



**DENİZLİ BÖLGESİNİN GERİNİM ALANLARININ JEODEZİK
YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ORHAN DOĞAN

Danışman

Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2021

Bu tez çalışması 18.FEN.BIL.19 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DENİZLİ BÖLGESİNİN GERİNİM ALANLARININ JEODEZİK
YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

ORHAN DOĞAN

Danışman

Doç. Dr. İbrahim TIRYAKIOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2021

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**DENİZLİ BÖLGESİNİN GERİNİMLERİNİN JEODEZİK
YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ**

Orhan DOĞAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Bu çalışmada Denizli, bölgesi tektonik hareketleri belirlemek için daha önceki çalışmalarda da kullanılan noktalarda dahil edilerek 21 adet GNSS ölçü noktaları kullanılmıştır. 2018-2019 yılları arasında GNSS ölçüleri yapılmıştır. Bölgede 8.8.2019 tarihinde bozkurt ilçesi yakınlarında Mw:6.0 (AFAD) büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. 2018 yılı ölçüler kullanılarak bölgenin deprem öncesi hızları ve gerinim alanları elde edilmiştir. Bölgedeki gerinim alanının en büyük değeri deprem merkez üssüne 5 km mesafede hesaplanmıştır. Bu gerinim alanın yönleri ile Depremin odak çözümleri uyum içindedir. Gerinim analizleri tarihte yaşanan diğer depremlerle uyumlu olduğu görülmüştür. 2019 yılında yapılan ölçülerle Bozkurt depreminin atımı hesaplanmıştır. Bölgede 4-18 mm atımlar elde edilmiştir. Bölgede yeteri miktar noktada atım hesaplanamadığı için ters çözümleme işlemi yapılamamıştır.

2021, viii + 45 sayfa

Anahtar Kelimeler: Denizli fayı, Babadağ fayı, Gerinim Analizi, GNSS

ABSTRACT

M Sc. Thesis

DETERMINATION OF STRAIN FIELD WITH GEODETIC METHODS IN DENİZLİ AREA

Orhan DOĞAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. İbrahim TİRYAKİOĞLU

In this study, 21 GNSS measurement sites that used in previous studies were used to determine the tectonic movements in the Denizli region. GNSS measurements were observed between 2018-2019. An earthquake of Mw: 6.0 magnitude occurred near the Bozkurt district on 8.8.2019 in the region. The pre-seismic velocities and strain areas of the region were obtained using 2018 measurements. The largest value of the strain field in the region was calculated at a distance of 5 km from the earthquake epicenter. The directions of this strain field are in harmony with the Earthquake's focal solutions. The strain analysis was found to be compatible with other earthquakes in history. The displacement of the Bozkurt earthquake was calculated with the measurements made in 2019. 4-18 mm coseismic slips were obtained in the region. Inverse analysis could not be performed since the coseismic slip of sufficient points could not be calculated in the region.

2021, viii + 45 page

Keywords: Denizli fault, Babadağ fault, Strain, GNSS

TEŐEKKÖR

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. Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi’ne 18.FENBİL.19 numaralı proje desteğinden dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışmasında en az benim kadar emeği ve özverisi olan sevgili eşim Neslihan’a, yüksek lisans eğitimim sırasında dünyaya gelen ve oyun saatlerinde yokluğuma katlanan sevgili oğlum Nuri Mert’e teşekkür ederim.

Bu tez çalışması sırasında desteğini esirgemeyen meslektaşlarıma da ayrıca teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Neslihan DOĞAN ve Nuri Mert DOĞAN’a ithaf edilmiştir.

Orhan DOĞAN
AFYONKARAHİSAR, 2021

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2.FAYLANMA VE TÜRLERİ	3
2.1 Eğim Atımlı Faylar.....	3
2.2 Doğrultu Atımlı Faylar	4
2.3 Oblik Atımlı Faylar	5
2.4 Deprem Odak Mekanizması ve Deprem Çizimleri	5
3. DENİZLİ BÖLGESİ TEKTONİĞİ VE BÖLGENİN DEPREMSELLİĞİ.....	8
3.1 Bölgenin Tektoniği.....	8
3.2 Bölgenin Depremselliği.....	11
4. GNSS HIZLARININ TEKTONİK HAREKETLERİN MODELLENMESİNDE KULLANILMASI.....	16
4.1 Tektonik Hareketlerin Belirlenmesinde GNSS Kullanımı	17
4.2 Gamit/Globk Yazılımı	20
4.3. Geodsuit Yazılımı.....	22
4.3.1 Harita Menüsü	22
4.3.2 Data Menüsü.....	22
4.3.3 Yer Seçimi	23
4.3.4 Deprem Verileri.....	23
4.3.5 Araçlar Menüsü	24
4.3.6 Plaka Menüsü	24
4.3.7 Strain Menü	24
4.3.8 Modelleme Menüsü	25
5. UYGULAMA.....	26
5.1 Çalışma Bölgesi ve GNSS Ağının Tasarlanması	26
5.2 GNSS Ölçüleri.....	28
5.3 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi.....	29
5.4 Çalışma Bölgesinin Hız Alanının Elde Edilmesi	32

5.5 Çalışma Bölgesinin Geodsuit Yazılımı ile Gerinimlerinin Belirlenmesi	33
5.6 Denizli-Bozkurt (08.08.2019) Mw:6.0 Depremi Sonrası Meydana Gelen Yer Değiş-tirmeler	35
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	37
7.KAYNAKLAR.....	39
ÖZGEÇMİŞ.....	45



KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CFA	Chartered Financial Analyst Institute
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning Systems
GAMIT	GPS Analysis MIT
GLOBK	Global Kalman Filter
InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar
IGS	International GNSS Service
IRNSS/GAGAN	Indian Regional Navigation Satellite System / GPS Aided GEO Augmented Navigation
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
KOERI	Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute
PRN	Pose Random Noise
PSInSAR	Permanent/Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar
MIT	Massachusetts Institute of Technology
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System
RINEX	Receiver Independent Exchange
SLR	Satellite Long Range
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
VLBI	Very Long Baseline Interferometry

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Fay Türleri.	3
Şekil 2.2 Eğim Atımlı Fay Türleri (İnt. Kyn. 2).	4
Şekil 2.3 Doğrultu Atımlı Fay Türleri (İnt. Kyn. 2).....	4
Şekil 2.4 Oblik (Yanal) Atımlı Fay Türleri (İnt. Kyn. 2).....	5
Şekil 2.5 Küre'nin Elipsoide evrilmesi (İnt. Kyn. 4).	6
Şekil 2.6 Fay Türleri ile deprem çözümlerinin gösterimi (İnt. Kyn. 5).	6
Şekil 2.7 Fay Düzlemi (Aktuğ, 2003).	7
Şekil 3.1 Batı Anadolu başlıca yapısal elemanlarını gösteren harita (Emre vd, 2013).....	8
Şekil 3.2 Denizli Bölgesi Fay Zonları (Emre vd, 2011).	11
Şekil 3.3 Bölgenin tarihsel ve aletsel dönem deprem aktivitesi (İnt. Kyn. 6).....	12
Şekil 3.4 Bölgenin aletsel dönem deprem çözümleri (Tan vd. 2008; Irmak ve Taymaz 2009; Topal 2012).....	13
Şekil 3.5 20.03.2019 09:34:27 Acipayam (Denizli) Mw 5.5 depremi (İnt. Kyn. 6).	14
Şekil 3.6 08.08.2019 14:25:30 (TSİ), Bozkurt (Denizli) Mw 6.0 depremi (Sözbilir vd. 2019)..	15
Şekil 3.7 08.08.2019 (TSİ), Bozkurt (Denizli) Mw 6.0 depreminin etkileri (Sözbilir vd. 2019).	15
Şekil 4.1 A) Şekil Değişirme B) Yer Değişirme C) Rotasyon (İnt. Kyn 7).....	18
Şekil 4.2 Deformasyon ölçme yöntemleri.....	19
Şekil 4.3 Geodsuit grid oluşturma menüsü (İnt. Kyn. 8).	25
Şekil 5.1 GNSS ağında yer alan tüm noktalar ve konumları.	27
Şekil 5.2 a-) KCBS Noktası b-) BEYB Noktası c-) BEYB Noktası d-) DNZ2 Noktası.....	28
Şekil 5.3 GAMIT ana klasör yapısı.	31
Şekil 5.4 Bozkurt Depremi öncesi (pre-sismik) hız alanı.	33
Şekil 5.5 Gerinim alanı ve Bozkurt (Mw:6.0), Acipayam (Mw:5.5) deprem çözümleri.	35
Şekil 5.6 08.08.2019 Denizli-Bozkurt Depremi Sonrası Meydana Gelen Yer değıştirmeler.	36

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Denizli bölgesi fay ve segmentleri (Topal 2012).....	10
Çizelge 3.2 Denizli bölgesi tarihsel depremler (Altunel 2000, Topal 2012)	11
Çizelge 5.1 GNSS ağında yer alan tüm noktalara ait bilgiler	27
Çizelge 5.2 GNSS Ağının Ölçü Kampanya Bilgileri.....	29



1. GİRİŞ

Deprem geçmişte olduğu gibi günümüzde de gizemini korumaktadır. Yüzyıllarca insanoğlu bu afetlerin nedenini, nasıl geliştiğini, nasıl korunacakları hakkında bilgi toplamak için araştırmalar yapmıştır. Bu sayede bilimin gelişmesine ve ilerlemesine etken olmuştur. Gelişen bilim sayesinde birçok afete çözümler bulunabilirken, yer kabuğu hareketlerine yani depremlere karşı koyulabilecek herhangi bir çözümler bulunamamıştır.

Deprem yer kabuğundaki ani kırılmalar sonucu ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılması sonucu geçtiği bölgedeki sarsıntılar olarak da tanımlanabilir. Bu şiddetli sarsıntıların hangi sıklıkla ve ne zaman meydana geleceği günümüzde de hala merak konusu halindedir. Birçok araştırmacı depremin nasıl meydana geldiğini araştırarak açıklamaya çalışmışlardır.

Günümüzde gelişen teknoloji ve bilim ile birlikte depremler için araştırmalar oldukça artmış ve farklı yöntemlerle depremlerin gizemleri çözülmeye çalışılmıştır. Bilimin gelişmesi sayesinde farklı bilim dallarının gelişmesine ve yer kabuğunun daha detaylı araştırılmasına imkân tanımıştır.

Depremlerin oluşmasına neden olan mekanizmayı 1915 yılında Alfred Lothar Wegener ortaya koyduğu kuramın gelişmiş şekli olan Levha Tektoniği Teorisi (LTT) olarak açıklanır (İnt. Kyn. 1). Bütün kara parçalarının bir bütün olduğunu Yunanca anlamı “Bütün Karalar” anlamına gelen pangea adlı kıta olduğunu önermişti. Kıtaların kayması ile alakalı düşüncesini pangeanın parçalanması ve farklı kıtaların şimdiki yerlerine doğru hareket ettiğini ve kıtaların arasına sular dolmasıyla denizler ve okyanuslar meydana gelmiştir. Wegener kıtaların kayması düşüncesini destekleyen farklı disiplinlerde birçok kanıt bulmuştur. Bu da pangeayı oluşturan kıtalar bir yapbozun parçaları olduğunu kaydetmiştir. Wegener’in ortaya koymuş olduğu bu kuramı gelişen bilimle birlikte bilim adamlarının zaman içerisinde geliştirmesiyle günümüzdeki Levha Tektoniği Teorisi ortaya çıkmıştır. Levha Tektoniği Teorisi’ne göre Litosferi oluşturan kabuk ve manto kısmı kırıklı ve parçalı bir yapı halindedir.

Kırıklı olan her parçaya levha levhaların kesiştiği sınırlara da fay denir. Levhalar

birbirlerine göre hareket halindedirler ve bu hareket oldukça küçük olduğundan dolayı milimetre olarak ifade edilir. Bu hareketler faylarda depremlerin oluşmasına neden olmaktadır.

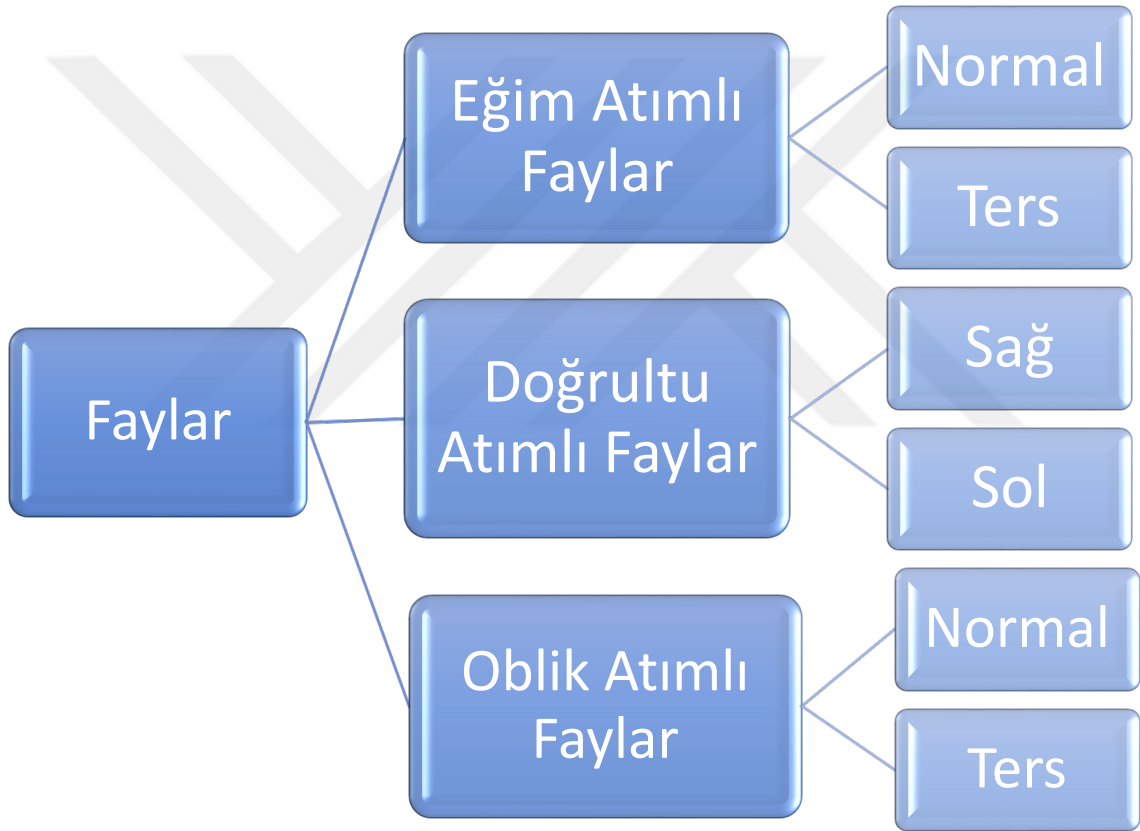
Levha hareketlerinin belirlenmesi jeofizik anabilim dalı dışında farklı disiplinlerinde dikkatini çeken bir konu haline gelmiştir. Fayların hızlarının belirlenmesinde ve levha hareketlerinin incelenmesinde GNSS yöntemi kullanılmaya başlanmıştır (Mc Clusky vd. 2000, Yavaşoğlu 2003, Reilinger vd. 2006, Poyraz 2009, Tiryakioğlu 2012). Türkiye üç levhanın arasında kalan ve deprem etkisinin oldukça fazla görüldüğü can ve mal kaybına neden olabilen sarsıntıların oluştuğu Avrasya, Arap ve Afrika plakalarının kesişim noktasında yer almaktadır. Kısacası dünyanın aktif tektoniğinin olduğu fayların birinin üzerinde yer almaktadır. Bu durum da geçmişten günümüze olan depremlerin günümüzde de varlığını sürdüreceği anlamına gelmektedir.

Denizli deprem ülkesi olan Türkiye'nin önemli bir sanayi ve ticaret şehridir. Denizli ve çevresi Batı Anadolu'nun bol kırıklı yapıya dahil olan Menderes Grabeni'nin doğusundadır. Denizli bölgesinde belirli periyotlarla oluşan şiddetli depremler can ve mal kaybına neden olmuştur. Bazı bilim insanları da Batı Anadolu Bölgesi'ndeki gelişmeler neticesinde bu bölgede de yakın zamanda depremlerin olabileceği konusunda da uyarılmaktadır (Tiryakioğlu 2012).

Bu çalışmada Denizli bölgesinde bulunan faylarda deprem öncesi (pre-sismik) döneme ait gerinim alanlarının hesaplamak için bir GNSS ağı kurulmuştur. 2018 yılı ölçüleri yapıldıktan 2019 yılı ağustos ayında Denizli Bozkurt ta Mw:6.0 büyüklüğünde meydana gelmiştir. Deprem sonrası 2019 yılı GNSS ölçüleri yapılarak depremin noktalarındaki atım miktarları hesaplanmıştır.

2.FAYLANMA VE TÜRLERİ

Yerkabuğunun konveksiyonel hareketleri kırıklı yapıya sahip olan plakaların birbirleri ile etkileşimi sonucu enerji üretirler. Bu enerji levhaların kırılma eşğine ulaştığında bir takım kırıklı yapılar (faylanma) oluşturur (Şekil 2.1). Bu faylanma yapıları farklı fay tiplerinden meydana gelmektedir. Fayların kırılma ve kayma hareketini yaptığı düzleme fay aynası ya da fay düzlemi olarak da bilinir. Fay blokları olarak bilinen kısımlar ise fayın iki tarafındaki kayaçlı yapılardır (Ketin 1982).



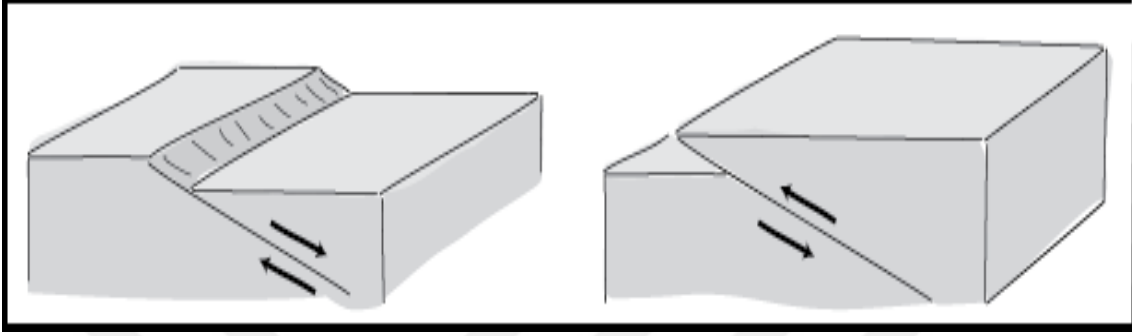
Şekil 2.1 Fay türleri.

Fay türleri fay blokları ve fay aynası ile olan geometrik durumlarına göre üç farklı grupta incelenebilir (Robert vd. 1997, Tüysüz 1999).

2.1 Eğim Atımlı Faylar

Eğim atımlı faylar tavan ve taban bloklarına göre farklı yönde aşağı yukarı hareket eden

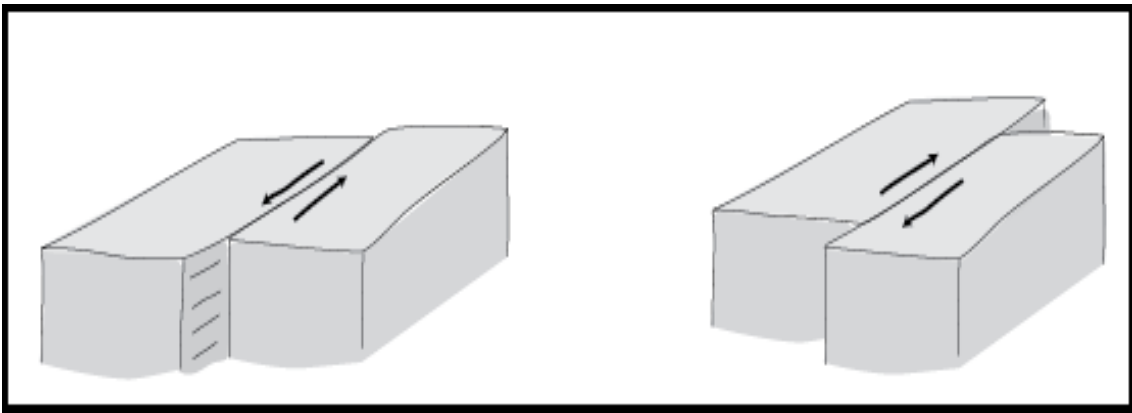
fay türüdür. Tavan blok taban bloğa göre aşağı yönlü hareket ediyorsa bu tür faylara eğim atımlı normal faylar denir. Tavan blok taban bloğa göre yukarı yönde hareket ediyorsa eğer eğim atımlı ters faylar olarak adlandırılır (Tüysüz 1999, Kibici 2005, Karaman 2006).



Şekil 2.2 Eğim atımlı fay türleri (İnt. Kyn. 2).

2.2 Doğrultu Atımlı Faylar

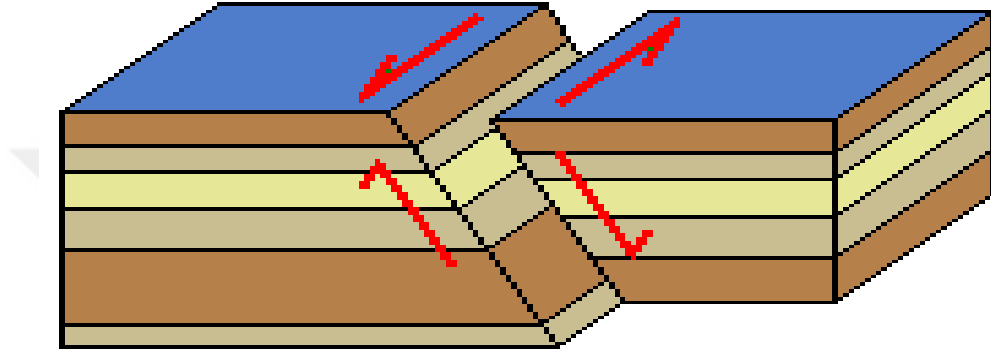
Doğrultu atımlı faylar yanal yönde hareket eden faylanma türleridir. Bu tür faylarda bloklar birbirlerine göre yanal yönde hareket ederler. Doğrultu atımlı faylar sağa ve sola olmak üzere iki farklı grupta yer alırlar. Tavan ya da taban blokta durup diğer bloğa bakıldığında karşı blok sağ yönlü hareket ediyorsa sağ yönlü doğrultu atımlı faylar, aynı şekilde tavan ya da taban blokta durup diğer bloğa bakıldığında karşı blok sola hareket ediyorsa eğer sol yönlü doğrultu atımlı fay olarak adlandırılmaktadır (Tüysüz 1999, Kibici 2005, Karaman 2006).



Şekil 2.3 Doğrultu atımlı fay türleri (İnt. Kyn. 2).

2.3 Oblik Atımlı Faylar

Bu tip faylar aşağı-yukarı ve sağa-sola olarak hareket eden fay yapılarıdır. Yatay ve düşey yönlü hareketlerin bileşimi yönünde hareket etmektedir. Diğer fay türleri incelendiğinde çoğunun yanal (oblik) fay olduğunu fay aynalarından ve fay çizgilerinden görülmektedir (Tüysüz 1999, Kibici 2005, Karaman 2006).



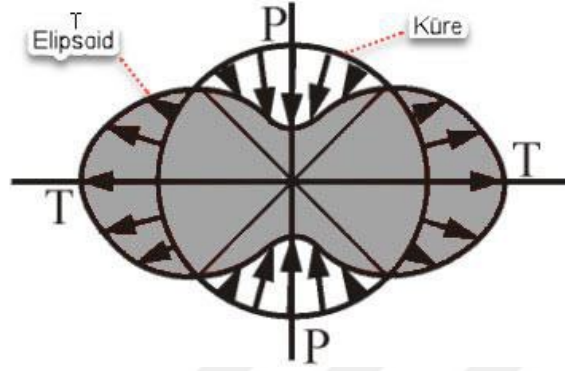
Şekil 2.4 Oblik (yanal) atımlı fay türleri (İnt. Kyn. 2).

2.4 Deprem Odak Mekanizması ve Deprem Çizimleri

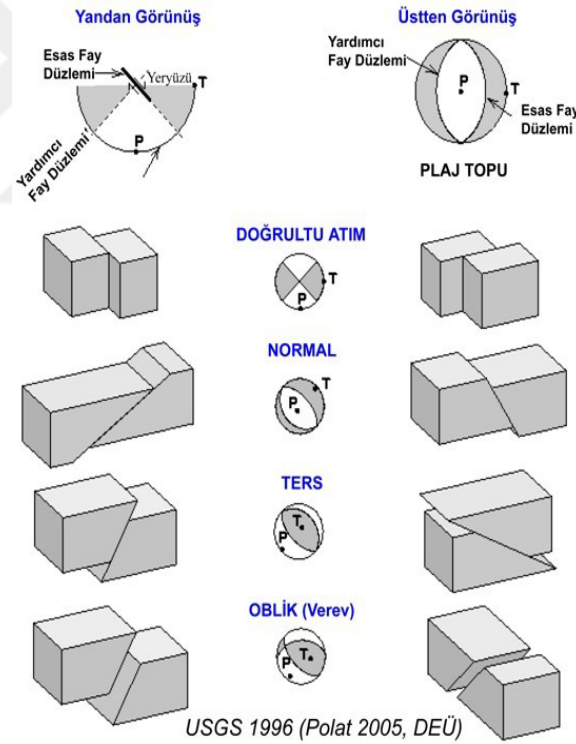
Depremlerin oluşumu sonrasında deprem odak mekanizmalarının çözülebilmesi için deniz topuna benzer şekiller kullanılmaktadır. Bu deniz topunu andıran şekiller depremin olduğu merkez noktaya etki eden kuvvetlerin nasıl çalıştığını ve fayın karakteristik yapısını bize özetler niteliktedir (İnt. Kyn. 3).

Deprem topları fay düzleminde meydana gelen yanal kayma veya düşey yer değiştirme yönlerinin, fay tiplerinin jeofizik haritalarında ve diğer deprem haritalarında kolaylıkla anlaşılabilmesini sağlamaktadır (İnt. Kyn. 3). Deprem topları elastik atım teorisine göre depremin olduğu odak merkezinde bir elastik bir kürenin olduğu ve bu elastik küreye etki eden kuvvetlerin döndürme etkisinin olmadığı kabul edilirse, küre farklı yüzeylerden gelen basınç doğrultusunda küre şeklinden elipsoid şekline doğru değişim gerçekleştirecektir. Bu değişim sırasında küre dört bölgeye ayırarak şekilde birbirlerine dik iki düzlem çizilirse bu düzlemlerin doğrultusunda çökme ve genişlemelerin maksimum düzeyde olduğu gözlemlenecektir. Birbirlerine etki eden bu kuvvetler

plakalarda biriken enerji seviyesini aştıklarında depremin oluşmasına neden olacaktır. Bu durum belirlenebilirse oluşan depremin odak mekanizması da çözülmüş olacaktır (İnt. Kyn. 4).

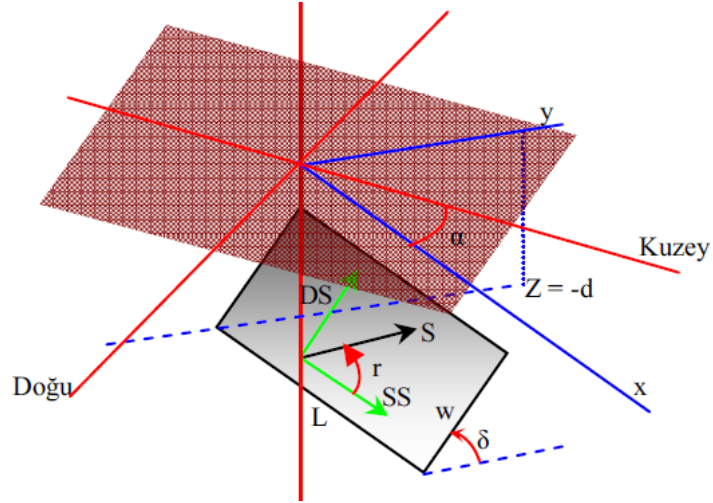


Şekil 2.5 Küre'nin elipsoide evrilmesi (İnt. Kyn. 4).



Şekil 2.6 Fay türleri ile deprem çözümlerinin gösterimi (İnt. Kyn. 5).

Fay geometrisi ve kayma parametrelerini tanımlamak için yer değiştirme, fay düzlemi üzerinde 2 boyutlu bir vektör olarak düşünülebilir. Bu vektöre kayma vektörü (slip), fay düzleminin üst kenarından itibaren saat istikametinde ölçülen açığa ise, kayma açısı (rake) adı verilir (Aktuğ 2003, Şekil 2.7).



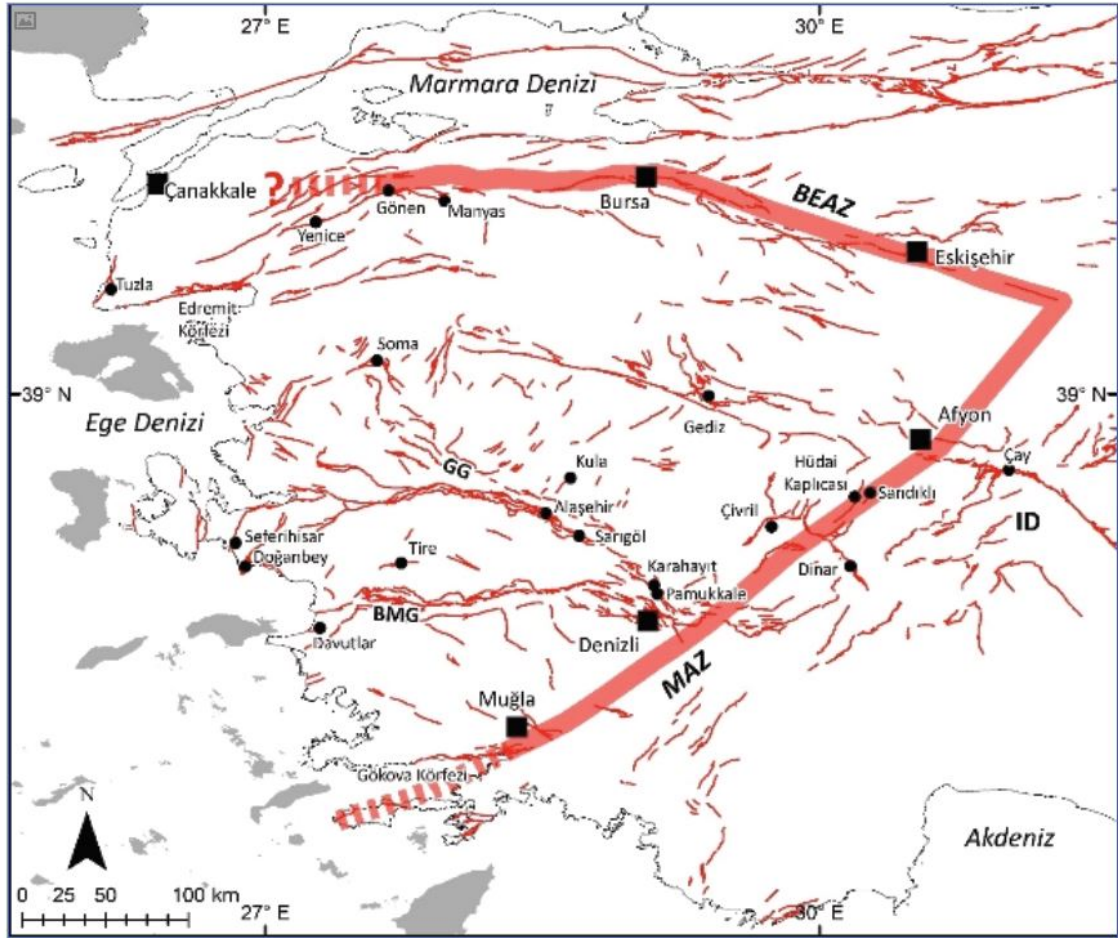
Şekil 2.7 Fay düzlemi (Aktuğ, 2003).

- s : Kayma vektörü
- δ : Eğim açısı (Dip Angle)
- α : Fay doğrultusunun azimutu (Strike)
- d : Fay düzleminin derinliği
- L : Fay düzleminin uzunluğu
- w : Fay düzleminin genişliği
- SS : Fay doğrultusu yönündeki kayma (Strike-Slip)
- DS : Fay eğimi doğrultusunda kayma (Dip-Slip)
- x,y : Fay doğrultusu ve ona dik koordinatlar
- r : Kayma vektörünün yönü (rake). (Bu açı fay düzlemi üzerindeki yer değiştirme bileşenlerine ayırmak için kullanılabilir. $ds = s \cdot \sin(r)$, $ss = s \cdot \cos(r)$)

3. DENİZLİ BÖLGESİ TEKTONİĞİ VE BÖLGENİN DEPREMSELLİĞİ

3.1 Bölgenin Tektoniği

Batı Anadolu fay kuşağının bulunduğu yer kabuğunda, önce sıkışmalar sonra da gerilmeler oluşarak bölgede geniş bir deformasyon zonu içinde fayların oluşmasına neden olmuştur (Şengör ve Yılmaz 1981, Dewey ve Şengör 1979). Denizli ilinde bulunduğu Batı Anadolu fay kuşağı depremsellik yönünden oldukça etkin ve olası depremlerin büyüklükleri de oldukça fazla olabilecek yapıda bir fay kuşağıdır. Bu fay kuşağı, Ege Denizi kıyılarından başlayarak İzmir, Aydın, Denizli gibi birçok ili ve ilçeyi kapsayan geniş bir bölgededir. Batı Anadolu fay kuşağında horst ve grabenler fazladır. Bunun temel nedeni ise bölgede eğim atımlı normal fay yapılarının geniş bir yer tutmasıdır (Şengör ve Yılmaz 1981, Bozkurt 2001).



Şekil 3.1 Batı Anadolu başlıca yapısal elemanlarını gösteren harita (Emre vd, 2013).

Denizli il sınırları içerisinde birden fazla fay sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemler Denizli ve Acıgöl grabenleri ile Çameli ve Beyağaç faylarıdır. Denizli grabeni Menderes ve Gediz grabenlerinin doğusunda kalan çöküntü havzasıdır (Westaway, 1993). Graben 24 km genişliğinde olup, 54 km uzunluğundadır. Grabenin kuzeyi normal faylarla kesilmiş ve bölünmüş olup, güneyini Denizli ve Sarayköy Fay Zonları ile Honaz fayı sınırlamaktadır. Grabenin kuzeyini ise Pamukkale fay zonu ile Kaklık fayı sınırlamaktadır (Emre vd 2011).

Bazı araştırmacılar ise bölgeyi Honaz, Pamukkale ve Babadağ fayı olarak isimlendirilmiştir. Bu faylar tek bir fay halinde değil segmentli bir yapıya sahiptir. Farklı araştırmacılar bu fayları farklı segmentlere bölmüşlerdir (Topal 2012). Bölgenin fay yapıları incelendiğinde KB-GD, D-B, KD-GB ve K-G yönünde uzanan faylardan oluşur. Özpınar'a (1994) göre bölge de düşey yer değiştirmenin miktarı yılda 0,5-2,5 mm olarak bölge bölge değişiklik göstermektedir. Koçyiğit'e (2005) göre Çürüksu grabeni ile Denizli havzası uzunlukları farklı olan 5 ana fay segmentiyle belirlenmiştir. Bunlar Yenice, Pamukkale, Kocadere, Gürleyik, Yeniköy fay segmentleridir. Kuzeyde Çürüksu grabenini sınırlayan ve tarihsel depremlerin kaynağı olarak Pamukkale fay hattı bilinmektedir. Pamukkale fay zonu Denizli grabeninin kuzeyini sınırlayan yaklaşık 4 km genişliğinde 53 km uzunluğunda olan doğrultu atımlı normal faylardan oluşmuştur (Çakır 1997). Pamukkale fay zonunda Koçyiğit (2005)'e göre en kısa fay 0.5-8 km, en uzununu ise 36 km'den oluşmaktadır.

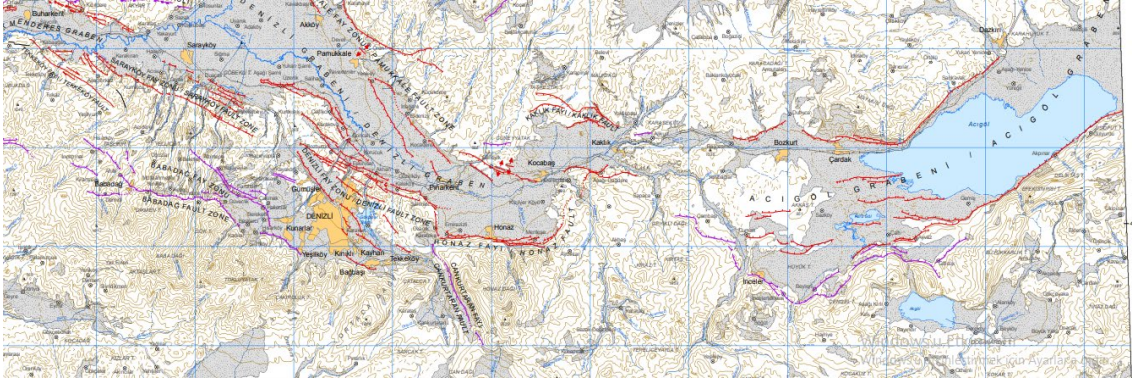
Honaz Fayı D-B gidişli olup, 40-60° ile kuzeye doğru eğimli ve toplam uzunluğu 13 km olup Honaz ve Karateke arasındaki 9.5 km bölüm Karateke Fayı olarak adlandırılmıştır (Okay 1989). Diğer segment ise Honaz ilçesinden geçerek çok belirgin fay düzlemleri ile Kızılyere doğru devam eder. Bozkuş ve diğ. (2001) tarafından fayın tamamı Honaz Fayı olarak tanımlanmıştır. Fayın hareketinde sol yanal bileşenin de olduğu çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir (Topal 2012).

Çizelge 3.1 Denizli bölgesi fay ve segmentleri (Topal 2012).

Faylar	Okay (1989)	Çakır (1999)	Bozkuş ve diğ. (2001)	Koçyiğit (2005)	Topal (2012)
Honaz	Karateke		Karateke	Honaz	Honaz
	Honaz		Honaz	Aşağıdağdere	Aşağıdağdere
Babadağ	Babadağ			Babadağ	Demirli
					Yeniköy
					Göveçlik
					Kadılar
					Yeşilköy
					Gökpınar
Pamukkale		Tripolis		Yenice	Gölemezli
		Gölemezli		Karagözler	
		Akköy		Karahayıt	Akköy
		Hierapolis		Pamukkale	Eldenizli
		Yeniköy		Kocadere	

Çameli Havzası'nın oluşumunda büyük rol oynayan Çameli Fayı Çameli Havzası'nın kuzeydoğusundan başlayıp Kavalcılar köyünün güneydoğusuna kadar uzanan bu fay yaklaşık 13 km uzunluğunda ve 135/75GD eğimlidir.

Çameli fay zonu Burdur-Fethiye Fay hattının bir bölümünde yer almaktadır. GPS ile fay hareketlerinin incelenmesini mümkün kılan doğrultu atımlı sol yanal faylar mevcuttur. Çameli fay hattı kırıklı birçok yapıya sahiptir. Çameli havzası neotektonik dönemde oluşmuş bir grabendir. Havzasının jeolojik yapısı gereği neotektonik dönem hakkında bilgi verir (Alçıçek, 2001, Tiryakioğlu 2012).



Şekil 3.2 Denizli bölgesi fay zonları (Emre vd. 2011).

3.2 Bölgenin Depremselliği

Denizli bölgesi depremsellik yönünden ülkenin en aktif bölgelerinden birisidir. Bölgede oldukça fazla diri fay bulunmaktadır. Genellikle Denizli bölgesinde kırıklı fay yapıları olduğundan dolayı faylar bütüncül değil zonlar halinde bölgeye yayılmıştır. Denizli bölgesinde geçmişten günümüze birçok deprem meydana gelmiştir (Demirtaş 2003, Topal 2012, Altunel 2000). Tarihsel dönem ile aletsel dönemlere bakıldığında Denizli bölgesinde oluşan depremler bölgede hasar ve yıkımlara neden olmuştur. Son yüzyıla bakıldığında Denizli bölgesinde 33 ün üzerinde önemli deprem meydana gelmiştir. Depremler, oluşumlarına göre genellikle fayların en zayıf noktalarından kırılması sonucu ortaya çıkan enerjinin yerkürede oluşturduğu titreşimlerdir (Demirtaş 2003).

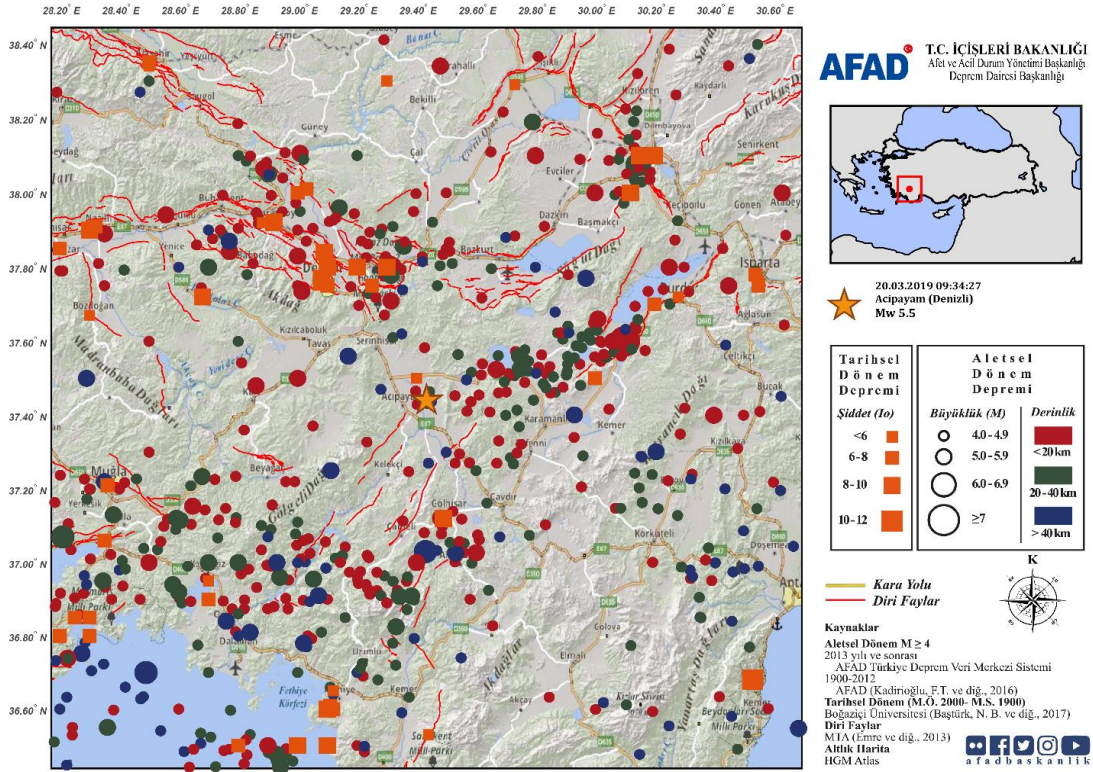
Çizelge 3.2 Denizli bölgesi tarihsel depremler (Altunel 2000, Topal 2012).

Tarih	Yarattığı Hasar
MS. 17	Deprem sonucu Hierapolis kenti yıkılır ve Roma İmparatorluğu'dan büyük yardım alınır.
MS. 60	Pamukkale'deki yapılarda yıkılmalar olur ve Roma İmparatorluğu'ndan Domitian Ana cadde ve Kaplanı yaptırır.
MS. 700	Pamukkale antik tiyatrosunun sahne köşe duvarı kısmen yıkılır ve duvardaki bloklar düşer. Pamukkale'deki antik hamamda tuğla ile onarılmış tonazlar çöker. Agora'da Latrin ve Anıtsal çeşme duvarları yan yatar ve devrilir (Bizans dönemine ait verilere göre).
1358	Bu deprem ile Pamukkale ağır hasar görür ve yerleşim yeri terk ediliyor.
1702 (1703)	Denizli'de ağır hasarlar meydana gelmiştir (Ambraseys ve Finkel 1995).
1717	Denizli-Sarayköy-Honaz arasındaki köylerde ağır hasar meydana gelmiş ve 6000 kişi ölmüştür.

Çizelge 3.3 (Devam) Denizli bölgesi tarihsel depremler (Altunel 2000, Topal 2012).

1878	Denizli ve Pamukkale’de önemli hasarlar meydana gelir. Sultan II Abdülhamit Denizli’ye deprem hasar tespiti için teknik eleman görevlendirir.
1899	B. Menderes Grabeninde meydana gelen bu deprem sonucu 50 km uzunluğunda yüzey kırığı oluşmuş. Aydın ve Denizli illerinde ağır hasar meydana gelmiş ve 1117 kişi ölmüştür.

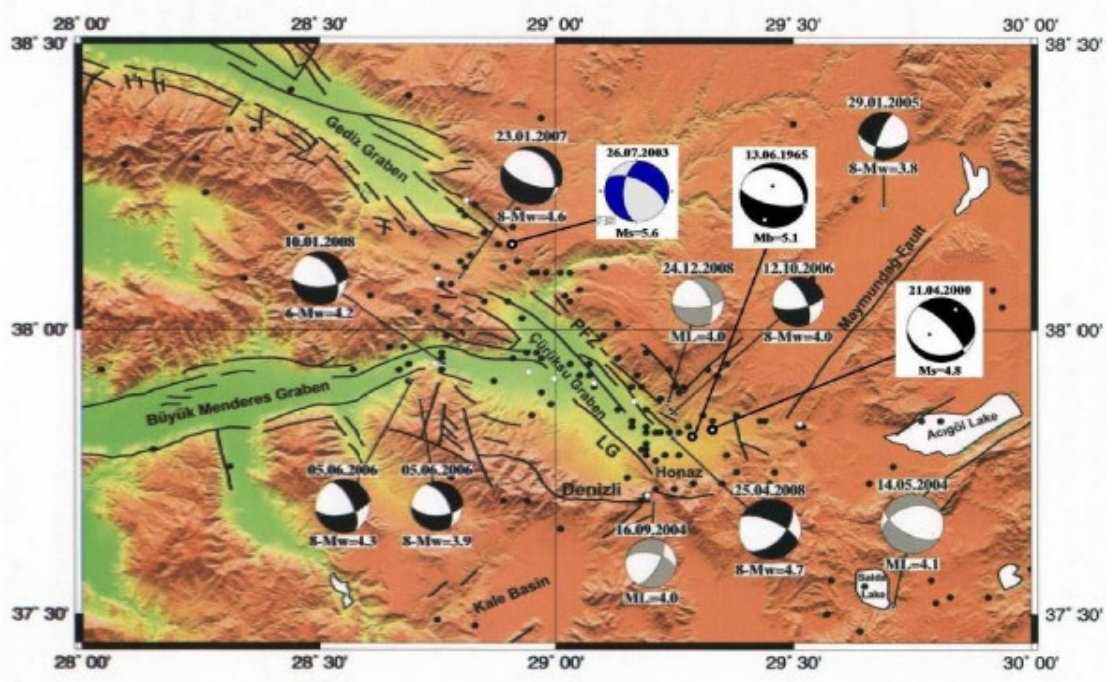
Denizli Havzası’nın tarihsel ve aletsel dönem deprem tespitlerine bakıldığında oldukça hasar verici şiddette depremlerin olduğu tarihsel ve aletsel kaynaklarda tespit edilmiştir. Tutulan bu kayıtlar neticesinde bölgede aktif fay zonlarının yıllara göre değişim göstererek bölgede etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 3.3 Bölgenin tarihsel ve aletsel dönem deprem aktivitesi (İnt. Kyn. 6).

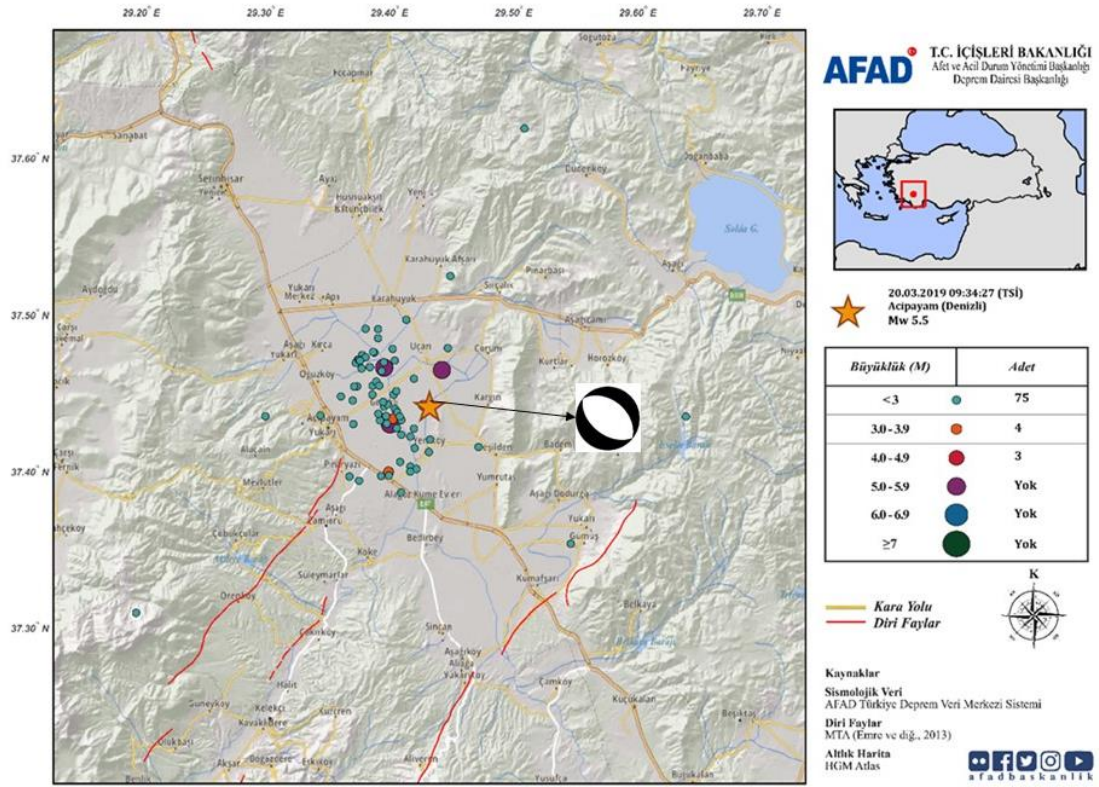
Denizli bölgesinde meydana gelen depremlerin çözümleri incelendiğinde bölgedeki fayların normal fay yapısında olduğu görülmektedir. Bununla birlikte özellikle Babadağ fayı civarında meydana gelen depremlerin çözümlerinde yanal atımlı fayların olduğu

tespit edilmiştir. (Kumsar vd. 2008, Topal 2012). Fay mekanizması çözümleri, 1965 ve 2000 Honaz depremleri Tan ve diğ. (2008), 2003 Buldan depremi Kandilli Rasathanesi internet sitesinden ve diğ. fay çözümleri de Irmak ve Taymaz (2009)'dan alınmıştır (Topal 2012).



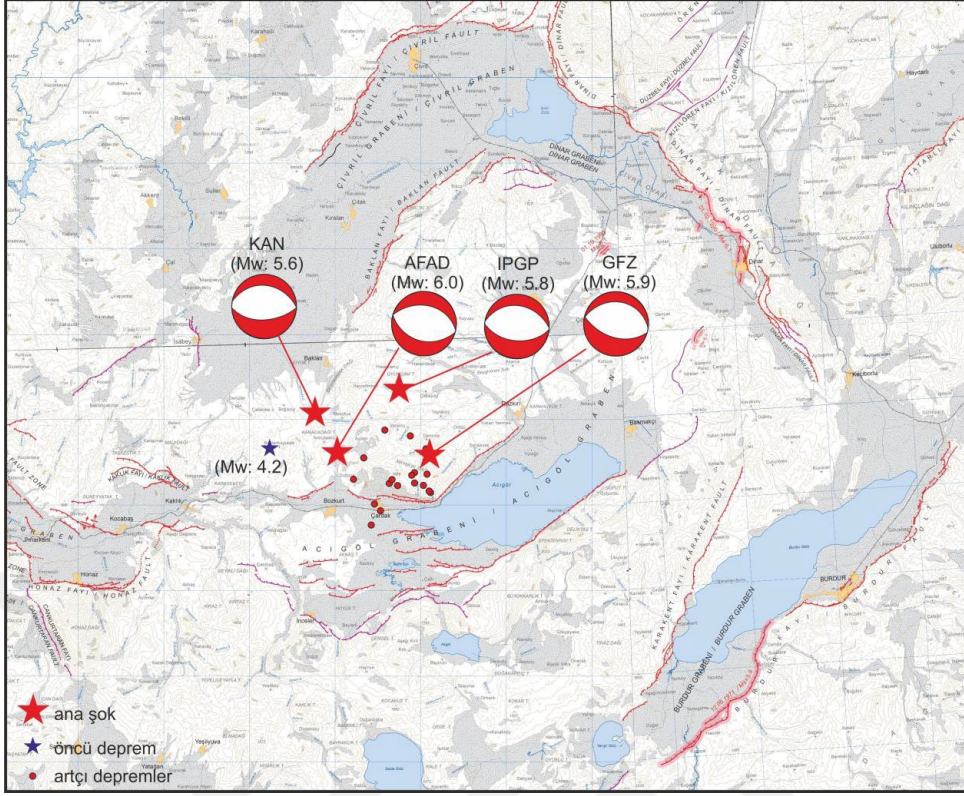
Şekil 3.4 Bölgenin aletsel dönem deprem çözümleri (Tan vd. 2008; Irmak ve Taymaz 2009; Topal 2012).

Son olarak 20 Mart 2019 da Acıpayam Mw:5.5 büyüklüğünde ve 08 Ağustos 2019 da Mw:6.0 büyüklüğünde iki büyük deprem meydana gelmiştir. Acıpayam bölgesinde meydana gelen depremde can kaybı olmamasında rağmen depremin merkez üssüne yakın köy ve ilçe merkezinde kalıcı hasarlar ve yıkımlara neden olmuştur. Acıpayam depreminin sismik kaynağı yaklaşık olarak D-B uzanımlı ve eğim atımlı normal fay niteliğindedir. Bölgede oluşan deprem sonrasında bölgede 1.4 ile 4.8 arasında değişen 123 tane artçı şok meydana gelmiştir (İnt. Kyn. 8).



Şekil 3.5 20.03.2019 09:34:27 Acipayam (Denizli) Mw 5.5 depremi (İnt. Kyn. 6).

Bozkurt da yaşanan 6.0 büyüklüğündeki depremin merkez üssü Çardak ilçesine bağlı Dutluca köyüne 1.6 km uzaklıktadır. Bozkurt depreminin sismik kaynağı yaklaşık olarak D-B uzanımlı ve eğim atımlı normal fay niteliğindedir. Depremin ardından bölgede büyüklükleri 0.8 ile 3.8 arasında değişen **359** artçı şok meydana gelmiştir. Bölgede oluşan depremin büyüklüğü Kandilli Rasathanesi tarafından 5.7, AFAD tarafından 6.0, Almanya Yer Bilimleri 5.9, Paris Yer Fiziği Enstitüsü 5.8 olarak değerlendirilmiştir (Şekil 3.6, Sözbilir vd. 2019). Bu depremler bölgede oldukça kalıcı hasar ve yıkımlara neden olmuştur. Depremin olduğu bölgedeki yerleşkeler eski binalar olması sebebiyle bölgede yıkım etkisini fazlaca göstermiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.6 08.08.2019 14:25:30 (TSİ), Bozkurt (Denizli) Mw 6.0 depremi (Sözbilir vd. 2019).



Şekil 3.7 08.08.2019 (TSİ), Bozkurt (Denizli) Mw 6.0 depreminin etkileri (Sözbilir vd. 2019).

4. GNSS HIZLARININ TEKTONİK HAREKETLERİN MODELLENMESİNDE KULLANILMASI

Deformasyon izlemeleri farklı mühendislik alanlarında yapılan sanatsal yapıların imalatında, can ve mal kaybının önlenmesi anlamında önemli bir yer tutmaktadır. Ülkemiz IV jeolojik zamanda oluşan genç bir kıtadır. Bu nedenle tektonik hareketler oldukça fazla görülmektedir. Deformasyon konusu 20. yy başlarına dayanmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle farklı türlerde alet ve teçhizatlarla deformasyon konusu incelenmeye çalışılmıştır. Gelişen günümüz teknolojisinde yersel ölçüm tekniklerinin yanı sıra GNSS (Global Navigation Satallite System) tekniğinde bulunması sonucu deformasyon ölçmelerinde kullanımı yaygınlaşmıştır (Yavaşoğlu vd. 2018, Tiryakioğlu vd. 2018, Yiğit vd. 2021).

1960'lı yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nin askeri alanda kullanmak amacıyla uzaya fırlatmış olduğu konum belirleme uyduları zamandan ve mekândan bağımsız bir şekilde yeni bir referans sistemi kullanarak tasarlanıp bu alanda kullanılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nin GPS (Global Position Satallite) sistemini sivil kullanıma açması sonucu deformasyon araştırmalarında oldukça yaygınlaşmıştır. GPS sistemi uyduların birbirlerine olan konumları ve dünyaya olan konumları baz alınarak mesleki anlamda geriden kestirme yöntemi ile dünya üzerindeki alıcının konumunun belirlenmesi sonucu işleyen bir sistemdir. Bu sistem sayesinde anlık konum belirleme imkânı olmuştur. Bazı bölgelerde sabit bir nokta tesis edilemediği için GPS bu anlamda oldukça çözüm odaklı ve iyi sonuçlar vermektedir. Çölde ya da deniz gibi farklı yüzeylerde ölçüm yapılabilmesi ve konum belirlenmesi GPS sayesinde olağan hale gelmiştir (Yıldız ve Kahveci 2009).

GPS sistemi uydu bazlı kurulan ilk sistem olmasına rağmen farklı ülkelerinde uzay araştırmaları yapması sonucu farklı uydu sistemleri de kurulmuştur. Bu uydu sistemleri Rusya'ya ait olan GLONASS, Avrupa Birliği'ne ait olan GALILEO ve Çin Halk Cumhuriyeti'nin kurmuş olduğu BEIDOU/COMPASS, Hindistan'a ait olan IRNSS/GAGAN, Japonya'ya ait olan QZSS sistemleridir (Şafak 2019).

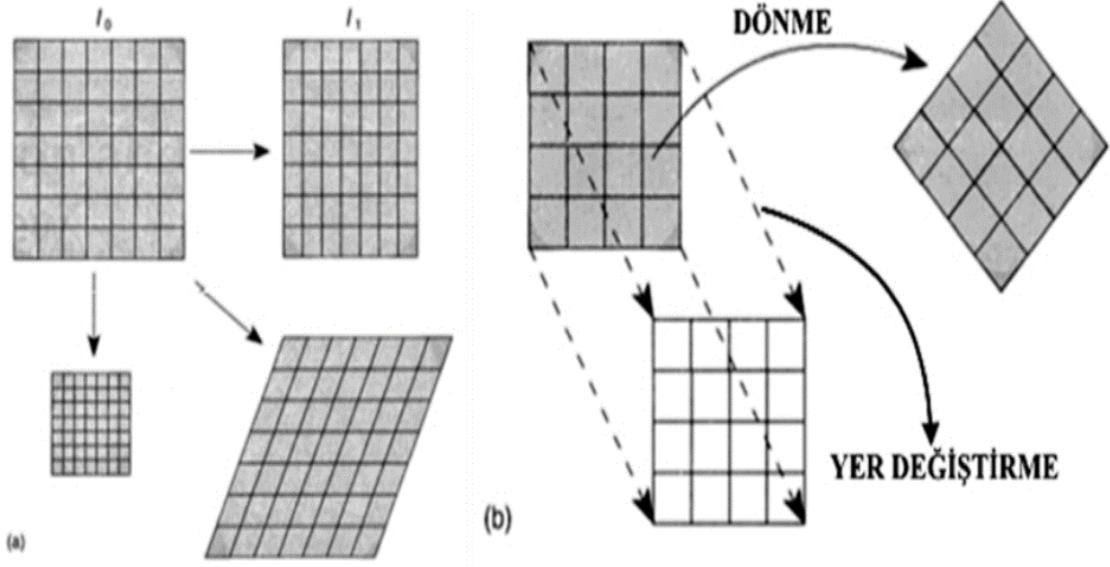
Küresel konum belirlemede üç temel belirsizlik söz konusudur. Bu belirsizlikler enlem, boylam ve yüksekliktir. Bu belirsizlikler bir veya iki uydunun alıcıya bağlanmasıyla

çözümüne ulaşmamaktadır. Belirsizliklerin çözümü için en az 3 uydunun bağlanması gerekmektedir.

Tek uydunun alıcısı ile olan pozisyonu uydunun alıcısı ile olan mesafesini belirlendiğinde uydunun merkezli bir daire, iki uydunun kesişimindeki iki noktada konumlanmış olabilir. Üç uydunun alıcısının konumunun belirlenmesinde en minimum kriterdir. Eğer yükseklikte elde edilmek isteniyorsa alıcısının en az 4 uyduya bağlanması gerekmektedir. Uydunun sayısının artması elde edilecek koordinatlarında daha hassas olmasına imkân sağlar (Aktuğ ve Kılıçoğlu 2006). Günümüzde GNSS ölçüleri özellikle tektonik hareketlerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Anadolu'nun ilk hız alanı verilen çalışma olan McClusky vd. 2000'den günümüze birçok araştırmacı GNSS ölçüleri ile tektonik hareketlerin belirlenmesi konusunda çalışmalar yapmışlardır. Genel anlamda GNSS ölçü noktalarında farklı zamanlarda kampanyalarla yapılan ölçülerden elde edilen anlamlı farklar ile bölgedeki GNSS noktalarının hızları tespit edilmektedir (Doğan 2002, Yavaşoğlu 2003-2019, Poyraz 2009, Tiryakioğlu 2012, Tiryakioğlu vd. 2013, 2017, Solak 2020, McClusky vd. 2000, Reilinger vd. 2006). Hızların tespitinde genel olarak bilimsel yazılımlar kullanılmaktadır. Bu yazılımlar GAMIT/GLOBK, Bernese, GIPSY OASIS dir. GAMIT-GLOBK yazılımı MIT tarafından geliştirilmiş olup açık kaynak ve ücretsiz olması nedeniyle birçok araştırmacı tarafından tercih edilmektedir.

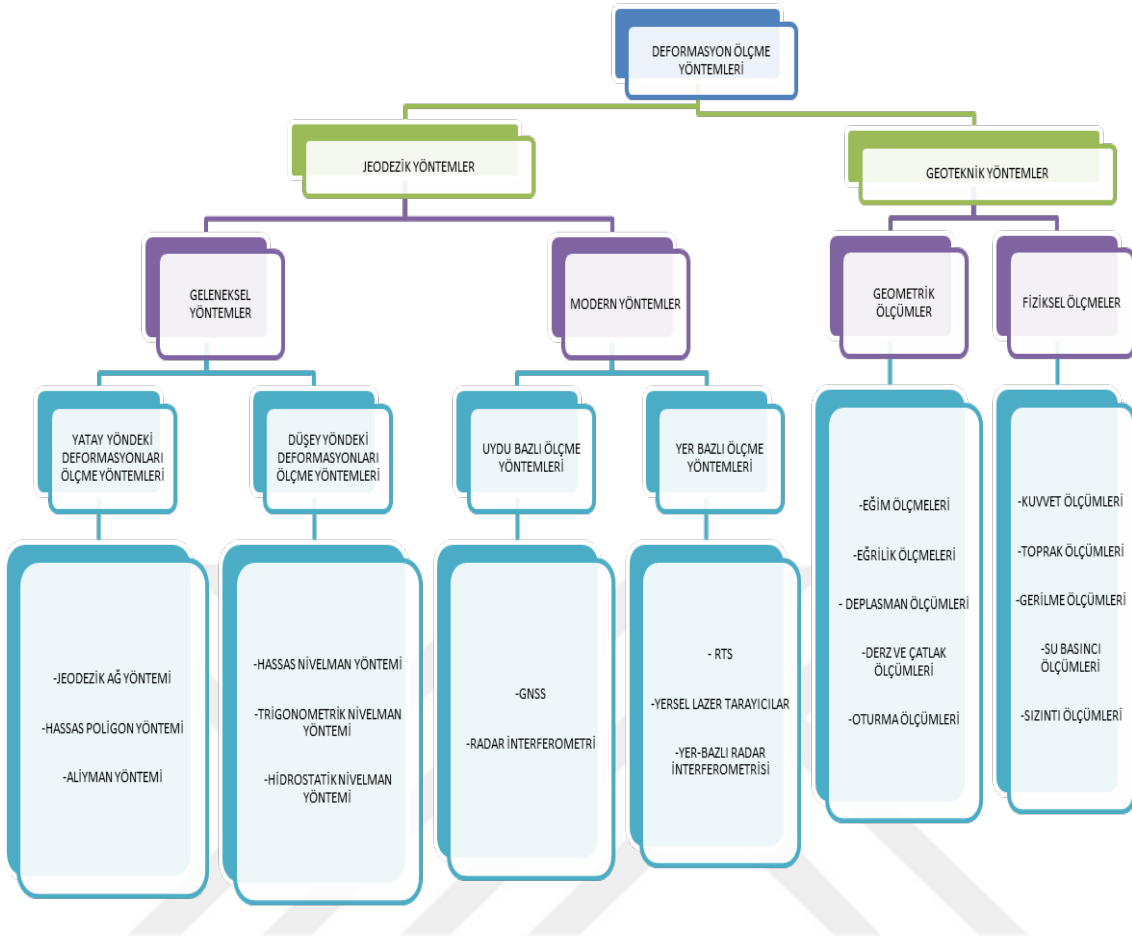
4.1 Tektonik Hareketlerin Belirlenmesinde GNSS Kullanımı

Yeryüzünde meydana gelen yer kabuğundaki kırıklarda meydana gelen hareketlerde sıkışan plakalara etki eden kuvvet gerilim kuvvetidir. Gerilim kuvveti denge halinde bulunan bir katı cismin dış kuvvetlere karşı kendi içinde iç kuvvetler oluşturur. Yani yeteri kadar küçük bir yüzey için birim yüzeye etki eden kuvvete gerilim denir. Gerilimin etkisinde kalan cisimde meydana gelen değişimlere de deformasyon denilmektedir. Deformasyon dönme, yer değiştirme, hacim ve şekil bozulmaları şeklinde meydana gelmektedir.



Şekil 4.1 A) Şekil değiştirme B) Yer değiştirme C) Rotasyon (İnt. Kyn. 7).

Deformasyon analizi Harita Mühendisliği'nin önemli konularından biridir. Büyük mühendislik yapılarının (Baraj, viyadük, gökdelen vb.) belirli dönem içerisindeki hareketlerinin izlenmesi ile yapıdaki deformasyonların belirlenmesi amacıyla değişik çalışmalar yapılmaktadır. Deformasyon ölçme yöntemleri jeodezik ve geoteknik olmak üzere 2 farklı grupta incelenebilmektedir.



Şekil 4.2 Deformasyon ölçme yöntemleri.

Jeodezik yöntemde özellikle GNSS teknolojisinde gelişmelerle birlikte bu deformasyonların izlenmesi daha da kolay bir hal almıştır. GNSS teknolojisi ile genel olarak yüksek doğrulukta koordinatlar elde edilmektedir. Bu koordinatların zamansal değişimlerinin izlenmesi ile elde edilen koordinat farklarının deformasyon olarak yorumlanmasının yanında bu değişimlere yol açan kuvvetler de incelenmektedir.

Tektonik hareketlerin belirlenmesinde kullanılan en önemli GNSS çıktısı hız verisidir. Bu hızlar farklı dönemlerde elde edilen koordinatlar arasındaki farklardan çeşitli matematiksel modellerle (Kalman Filtreleme vb.) elde edilirler. Günümüzde fayın geometrik yapısına göre kurulan bir jeodezik ağda farklı dönemlerde yapılacak olan GNSS ölçüleri ile faya ilişkin (fay kayma hızı vb.) güncel bilgilere ulaşmak mümkündür (Brendan et al. 2016, Oktar ve Erdoğan 2018, Gezgin 2020).

İnter sismik ve pre sismik dönemlerde GNSS hızları ile üst kabukta ortaya çıkan yamulmalar, yani yeryüzünde meydana gelen geometrik değişimler elde edilebilmektedir. Bu yamulmalardan yola çıkarak cisimdeki değişimlere neden olan kuvvet alanları kestirilmektedir. Yamulma analizlerinde çalışma bölgesi üzerinde GNSS hızları belirli noktalar seçilerek, bölgenin karakteristik hareketleri bu noktalara bağlı olarak ortaya konmaktadır. Bu nedenle yamulma analizi datum tanımından bağımsızdır. Koordinat farklarının analiz edildiği sistemlerde ortaya çıkabilecek datum bağımlılığı probleminden de kurtulmak için, datumdan bağımsız olan ve fiziksel özellikleri de yansıtan yamulma analizi deformasyonlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Baysal vd. 2010).

4.2 Gamit/Globk Yazılımı

GAMIT/GLOBK yazılım paketi birçok küçük programcıktan oluşmasına rağmen temel olarak GAMIT ve GLOBK olmak üzere iki ayrı yazılım vardır. Bunlardan ilki olan GAMIT kullanılarak alıcılardan elde edilen verilerle koordinat değerleri hesaplanır (Herring vd. 2016).

GAMIT yazılımı taşıyıcı dalga faz ölçümlerini ve pseudorange değerlerini kullanarak üç boyutlu koordinatların, uydu yörüngelerinin, atmosferik zenit gecikmelerinin ve Dünya dönüklük değerlerinin kestirimini yapabilmektedir. GAMIT yazılımında birçok aşama mevcuttur. İlk aşama olarak hangi verilerin kullanılacağı ve bu verilerin elde edildiği alıcıya ait anten bilgilerinin ve yüksekliklerinin programa tanıtılması gerekmektedir. Veriler programın istediği düzene getirildikten sonra uydulara ait saat ve ön yörünge bilgileri elde edilir (Herring vd. 2016).

Bu bilgiler program tarafından otomatik olarak ilgili yerlerden alındıktan sonra kod ölçümleriyle beraber yaklaşık koordinat değerleriyle alıcılardaki saat hatası giderilir. Üçüncü aşamada ise verilerdeki devir kesiklikleri bulunarak düzeltilir veya ortadan kaldırılır.

Sonrasında ise GAMIT birbirinden bağımsız olarak ikili farkları oluşturarak ilk dengeleme işlemi için gereken değerleri hesaplar. İlk dengeleme sonucunda birbirinden bağımsız ikili farklara ait faz belirsizlik değeri faz verisinin dağılımı ve baz uzunluğuna

dayalı eşleme ile orijinal taşıyıcı faz belirsizliklerinde üretilir. Bir sonraki adımda ise ikili fark uzun dalga boylu belirsizlik değeri için L1 ve L2 faz gözlemleri ayrı ayrı kullanılarak iteratif olarak elde edilir. Tamsayı değeri hesaplanacak olan belirsizlik dışındaki tüm değerler iyonosferden bağımsız ilk dengelemeden elde edilen değerlerine sabitlenir. Uzun dalga boylu belirsizlikler bir kere güvenli bir şekilde belirlendikten sonra doğru tamsayı değerlerine yuvarlanarak tüm parametreler saptanır ve ardışık olarak kısa dalga boylu belirsizlikleri çözmek için iyonosferden bağımsız ikili fark gözlemler üzerinde başka bir dengeleme işlemi yapılır. GAMIT yazılımının verileri değerlendirmek için ihtiyaç duyduğu modeller ay ve güneş yörünge bilgileri, IGS istasyonlarına ait alıcı yüksekliği, tipi (kendi noktalarımız için el ile girilmelidir), atmosferik modeller, okyanus ve atmosferik yükleme, gelgit gibi konumlara etki eden etmenlere ait bütün bilgiler yazılımın kütüphanesinde tanımlıdır (Herring vd. 2016, Tiryakioğlu 2012).

Yapılan işlemler sonucunda istasyonlara ait koordinatlar elde edilerek günlük tekrarlılık grafiği üretilir. Günlük tekrarlılık üretiminden sonra yıllık tekrarlılıklar üretilerek nokta konumlarındaki hız kestirimleri elde edilir. Tekrarlılık değerleri üretilirken GLOBK yazılımı kullanılır. GLOBK yazılımı işleyiş algoritmasında Kalman Filtreleme Tekniğindeki matematiksel modeller kullanılmaktadır. GAMIT'in sonuçları, büyük varyans ve korelasyonlu bir kovaryans matrisine sahiptir. GAMIT yazılımı ancak yüksek miktarlarda kısıtlanmış çözümlerin normal geometrik ilişkilerinin sürmesine olanak sağlar. Kalman Filtreleme Tekniği koordinatların eş zamanlı belirlenmesi için birden fazla oturumdan gelen dengelemeleri birleştirme kapasitesine sahip olup hem nokta hem de uydu parametrelerindeki farklı apriori kabullerin kullanımının etkisini test etmek için etkin bir yöntemdir. Eğer bir GPS kampanyasında ayrı ayrı oturumlar için tüm uydu yörüngeleri aynı başlangıç koşullarından elde edilmişlerse, uydu yörüngelerindeki yüksek ağırlıklı kısıtlama uygulaması teorik olarak daha duyarlı koordinat kestirimi sağlaması gereken birden fazla oturum bilgisi kullanmaya eşdeğerdir. Zamana göre noktaların hızlarını tanımlayan değerler bu tabloya kolayca yerleştirilebilir ve bu oranla ilgili nokta koordinat kestirimlerinin dağılımı oturumlar arasındaki nokta koordinatlarını serbest bırakmak için stokastik (zamana bağlı) süreçler koyularak kestirilebilir (Herring vd. 2016, Poyraz 2009, Tiryakioğlu 2012).

4.3. Geodsuit Yazılımı

Geodsuit yazılımı jeolojik ve jeodezik anlamda hızlar ve plaka hareketleri, yer kabuğunda oluşan deformasyon, fayların geometrisi gibi çeşitli geodinamik parametreler için bir analiz yazılımıdır (Aktuğ 2017). Birçok çalışmada kullanılmaya başlayan bu yazılım tektonik hareketlerin modellenmesine ilişkin birçok işlemi bünyesinde barındıran bir programdır (Kavak 2020, Eyubagil 2020, Solak 2020). Programın genel yapısı aşağıda tanımlanmıştır.

4.3.1 Harita Menüsü

Geodsuit programı iki farklı uzantıyla çalıştığı gibi Arcgis gibi vektör formatları (.shp uzantılı) da desteklemektedir. Autocad (.dxf , .dwg) programı ve raster (jpg, bmp, png, ecw, tif) alt yapısı sayesinde farklı uzantıları da desteklemektedir.

Harita menüsünde örneğin 21-48 boylamlı ve 33-44 enlemli bir raster verisinde programda enlem boylamında kullanılabilmesi için raster verisinin ismi yeniden düzenlenir. name_21_48_33_44.jpg şeklinde adlandırılarak direk raster dosyası olarak kullanılabilir. Veri klasöründe örnek birkaç harita bulunmaktadır. Kullanılan mevcut haritaya “Şehir Ekle” “Kasaba Ekle” menü öğeleri vasıtasıyla haritaya kasaba ve şehirler eklenebilir.

Depremler de mevcut görünüme eklenebilir, fakat depremlerin eklenebilmesi için öncelikle bir katalog yüklenmelidir. Deprem sayısı oldukça büyük olabilir ve yer kaplayabilir. Bu nedenle hafızayı boşaltmak için menü öğelerinde depremleri kaldırma seçeneği mevcuttur. Depremlerin nasıl yüklenip filtreleneceği “Veri Menüsü” bölümünde detaylı olarak anlatılmaktadır (İnt. Kyn. 8).

4.3.2 Data Menüsü

Gnss verilerinin (konum, hız) yüklenmesine olanak sağlar. GNSS ağ planlamasında oldukça kullanışlı olup, çeşitli formatlarda da yüklenebilmektedir (İnt. Kyn. 8).

4.3.3 Yer Seçimi

Yer seçimleri birden fazla kritere göre seçim yapılabileceği bir seçim ara yüzü sunar. Tüm model ve analizler seçilen yerler sayesinde gerçekleşmektedir. Herhangi bir yeri filtrelemek ya da ayrı tutmak için bu menü kullanılır. Yerlerin grafiksel olarak ayırmanın 2 yolu vardır:

- Shift tuşuna basılı tutarak yerler seçilir, seçim penceresindeki “ Haritada Seçili Yerleri Al” düğmesine basılır.
- Bir diğer yol ise çokgen çizerek o alandaki yerleri seçebilmektir. Bunun için ana araç çubuğu kullanılarak bir çokgen çizin ve seçin ibaresi kullanılır. Ardından “Seçili Poligonun İçindeki Yerleri Al” düğmesine basılır.

Siteleri filtrelemenin 2 yolu vardır:

- Min / Max boylam ve enlem tanımlayarak
- Hız bileşenlerinin belirsizliği için Max eşik değeri tanımlayarak
- Hız büyüklüğünün belirsizliği için Max eşik değeri tanımlanarak

Seçilen yerler liste halinde kontrol edilebilir. Veri menüsünde bulunan kullanışlı özelliklerden biri de yerlerin bize nokta ya da hız verisi olarak verilebilmesidir (İnt. Kyn. 8).

4.3.4 Deprem Verileri

KOERİ’den Geodsuit, AFAD’tan Geodsuit, ASCII’den Geodsuit gibi ikili kataloğundan deprem yüklemek için farklı formatlar bulunmaktadır. “Katalog Dosyasını Dönüştür” düğmesine tıklayarak farklı formatlardaki katalogları dönüştürmeyi sağlar ve bu sayede daha az disk alanı kaplar (İnt. Kyn. 8).

4.3.5 Araçlar Menüsü

Araçlar menüsü çeşitli çokgenlerin, GPS yerlerinin, bölge ve kasabaları sayısallaştırmak için çeşitli imkânlar sunar. Sayısallaştırma en hızlı olacak şekilde tasarlanmıştır.

“Araçlar” menüsünde “Izgara Oluştur” ibaresi kullanılarak çeşitli aralıklarla veri noktaları oluşturulabilir.

Ya da dikdörtgen çizerek “Seçili Dikdörtgenden Sınırları Al” düğmesi kullanılarak “Izgara Oluştur” penceresi kullanılır (İnt. Kyn. 8).

4.3.6 Plaka Menüsü

Plaka menüsü levha rotasyonlarını, levha hızlarını, artık hızları ve çerçeve dönüşümünü hesaplamak için çeşitli fonksiyonlar sağlar. Euler pole parametreleri de bulunmalıdır. Euler Pole Parametreleri manuel girilebilir ya da hızlar yardımıyla hesaplanabilir. Parametreler belirlendikten sonra artık hızların diğer verilerin hesaplanması daha kolaydır. Hızlar arasındaki ilişki:

$$V_{xyz} = \Omega x r \quad (4.1)$$

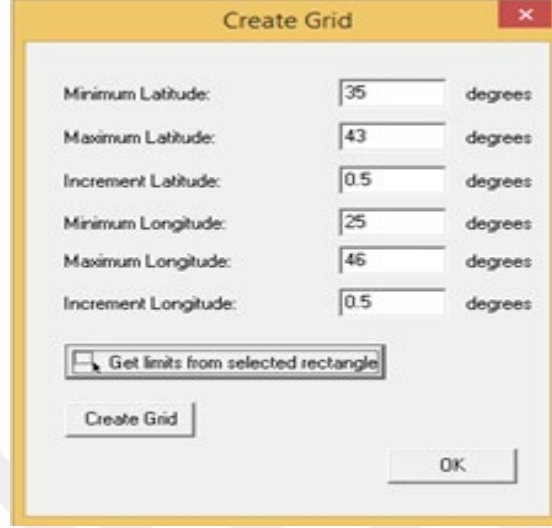
Ω Euler vektörüdür. V hız vektörüdür. r ise dünya merkezli bir çerçevedeki konum vektörüdür.

Plaka menüsünde bir veya birden fazla bölge seçilip referans bölgesi olarak seçilebilir ya da bütün istasyonların hızları bu referans alanlarının hızına göre ifade edilebilir (İnt. Kyn. 8).

4.3.7 Strain Menü

Gerilmeler gözlenen GNSS hızlarından üretmek için farklı yaklaşımlar sergilenebilir. Gerilme oranları en küçük kareler boyunca döndürme ve çeviri oranlarıyla aynı anda

ızgara noktalarında tahmin edilmiştir. Genel Haritalama Araçları “yüzey” düğmesiyle veriler dışarı farklı formatlarda aktarılabilir.



Şekil 4.3 Geosuit grid oluşturma menüsü (İnt. Kyn. 8).

4.3.8 Modelleme Menüsü

Modelleme menüsü, sismik yer değiştirmelerin ileri ve ters modellemesi için araçlar sunar. İleri modellemede, sismik yer değiştirmeler sonlu bir dikdörtgen hata için verilen denklemler kullanılarak hesaplanır (Okada 1985).

Parametrenin sınırının sıfır tanımlanması durumunda inversiyonda sabit olduğu varsayılır. Geosuit ayrıca küresel ve karma optimizasyon yöntemleri ile coseismic yer değiştirmelerinin ters modelini desteklemektedir. GPS kaynaklı sismik yer değiştirmeler, aşağıdaki elastik bir yarı-boşlukta sonlu bir yer değiştirmenin yüzey yer değiştirmeleri olarak modellenebilir (Okada 1985).

Geosuit programı sayesinde hem global açıda hem de lokal optimizasyon içeren bir karma optimizasyon şekli belirlenmiştir. Hata geometrisi ve yüzey yer değiştirme arasındaki ilişki doğrusal değil birçok yerel asgari içerir (İnt. Kyn. 8).

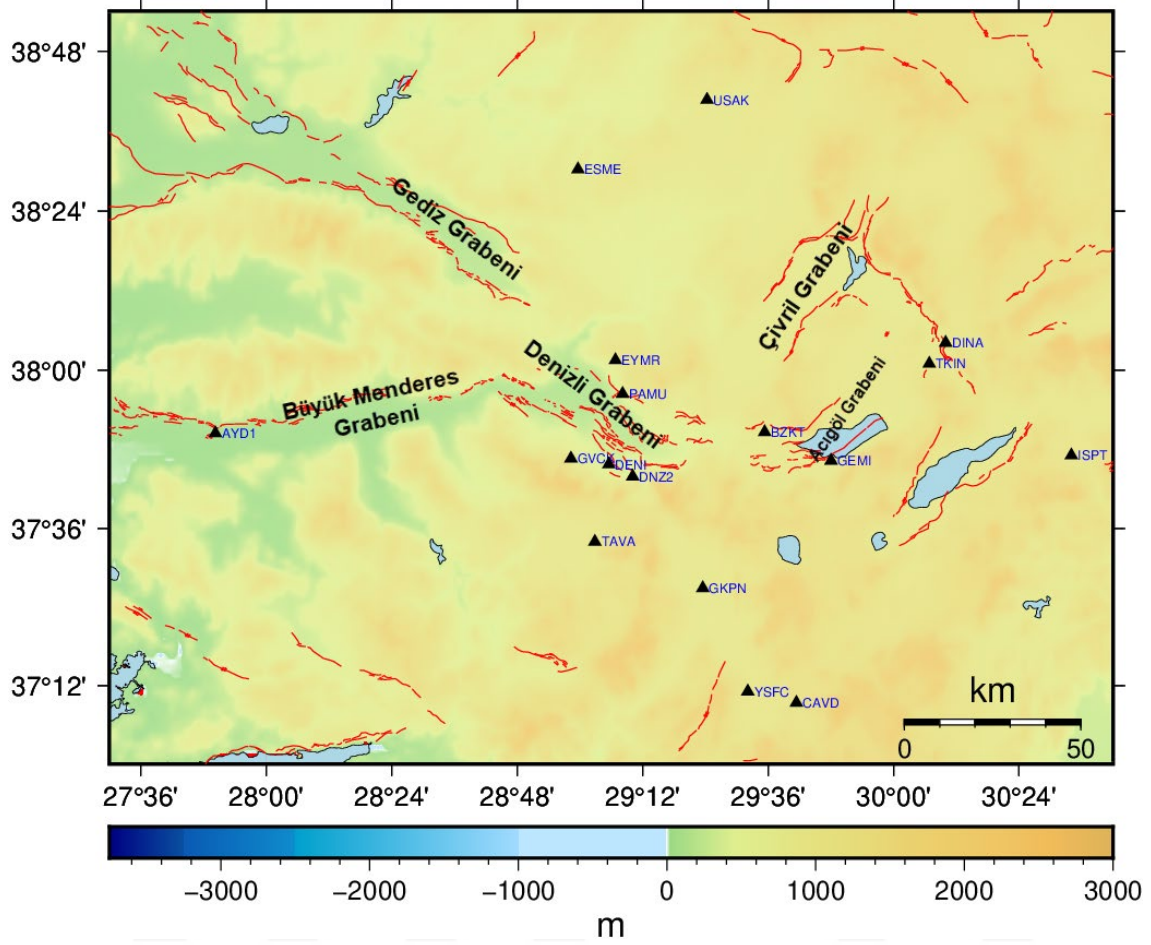
5. UYGULAMA

5.1 Çalışma Bölgesi ve GNSS Ağı'nın Tasarlanması

Çalışma bölgesi; ülkemizin Güneybatı Anadolu olarak anılan bölgesinde, Ege Graben Sistemi içerisinde yer almaktadır. Merkezi Denizli il merkezi olmak üzere yaklaşık olarak 50 km yarıçaplı bir daire alanını kapsamaktadır. Bölgede 2017 yılında istikşaf çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar esnasında, 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Denizli (NJ 35-12) Paftasın'dan yararlanılmıştır (Emre vd. 2011). İstikşaf çalışmaları sonucunda; bölgenin güncel gerinimlerinin belirlenmesi amacıyla, toplam 8 noktalı bir GNSS ağı tasarlanmıştır. Ağ tasarımı esnasında, bölge tektoniği ve bölge içerisinde yer alan diri fayların hareketleri ile ilgili daha sağlıklı sonuçlara ulaşabilmek adına; bölge jeolojik yapısı, fayların geometrileri ve çalışmada kullanılan jeodezik ölçme yöntem dikkate alınmıştır (Şekil 5.1).

Ağ tasarımı yapılırken hem zaman hem de maliyet göz önünde bulundurularak bölgede yeni jeodezik noktalar tesis edilmesi yerine daha önceden tesis edilmiş olan ve haritacılık ölçme faaliyetleri amacıyla halihazırda kullanılan jeodezik noktalar tercih edilmiştir. 2017 yılında istikşafı gerçekleştirilen bu jeodezik noktalarda sağlam bir zemin üzerinde yer alan, ulaşımı kolay olan, fiziksel bir tahribat bulunmayan ve pilye olarak tesis edilmiş noktalar tercih edilmiştir. Pilye tesisleri seçilmesinin amacı ise merkezleştirme ve anten yükseklik hatalarını mümkün olduğunca en az seviyeye indirmektir.

Çalışma bölgesinde bulunan TUSAGA-Aktif (CORS-TR) ağına ait 8 adet sürekli gözlem yapan referans istasyonu ve daha sonra bölgede daha önce yapılan tektonik çalışmalar olan 104Y035, 108Y298 numaralı TUBITAK projeleri kapsamında tesis edilmiş olan 5 adet nokta kurulan ağa dahil edilerek toplam 21 noktalı bir GNSS ağı tasarlanmıştır (Erdoğan vd. 2008, Tiryakioğlu 2012, Gülal vd. 2013). Çalışma bölgesi için tasarlanan GNSS ağında yer alan tüm noktalara ait bilgiler ve nokta konumları aşağıda verilmiştir (Şekil 5.1) (Çizelge 5.1).



Şekil 5.1 GNSS ağında yer alan tüm noktalar ve konumları.

Çizelge 5.4 GNSS ağında yer alan tüm noktalara ait bilgiler.

Nokta No	GNSS Nokta Adı	Enlem	Boylam	İl	İlçe	Tesis Türü/Kurum
1	AYD1	27.838	37.841	Aydın	Merkez	Pilye/CORS TR
2	BEYB	29.003	37.874	Denizli	Sarayköy	Pilye/Bu çalışma
3	BZKT	29.589	37.844	Denizli	Bozkurt	Pilye/108Y298
4	CAV1	29.689	37.159	Burdur	Çavdır	Pilye/CORS TR
5	CAVD	29.690	37.156	Burdur	Çavdır	Pilye/CORS TR
6	DENI	29.092	37.762	Denizli	Merkez	Pilye/CORS TR
7	DINA	30.166	38.069	Afyon	Dinar	Pilye/CORS TR
8	DNZ1	29.044	37.779	Denizli	Merkez	Pilye/Bu çalışma
9	DNZ2	29.168	37.731	Denizli	Merkez	Pilye/Bu çalışma
10	ESME	28.994	38.505	Uşak	Eşme	Pilye/HGM
11	EYMR	29.113	38.025	Denizli	Eymir	Pilye/Bu çalışma
12	GEMI	29.801	37.771	Denizli	Çardak	Pilye/Bu çalışma
13	GKPN	29.392	37.448	Denizli	Merkez	Pilye/108Y298

Çizelge 5.1 (Devam) GNSS ağında yer alan tüm noktalara ait bilgiler.

14	GVCK	28.972	37.777	Denizli	Merkez	Pilye/Bu çalışma
15	ISPT	30.567	37.785	Isparta	Merkez	Pilye/CORS TR
16	KCBS	29.317	37.836	Denizli	Honaz	Pilye/Bu çalışma
17	KONK	29.595	38.022	Denizli	Konak	Pilye/Bu çalışma
18	TAVA	29.048	37.566	Denizli	Tavas	Pilye/105Y035
19	TKIN	30.114	38.016	Afyon	Dinar	Pilye/105Y035
20	USAK	29.405	38.679	Uşak	Merkez	Pilye/CORS TR
21	YSFC	29.535	37.185	Burdur	Yusufça	Pilye/108Y298

5.2 GNSS Ölçüleri

Tasarlanan toplam 21 noktalı ağı geçmiş yıllara ait GNSS verileri en az 1 en çok 3 kampanya şeklinde temin edilmiştir. Bölgenin hız ve gerinim alanlarını belirlemek için 2018 yılının Ağustos ayında ağına ait ilk GNSS ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Ağda yer alan ve bu çalışma kapsamında oluşturulan noktalar eş zamanlı, minimum 8 saat ve 2 gün tekrarlı olarak ölçülmüştür. Ölçü kampanyaları sırasında, tüm GNSS alıcılarının veri kayıt aralıkları 15 sn. olarak alınarak, faz başlangıç belirsizliğinin daha hassas bir biçimde modellenmesi amaçlanmıştır. Yine tüm GNSS alıcılarının anten yükseklik açıları 10° olarak ayarlanarak, sinyallerin alıcıların etrafında bulunan ağaçlık, yüksek yapı ve göl gibi doğal ve yapay tesislerden etkilenmesini en aza indirmek amaçlanmıştır.



Şekil 5.2 a-) KCBS noktası b-) BEYB noktası c-) BEYB noktası d-) DNZ2 noktası.

2. kampanya GNSS ölçüsü için 2019 yılının Ağustos ayı planlanmıştır. Ancak 08.08.2019 tarihinde Denizli Bozkurt Depremi (Mw:6.0) meydana gelmiştir (AFAD). Meydana gelen deprem sonrası, tasarlanan ağda yer alan aynı zamanda deprem dış merkezi civarında bulunan 8 noktanın 09.08.2019 tarihinde yeni GNSS ölçüleri yapılmıştır. 2018 ve 2019 yılında gerçekleştirilen ölçülerle birlikte ağdaki noktalara ait en az 3 kampanya GNSS verisi elde edilmiştir. GNSS ağının ölçü kampanyalarına ilişkin bilgiler ise aşağıda verilmiştir (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.5 GNSS ağının ölçü kampanya bilgileri.

Kampanya No	Tarih	Ölçülen Nok. Sayısı	Ölçü süresi
1. Kampanya	Önceki Çalışmalar	15	2 gün 8 sa.
2. Kampanya	Temmuz 2018	8	2 gün 12 sa.
3. Kampanya	Ağustos 2019	8	2 gün 8 sa.

5.3 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, GNSS alıcıları ile elde edilen ölçülerin değerlendirilmesinde MIT tarafından geliştirilen bilimsel GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılmıştır. Temelde iki ayı yazılım olarak bilinen GAMIT yazılımı ile GNSS alıcılarından elde edilen taşıyıcı dalga faz ölçümleri ve pseudorange değerleri işlenerek, alıcıların bulunduğu noktaların üç boyutlu koordinatları, uydu yörüngeleri, atmosferik zenit gecikmeleri ve Dünya dönüklük parametreleri kestirilebilmektedir. GLOBK yazılımı ise GAMIT’te işlenen verilerin sonuç ürünlerini bir araya getirmeye yarayan bir Kalman Filtresi olup, farklı jeodezik ölçmeleri birleştirebilmektedir (Herring 2016).

GAMIT, GNSS alıcılarından elde edilen taşıyıcı dalga faz ölçümleri ve pseudorange değerlerinin işlenmesi için, uluslararası standart bir veri formatı olan RINEX (RECEIVER INDEPENDENT EXCHANGE FORMAT)’i kullanmaktadır. RINEX formatı ile değişik marka ve model GNSS alıcıları ile gerçekleştirilen ölçülerin değerlendirme aşamasında ortaya çıkabilecek farklı durumların önüne geçilmektedir. Tüm marka ve modeldeki GNSS alıcılarının farklı formatlarda kaydettiği ham verilerin bu formata dönüşümünü sağlayan çeşitli programlar mevcuttur. Bu çalışmada, RINEX CONVERTER ve TEQC programlarından yararlanılarak ölçülen ham verilerin RINEX formatına dönüşümü gerçekleştirilmiştir. RINEX formatına dönüşümü sağlanan verilerin

GAMIT’te işlenmesi temel olarak üç aşamada olmaktadır. Bu aşamaları sıralayacak olursak; hazırlık, değerlendirme, kontrol ve sonuç şeklindedir (Herring vd. 2016, Şafak 2019, Kavak 2020, Eyubagil 2020, Solak 2020).

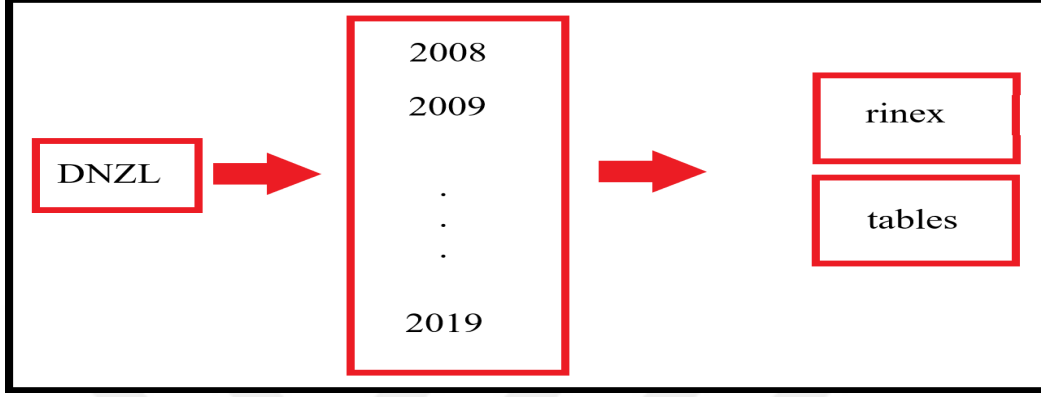
Hazırlık aşaması; GAMIT ana klasör ağ yapısının oluşturularak, değerlendirme aşamasında kullanılacak olan standart girdi verilerinin bulunduğu dosyaların düzenlenmesidir. Düzenlenmesi gereken bu dosyalar, station.info, sites.defaults, l.file ve process.defaults dosyalarıdır. GAMIT’te oluşturulan ağ klasör yapısındaki tables klasörü içerisinde yer almaktadır. Station.info dosyasında ölçüleri gerçekleştirilen noktalara ilişkin bilgilerin, sites.defaults dosyasında değerlendirme esnasında hassas koordinatlarından yararlanılacak IGS istasyonlarına ait bilgilerin, l.file dosyasında ölçü yapılan noktaların başlangıç koordinatlarının ve process.defaults dosyasında ise veri örnekleme aralığını belirlemek amacıyla bazı bilgilerin düzenlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada değerlendirme aşaması için kullanılan IGS istasyonlarına ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3 Değerlendirme aşaması için kullanılan IGS istasyonları (* olanlar stabilizasyon için kullanılmıştır).

No	Nokta Adı	Enlem	Boylam	No	Nokta Adı	Enlem	Boylam
1	ANKR_GPS*	32.76	39.89	12	MATE_GPS*	16.70	40.65
2	BAKU_GPS*	49.81	40.37	13	NICO_GPS*	33.40	35.14
3	BOR1_GPS	17.07	52.28	14	NOT1_GPS	14.99	36.88
4	BUCU_GPS*	26.13	44.46	15	NSSP_GPS	44.50	40.23
5	CRAO_GPS*	33.99	44.41	16	ONSA_GPS	11.93	57.40
6	GLSV_GPS*	30.50	50.36	17	POLV_GPS	34.54	49.60
7	GRAS_GPS*	6.92	43.75	18	RAMO_GPS*	34.76	30.60
8	GRAZ_GPS*	15.49	47.07	19	SOFI_GPS*	23.39	42.56
9	ISTA_GPS*	29.02	41.10	20	TELA_GPS*	34.78	32.07
10	KOSG_GPS	5.81	52.18	21	VILL_GPS	356.05	40.44
11	LAUG_GPS	35.67	34.11	22	ZECK_GPS	41.57	43.79

Hazırlık aşaması tamamlandıktan sonra, verilerin değerlendirme aşamasına geçilmektedir. GAMIT yazılımı, bu aşamayı iki farklı şekilde yapma olanağı sunmaktadır. Bunlardan ilki, işlem adımlarının birebir takip edilerek verilerin manuel olarak değerlendirilmesi iken ikincisi verilerin otomatik olarak değerlendirilmesidir. Bu çalışmada, sh_gamit komutu kullanılarak veriler otomatik değerlendirilmiştir. Komutun

çalıştırılması ile birlikte GAMIT ana klasör ağ yapısı içerisinde oluşturulan her bir yıl klasöründe; brdc, gfiles, gifs, glbf, gsoln, igs ve GNSS ölçülerine ait gün klasörleri otomatik olarak oluşmaktadır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 GAMIT ana klasör yapısı.

Değerlendirme aşamasında herhangi bir hata mesajı alınmazsa, gün çözümleri tamamlandıktan sonra kontrol ve sonuç aşamasına geçilmektedir. Komut satırında çalıştırılan sh_gamit komutu ile her bir ölçü yılına ait klasörde otomatik olarak oluşan gün klasörleri içerisinde sonuç dosyaları oluşmaktadır. Bu sonuç dosyalarının değerlendirmeye ilgili herhangi bir hata içerip içermediğine dair kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Eğer bir hata içeriyorsa; bu durumda değerlendirmeye ilişkin girdi bilgilerinin kontrol edilerek-düzenlenerek, değerlendirme aşamasına geri dönülmesi gerekmektedir (Tiryakioğlu 2012).

Kontrol edilmesi gereken sonuç dosyalarından birisi, gün klasörü içerisindeki “qxxxxa.ddd” dosyasıdır. Bu dosyanın isim yapısında “xxxx” ana klasörün adını, “ddd” ise gerçekleştirilen ölçü yılının hangi gününe ait olduğunu belirtmektedir. Dosya içerisinde ölçüleri gerçekleştirilen noktaların değerlendirmeye katılıp katılmadıkları kontrol edilir. Tüm noktalar değerlendirilmişse, yine q dosyası içerisinde bulunan normlandırılmış karesel ortalama hata adı verilen nrms (Normalized Root Mean Square) değeri kontrol edilir. NRMS’nin 0.15-0.25 arası bir değerde olması gerekmektedir. Nrms belirtilen aralıkta ise kurulan modelin doğru olduğu ve ölçülerin noise seviyelerinin kabul

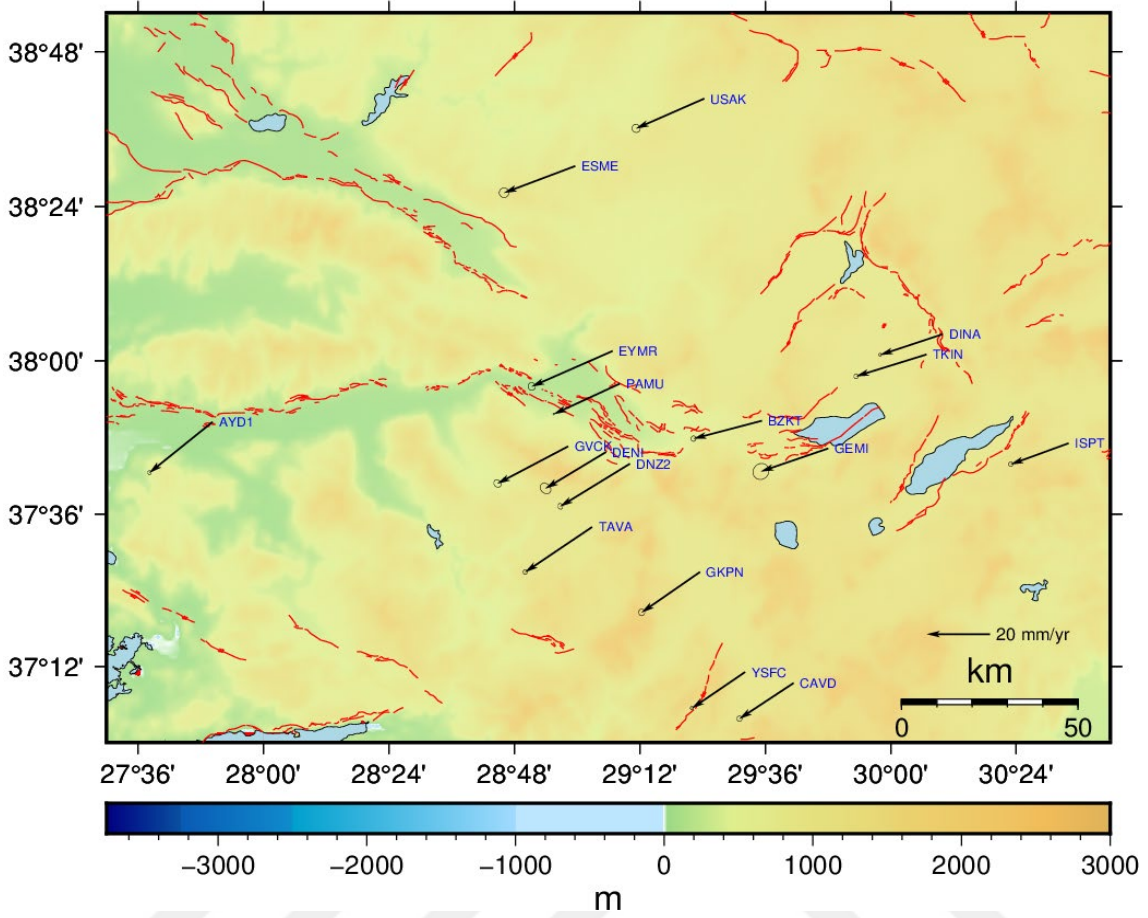
edilebilir olduğu sonucu çıkartılabilir. Bu çalışmanın değerlendirme sonrası oluşan “qxxxxa.ddd” dosyalarının tümünde NRMS değeri, belirtilen aralıklar içerisinde (Tiryakioğlu 2012).

Sonuç dosyalarının kontrolleri tamamlandıktan sonra GLOBK yazılımına geçilmiştir. GLOBK yazılımı temelde bir Kalman filtrelemesi olup, farklı zamanlarda ölçüleri gerçekleştirilen nokta konumlarının değişikliğine dayalı zaman serilerinin üretilmesinde ve plaka hareketlerinin modellenerek yorumlanmasında kullanılmaktadır. Tektonik hareketlerin gözlemlenip yorumlanabilmesi için, uzun dönem zaman serilerinin (yıllık tekrarlılık grafikleri) retilmesi gerekir. Bu nedenle GLOBK ’de uzun dönem zaman serileri üretilerek, ölçü gerçekleştirilen noktalar tek tek tektonik anlamda değerlendirilmelidir (Tiryakioğlu 2012).

GLOBK yazılımı için en önemli kısım stabilizasyon çalışmasının yapılmasıdır. GAMIT yazılımında değerlendirmeye katılan IGS istasyonlarından uygun olan istasyonların stabilizasyon çalışması için kullanılması gerekmektedir (Tiryakioğlu 2012). Bu alışmada GAMIT yazılımında değerlendirme esnasında kullanılan ve izelge 5.3’te verilen IGS istasyonları aynı zamanda GLOBK yazılımında stabilizasyon çalışması için kullanılmıştır. GLOBK stabilizasyon çalışması tamamlandıktan hız üretme aşamasına geçilmiştir.

5.4 Çalışma Bölgesinin Hız Alanının Elde Edilmesi

GNSS lleri doğrultusunda GAMIT/GLOBK iteratif çözümleriyle hız değerleri, Avrasya sabit ve ITRF 2014 epoğunda elde edilmiştir. Elde edilen güncel hız alanı Şekil 5.4’te verilmiştir.



Şekil 5.4 Bozkurt Depremi öncesi (pre-sismik) hız alanı.

Elde edilen hıza alanı incelendiğinde daha önce yapılan çalışmalarla uyum içinde olduğu görülmektedir (Tiryakioğlu 2012).

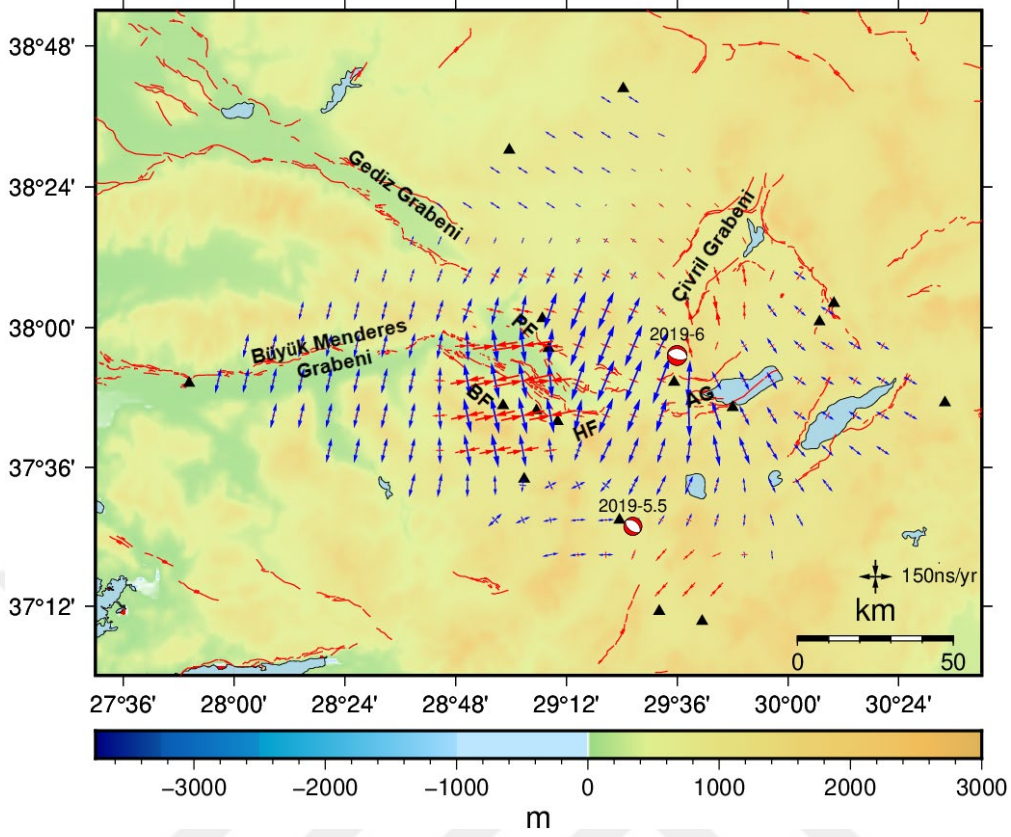
5.5 Çalışma Bölgesinin Geodsuit Yazılımı ile Gerinimlerinin Belirlenmesi

Bu tez çalışması kapsamında, çalışma bölgesinin güncel gerinimlerini belirlemek amacıyla gerinim analizi yapılmıştır. Gerinim analizi için Geodsuit yazılımı kullanılmıştır.

Gerinim analizi hesaplanırken bölgede yapılmış olan GNSS ölçülerinin zaman serilerinden elde edilen hızlar ve bu hızlara ait karesel ortalamalar kullanılmaktadır. Bölgede yapılacak olan analiz henüz GNSS ölçülerinde yükseklik bilgisinin gerekli hassasiyette olmaması nedeniyle, gerinim analizi hesabı 2 boyutlu olarak yapılmaktadır.

Geodsuit yazılımı ile ilgili matematiksel algoritma Shen vd. (1996) ve Aktuğ vd. (2009) tarafından yapılan çalışmalarda belirtilmiştir. 2018 yılı ve öncesi yapılan GNSS ölçüleri bölgenin gerinim alanı hesaplanmıştır. Elde edilen GNSS hızları Geodsuit programında girdi olarak kullanılarak çalışma bölgesi 0.1x0.1 derecelik gridlere ayrılmıştır. Gerinim alanı incelendiğinde Honaz fayı ile Acıgöl grabeninin arasında açılma rejiminin baskın olduğu görülmektedir. Honaz fayı açılmalar KKD-GGB, iken Acıgöl grabeninde KKB-GGD yönlüdür. Bölgedeki en büyük açılmanın Acıgöl grabenin başlangıcında Bozkurt yerleşim alanı yakınlarında K-G yönlü olduğu görülmektedir. Bu durum 08.08.2019 da meydana gelen Mw:6.0 büyüklüğündeki Denizli-Bozkurt depreminin olduğu alan çok yakın olup, depremin odak mekanizma çözümü ile uyum içindedir (Şekil 5.5).

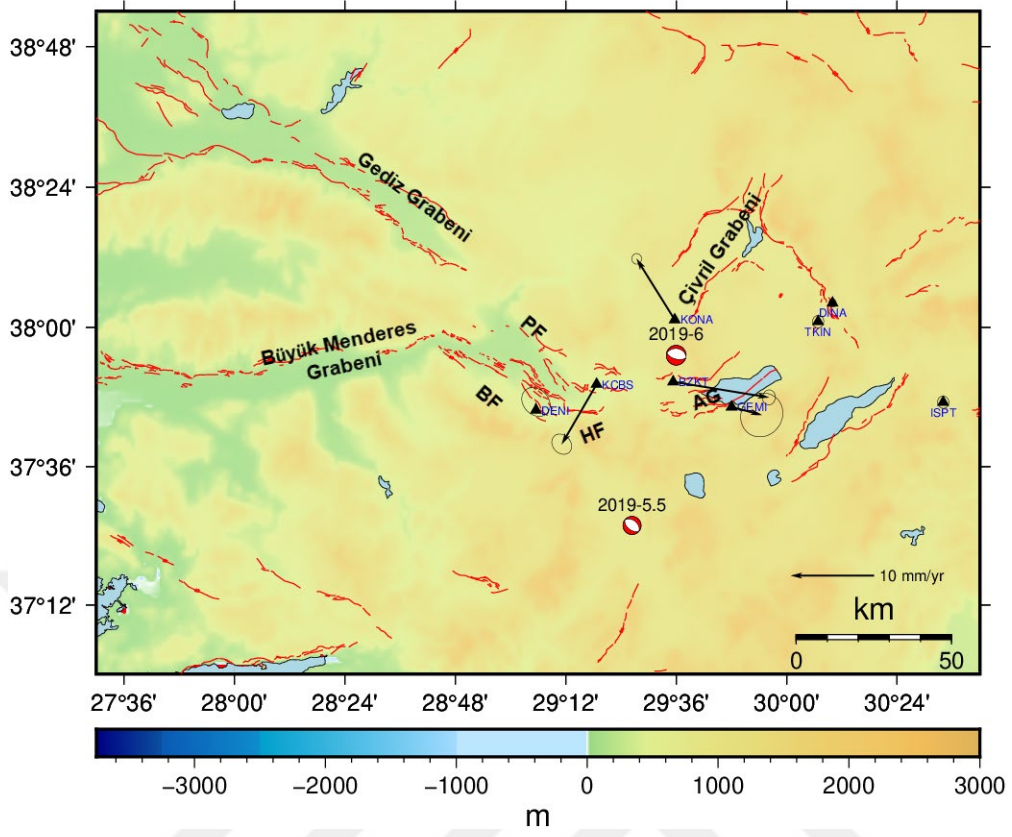
Bölgenin batısına gelindiğinde de Denizli grabeninin güney sınırında bulunan Denizli fay zonu ve Babadağ fayı civarında KKB-GGD yönlü açılma, DKD-BGB sıkışma alanları görülmektedir. Bu bilgiler ışığında KB-GD uzanımlı olan bu fayların sol yönlü doğrultu atımlı fay olduğu görülmektedir. Nitekim şekil 3.4 meydana gelen depremler incelendiğinde grabenin güney sınırında bulunan fayların sol yanal hareket özelliğine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum literatür ile uyum içindedir (Kumsar vd. 2008).



Şekil 5.5 Gerinim alanı ve Bozkurt (Mw:6.0), Acipayam (Mw:5.5) deprem çözümleri.

5.6 Denizli-Bozkurt (08.08.2019) Mw:6.0 Depremi Sonrası Meydana Gelen Yer Değişirmeler

Çalışma Bölgesinde 8.8.2019 tarihinde bir deprem (Mw:6.0) meydana gelmiştir. Bölgede kurulan tektonik ağın bu depremden ne kadar etkilendiği araştırmak için arazi planlaması yapılmıştır. Arazi planlamasında bölgede bulunan CORS-TR sabit istasyonlarının değerlendirmeleri yapılmış ve depremin etkisinin çalışma alanının batısında görülmediğine karar verilmiştir. Meydana gelen depremden sonra bölgedeki deprem anı atımları belirlemek için araziye çıkılmıştır. Deprem merkez üssüne yakın olan 5 noktada depremden 2 gün sonra 8 saat ölçü yapılmış ve koordinatlar hesaplanmıştır. 2009 yılında beri ölçülen BZKT noktasının deprem öncesi hızları kullanılarak bölgedeki noktaların koordinatları deprem epeğine taşınmıştır. Daha sonra deprem sonrası hesaplanan koordinatlardan deprem epeğine taşınan koordinatlar çıkarılarak noktalardaki atım miktarı hesaplanmıştır (Şekil 5.6). KCBS, GEMI, KONA, BZKT noktalarında 4-12 mm atım hesaplanmıştır.



Şekil 5.6 08.08.2019 Denizli-Bozkurt depremi sonrası meydana gelen yer değiştirmeler.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Denizli ve civarındaki fayların deprem öncesi hareketlerini belirlemek amacı ile bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Bu ağ daha önce yapılan tektonik çalışmalarda bulunan 5 adet noktaya ilave olarak 8 adet sabit istasyon dahil edilmiştir. Ayrıca bölgede fay geometrisine uygun 8 adet pilye tesisi tektonik amaçlı kullanılmak üzere ilk kez bu çalışmaya dâhil edilmiştir. Oluşturulan ağda ilk GNSS ölçüsü (1. kampanya) 2018 yılında gerçekleştirilmiştir. 2019 yılının Ağustos ayında ise 2. kampanya ölçüsü planlanmıştır. Ancak 08.08.2019 tarihinde Denizli Bozkurt ilçesi yakınlarında Mw:6.0 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Bu nedenle deprem sonrası hemen araziye çıkılarak deprem merkez üssüne yakın noktalarda 8 saatlik GNSS ölçüsü yapılmıştır.

Elde edilen GNSS verileri 22 IGS istasyonu kullanılarak GAMIT/GLOBK GNSS veri değerlendirme yazılımı ile değerlendirilmiştir. 2018 yılında yapılan ölçülerde iteratif çözümlerle elde edilen hız değerleri, Avrasya sabit ve ITRF 2008 epoğunda üretilmiştir. Çalışma bölgesinin güncel hız alanı, Avrasya plakası sabit alınarak elde edilmiş olup hız doğrulukları ~1 mm civarındadır.

Çalışma bölgesinin elde edilen deprem öncesi güncel hız alanı (Şekil 5.4) incelendiğinde, noktaların Avrasya sabit yaklaşık 22-27 mm/yıl hızlarla B-GB yönlerine doğru hareket ettiği görülmektedir. Bu sonuçların, bölgede yapılan diğer GNSS ölçüleri ile elde edilen hız alanları ile uyum içinde olduğu görülmektedir (Tiryakioğlu 2012).

Elde edilen hız alanı kullanılarak Geodsuit yazılımı ile bölgenin gerinim alanı hesaplanmıştır. Çalışma bölgesinin güncel gerinim alanı Şekil 5.5'te verilmiştir. Buna göre bölgedeki en büyük gerinim Acıgöl grabeni başlangıcında (Bozkurt yerleşim alanında) K-G açılma yönlüdür. Bu sonuç 8.8.2019 tarihinde meydana gelen Mw:6.0 büyüklüğündeki depremin episantr noktasına sadece 5 km uzaklıktadır. Ayrıca deprem odak mekanizma çözümü ile gerinimlerin uyum içinde olduğu görülmektedir. Bunun dışında aletsel dönemde meydana gelen ve Şekil 2.5'te verilen deprem çözümleri bölgedeki diğer gerinim alanları uyum içindedir. Verilen gerinimler ile deprem çözümlerindeki bu uyumun özellikle deprem olmayan alanlarda meydana gelebilecek

depremleri ve fay türleri için önemli bir işaret olduğu değerlendirilmektedir.

Gerinim analizinde özellikle Denizli grabenin güney sınırında bulunan fayların sol yanal hareket özelliğine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum literatürde yer alan jeolojik çalışmalar ile de uyum içindedir (Topal 2012, Tiryakioğlu 2012). Bu sonuç jeodezik anlamda ilk defa elde edilmiştir. Bu durum jeodezik çalışmalar jeolojik çalışmaların uyum içinde olduğunun bir göstergesidir.

Deprem sonrası kosmik deformasyonu belirlemek için yapılan ölçülerde bölgede KCBS, GEMI, KONA, BZKT ve BEYB noktalarında 4-18 mm atım hesaplanmıştır. Bu atımlar kullanılarak ters çözümleme (inversion) yapılması planlanmıştır. Bu işlemin sağlıklı yapılması için nokta sayısı yeterli gelmemiştir. Bununla birlikte depremin çok büyük olmaması noktadaki atım miktarlarının küçük olmasına neden olmuştur. Bu nedenle anlamlı sonuca ulaşılamamıştır.

Bu çalışmalarda incelenen tarihsel depremler sonucunda Denizli-Sarayköy-Honaz bölgesinde 1717 yılında 6000 kişiyi ölümü ile sonuçlanan depremden günümüze 300 yıl geçmiştir. Bu dönem içinde bölgede gerinimin artmış olduğu bir gerçektir. Özellikle bu bölgede jeodezik çalışmaların devam etmesi ile gerinim miktarları belirlenmelidir. Bölgedeki oluşan güncel gerinimler kullanılarak meydana gelebilecek deprem büyüklüklerine ilişkin çıkarımlar yapılmalıdır.

7.KAYNAKLAR

- Aktuğ B, Kılıçoğlu A, 2006, Reçete Rustai 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, Nocquet J M, Cingöz A, Parsons B, Erkan Y, England P C, Lenk O, Gürdal M A, Kılıçoğlu A, Akdeniz H, Tekgül A, 2009, Deformation of western Turkey from a combination of permanent and campaign GPS data: limits to block-like behavior, *Journal of Geophysical Research*, 114, 1978–2012.
- Aktuğ B, 2003, Elastik Yarı-Uzay Modelleri ve Depremisel Koordinat Değişimlerine Dinamik Bir Yaklaşım, *Harita Dergisi*, 129, 1-16.
- D'Andria, F, Francesca S, 2000, Ricerche Archeologiche Turche Nella Valle Del Lykos, Çev.: Altunel E, Congedo Editore, 492s, Lecce
- Ambraseys N N , and Finkel C F, 1995, The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas: A Historical Review, 1500-1800, 240p, Eren Yayıncılık, İstanbul.
- Bozkurt E, 2001, Neotectonics of Turkey-a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3-30.
- Bozkuş C, Kumsar H, Özkul, M, Hançer M, 2001, Seismicity of Active Honaz Fault under an extensional tectonic regime, *International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region, IESCA 2000*, 7-16.
- Çakır Z, 1999, Along-strike discontinuities of active normal faults and its influence on Quaternary travertine deposition; examples from western Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 8, 67-80.
- Çakır Z, 1997, Aktif normal fayların segmentasyonu ve bunun traverten depolanmasına etkisi; Batı Anadolu bölgesinden örnekler, *Aktif Tektonik Grubu Birinci Toplantısı Makaleler*, 124-137.
- Demirtaş R, Baran B, Erkmen C, İravul Y, Çolakoğlu Z, Yaman M, Kartal R, Yanık K, 2003 a, 23-26 Temmuz 2003 Buldan depremlerinin, Denizli'nin deprem tehlikesi ve riski açısından önemi, 1-16.
- Demirtaş R, Erkmen C, Yaman M, Eravcı B, Aktan T, Tepeuğur E, Özdemir F, 2003 b., Pamukkale Fayı paleosismolojik çalışmaları Kocadere Hendek çalışması ön sonuçları, 1-27.

- Dewey J F, Şengör A M C, 1979, Aegean And Surrounding Regions. Complex Multiplate and continuum Tectonics in a Convergent Zone, Geological Society of America Bulletin, 90,84-92.
- Doğan U, 2002, 17 Ağustos 1999 İZMİT Depreminden Kaynaklanan Deformasyonların Kinematik Modellerle Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 136s, İstanbul.
- 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, Özalp S, Duman T Y, 2011, 1: 250,000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, İzmir (NJ 35-7) Paftası, Seri No: 6, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Emre Ö, Duman T Y , Özalp S, Elmacı H, Olgun Ş, Şaroğlu F, 2013, Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, VI+89s.+bir pafta, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, 89 s, Ankara.
- Irmak S, Taymaz T, 2009, Source Mechanisms of Recent Moderate Earthquakes Occurred in Honaz-Denizli Graben (W Turkey) Obtained by Regional Broadband Waveform Inversion, International Symposium on Historical Earthquakes and Conservation of Monuments and Sites in the Eastern Mediterranean Region: 500th Anniversary Year of the 1509 September 10, Marmara Earthquake, Proceedings Book of Extended Abstracts, 350-356, İstanbul, Turkey, September 10-12.
- Karaman E, 2006, Yapısal Jeoloji ve Uygulamaları, Gelişim Yayınevi, 286, Ankara.
- Kavak S, 2020, GNSS Ölçüleriyle Fayların İzlenmesi: Karaburun Fayı Örneği, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 54s, Afyonkarahisar.
- Ketin İ, 1982, Genel Jeoloji Cilt I (II.Baskı). Yerbilimlerine Giriş, İstanbul Teknik Üniversitesi, 597s, İstanbul.
- Kibici Y, 2005, Deprem, A.K.Ü. Yayınları No:59, 133, Afyonkarahisar.

- Koçyiğit A, 2005, Denizli-graben horst system: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, *Geodinamica Acta*, 18, 167-208.
- Kumsar H, Aydan Ö, Tano H, Ulusay R, Çelik S B, Kaya M, 2008, Multiparameter Measurement System in Denizli Basin (Turkey) and It's Applications for Earthquake Prediction. *Türk-Japon İnşaat Mühendisleri Birinci Ortak Çalışma Sempozyumu*, 5 Haziran 2008, İstanbul, 93-106s.
- Lomnitz C, Robert S Y, Kerry S, Clarence R , Allen, 1998, *The Geology of Earthquakes, Natural Hazards*, 17, 193–194.
- 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, 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.
- Okay A İ, 1989, Denizli'nin güneyinde Menderes masifi ve Likya naplarının jeolojisi, *MTA Dergisi*, 109, 45-58.
- Okay A İ, 1989, Denizli'nin güneyinde Menderes Masifi ve Likya Napları'nın jeolojisi, *MTA Bul*, 109, 45-58.
- Özpınar Y, Gökgöz A, Kumsar H, Topel K, 1994, Denizli İl Merkezinin Isıtılmasında Denizli Yöresindeki Jeotermal Sahaların Kullanılmasıyla Ortaya Çıkabilecek Sorunlar ve Ekonomik Analiz , *Jeotermal Uygulamalar Sempozyumu*, 1994, Denizli, 154-171.
- Poyraz F, 2009, Kuzey Anadolu Fay Zonu Doğu Kesiminde Yatay Yerkabuğu Hareketleri ve Gerilme Birikiminin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 140s, İstanbul.
- 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., 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.
- Robert S Y, Kerry S, Clarence R, Allen, *The Geology of Earthquakes*, Oxford University Press, Oxford, New York, 1997, 568p.
- Sözbilir H, Sümer Ö, Uzel B, Ersoy Y, Erkül F, İnci U, Helvacı C, Özkaymak Ç, 2009, 17-20 Ekim 2005 Sığacık Körfezi (İzmir) depremlerinin sismik jeomorfolojisi ve bölgedeki gerilme alanları ile ilişkisi, *Batı Anadolu, Türkiye Jeoloji Bülteni*, 52, 217-238.
- Şafak Ş, 2019, GNSS Hız Doğruluklarına Etki Eden Parametrelerin Belirlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 92s, Afyonkarahisar.
- Şengör A M C, Yılmaz Y, 1981, Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach, *Tectonophysics*, 75,181-241.
- Tan O, Tapırdamaz M C, Yörük A, 2008, The Earthquake Catalogues for Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences* 17,405-418.
- Tiryakioğlu İ, 2012, GNSS Ölçüleriyle Güneybatı Anadolu'daki Blok Hareketleri Ve Gerilim Alanlarının Belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 155, İstanbul.
- Tiryakioğlu İ, Özkaymak Ç, Baybura T, Sözbilir H, Uysal M, 2018, Comparison of Palaeostress Analysis, Geodetic Strain Rates and Seismic Data in the Western Part of The Sultandağı Fault in Turkey, *Annals of Geophysics*, 61, 3, GD335. Doi: 10.4401/ag-7591
- Topal S, 2012, Denizli Havzasındaki Fayların Tektonik Jeomorfolojisi Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 145s, Denizli.
- Tüysüz O, 1999, Yeryuvarının iç Yapısı Depremler ve Türkiye, Ders Notları, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Westaway R, 1993, Neogene evolution of the Denizli region, of western Turkey. *Journal of Structural Geology*, 15, 37-53.
- Yavaşoğlu H 2003, Kuzey Anadolu Fayının Orta Bölümünün Kinematığının 2001 ve 2002 GPS Ölçmeleri ile Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen

- Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 64s, İstanbul.
- Yavaşoğlu H, 2009, Kuzey Anadolu Fayının Orta Anadolu Bölümündeki Güncel Tektonik Aktivitenin Jeodezik Yöntemler Ve Elastik Yarı Uzay Modelleme İle Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 205s, İstanbul.
- Yavaşoğlu H, Kalkan Y, Tiryakioğlu I, Yiğit, C O, Özbey V, Alkan M N, Bilgi S, Alkan R M, 2018, Monitoring the deformation and strain analysis on the Ataturk Dam, Turkey, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 9:1, 94-107, DOI: 10.1080/19475705.2017.1411400
- Yıldız F, Kahveci M, 2009, GPS/GNSS uydularla konum belirleme sistemleri, Nobel Yayınları, Ankara.
- Yigit, C O , El-Mowafy, A , Dindar A A , Bezcioglu M, Tiryakioglu I, 2020 Investigating Performance of High-Rate GNSS-PPP and PPP-AR for Structural Health Monitoring – Dynamic Tests on Shake Table, J. Surv. Eng., 2021, 147 (1): 05020011.
- Yolsal Cevikbilen S, Taymaz T, Helvacı C 2014, Earthquake mechanisms in the Gulfs of Gökova, Sığacık, Kuşadası, and the Simav Region (Western Turkey): Neotectonics, seismotectonics and geodynamic implications. Tectonophysics 635, 100-124

İnternet Kaynakları

1. [https://tr.wikipedia.org/wiki/Alfred_Lothar_Wegener#:~:text=Alfred%20Lothar%20Wegener%20\(1%20Kas%C4%B1m,K%C4%B1ta%20kaymas%C4%B1%20kuram%C4%B1n%C4%B1%20ortaya%20koymu%C5%9Ftur.&text=K%C4%B1talar%C4%B1n%20ve%20Okyanuslar%C4%B1n%20K%C3%B6keni%20ad%C4%B1%20eserini%201915%20y%C4%B1n%C4%B1nda%20yay%C4%B1nlan%C4%B1%C5%9Ftu%C4%B1r](https://tr.wikipedia.org/wiki/Alfred_Lothar_Wegener#:~:text=Alfred%20Lothar%20Wegener%20(1%20Kas%C4%B1m,K%C4%B1ta%20kaymas%C4%B1%20kuram%C4%B1n%C4%B1%20ortaya%20koymu%C5%9Ftur.&text=K%C4%B1talar%C4%B1n%20ve%20Okyanuslar%C4%B1n%20K%C3%B6keni%20ad%C4%B1%20eserini%201915%20y%C4%B1n%C4%B1nda%20yay%C4%B1nlan%C4%B1%C5%9Ftu%C4%B1r) 09.09.2019
2. <https://www.erbakan.edu.tr/storage/files/department/insaatmuhendisligi/editor/DersSayfalari/DepremMuhGir/deprem%20hareketi.pdf> 15.09.2019

3. <http://www.sayisalgrafik.com.tr/deprem/> 21.09.2021
4. https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquakehazards/science/focalmechanisms-or-beachballs?qtscience_center_objects=0#qt-science_center_objects
01.10.2019
5. https://kisi.deu.edu.tr/orhan.polat/KILAVUZ-FDC_O.POLAT.pdf
15.10.2019
6. <https://depem.afad.gov.tr/downloadDocument?id=1667> 27.10.2019
7. <http://www.bakiacil.com/yapisal-jeoloji.html> 24.10.2019
8. http://www.mdsoft.com.tr/Pages/Product_Geodsuit 30.10.2019

