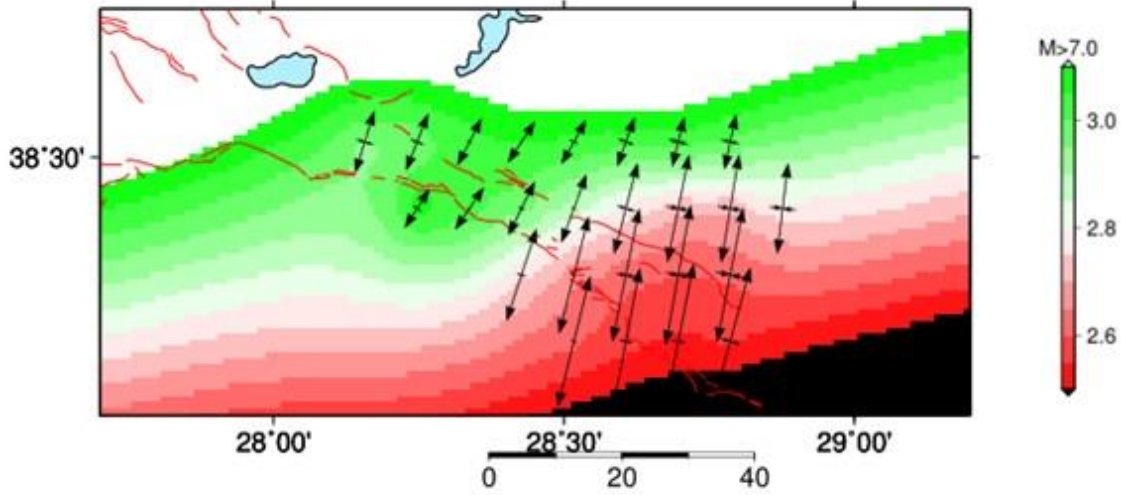
Şekil 5. 4 Gerinim alanı.

Gerinim alanı incelendiğinde genel anlamda bölgede bir açılma rejiminin hakim olduğu görülmektedir. Özellikle Grabenin kuzeyinde açılma değerlerinin daha küçük olduğu (Killik Fayı) güneye doğru ilerledikçe bu değerlerin arttığı görülmektedir. Bu durum Poyraz *et al.* 2019 da benzer sonuçlar içermektedir. Poyraz *et al.* 2019 bulunan bazı gerinim alanları bu çalışmada farklılık olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin bu çalışmada graben içinde kalan bazı noktaların düşey deformasyon olması nedeniyle kullanılmamış olmasıdır.

Elde edilen gerinim alanları yardımıyla jeodezik deprem tekrarlamaları haritaları üretilmiştir. Hesaplama için sismojenik zon derinliği 15 km alınmış ve birim alandaki moment hızlarının moment hızlarına dönüşümü için sonlu elemanlar tekniği kullanılmıştır. Elde edilen deprem tekrarlamaları haritaları ($M_w=6-7$) şekil 5.5-5.6'da verilmiştir.



Şekil 5. 5 Jeodezik deprem tekrarlamaları haritaları ($M>6$).



Şekil 5. 6 Jeodezik deprem tekrarlamaları haritaları ($M>7$).

Yukarıda lejeantta belirtilen sayılar logaritmik olarak deprem tekrarlamaları yıl aralığını bildirmektedirler. Örneğin şekil 5.5 da lejeantta bulunan sayılar 1.6 ile 2.0 arasındadır. Bu ifadeler logaritmik olarak 10 tabanında bakılırsa 6 dan büyük depremlerin tekrarlamaları

periyodu 39-100 yıl arasında değişmektedir. Yine şekil 5.6 incelendiğinde 7 den büyük depremlerin tekrarlama periyodunun 398-1000 yıl arasında olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma alanındaki hız ve gerinim alanını belirlemek için UDAP-Ç-13-07 ve TUBİTAK 113Y527 nolu projeler kapsamında 10 noktalı bir GNSS ağı kurulmuştur. Bu noktalarda 2013-2015 yılları arasında 3 kampanya GNS ölçüsü yapılmıştır. 2017 yılında ağı 6 yeni nokta eklenerek 2017 -2018 yıllarında AKÜ-BAPK (17.FENBİL.34) desteği ile GNSS ölçüleri yapılmıştır. Eklenen 6 yeni noktanın geçmiş yıllarda bölgede bulunan harita mühendisleri tarafından yapılan ölçüleri de temin edilerek tüm ölçüler GAMIT/GLOBK yazılım takımıyla değerlendirilmiştir.

Elde edilen hız alanı (Şekil 5.3) incelendiğinde çalışma bölgesinin Avrasya referans sistemine göre yıllık yatayda 18–29 mm/yıl’lık hızla güneybatı yönlerine doğru hareket ettiği hesaplanmıştır. Bu sonuçlar bölgede yapılan diğer çalışmalarla uyum içinde olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte bölgede son 20 yıldır asismik yüzey deformasyonları geldiği görülmektedir (Koca *et al.* 2011, Poyraz *et al.* 2019). Özellikle graben içinde meydana gelen bu deformasyonlar TRAZ ve AKCL noktalarında net şekilde görülmektedir. TRAZ istasyonu zaman serisi incelendiğinde 108 mm/yıl bir düşey deformasyon olduğu, yine AKCL istasyonunda ise aynı deformasyonun 15 mm/yıl olarak gerçekleştiği hesaplanmıştır. TRAZ noktasındaki deformasyonun noktanın ilk tesis edildiği 2008 yılından beri devam ettiği net şekilde görülmektedir.

Şekil 5.4 incelendiğinde bölgede açılma hareketinin baskın olduğu görülmektedir. Özellikle grabenin kuzeyinden güneyi doğru açılma artmaktadır. Buda bölgede normal faylanmanın baskın olduğunu göstermektedir. Emre *et al.* 2011 de de bölgenin normal faylar etkisinde olduğu gösterilmiştir. Gerinim alanları yardımıyla jeodezik deprem tekrarlama haritaları üretilmiştir. 6 ve 7 büyüklüğünde meydana gelebilecek depremlerin tekrarlama periyotları hesaplanmış ve şekil 5.5-5.6 da verilmiştir. Şekil 5.5 incelendiğinde 6 dan büyük depremlerin tekrarlama periyotları 39-100 yıl arasında

değiştii gözlenmiştir. Graben içinde Sarıgöl ve Alaşehir bölgeleri civarında hesaplan değerin 1.7 civarında olduğu görölmektedir. Bu değeri yaklaşık olarak 50 yıla tekabül etmektedir. En son bölgede meydana gelen yıkıcı deprem 28 Mart 1969 tarihinde $M=6.9$ büyüklüğünde Alaşehir depremidir. Bu depremden günümüze 50 yıl geçtiği düşünülürse gelecek yıllar içinde graben içinde 6 dan büyük deprem ihtimali oldukça fazladır.

Tez çalışması sonucunda elde edilen bilgiler ışığında tektonik amaçlı yapılacak GNSS ölçmelerinde dikkat edilmesi gereken hususlar ve bölgenin tektoniği ile ilgili öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Yapılan çalışmalar sonucunda zorunlu merkezleştirme olan pilye tesislerinde yapılan ölçülerin zemin tesislerinde alet sehpasıyla yapılan ölçülerden daha stabil olduğu görölmüştür.
- Yapılacak GNSS ölçülerinde mutlaka geçmişte ölçülere sahip noktaların kullanılması zaman para ve ölçü doğruluğu açısından önemlidir.
- Bölgeye daha fazla sayıda sabit GNSS istasyonu kurulması gerekmektedir.
- Gerinim alanları fazla olan Gediz sismik tehlikenin olmasından dolayı bölgelerde ki ilgili kurumların olası depremlere karşı önlem almaları konusunda bilgilendirilmelidir.
- Bölgede kurulan GNSS noktalarının sonuçlarının iyileştirilmesi için GNSS ölçülerine devam edilmelidir.

7. KAYNAKLAR

- Aktuğ, B., ve Kılıçoğlu, A., (2006). Recent Crustal Deformation of İzmir, Western Anatolia And Surrounding Regions as Deduced from Repeated GPS Measurements and Strain Field, *Journal of Geodynamics*, **41**: 471-484.
- Aktuğ, B., Lenk, O. (2010). Yeni Gelişmeler Işığında Ağ Hiyerarşisi, Ölçü Süreleri ve Duyarlık Ölçütlerinin İncelenmesi, *Harita Dergisi*, **144**: 40-50.
- Aktuğ, B., Özener, H., Doğru, A., Turgut, B., Halıcıoğlu, K., Sabuncu, A., Yılmaz, O., Havazlı, E. (2010). Doğu Anadolu Fay Sistemi Kayma Hızları ve Deprem Potansiyelinin Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi, Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Altıntaş, F. (2014). Gümüşhane – Trabzon Hattı Boyunca Yerkabuğu Hareketlerinin Gnss Verileri İle İzlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Gümüşhane.
- Arslan, A. (2004). Analysis Of Strain Accumulation Of The Faulting Zones By The Help Of Continuous Gps Stations, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Bakioğlu, M., Kadioğlu, N., Engin, H., 2001, “ Mukavemet Problemleri Cilt I”, Beta Basım.
- Baysal, D., Aktuğ, B., Koçyiğit, A. (2010). GPS Nokta Koordinatlarındaki Zamana Bağlı Değişimlerin Analizi ve Yorumu: İzmir Bölgesinde Uygulama. *Harita Dergisi*, **144**: 29-39
- Brendan W. Crowell, David A. Schmidt, Paul Bodin, John E. Vidale, Joan Gomberg, J. Renate Hartog, Victor C. Kress, Timothy I. Melbourne, Marcelo Santillan, Sarah E. Minson, and Dylan G. Jamison (2016). Demonstration of the Cascadia G-FAST Geodetic Earthquake Early Warning System for the Nisqually, Washington, Earthquake, *Seismological Research Letters*, **87**: 4, doi: 10.1785/0220150255.

- Çiftçi, N. B. (2007). Geological Evolution Of The Gediz Graben, Sw Turkey: Temporal And Spatial Variation Of The Graben. Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Doğal ve Uygulamalı Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Çakmak, R., (2001). Marmara Bölgesi'nde Kabuk Deformasyonlarının GPS Yardımıyla İzlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çolak, B. (2010). Marmara Bölgesi'nde Doğu Kesiminde Yatay Yerkabuğu Hareketleri Ve Gerinim Birikiminin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Dirik, K. (2006). Yapısal Jeoloji Ders Notları HÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü.
- Doğanalp, S. (2003). Kalman Filtreleme Yöntemiyle Deformasyon Analizi, Yüksek Lisans Semineri, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Dong, D., Herring, T.A., King R. W. (1998) Estimating Regional Deformation From a Combination of Space and Terrestrial Geodetic Data *Journal of Geodesy*, **72**: 200 - 214.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Olgun, Ş. ve Elmacı, H., (2011). 1:250.000 scale active fault map series of Turkey, Afyon (NJ 36-5) Quadrangle. Serial number: 16, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey.
- Gül, D. (2016). Sarıgöl (Manisa) Bölgesi Tektonik Hareketlerinin GPS İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Gürboğa, Ş. (2011). Neo- And Seismo-Tectonic Characteristics Of The Yenigediz (Kütahya) Area, Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hernandez, S. (2006). GPS Data Processing Via GAMIT/GLOBK: Applications to the East Africa Rift Academic Affiliation Senior The Univesity of Texas at El Paso USA.

- Herring, T.A., King, R.W. ve McClusky, S.C. (2009). GAMIT reference manual, Release 10.4. Department of Earth, *Atmospheric and Planetary Sciences*, Mass. Inst. Of Technol.
- Karasözen, E., Nissen, E., Bergman, E.S., Johnson, K.L., Walters, R. J. (2016). Normal faulting in the Simav graben of western Turkey reassessed with calibrated earthquake relocations, *Journal of Geophysical*, doi:10.1002/2016JB012828.
- Kıranlıoğlu, Y. (2006). Gps Yöntemi İle Deformasyonların Tespitinde Gerinimlerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadriya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksoz, M.N. ve Veis, G., (2000). Global Positioning System Constraints On Plate Kinematics and Dynamics in The Eastern Mediterranean and Caucaus, *Journal of Geophysical Research*, **105**: 5695-5719.
- Mekik, Ç., Akçın, H. (1998). GPS’te Tamsayı Belirsizliği Çözüm Yöntemleri, *Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Dergisi*, **84**: 35-50
- Okada, Y. (1985). Surface Deformation Due To Shear And Tensile Faults In A Half-Space, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **75**: 1135-1154.
- Oktar, O., Erdoğan, H. (2016). Gnss İstasyonları Lineer Hareketlerinin Zaman Serileri Analizi İle Belirlenmesi, HKMO Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 19-21 Ekim.
- Poyraz, F., (2009). Kuzey Anadolu Fay Zonu Doğu Kesiminde Yatay Yerkabuğu Hareketleri Ve Gerilme Birikiminin Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Poyraz, F., Tatar, O., Hastaoğlu, Ö., Türk, T., Gür soy, Ö., Ayazlı, E. (2011). Elastik Atım Teorisi: Kuzey Anadolu Fay Zonu Örneği , TMMOB Harita ve Kadastro

- Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 20 Ekim 2010.
- Ray, J. K. (2000). Mitigation of GPS Code and Carrier Phase Multipath Effects Using a Multi-Antenna System. *Phd Thesis*, University of Calgary.
- Reid, H. F. (1910). The mechanism of the earthquake: The California earthquake of April 8. 1906. *Report of the State Investigation Commission*, **2**, Washington.
- 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., Dmitrova, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R. ve Karam, G., (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia- Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *Tectonics*, **111**:1-26.
- Sezer, L. İ. (2010). Kütahya Yöresinin Depremselliği, *Ege Coğrafya Dergisi*, **19**: 35-52
- Shen Z.-K., Jackson D.D. and Ge X.B., (1999)6. Crustal deformation across and beyond the Los Angeles basin from geodetic measurements. *Journal of Geophysical Research*, **101**: 27957-27980.
- Solak, H. İ. (2015). Gnss Hızları İle Güneybatı Anadolu'daki Gerinim Alanlarının Zamansal Değişimi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Tekin, F., Hafizoğlu, E. (2004). Batı Anadolu'daki Önemli Fay Zonları ve Depremselliğe Etkileri, *Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi*, **1**: 21-34.
- Tiryakioğlu, I., Yavaşoğlu, H., Uğur, M.A., Özkaymak, Ç., Yılmaz, M., Kocaoğlu, H., Turgut, B. (2017). Analysis of October 23 (Mw 7.2) and November 9 (Mw 5.6), 2011 Van Earthquakes Using Long-Term GNSS Time Series, *Earth Science Research Journal*, **21**: 147-156.

- Tiryakioğlu, İ. (2012). GNSS Ölçüleriyle Güneybatı Anadolu'daki Blok Hareketleri Ve Gerilim Alanlarının Belirlenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tiryakioğlu, İ., Dereli, M. A., Gülal, E. ve Erdoğan, S. (2010). Tektonik Hareketlerin Belirlenmesine Yönelik Ölçü Kampanyalarında GNSS Gözlem Sayı ve Sürelerinin Konum Doğruluğuna Olan Etkilerinin Araştırılması, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergi*, **1**: 32-38.
- Tiryakioğlu, İ., Floyd, M., Erdoğan, S., Gülal, E., Ergintav, S., McClusky, S., Reilinger, R. (2013). GPS Constraints on Active Deformation in the Isparta Angle Region of SW Turkey. *Geophysical Journal International*, **195**: 1455–1463.
- Turcotte, D.L., and Schubert G., (1982). Geodynamics: Applications of Continuum Physics to Geological Problems, *John Wiley&Sons*, New York.
- Yalçın, B. (2007). Yerel Bir Ağda GPS Ölçü Süresinin Nokta Konum Doğruluğuna Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yalçın, H., Özaltan, İ., Kurnaz, T.F. (2013). Gediz Fayı Ve Yakın Çevresinin Deprem Tehlike Analizi, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, 25-27 Eylül 2013.
- Yavaşoğlu, H., (2009). Kuzey Anadolu Fayının Orta Anadolu Bölümündeki Güncel Tektonik Aktivitenin Jeodezik Yöntemler Ve Elastik Yarı Uzay Modelleme İle Belirlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldız, F. ve Kahveci, M. (2009). GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri, Nobel Yayınları, Ankara.

İnternet Kaynakları

- 1)<http://www.jeofizikmuhendisleri.com/makaleler/.Deprem.T%C3%BCrleri.Nelerdir>
01.05.2018
- 2)<http://fenbilgiyuvasi.blogspot.com.tr/2015/08/deprem-ve-fay-cesitleri.html>,
01.05.2018
- 3)<https://www.britannica.com/science/seismic-wave> 01.05.2018
- 4)<https://www.gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/> 01.05.2018
- 5)<ftp://igs.org/pub/data/format/rinex301.pdf> 01.05.2018
- 6)https://www.researchgate.net/figure/Earthquake-epicentres-M-4-red-circles-between-January-2000-and-December-2010_fig1_277776829?_sg=q-EZ2QA1mwtD0Wm_HvZBmi_ro2ZltzLU8YHB0gls7DjlahC3XNKQN_Y88ZnfeirJb5CpkzrjAqyI0sDFC6A 01.05.2018

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali İhsan UMUTLU
Doğum Yeri ve Tarihi : Samsun/Ladik ve 04.08.1991
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0.541.231.87.10 / aliihsanumutlu@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Uşak Ağaoğlu Lisesi, (2005-2009)
Lisans : Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği
Bölümü
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı,

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Özel Sektör (2014-2017)
Çivril Belediyesi (2017-Devam Ediyor)