

**DEPREM TEKRARLAMA PERİYOTLARININ JEODEZİK
VERİLERLE BELİRLENMESİ: BANAZ ve ELVANPAŞA SEGMENTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak Erdem AKYAR

Danışman

Doç. Dr. İbrahim Tiryakioğlu

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim 2020

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEPREM TEKRARLAMA PERİYOTLARININ JEODEZİK
VERİLERLE BELİRLENMESİ: BANAZ ve ELVANPAŞA
SEGMENTİ

Burak Erdem AKYAR

Danışman

Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim 2020

TEZ ONAY SAYFASI

Burak Erdem AKYAR tarafından hazırlanan “Deprem Tekrarlama Periyodunun Jeodezik Verilerle Belirlenmesi: Banaz ve Elvanpaşa Segmenti” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 26/10/2020 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 TİRYAKİOĞLU

İmza

Başkan : Prof. Dr. Cemal Özer YİĞİT
Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. 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.

26/10/2020

Burak Erdem AKYAR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEPREM TEKRARLAMA PERİYOTLARININ JEODEZİK VERİLERLE BELİRLENMESİ: BANAZ ve ELVANPAŞA SEGMENTİ

Burak Erdem AKYAR

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Bu tez çalışmasında Akşehir-Simav Fay Sistemi içerisinde yer alan Banaz Segmenti, Elvanpaşa Segmenti ve çevresinin hız ve yamulma alanları ile jeodezik deprem tekrarlama periyotları ve potansiyel deprem büyüklüklerini belirlemek üzere 22 noktadan oluşan bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Ağda yer alan noktaların geçmiş yıllara ait verilerine ek olarak 2 kampanya daha (2019 ve 2020 yıllarında) GNSS ölçüsü yapılmıştır. GNSS ölçüleri GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilmiştir. Bölgede Avrasya sabit sistemde 20-26 mm/yıllık hızlar hesaplanmıştır. Elde edilen hızlar kullanılarak bölgenin yamulma alanı GeodSuit yazılımı ile hesaplanmıştır. Yamulma alanına göre Banaz Segmentinin güneyinde, KD-GB yönlü açılmalar ve KB-GD yönlü sıkışmalar görülürken, kuzeyinde genel olarak sıkışma bileşenleri baskın görülmektedir. Elvanpaşa Segmentinin güneyinde KB-GD yönlü açılma bileşenlerinin baskın olduğu görülürken doğu kısımlarında ise KB-GD açılmalarla birlikte KD-GB yönlü sıkışmalarda görülmektedir. Yamulma alanı parametreleri kullanılarak $M_w > 5$, $M_w > 5.5$ $M_w > 6$ için çalışma bölgesine ait jeodezik deprem tekrarlama periyotları hesaplanmıştır. Bu periyotlar incelendiğinde $M > 5$ için 20-50 yıl $M > 5.5$ için 70-170 yıl $M > 6$ ve üzeri depremler içinse 200 yılın üzerinde deprem tekrarlama periyotlarının olduğu görülmektedir. Banaz Segmenti ve Elvanpaşa Segmentinin biriktirdiği enerjinin tamamının ortaya çıkmasıyla meydana gelebilecek depremin moment büyüklüğü hesaplanmıştır. Potansiyel deprem büyüklükleri Banaz Segmenti için M_w : 5.3-5.8 Elvanpaşa Segmenti içinse M_w : 5.3-5.7 olarak belirlenmiştir.

2020, xi + 76 sayfa

Anahtar Kelimeler: GNSS, Banaz Segmenti, Elvanpaşa Segmenti, Jeodezik Deprem
Tekrarlama Periyodu

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF EARTHQUAKE RECURRENCE PERIODS BY GEODETIC DATA: THE CASE OF BANAZ and ELVANPASA SEGMENTS

Burak Erdem AKYAR

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. İbrahim TIRYAKİOĞLU

In this thesis, a 22-site GNSS network was established in order to determine the velocity fields, strain rates, geodetic earthquake recurrence periods and potential earthquake magnitudes of the Banaz and Elvanpaşa Segments and its surroundings within the Akşehir-Simav Fault System. In addition to the existing GNSS data, 2 more campaign GNSS measurement were carried out in 2019 and 2020. GAMIT/GLOBK software was used for evaluation of GNSS data. As a result of the evaluation, the velocities of the sites were calculated between 20-26 mm/yr by taking the Eurasia plate fixed. The strain rates of the region were computed using the velocities. When the strain area is examined, NE-SW trending extensions and NW-SE trending compressions were observed in the south of the Banaz segment while compression components are generally dominant in the north. When the Elvanpaşa Segment is examined, dominance of NW-SE trending extension in the south, while NW-SE trending and NE-SW trending compressions in the east was observed. Geodetic earthquake recurrence periods of the region were calculated for $M > 5$, $M > 5.5$ and $M > 6$ by using strain rates. According to the results, the periods was calculated 20-50 years for $M > 5$, 70-170 years for $M > 5.5$ and over 200 years for $M_w > 6$. The moment magnitude of the earthquake that may occur with the emergence of all the energy accumulated in the Banaz Segment and the Elvanpaşa Segment was calculated. The magnitudes are $M: 5.3-5.8$ and $M: 5.3-5.7$, Banaz and Elvanpasa Segments respectively.

2020, xi + 76 pages

Keywords: GNSS, Banaz Segment, Elvanpasa Segment, Geodetic Earthquake
Recurrence Periods

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, öğrencilere yaklaşımıyla, kişiliğiyle kendime örnek aldığım tez danışmanım Sayın Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU' na en içten teşekkürlerimi sunarım. Bu tez çalışması sırasında bilgi, tecrübe ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Öğr. Grv. Halil İbrahim SOLAK' a ve Sayın Öğr. Grv. Şeyma ŞAFAK' a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her zaman başaracağıma inanan ve koşulsuz destekleyen, her türlü zorluğa katlanarak fedakârlık yapan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam Lütfi AKYAR' a, annem Hacer AKYAR' a ve ablam Raziye FİLİK' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım ve bu tezi onlara ithaf ediyorum.

Burak Erdem AKYAR

Afyonkarahisar 2020

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1.GİRİŞ.....	1
2. AKŞEHİR-SİMAV FAY SİSTEMİ	8
2.1 Bölgenin Tektoniği	8
2.2 Bölgenin Depremselliği	11
2.3 Bölgede Bulunan Faylar	15
2.4 Banaz Depremi 30 Eylül 1887	17
3. KÜRESEL KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ (GNSS).....	21
3.1 GPS	21
3.2 GLONASS	23
3.3 GALILEO	25
3.4 Diğer Konumlama Sistemleri	26
3.5 GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi.....	26
3.5.1 GAMIT.....	28
3.5.2 GLOBK.....	31
4. DEPREMSELLİK ve SİSMİK TEHLİKE	32
4.1 Depremsellik.....	32
4.1.1 Gutenberg-Richter Bağıntısı	33
4.1.2 Potansiyel Deprem Büyüklüklerinin Belirlenmesi	36
4.2 Sismik Tehlike ve Sismik Risk.....	36
4.2.1 Sismik Tehlike Analizi.....	37
4.2.2 Deterministik Sismik Tehlike Analizi.....	39
4.2.3 Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi	40
4.2.4 Jeodezik Deprem Tekrarlama Periyodu	40
5. UYGULAMA.....	44
5.1 Çalışma Alanının Tanıtılması	44

5.2 GNSS Ağı ve Ölçüleri	45
5.3 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi	49
5.3.1 Hazırlık İşlemleri	49
5.3.2 Değerlendirme İşlemleri.....	54
5.3.3 Kontrol İşlemleri	55
5.3.4 Sonuç İşlemleri.....	56
5.3.5 GAMIT Sonuçlarının GLOBK’de Değerlendirilmesi	58
5.3.6 Yamulma Analizi ve Jeodezik Deprem Tekrarlama Haritaları.....	60
6.TARTIŞMA ve SONUÇ	65
7. KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	76

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

AAG	Afyon-Akşehir Grabeni
ASFS	Akşehir-Simav Fay Sistemi
BDTİM	Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi
CAST	China Academy of Space Technology
CORS	Continuously Operating Reference Stations
ESA	European Space Agency
GAMIT	GPS Analysis at MIT
GLOBK	Global Kalman Filter
GLONASS	Global Orbiting Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning Systems
GST	Galileo System Time
GTRF	Galileo Terrestrial Reference Frame
IGS	International GNSS Service
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
KOERI	Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute
KRDAE	Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NAVSAT	Navy Navigation Satellite System
NRMS	Normalized Root mean Square
NSF	National Science Foundation
PRN	Pseudo Random Numbers
RINEX	Receiver Independent Exchange
SLR	Satellite Long Range
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
VLBI	Very Long Base Interferometry
WGS	World Geodetic System
WRMS	Weighted Root Mean Square

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Türkiye' nin ana tektonik hatlarını gösteren aktif fay haritası, ana tektonik bölgeler ve alt tektonik bölgeler (Emre vd. 2016).	9
Şekil 2.2 Akşehir-Simav Fay Sistemi' nin a) Türkiye' nin neotektonik haritası içerisindeki yerini ve b) sistem içerisindeki fayların ve segmentlerin geometrisini gösteren Türkiye Diri Fay Haritası. Genişleme yönleri referansları: (1, 2, 3, 4, 6, 7) Tiryakioğlu vd. 2018, (5), 115Y246, (8), Çiçek ve Koçyiğit 2009, (9), Özkaymak vd. 2017, (10), Koçyiğit ve Deveci 2007, (11), Gürboğa 2014, (12), Özden vd. 2011, Kaplan 2014, Gündoğdu vd. 2015, (13), Seyitoğlu 1997, (14), Demirci vd. 2015. Kısaltmalar; AAG: Afyon-Akşehir Grabeni(Tiryakioğlu vd. 2019).....	9
Şekil 2.3 Banaz ve çevresindeki fayların geometrisini gösteren diri fay haritası (Emre vd. 2011).	10
Şekil 2.4 Banaz ve Elvanpaşa Segmenti fay parametre bilgileri (Duman vd. 2017).	10
Şekil 2.5 ASFS' nin a) Türkiye' nin neotektonik haritası içerisindeki yeri ve b) sistem üzerinde meydana gelen aletsel ve tarihsel dönem depremleri gösteren sismotektonik harita (Tiryakioğlu vd. 2019).....	12
Şekil 2.6 Gediz – Afyonkarahisar arası (1970-2020) meydana gelen 3 ve üzeri depremler ve sismik boşluk.	13
Şekil 2.7 Gediz – Afyonkarahisar arası (1970-2020) meydana gelen 3 ve üzeri depremler.	14
Şekil 2.8 Banaz ve çevresinde (1970-2020) meydana gelen 3 ve üzeri depremler.....	14
Şekil 2.9 Bölgede Bulunan Faylar (Öztürk 2019).	15
Şekil 2.10 Fay uzunluğu – fayın üretebileceği en büyük mangitüdü deprem grafiği (Wells ve Coppersmith 1994).	17
Şekil 2.11 Depremde Meydana Gelen Hasarın Yerleşim Birimlerine Göre Dağılımı (Satılmış 2016).....	19
Şekil 2.12 Türkiye Ve Yakın Çevresi İçin Geliştirilmiş Tarihsel Dönem (MÖ 2000-MS 1900) Deprem Kataloğu 1947 No' lu deprem (Başarır Baştürk vd.2017).	20
Şekil 2.13 1/500.000 ölçekli Türkiye Sismotektonik Haritası İzmir Paftası 1947 No' lu deprem (Duman vd. 2017).	20
Şekil 3.1 GPS uydusu görseli (İnt. Kyn. 1).....	22
Şekil 3.2 İkinci nesil uydu sistemi (GLONASS-M) uydusunun sergilenen küçültülmüş modeli (İnt.Kyn.2).	24
Şekil 3.3 GAMIT işlem akış şeması (Tiryakioğlu 2012).	30
Şekil 4.1 Deprem sayısının logaritması ile deprem büyüklüğü arasında doğrusal ilişki grafiği (İnt.Kyn.5).	34

Şekil 5.1 Fay genel görünüm (Öztürk 2019).....	44
Şekil 5.2 (Banaz Fayı GNSS Ağı) Mavi renkli faylar MTA diri fay Haritalarından, kırmızı renkli faylar Prof. Dr. Ali KOÇYİĞİT' in Çukurören-Çobanlar (Afyon) Arasının Sismotektonik Haritasından temin edilmiştir (Öztürk 2019).	45
Şekil 5.3 Uygulamada kullanılan GNSS ekipmanları.....	47
Şekil 5.4 GAMIT klasör yapısı.	50
Şekil 5.5 Station.info dosyasının bir bölümü.	51
Şekil 5.6 Site.defaults dosyasına ait bir bölüm.	52
Şekil 5.7 process.defaults dosyasına ait bir bölüm.....	53
Şekil 5.8 Değerlendirme işleminden sonraki GAMIT klasör ağı.....	54
Şekil 5.9 Örnek q dosyasındaki postfit nrms değeri.....	55
Şekil 5.10 “autcln.post.sum.xxxx” dosyası örneği.....	56
Şekil 5.11 CRUM noktası 2019 yılı ölçümleri günlük tekrarlılık grafikleri.	57
Şekil 5.12 CRUM noktası yıllık tekrarlılık grafikleri.	59
Şekil 5.13 Avrasya sabit hız alanı.	60
Şekil 5.14 Yamulma alanı.	61
Şekil 5.15 Jeodezik deprem tekrarlama haritaları (M>5).....	62
Şekil 5.16 Jeodezik deprem tekrarlama haritaları (M>5.5).....	62
Şekil 5.17 Jeodezik deprem tekrarlama haritaları (M>6).....	63
Şekil 5.18 Banaz ve Elvanpaşa Segmentleri için hesaplanan potansiyel deprem büyüklükleri.	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Banaz, Uşak ve Gediz’de Meydana Gelen Hasar ve Zayiat (Satılmış 2016).	19
Çizelge 5.1 GNSS Ağının Kampanya Tarihleri.	45
Çizelge 5.2 Çalışma alanına kurulan GNSS ağı noktalarının konum ve tesis türü.	46
Çizelge 5.3 Kurulan GNSS ağındaki CORS-TR noktaları.....	47
Çizelge 5.4 GNSS ölçü çizelgesi.....	48
Çizelge 5.5 Tables klasörü içerisinde bulunan standart dosya isimleri ve içerikleri.	50
Çizelge 5.6 Değerlendirmede kullanılan IGS istasyonları.	52
Çizelge 5.7 GAMIT değerlendirme stratejisi.	54

1.GİRİŞ

İnsanoğlu geçmişten günümüze birçok doğal afetle karşılaşmıştır. Doğal afetler sebebiyle birçok can ve mal kaybına uğramışlardır. Afetlerin neden kaynaklandığını ve bu afetlere karşı nasıl bir nlem alabileceklerini merak etmişlerdir. Bu merak ve önlem alma isteği bilimin ortaya çıkmasına ve teknolojinin gelişmesine neden olmuştur.

Doğal afetlerden biri olan deprem, yer kabuğundaki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar şeklinde yayılarak getiklerin ortamları ve yer yüzeyini sarsması olarak tanımlanabilir. Deprem insanın hareketsiz olarak kabul ettiği, güvenle ayağını bastığı toprağın da hareket ettiğini ve bu hareketin yapılarda hasar meydana getirdiğini, can kaybına neden olduğunu göstermiştir. Günümüzde gelişen teknoloji ve bilim sayesinde depremler hakkında birçok bilgi olsa da hala açıklanamayan gizemini koruyan birçok durum vardır. Bu gizem bilimi deprem üzerine yönlendirmekte ve bu konudaki çalışmaları yoğunlaştırmaktadır.

Bilimin ilerlemesi ve gelişmesi ile birlikte litosferin çok parçalı olduğu, sürekli olarak hareket eden levhalardan oluştuğu, bu levha hareketlerinin de depreme sebep olduğu anlaşılmıştır. Deprem çalışmalarında yer kabuğundaki hareketlerin belirlenmesi amacıyla birçok farklı alanda birçok farklı çalışma yapılmıştır. Jeodezik olarak 1980’li yıllara kadar klasik lme yöntemleriyle, 1980’li yıllardan sonra ise GNSS (Global Navigation Satellite Systems) teknolojisi ile deformasyonlar belirlenmiştir. GNSS teknolojisi ile yüksek hassasiyet, zamandan ve maliyetten tasarruf gibi avantajlar sağlanmıştır ve yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalarda hız kazanmıştır.

Bilindiği üzere lkemiz Afrika, Asya, Avrasya levhalarının etkisinde kalmaktadır. Birçok aktif fay zonuna sahip olması nedeniyle geçmişte yıkıcı depremler yaşamıştır ve gelecekte de yıkıcı depremlerin meydana gelmesi kaçınılmazdır. Banaz fayının da içerisinde bulunduğu ASFS (Akşehir-Simav Fay Sistemi) zerinde de 2000 Akşehir, 2002 ay, 2011 Simav depremleri başta olmak üzere birçok yıkıcı deprem meydana gelmiştir.

Banaz fayı üzerinde bugüne kadar yapılan jeolojik ve jeodezik çalışmalar çok azdır. Banaz fayı ve Akşehir-Simav Fay Zonu üzerinde yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Koçyiğit (1984) yapmış olduğu çalışmada Isparta Açısı ile Konya çöküntüsünün aktif genişlemeli rejimin kontrolünde olduğunu ilk defa ortaya koyarak belgelemiştir. Ayrıca bu genişlemeli rejimin önemli yapılarından birinin ise Akşehir-Simav çöküntüsü olduğunu söylemiştir. Akşehir-Simav çöküntüsünü KB-gidişli sismojenik bir kuşak olduğunu ve bu kuşağın ana yapılarının Akşehir grabeni ile grabenin güney kenarını denetleyen normal fay niteliğini taşıyan Akşehir fayı olduğunu belgeleyerek adlandırmıştır.

Boray vd. (1985) yaptıkları çalışmada Isparta açısının kuzeyinde Koçyiğit (1984)'in yapmış olduğu çalışmanın aksine Isparta açısının kuzey kısmının Geç Miyosen' den itibaren sıkışmakta olduğunu, D-B yönlü daralmaya sebep olduğunu ve bu bölgede genişlemeli tektonik rejime ait herhangi bir verinin olmadığını vurgulamışlardır. Bunlara ek olarak kuzey kısımda K-G gidişli kıvrım ve ters fayların varlığından bahsetmişlerdir. Ancak 2000 Sultandağı depremi ile 2002 Çay depreminin odak mekanizma çözümleri (Taymaz ve Tan 2001, Taymaz vd. 2002) Boray vd. (1985)' nin görüşlerinin doğru olmadığını göstermiştir.

Şaroğlu vd. (1987) yapmış oldukları çalışmada Akşehir-Simav fay sistemini oluşturmakta olan en önemli yapılardan olan Akşehir fay zonunu güneybatı yönüne eğimli ters fay, Simav grabeninin kenarını denetleyen faylarında sağ yanal doğrultu atımlı fay olduğunu haritalayarak yorumlamışlardır. Buna karşın belirtilen bölgelerde yapılan ayrıntılı saha çalışmaları, paleostress analizleri ile jeolojik haritalamaların (Grabert 1971, Ambraseys ve Tchalenko 1972, Seyitoğlu 1997, Koçyiğit vd. 2000, Koçyiğit ve Özacar 2003, Işık vd. 2003, Koçyiğit ve Deveci 2005) yanı sıra, 1944 Abide, 1969 Demirci, 1970 Gediz depremlerinin odak mekanizma çözümleri de Şaroğlu vd. (1987)'nin gözlem ve yorumlarını doğrulamamıştır.

Koçyiğit vd. (2000) yaptıkları çalışmada Akşehir Afyon grabeninin Çay-Bolvadin'in doğusunda kalan kısmının ayrıntılı bir şekilde fay haritasını yapmışlardır. Bu kesimin stratigrafisini ortaya koyarak grabenin jeolojik olarak gelişimini de açıklamışlardır. Bunlara ek olarak bölgenin deprem tehlikesi ile birlikte deprem kaynaklarını ortaya

koymuşlardır. Bu bölgede yapılan bazı çalışmalardan (Boray vd. 1985, Şaroğlu vd. 1987, Barka vd. 1995, Altunel vd. 1999) elde edilen görüşlerin aksine bölgenin geç pliyosen’ den itibaren etkin verrev atımlı normal faylardan oluştuğunu ve genişlemeli bir rejimin denetiminde olduğunu belgelemişlerdir.

Özden vd. (2002) yaptıkları çalışmada 3 Şubat 2002 ‘de tarihinde iki saat arayla Çay ve Sultandağı ilçeleri çevresinde meydana gelen ilk depremin BKB gidişli olmak üzere kuzeye eğimli normal faydan, ikincisinin ise yaklaşık olarak KD gidişli ve güneydoğu yönüne eğimli başka bir normal faydan kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Buna ek olarak oluşan yüzey kırıklarının genel gidişlerinin deprem kaynağı olan fayların gidişleriyle yaklaşık olarak uyumlu olduğunu gözlemlemişler ve belgelendirmişlerdir. Bu çalışma ASFS’ nin güneydoğu kesimindeki bölgenin deprem kaynaklarına yönelik yapılan çalışmalardan birisidir.

Kalafat vd. (2002) yaptıkları çalışmada 3 Şubat 2002’ de Çay-Sultandağı bölgesinde meydana gelen ilk depremin $M_w = 6.5$ büyüklüğünde olduğunu, 44 kişinin ölümüne ve 120 kişinin yaralanmasına sebep olduğunu ve yapısal hasarın Sultandağı ile Çay arasındaki bölgede yoğunlaştığından bahsetmiştir. Bunlara ek olarak depremin Çay ile Maltepe fayının parçalarının etkin hale gelmesiyle oluştuğunu, bu etkinliğin fayın doğusundan başlayarak batı-kuzeybatı yönüne doğru devam ettiğini; ilk depremden takribi iki saat sonra $M_w = 6.0$ büyüklüğünde ikinci bir depremin daha meydana geldiğini; Haziran ayı sonuna kadar ise $M > 2.5$ büyüklüğünde 635 artçı depremin kayıt edildiğini ve deprem odak mekanizma çözümlerinin de deprem kaynağının karakterinin verrev atımlı normal fay olduğunu gösterdiğini belirtmişlerdir.

Dirik (2002) yaptığı çalışmada Akarçay havzasının orta kısımlarında 3 Şubat 2002 ‘de yaklaşık iki saat arayla $M_w = 6.1$ ve $M_w = 5.3$ büyüklüğünde iki farklı depremin meydana geldiğini; birinci depremin KD-gidişli ikinci depremin ise KKD-gidişli olmak üzere eğim atımlı normal faylardan kaynaklandığını rapor etmiştir. Bunlara ek olarak gözlemlediği deprem yüzey kırıklarının geometrisi ile deprem odak mekanizmalarının çözümünün de gözlemlerini doğruladığını belirtmiştir.

Tapırdamaz vd. (2002) yaptıkları çalışmada 3 Şubat 2002 depreminin artçıl şoklarının kısa süreli olarak kayıt etmiş ve değerlendirmişler. Bu değerlendirme sonucunda: depremi oluşturan fayın etkin olduğu kısmın 37 km uzunluk ve 7 km genişliğe sahip bir alan olduğunu, fayın doğu yönünden batı yönüne doğru etkin hale geldiğini ve depremlerin kaynağının DGD-BKB ve D-B doğrultulu oblik atımlı normal faylar olduğuna ulaşımlardır.

Başokur vd. (2002) yaptıkları çalışmada 3 Şubat 2002 Çay depremi sırasında yüzeyde üç ayrı hat üzerinde toplam 19 km uzunluğunda kırıklar oluştuğunu, deprem kaynağının normal bir faylanma olduğunu, bazı bölgelerde deprem esnasında suların artezyen olarak çıktığını, kum ve çamur püskürmesinin sıvılaşmanın olduğunu gösterdiğini, deprem bölgesinde ağır hasara uğrayan bölgelerin depreme dayanıksız yapılardan ve deprem yönetmeliğine uyulmamasından kaynaklandığını rapor etmiştir.

Ulusay vd. (2002) yaptıkları çalışmada depremin orta büyüklükte ve sığ odaklı olduğunu, depremin Çay ile Maltepe arasındaki sınırlı bir alanda ve KD-GB gidişli yüzey kırığı oluşturduğunu, deprem sırasında en fazla hasarın Çay ilçesi ile çevresinde oluştuğunu, meydana gelen bu yapısal hasarın ise zemin koşulları ve kalitesiz inşaat ile birlikte deprem yönetmeliğine uyulmamasından gerçekleştiğini rapor etmişlerdir.

Koçyiğit ve Özacar (2003) yaptıkları çalışmada Akşehir-Afyon grabeni ve bu grabeninin oluşumunu denetleyen fayların nitelikleri, geometrileri ile graben dolgusunun stratigrafisinin yanı sıra, grabenin güney kenarına yakın bölgede meydana gelen 2000 Sultandağı ve 2002 Çay depremleri ve Çay depreminin sonucunda yüzeyde meydana gelen kırıkların ayrıntılı olarak belgelenecek analiz edilmiştir. Sonuç olarak Isparta açısında daha önce yapılan bazı çalışmalardaki öngörülere karşın, Geç Pliyosen' den itibaren genişlemeli bir neotektonik rejimin etkisinde olduğunu ve her iki depremin de kaynağının Akşehir verev atımlı normal fayı olduğu vurgulanmıştır.

Ulusay vd. (2004) yaptıkları çalışmada 2002 Çay depreminin kaynağının KD-GB doğrultulu normal fay olduğunu, deprem esnasında fayın yaklaşık 30-40 km uzunluğundaki kısmının etkin hale geldiğini ve depremin KB-GD gidişli zon boyunca Afyon-Akşehir arasında kuvvetli bir yer hareketine sebep olduğunu rapor etmiştir. Ek olarak kumlu zeminin sınırlı olması ve kalın alüvyonlarla kaplı olması sebebiyle

sıvılaştırmanın yaygın olmadığını belirtmiştir.

Koçyiğit ve Deveci (2005) yaptıkları çalışmada güneydoğuda Karaman ve kuzeybatıda Sındırgı arasında kalan, graben-horst ile verev atımlı normal faylardan oluşan, genişlemeli bir neotektonik rejimin etkisinde gelişen, yaklaşık 10-30 genişlik ve 500 km uzunlu olan sismojenik zonu ilk defa Akşehir-Simav Fay Sistemi adıyla tanımlamıştır. Bu fay sisteminin orta kısmında yakın bir zamanda tehlike yaratacak bir sismik boşluğun bulunduğunu ortaya koymuşlar.

Akyüz vd. (2006) yaptıkları çalışmada Akşehir-Afyon fay zonunda yer alan Çay ve Maltepe segmentleri üzerinde, bu fay segmentlerinden kaynaklanacak depremlerin yinelenme süresini belirlemek amacıyla iki hendek üzerinde paleosismolojik çalışmalar yapılmıştır. Maltepe fay segmentinden kaynaklanan tarihsel deprem en son MS 1150 yılından daha sonraki bir dönemde, Çay segmentinden kaynaklanan tarihsel depremin ise en son MS 760 yılından daha önceki bir dönemde meydana geldiğini ve bu iki fay segmentinin deprem üretme tarihçelerinin aynı olmadığını görmüştür.

Zülfikar vd. (2011) yaptıkları çalışmada 19 Mayıs 2011 Simav depreminin BKB-DGD gidişli aktif faylarla çevrili bölgede; Simav Fay Zonunda meydana geldiğini belirtmiştir. Ana şoktan sonra artçı şokların 40 günlük zaman diliminde çıkardıkları enerjinin yaklaşık Ms 5.4 büyüklüğündeki bir depremin çıkaracağı enerjiye eşit olduğu görülmüştür. Yapısal hasarın meydana geldiği binalar incelendiğinde, hasarın ana sebebinin depreme dayanıklı yapı tasarım kurallarından yoksun tasarlanmış binalar, işçilik ve malzeme kalitesi olarak değerlendirilmiştir.

Kartal ve Kadiroğlu (2014) yaptıkları çalışmada Kütahya ili Simav ilçesinde 19 Mayıs 2011 (Ml= 5.7), 27 Haziran 2011 (Ml= 5.0) ve 3 Mayıs 2012 (Ml= 5.4) tarihlerinde meydana gelen depremleri incelemişlerdir. 19 Mayıs 2011 depremi ile başlayan sismik aktiviteyi değerlendirmişler. Aletsel büyüklüğü 4 ve üzeri olan depremlerin dışmerkez dağılımları ve P dalgası ilk hareketine göre yaptıkları odak mekanizma çözümleri beraber değerlendirildiğinde, deprem kaynağının KKD eğimli normal fay olan Simav Fay Zonu olduğu sonucuna varmışlardır.

Duman vd. (2017) ve Emre vd. (2011) yaptıkları çalışmalarda Akşehir Simav Fay Sisteminin başlıca Simav ve Sultandağı faylarından oluştuğu, birçok aktif fay segmenti ve genç havzaların bulunduğu görülmektedir. Akşehir Simav Fay Sisteminin kuzeybatısı kısmını oluşturan Simav fayının yaklaşık 205 km uzunluğunda olduğu ve Sındırgı, Çaysimav, Şaphane, Abide, Banaz, Elvanpaşa, Sinanpaşa olmak üzere 7 segmentten oluştuğu gösterilmiştir.

Öztürk (2019) yapmış olduğu çalışmada Banaz Fayı ve çevresinde 22 adet GNSS ölçü noktasından oluşan bir jeodezik ağ tesis edilmiş, 2016-2019 yılları arasında 5 kampanya ölçü yapılmıştır. Bölgenin hız alanı hesaplanmış, gerilim ve gerinim miktarları yönleri ile birlikte tespit edilmiştir. Avrasya plakası sabit hızlar 20-29 mm/ yıl arasında hesaplanmış, bölgenin kuzey kısmında KD-GB açılmalar, güney kısmında ise KD sıkışma ve DB açılmalar görülmüştür.

Tiryakioğlu vd. (2019) 115Y246 No' lu TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) projesi ile Akşehir Simav Fay Sistemi üzerinde jeolojik ve jeodezik çalışmalar yapmışlardır. Bölgede 78 noktalı GNSS ağı kurularak bölgenin hız ve gerinim alanını elde etmişlerdir. Simav ve Abide segmentleri üzerinde 1.3 mm/yıl sol yanal ve 1.4 mm/yıl açılma; Banaz-Afyon yerleşim alanları arasında 2.5 mm/yıl sol yanal; Sultandağı segmenti üzerinde 2.8 mm/yıl sol yanal, 3.7 mm/yıl genişleme; Karamık grabeni (Kali segmenti) boyunca ise 4.5 mm/yıl sağ yanal ve 2.1 mm/yıl genişleme ilişkili hızlar elde etmişlerdir. Gazlıgöl, Banaz ve Çobanlar fayları üzerinde ise sırasıyla, 1.6 mm/yıl sol yanal, 2 mm/yıl genişleme; 2.2 mm/yıl sol yanal, 1.5 mm/yıl genişleme; 0.1 mm/yıl sağ yanal, 0.2 sıkışma ilişkili hızlar elde etmişlerdir. Bolvadin ilçe merkezinde meydana gelen yüzey deformasyonlarını GNSS, nivelman ölçüleri ve SAR gözlemleri ile incelemişlerdir ve ayrıca paleosismolojik amaçlı 2 adet hendek açmışlardır. Nivelman ölçüleri ile bölgede 5-70 mm, sabit GNSS istasyonunun zaman serileri ile ise -72mm/yıl miktarında düşey yönlü deformasyon hesaplamışlardır. SAR gözlemlerinin sonucundaysa KD-GB yönünde deformasyon miktarında artış olduğu görülmüştür. Yapılan jeolojik haritalama ile kinematik analiz çalışmaları ise Bolvadin fayının yaklaşık olarak 16 km. uzunluğunda olduğu ve eğim atımlı normal fay olduğu tespit edilmiştir. Paleosismolojik verilere göre

ise tarihsel dönemde 530 ile 1549-1639 yılları arasında olmak üzere yüzeyde kırık meydana getiren en az iki deprem meydana getiren Bolvadin fayının kayma hızını 0.6 mm/yıl olarak hesaplamışlardır. Fayın deprem yinleme periyodunun 1019-1109 yıl aralığında olduğunu ve son yıkıcı deprem üzerinden geçen zamanın 380-470 yıl arasında olduğu belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasının konusu olan Banaz fayında 30 Eylül 1887 tarihinde büyük bir deprem meydana gelmiştir. Deprem bölgedeki yapılarda ağır hasar oluşturmuş ve can kayıplarına neden olmuştur. Tarihsel ve aletsel dönem deprem kataloglarına bakıldığında büyük şiddette meydana gelen tek deprem 30 Eylül 1887 depremidir. Bu sebeple depremin tekrarlama periyodu gizemini korumaktadır. Çalışma kapsamında Banaz fayı ve çevresindeki bölgede 22 noktalı GNSS ağının geçmiş verilerine ek olarak 2019-2020 yıllarında 2 kampanya ölçü yapılmıştır. Elde edilen tüm verilerin işlenmesinde GAMIT (GPS Analysis MIT)/ GLOBK (Global Kalman Filter) programları kullanılmıştır. Sonuç olarak bölgenin hız alanı, yamulma alanı, deprem tekrarlama periyodu ve potansiyel deprem büyüklükleri hesaplanmıştır.

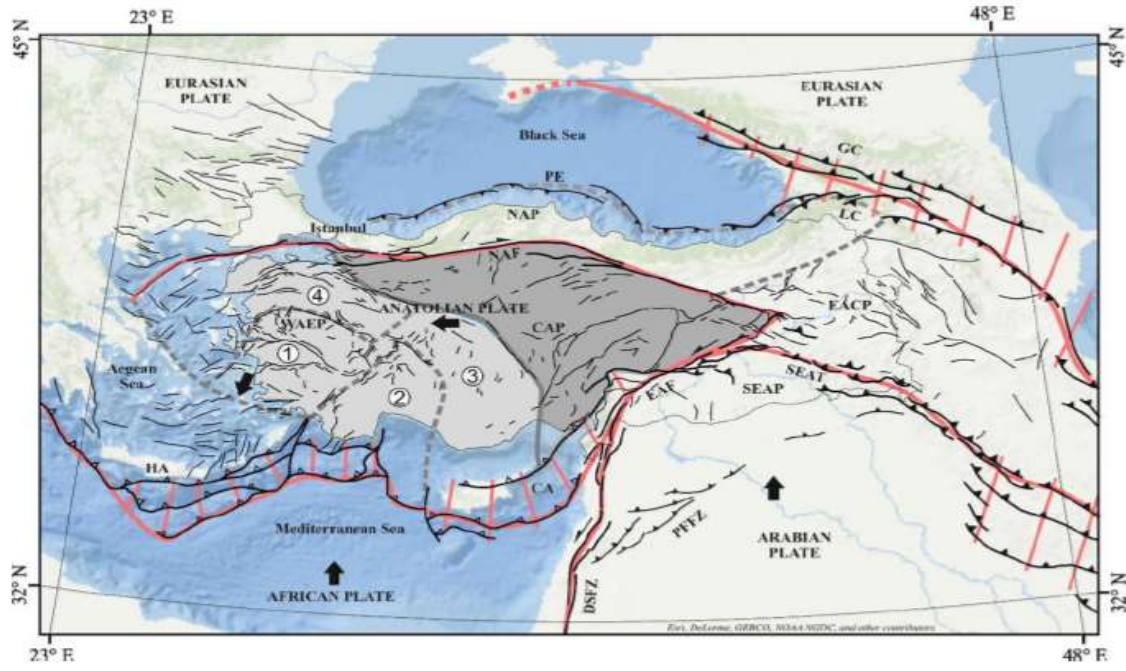
2. AKŞEHİR-SİMAV FAY SİSTEMİ

2.1 Bölgenin Tektoniği

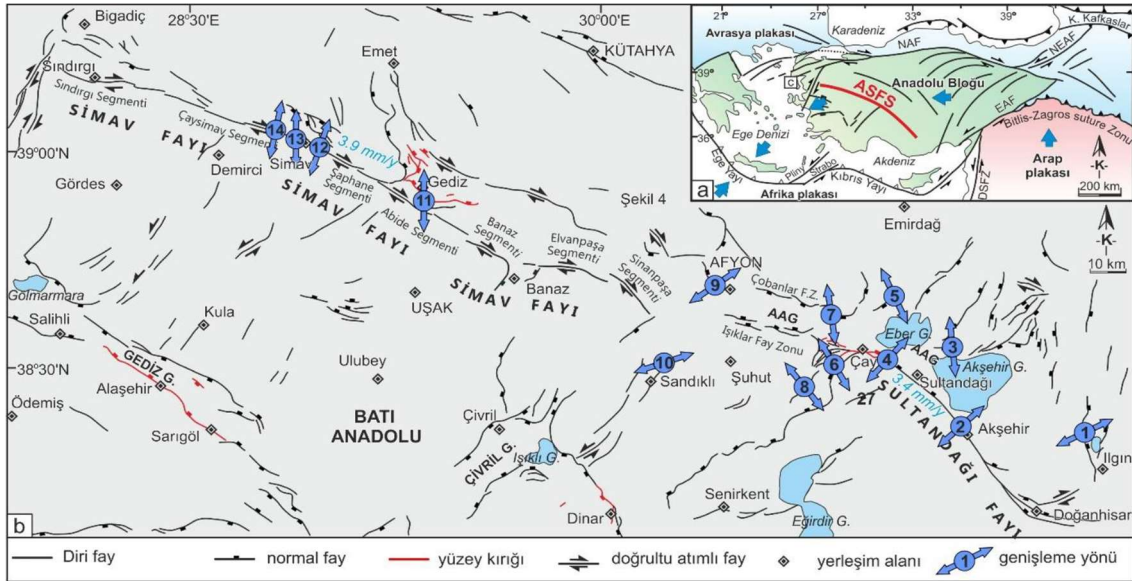
Akşehir-Simav Fay Sistemi Batı Anadolu Genişleme Bölgesi' nde yer almaktadır ve bu bölgedeki en önemli sismojenik kuşaklardan birisidir. ASFS, KB-GD gidişli olan birçok süreksiz aktif normal fay zonlarını içermektedir. Güncel morfolojiyi denetleyen bu fay zonları, ASFS' nin genel gidişine yaklaşık paralel şekilde, güneydoğudan kuzeybatıya doğru Konya, Afyon-Akşehir, Sinanpaşa (Sincanlı), Altıntaş, Ağaçköy, Gediz, Simav ve Sındırgı grabenlerinin oluşumlarına neden olmuşlardır (Koçyiğit ve Deveci 2007).

ASFS, Batı Anadolu Graben Sistemi ve Kuzeybatı Anadolu Geçiş Zonu arasındaki yapısal sınırı oluşturmaktadır (Şekil 2.1). İlk olarak Koçyiğit (1984) tarafından adlandırılmış olan ASFS, doğuda Ilgın ve batıda Bigadiç arasında uzanan yaklaşık 400 km uzunluğunda, KB-GD uzanımlı neotektonik bir yapıdır (Şekil 2.2) (Koçyiğit 1984, Koçyigit ve Özacar 2003, Koçyigit ve Deveci 2007, Emre vd. 2011, Gürboğa 2013, Özkaymak vd. 2017). 2011 yılında güncellenmiş olan Türkiye Diri Fay Haritası' na göre (Emre vd. 2011) başlıca Simav ve Sultandağı Faylarından oluşan sistem içerisinde birçok aktif fay segmenti ve ilişkili genç havzalar yer almaktadır. ASFS' nin kuzeybatı bölümünü oluşturan Simav fayı 205 km uzunluğunda olup, kuzeybatıdan güneydoğuya doğru, (1) Sındırgı, (2) Çaysimav, (3) Şaphane, (4) Abide, (5) Banaz, (6) Elvanpaşa (7) Sinanpaşa olmak üzere toplam 7 segmentten oluşmaktadır (Emre vd. 2011, Duman vd. 2017). Daha doğuda Işıklar ve Çobanlar Fay Zonu ile ASFS' nin doğu bölümünü oluşturan yaklaşık 100 km uzunluğundaki Sultandağı fayına bağlanır (Tiryakioğlu vd.2019) (Şekil 2.2).

ASFS' nin güneydoğu kesiminde yer alan Afyon-Akşehir grabeni, kuzeydoğuda yer alan Orta Anadolu ile güneybatıda yer alan Isparta açısını (Blumenthal 1963) birbirinden ayıran, 4-20 km. genişliğinde, 130 km. uzunluğunda olan, KB-GD uzanımlı, aktif olarak büyüyen bir rift alanıdır (Koçyiğit 1984, Koçyiğit vd. 2000, Koçyiğit ve Özacar 2003). Afyon-Akşehir grabeni içerisinde yer alan ve grabenin güney kenar faylarından bir tanesi olan Sultandağı fayı yaklaşık 90 km. uzunluğunda eğim atımlı normal faydır” (Tiryakioğlu vd. 2019) (Şekil 2.2).

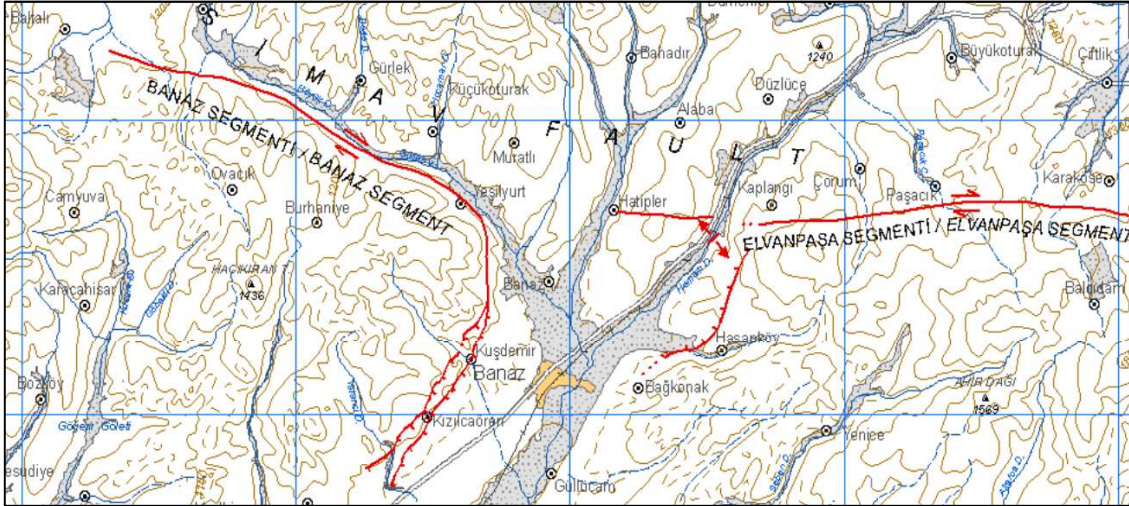


Şekil 2.1 Türkiye'nin ana tektonik hatlarını gösteren aktif fay haritası, ana tektonik bölgeler ve alt tektonik bölgeler (Emre vd. 2016).



Şekil 2.2 Akşehir-Simav Fay Sistemi'nin a) Türkiye'nin neotektonik haritasındaki yerini ve b) sistem içerisindeki fayların ve segmentlerin geometrisini gösteren Türkiye Diri Fay Haritası. Genişleme yönleri referansları: (1, 2, 3, 4, 6, 7) Tiryakioğlu vd. 2018, (5), 115Y246, (8), Çiçek ve Koçyiğit 2009, (9), Özkaymak vd. 2017, (10), Koçyiğit ve Deveci 2007, (11), Gürboğa 2014, (12), Özden vd. 2011, Kaplan 2014, Gündoğdu vd. 2015, (13), Seyitoğlu 1997, (14), Demirci vd. 2015. Kısaltmalar; AAG: Afyon-Akşehir Grabeni (Tiryakioğlu vd. 2019).

Akşehir-Simav Fay Sistemi içerisinde bulunan Banaz Fayı yaklaşık 25 km' lik bir segmenttir. Banaz fayı üzerinde çok az jeolojik ve jeodezik çalışma yapılmıştır. Öztürk (2019) tarafından yapılan çalışmada bölgeye jeodezik ağ kurulmuştur ve genel anlamda yamulma alanlarının bölge ile uyumlu olduğu görülmüştür. Birçok çalışma Afyon-Uşak arasında bir sismik boşluk olduğunu belirtmiştir. Banaz fayının konumu bu sismik boşluk açısından çok önemlidir. Akşehir-Simav fay zonu üzerinde kuzeybatı yönünde ilerleyen deprem göçü ve bu deprem göçünün batıya doğru devam etme ihtimali, Banaz ve çevresinde haritalanan diri faylar ve bu alandaki sismik boşluk gelecekte Afyonkarahisar-Uşak civarında meydana gelebilecek yıkıcı bir deprem ihtimalini ortaya koymaktadır (Öztürk 2019). Banaz ve çevresindeki fayların geometrisini gösteren diri fay haritası (Şekil 2.3) ve bu faylara ait diri fay parametreleri (Şekil 2.4) verilmiştir.



Şekil 2.3 Banaz ve çevresindeki fayların geometrisini gösteren diri fay haritası (Emre vd. 2011).

Fay				Uzunluk	Doğrultu (RHR)		Eğim (Derece)		Kayma hızı (mm/yıl)		Derinlik (km)		Büyükük		Kaynakça
Segment	Tip	ID No	AC	(km)	Min	Max	Min	Max	Min	Max	1	2	Gözlenen	Est. Mw	
Banaz S	RL	30-5	H	24	3	359	87	90						6,71	
Elvanpaşa S	RL	30-6	H	27	270	298	87	90						6,76	23

Şekil 2.4 Banaz ve Elvanpaşa Segmenti fay parametre bilgileri (Duman vd. 2017).

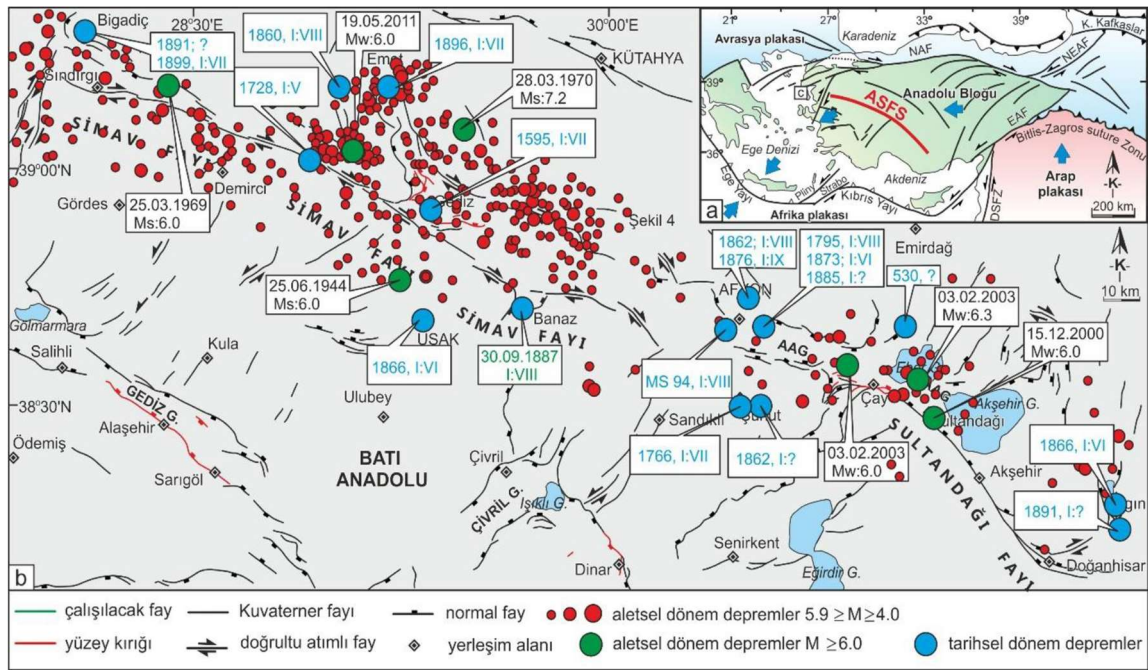
Afyon – Akşehir grabeni içerisinde yapılan tektonik çalışmalar 2002 yılında meydana gelen Çay (Afyon) depremlerinin sonrasında yoğunlaşmıştır (Demirtaş vd. 2002, Emre vd. 2003, Koçyiğit ve Özacar. 2003, Özden vd. 2003, Yürür vd. 2003, Ulusay vd. 2004, Akyüz vd. 2006, Tiryakioğlu vd. 2019). Yapılan çalışmalarda Maltepe ile Çay

bölgelerinde ortaya çıkan yüzey kırıkları haritalanarak depremi meydana getiren segmentler tanımlanmıştır. Graben içerisinde yapılan ilk ve tek paleosismoloji çalışmasını Akyüz vd. (2006) yapmıştır. Bu çalışmada araştırmacılar Maltepe Segmenti ve Çay segmenti üzerinde hendek çalışması yürütmüşlerdir. 2002 Çay depremlerindeki düşey yer değişmeye benzer bir depremin de MS 1150 sonrasındaki bir tarihte Maltepe hendeğinde gerçekleştiğine dair izler tanımlanmıştır. MS 760 öncesi tarihlendirilen başka bir depremde Çay ilçesinde yürütülen hendek çalışmasında tanımlanmıştır. Aktuğ vd. (2006) gelecekte Akşehir fayı üzerinde yer alan kırılmamış fay parçalarının da yakın büyüklükte bir deprem üretebileceğini ifade etmişlerdir. Demirtaş vd.(2002)'nin Çay depremi sonrası yaptıkları çalışmada da deprem göçünün kuzeybatı yönünde ilerleyeceği ve Çay'ın batı kısmında kalan fay parçasının da deprem üretme olasılığının oldukça yüksek olduğunu açıklamışlardır. Benzer bir görüşteki çalışmada Koçyiğit vd.(2003)' nin yaptıkları çalışmadır. Koçyiğit vd.(2003) Doğanhisar- Argıthanı-Ilgın çevresinde 1921 ve 1946 yılında gerçekleşen büyüklükleri Ms= 5.4 ve 5.5 olan depremler sayesinde büyük bir enerji boşalımı gerçekleşmiştir. Eber Gölü çevresinde de 2000 Sultandağı ve 2002 Çay depremleri ile benzer bir durum gerçekleşmiş ve deprem tehlikesini önemli ölçüde atlatmıştır. Ancak Afyonkarahisar ili ve yakın çevresi içinse sismik boşluk özelliğini korumaya devam ettiğini ve bu bölgede yeni depremler beklediklerini belirtmiştir. Aktuğ (2010) yaptığı çalışmada 2002 Sultandağı depremine ait ilk çözümlerin geçmişte yoğun olarak depremselliğin yaşandığı Eber-Akşehir Gölleri arasını gösterdiğini belirtmiştir. Koçyiğit vd.(2002) depremin Akşehir fay zonunda meydana geldiğini ve 2000 Sultandağ depreminin KKB yönünde devamı olarak yorumlamıştır. Buna karşın Demirtaş vd. (2002) meydana gelen ilk depremin Sultandağı fayında diğer depremlerin ise Eber Gölü'nün güney kısmında bulunan Üçkuyu fayları üzerinde ortaya çıktığını iddia etmişlerdir. Hem 2000 yılında hem de 2002 yılında ortaya çıkan depremlerin odak mekanizma çözümleri normal bir faylanma olduğunu işaret etmektedir (Tiryakioğlu vd. 2019).

2.2 Bölgenin Depremselliği

ASFS içerisinde tarihsel ve aletsel dönemlerde yıkıcı birçok deprem meydana gelmiştir (Şekil 2.4) (Pınar ve Lahn 1952, Ergin vd. 1967, Soysal vd. 1981, Ambraseys ve Finkel 1995, Tan vd. 2008, KOERİ 2019). Tarihsel dönem deprem kayıtlarına bakıldığında ilki

M.S. 94 yılında olmak üzere şiddetleri V ve XI arasında olan depremlerin meydana geldiği görülmektedir (Şekil 2.4). Aletsel dönem kayıtlarına bakıldığında da 7.2 büyüklüğüne kadar depremlerin ASFS içerisinde ortaya çıkabileceğini işaret etmektedir. Duman vd. (2017) Simav Fay Zonu için yapmış oldukları analizlerde, Wells ve Coppersmith (1994)'in deprem büyüklüğü ile yüzey kırılma uzunluğu arasındaki bağıntı hesabını kullanmışlardır. Sonuç olarak 18-54 km arasında değişen segmentlerin 7.1 büyüklüğüne kadar bir depremi meydana getirebileceğini belirtmişlerdir. Aletsel dönem boyunca meydana gelen 1969 Demirci depremi (Ms: 6.0), 1970 Gediz depremi (Ms: 7.2), 2000 Sultandağı depremi (Mw: 6.0), 2002 Çay depremleri (Mw: 6.3 ve Mw: 6.0) ve son olarak 2011 Simav depremi (Mw: 6.0) ASFS' nin aktifliğini koruduğunu gösteren verilerdir (Eyidoğan ve Jackson 1985, Taymaz ve Tan 2001, Koçyiğit ve Deveci 2007, Demirci vd. 2015, Özkaymak vd. 2017, Kalafat ve Görgün 2017, Tiryakioğlu vd. 2019).

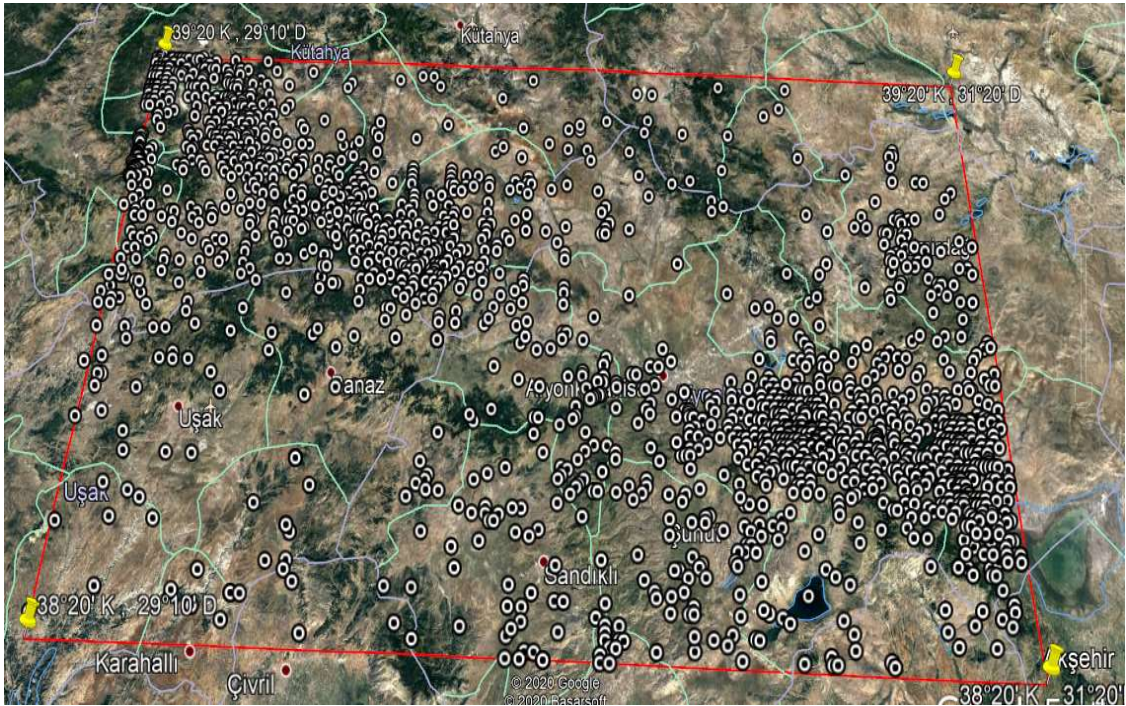


Şekil 2.5 ASFS' nin a) Türkiye'nin neotektonik haritası içerisindeki yeri ve b) sistem üzerinde meydana gelen aletsel ve tarihsel dönem depremleri gösteren sismotektonik harita (Tiryakioğlu vd. 2019).

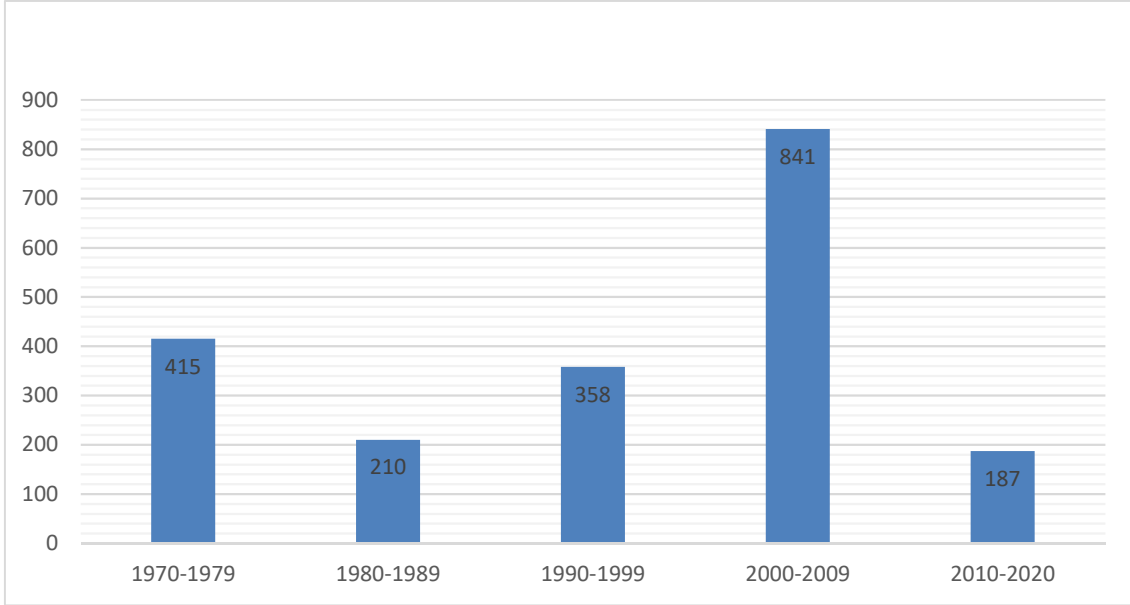
ASFS içerisinde aletsel dönemdeki orta büyüklükteki depremler genellikle Afyon-Akşehir Grabeni' nin doğu ve orta kısımlarında bulunan Sultandağı Fayı üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu depremlerin zaman ve dışmerkez dağılımlarına bakılarak güneydoğudan kuzeybatıya doğru Sultandağı fayı üzerinde bir deprem göçünün olduğu

ortaya çıkarılmıştır (Demirtaş vd. 2002, Emre vd. 2003, Tiryakioğlu vd. 2019). 2002 Çay depremleri sonrasında birçok araştırmacı “bu deprem göçünün KB' ya doğru mu devam edeceği yoksa Sultandağı fayı ile sınırlı mı kalacağı? Yoksa farklı bir doğrultuda mı devam edeceği?” sorusunu tartışmışlar ve Çay’ın batı kısmında kalan fay parçasında yüksek sismik riske dikkat çekmişlerdir (Koçyiğit ve Özacar 2003, Yürür vd. 2003, Ulusay vd. 2004, Akyüz vd. 2006, Tiryakioğlu vd. 2019).

Gediz ilçesi ve Afyonkarahisar arasındaki bölgede 1970-2020 arasında meydana gelen büyüklüğü 3 ve üzeri olan depremlerin verileri Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE), Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM)’ den elde edilmiştir. Elde edilen veriler onar yıllık periyotlara ayrılarak 3 ve üzeri büyüklükteki depremlerin dağılımı grafik olarak verilmiştir (Şekil 2.7). Bu verilere göre Uşak-Afyonkarahisar arasında Koçyiğit vd. 2002’de de belirtildiği gibi sismik boşluk görülmüştür (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Gediz – Afyonkarahisar arası (1970-2020) meydana gelen 3 ve üzeri depremler ve sismik boşluk.



Şekil 2.7 Gediz – Afyonkarahisar arası (1970-2020) meydana gelen 3 ve üzeri depremler.

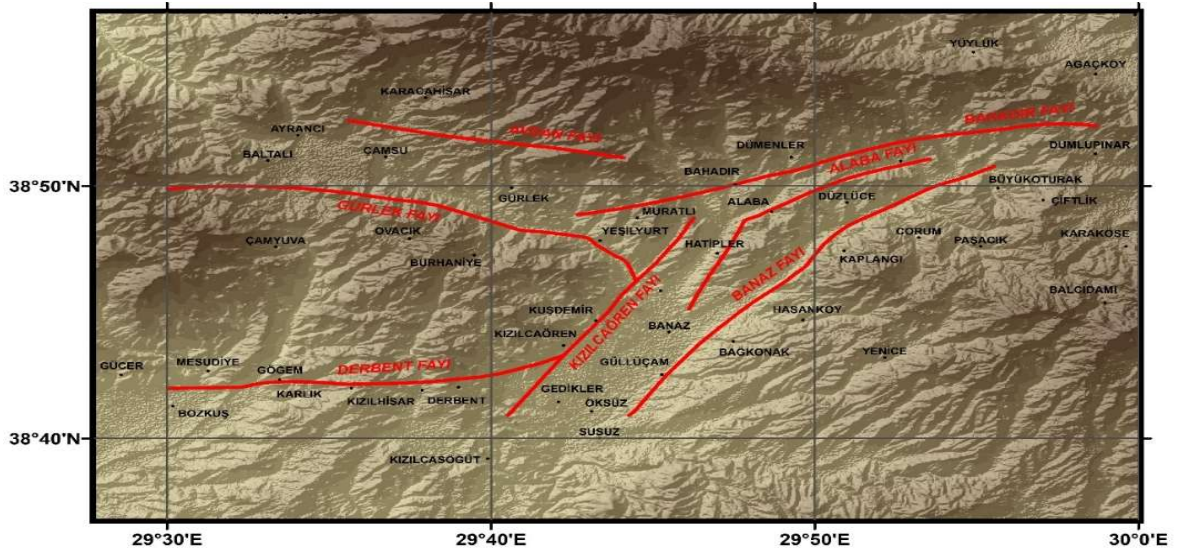
Banaz ve çevresinde tarihsel dönemde 30 Eylül 1887 tarihinde şiddetli bir deprem meydana gelmiştir. Buna karşın Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE), Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM)' den elde edilen 1970-2020 yılları arasındaki verilere göre; Uşak İli Banaz İlçesi ve yakın çevresinde büyüklüğü 3.0 ile 5.1 arasında olan depremler kaydedilmiştir. Banaz ve çevresinde son 50 yılda büyük şiddetli deprem görülmemiştir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Banaz ve çevresinde (1970-2020) meydana gelen 3 ve üzeri depremler

2.3 Bölgede Bulunan Faylar

Çalışma bölgemiz Sivaslı-Banaz Fay Zonu içerisinde bulunan; Banaz fayı, Alaba fayı, Kızılcaören fayı, Bahadır fayını, Çamsu grabeni içerisinde bulunan; Gürlek fayı, Avdan fayı, Derbent fayını kapsamaktadır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Bölgede Bulunan Faylar (Öztürk 2019).

Sivaslı-Banaz Grabeni güneyde Çivril ilçesinin kuzeyi ve kuzeyde Dumlupınar arasında, 5-12 km genişliğe, 60 km uzunluğa ve genellikle KKD-gidişli etkin bir grabendir. Güneyinde yer alan Çivril-Dinar grabenleri ve kuzeyinde yer alan Sinanpaşa-Ağaçköy grabenlerinin arasında bir bağlantı oluşturarak fazla enerjiyi transfer eder. Sivaslı – Banaz grabeni Sivaslı ve Banaz ilçeleri ile birlikte birçok belde ve köy boyutunda yerleşim yerini kapsamaktadır (Koçyiğit 2007).

Sivaslı-Banaz grabeninin doğu kenarında grabeni sınırlayan ve denetleyen önemli boyutta diri faylar bulunmaktadır. Doğu ve batı yönlerine eğimli ve farklı boyuttaki faylara Sivaslı-Banaz Fay Zonu adı verilmiştir (Koçyiğit 2007).

Sivaslı-Banaz fay zonu yaklaşık olarak 3-9 km genişliğe ve 60 km uzunluğa sahiptir. Bu zon birbirine paralel-yarı paralel, genellikle sık aralıklı, uzunlukları 2.5-44 km arasında olan normal fay segmentlerinden oluşan KKB-, K-G ve KKD- gidişli diri fay zonudur. Çalışma bölgemiz içerisinde ve bu zon içerisinde kalan segmentler güneyden kuzeye

doğru; Banaz fayı, Kızılcaören fayı, Alaba fayı ve Bahadır fayı olarak sıralanabilir. İsimleri verilen bu faylar yıkıcı deprem üretme potansiyeline sahiptir (Koçyiğit 2007).

Banaz fayı, güneyde Sivaslı ilçesi ve kuzeyde Dumlupınar ilçesi arasında, yaklaşık olarak 44 km uzunluğunda, KKD-gidişli ve batı-kuzeybatıya 60°-75° dikçe eğimli vevv atımlı normal bir faydır. Aynı zamanda Sivaslı-Banaz fay zonunun ana fayıdır ve grabenin doğu kenarını denetler. Banaz fayı sismik boşluk özelliğini günümüzde korumaya devam etmektedir. Wells ve Coppersmit (1994) kuramına göre üretebileceği en büyük deprem $M_w=6.98$ büyüklüğündedir (Koçyiğit 2007).

Alabı fayı, kuzeydoğuda Halaçlar köyü ve güneybatıda Banaz ilçesinin yakın kuzeyi arasında, yaklaşık olarak 16 km uzunluğunda, K20°-55° D-gidişli kuzeybatıya dikçe eğimli bir faydır. Aynı zamanda Sivaslı-Banaz grabeninin kuzey kısmını iki bloğa böler. Wells ve Coppersmit (1994) kuramına göre üretebileceği en büyük deprem $M_w=6.47$ büyüklüğündedir (Koçyiğit 2007).

Kızılcaören fayı, güneybatıdan kuzeydoğuya doğru Kızılcaören, Kuşdemir, Eski Banaz boyunca yüzeyleyen, yaklaşık olarak 16 km uzunluğunda, K30°D-gidişli güneydoğuya 75°-80° dikçe eğimli normal bir faydır. Grabenin kuzeybatı kenarını sınırlandırarak denetler. Wells ve Coppersmit (1994) kuramına göre üretebileceği en büyük deprem $M_w=6.47$ büyüklüğündedir (Koçyiğit 2007).

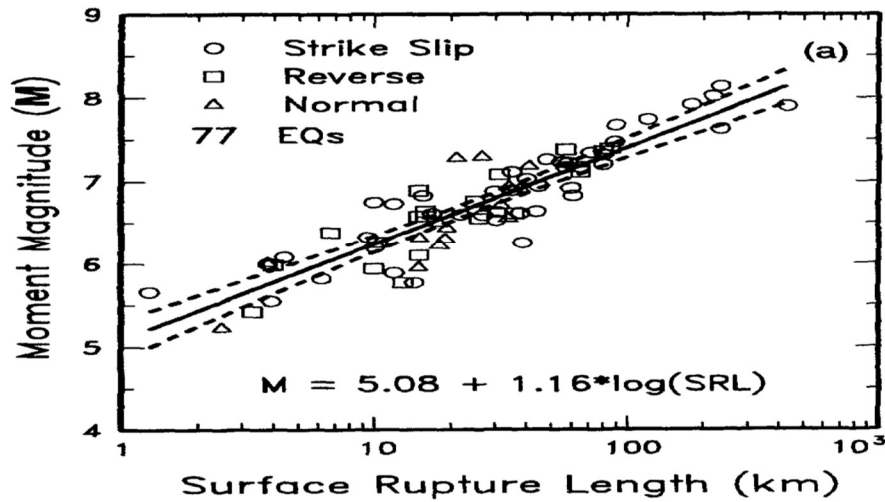
Bahadır fayı, doğuda Dumlupınar ilçesinin yakın kuzeyi ve batıda Küçükoturak köyü arasında, yaklaşık olarak 24 km uzunluğunda, K75°D-gidişli güneye 70° dikçe eğimli vevv atımlı normal faydır. Wells ve Coppersmit (1994) kuramına göre üretebileceği en büyük deprem $M_w=6.68$ büyüklüğündedir (Koçyiğit 2007).

Gürlek fayı, batıdan doğuya doğru Baltalı köyünün güneyi ve Yeşilyurt köyünden geçerek Kızılcaören fayıyla kesişir ve sona erer. Yaklaşık olarak 22 km uzunluğunda, kuzeye 50°-60° eğimli vevv atımlı bir normal faydır. Wells ve Coppersmit (1994) kuramına göre üretebileceği en büyük deprem $M_w=6.63$ büyüklüğündedir (Koçyiğit 2007).

Avdan fayı, doğuda Avdan tepe ve batıda Kara tepe arasında, yaklaşık olarak 12 km uzunluğunda, güneye 70°–78° dikçe eğimli veren atımlı normal faydır. Wells ve Coppersmit (1994) kuramına göre üretebileceği en büyük deprem $M_w=6.33$ büyüklüğündedir (Koçyiğit 2007).

Derbent fayı, doğuda Kızılcaören ve batıda Çevreköy arasında, yaklaşık olarak 20 km uzunluğunda, D-B gidişli ve güneye 76° dikçe eğimli verrev atımlı normal faydır. Wells ve Coppersmit (1994) kuramına göre üretebileceği en büyük deprem $M_w=6.56$ büyüklüğündedir (Koçyiğit 2007).

Wells ve Coppersmith (1994)'in fay uzunluğu-fayın üretebileceği en büyük mangitüdü deprem grafiği Şekil 2.10' da verilmiştir.



Şekil 2.10 Fay uzunluğu – fayın üretebileceği en büyük mangitüdü deprem grafiği (Wells ve Coppersmith 1994).

2.4 Banaz Depremi 30 Eylül 1887

30 Eylül 1887' de meydana gelen Banaz depremi, bazı yerlerde 3-4 saniye sürerken bazı yerlerde ise 10 saniye kadar sürmüştü. Yer sarsıntısının yönü güneyden kuzeye doğru olmakla birlikte gürültüler eşliğinde meydana geldi. Deprem sonucunda meydana gelen hasar ve can kayıpları deprem merkezinin Banaz' a ait köyler olduğunu göstermekteydi (Satılmış 2016).

Deprem Banaz, Uşak, Gediz ve yakın çevresinde şiddetli olarak hissedilse de geniş bir alanda hafif derecelerde de hissedilmiştir. Hissedilen bu bölgelerden bazıları, Bursa, Afyon, Alaşehir, Demirci, Buldan, Burdur, Isparta, Eşme, Kula, Kütahya, Sürmeli, Aydın, Nazilli, Sarayköy, Marmaris, Bodrum, Sandıklı, Yenişehir, Denizli, Manisa, İzmir, Konya, Akşehir, Fethiye, Muğla, Akhisar, Saruhanlı ile Samos Adası' dır. Bazı bölgelerde bir kez deprem meydana gelirken, bazılarında da birden fazla artçı şok yaşanmıştır (Satılmış 2016).

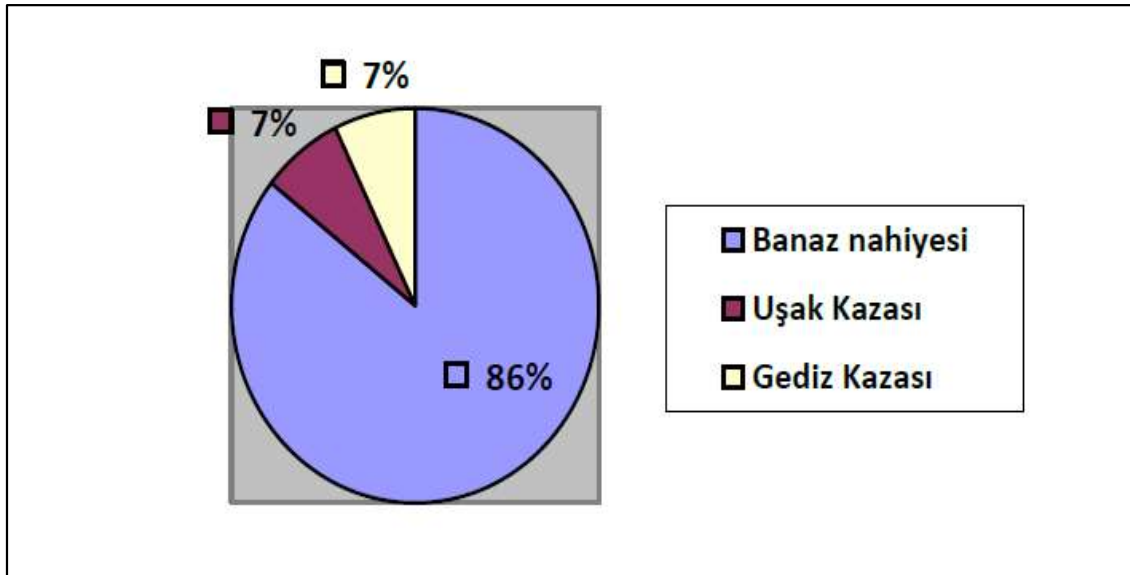
Doğal afet Banaz nahiyesinin birçok mahallinde zeminde yarıklar oluşturarak zeminde değişiklikler meydana getirmiştir. Bu yarıklardan en uzununu Banaz' ın kuzeybatısındaki dağ eteklerinden başlayarak Gediz' in güneyinde bulunan Comburt Vadisi' nin sonuna kadar devam eden yarıklardır. Ayrıca İslamköy (Susuz) çevresinde zeminde yaklaşık iki metre çöküntüler oluşmuştur. Banaz ovasından akan soğuk su bir süreliği kesintiye uğramıştır. Deprem sebebiyle oluşan yarıklardan sıcak sular fışkırmıştır. Sıcak suların bir kısmı kısa bir süre sonra kaybolursa da sıcak suyla ortaya çıkan kükürt kokusu bir süre daha devam etmiştir (Satılmış 2016).

Deprem oluşturduğu hasar doğu-batı çizgisinde yaklaşık 30 km uzunluğundaki bir alanı kapsamaktaydı. Bu alan içerisinde yer alan Banaz, Uşak ve Gediz bölgelerinde deprem nedeniyle can kaybı ve ağır hasar oluşmuştur (Çizelge 2.3) (Şekil 2.11). En fazla hasar nahiye merkezi Banaz ve İslamköy' de (Susuz) meydana gelmiştir. Bu bölgelerdeki evlerin büyük bir kısmı yıkılmış ve kalan kısmı da ağır hasar görmüştür. Yıkılan ev sayısı İslamköy' de 80, Banaz köyünde ise 85'tir. Ayrıca en fazla can kaybı da 15 kişi ile Banaz köyünde yaşanmıştır. Uşak kaza merkezi ise depremden çok az etkilenmiştir. Buna karşın Uşak kazasına bağlı köylerde hasar daha fazladır. Deprem nedeniyle ağır hasara uğrayan bir diğer bölgede Comburt Ovası' ndaki köylerdir. Bu bölgede 100' den fazla binanın yıkılmış ve 6 kişide hayatını kaybetmiştir (Satılmış 2016).

Çizelge 2.1 Banaz, Uşak ve Gediz’de Meydana Gelen Hasar ve Zaiyat (Satılmış 2016).

Yerleşim birimi/bina cinsi	Banaz Nahiyesi		Uşak Kazası		Gediz Kazası		Toplam
	Tamamen yıkılan	Kısmen yıkılan	Tamamen yıkılan	Kısmen yıkılan	Tamamen yıkılan	Kısmen yıkılan	
Ev	1246	435	106	139	101		2027
Cami	10	5			4		19
Tekke	2				1		3
Çeşme	4						4
Değirmen	4						4
Köprü	1						1
Derbent	1						1
Toplam	1268	440	106	139	106	0	2059

Yukarıda yer alan çizelgeye bakıldığında 1458’i tamamen 579’u kısmen olmak üzere 2059 binanın yıkılmış olduğu görülmektedir.



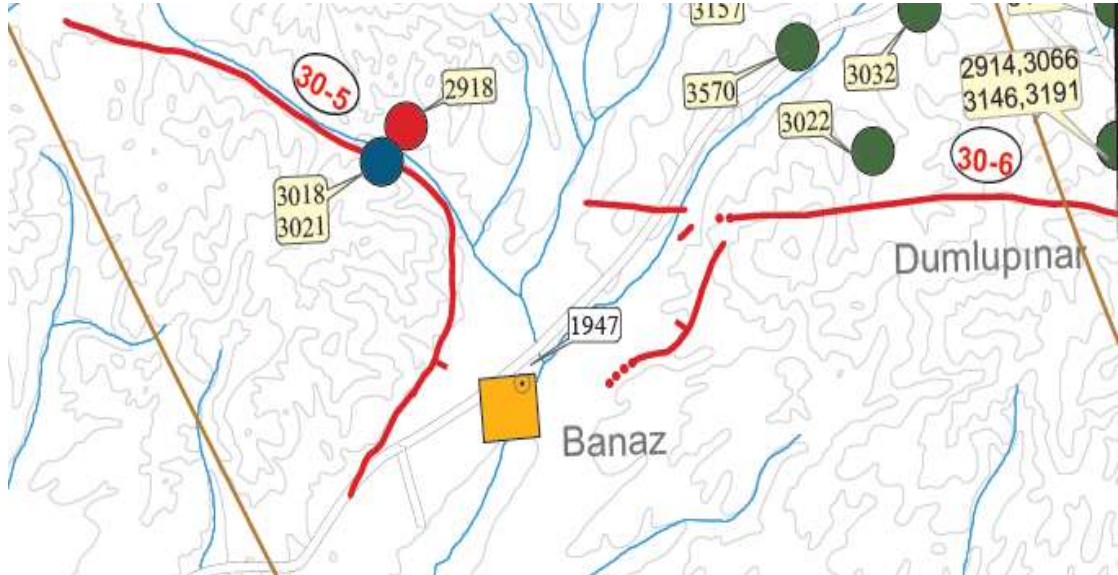
Şekil 2.11 Depremde Meydana Gelen Hasarın Yerleşim Birimlerine Göre Dağılımı (Satılmış 2016).

Depremın meydana geldiği bu bölgelerde toplamda 32 kişi hayatını kaybetmiştir. Yıkılan bina sayısının bu kadar çok olmasına rağmen can kayıplarının az olmasının sebebi ise ana depremden yaklaşık 2 saat öncesinde öncü şokun meydana gelmesidir. Halkın önce şok yüzünden yaşadığı endişe ve korku onları binalardan uzaklaştırarak can kaybını azaltmıştır. Depremden sonra yaşanan artçı şoklar ise yaklaşık 4 ay kadar devam etmiştir (Satılmış 2016).

30 Eylül 1887 Banaz Depremi, Başarır Baştürk vd. (2017)' nin hazırlamış oldukları Türkiye Ve Yakın Çevresi İçin Geliştirilmiş Tarihsel Dönem (MÖ 2000- MS 1900) Deprem Kataloğunda ve Duman vd. (2017)' nin hazırlamış oldukları 1/500.000 ölçekli Türkiye Sismotektonik Haritası' nın İzmir Paftasın' da 1947 No' lu deprem olarak verilmiştir (Şekil 2.12, Şekil 2.13).

Kimlik No Id-No,	Zaman Time	Yer Location	Enlem Latitude	Boylam Longitude	Şiddet Intensity	Açıklama Explanation	Kaynakça References	Harita Yeri Map Location
1947	MS 1887-09-30	Uşak-Banaz Çayı				Banaz Nehri'nde meydana gelen deprem çok güçlü şekilde hissedildi. 18 Eylül 1887 Cuma günü 15:19'da en yüksek artçı şoku yaşandı. Doğu-Batu doğrultusunda 30 km'lik alanda deprem hissedildi. Oturak, Pasaeik, Çorum, Düzice, Kaplangi, Hasanköy, Hatipler, İslanköy, Banaz, Samra, Oturakköy, Foloz ve Comburt köyleri tamamen tahrip oldu. Birçok kişi hayatını kaybetti.	NA	İzmir Paftası
	MS 1887-09-00	Banaz	38,70	29,80			AJ	
			38,73	29,75	VIII		BÇ	

Şekil 2.12 Türkiye Ve Yakın Çevresi İçin Geliştirilmiş Tarihsel Dönem (MÖ 2000- MS 1900) Deprem Kataloğu 1947 No' lu deprem (Başarır Baştürk vd.2017).



Şekil 2.13 1/500.000 ölçekli Türkiye Sismotektonik Haritası İzmir Paftası 1947 No' lu deprem (Duman vd. 2017).

3. KÜRESEL KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ (GNSS)

Eski çağlardan itibaren insanların yönlerini bulmak ve konumlarını belirlemek amacı ile geliştirip kullandıkları birçok yöntem vardır. Bunlardan birkaçı deniz fenerleri, rüzgâr yönleri, kaba zaman ölçümleri, yıldızlar vb. yöntemlerdir. En önemli yöntemlerden biri de gök cisimlerini müşahede ederek yön tayin etmektir. Günümüzde bu yöntem örnek alınarak konum belirleme çalışmaları ve uzay tabanlı yapay uydular geliştirilmiştir.

1964 yılında ABD'nin geliştirmiş olduğu, Transit adı verilen ilk uydu tabanlı sistemin deneyimleri sonucunda hassas konum belirlemek amacı ile yeni sistemlere gereksinim duyulmuştur. Gereksinimler sonucunda yapılan ilk çalışma ABD'nin geliştirmiş olduğu GPS' ten (Global Positioning System) faydalanılmıştır. Günümüzde birçok alanda kullanılmış olduğumuz GPS ilk zamanlarda askeri maksatla kullanılmış olup daha sonra sivillere açılmıştır. Birçok farklı alanda günümüzde kullanılmaktadır. Daha sonrasında Rusya tarafından geliştirilen GLONASS (Global Navigation Satellite System) ve Avrupa Birliği ülkelerinin geliştirmiş olduğu uydu konumlama sistemi olan GALİLEO kurulmuştur. Bu sistemler ve buna benzer uydu ile konum belirlemek amaçlı kullanılan sistemlerin bütününe GNSS adı verilmektedir.

3.1 GPS

Çağdaş konum belirleme sisteminin temelini oluşturan ilk sistem, Amerika Birleşik Devletleri'nin geliştirmiş olduğu Transit' tir. Bu sistem ayrıca NAVSAT (Navy Navigation Satellite System) olarak da isimlendirilmektedir. Transit, yeryüzünden takribi 1100 km yükseklikte, 5 uydudan oluşan ve yörünge süresi 106 dakika olan bir sistemdir. Bu sistem ile çok yüksek doğruluklu konumlar elde edilememiştir. Bu yüzden yüksek doğruluklu konumlar elde edebilmek amacı ile başka sistemler geliştirilmeye başlanmıştır. İnsanların beklentilerini karşılamak amacı ile 1980' li yıllarda Amerika Birleşik Devletleri tarafından GPS (Küresel Konumlama Sistemi) geliştirilmiştir (Danchik 1998).



Şekil 3.1 GPS uydusu görseli (İnt. Kyn. 1).

GPS sistemi uzay bölümü, kullanıcı bölümü ve kontrol bölümü olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Uzay bölümü 32 uydudan oluşur. Uydular 6 yörünge düzlemine yerleştirilmiştir ve ekvator ile arasındaki eğim açısı 55 derecedir. Yeryüzünden yaklaşık 20200 km uzaklıkta olan bu uydular 11 saat 58 dakikada bir periyodunu tamamlar. En az on sene kullanılmak amacı ile tasarlanmış bu uydular güneş enerjisi ile çalışır ve saatte yaklaşık 11 250 km hız ile hareket ederler. Uydularda yedek batarya ve ateşleyici roketler bulunur. Herhangi bir güneş enerjisi kesilmesinde devreye yedek bataryalar girer. Uyduların yörünge düzeltmeleri içinse ateşleyici roketler kullanılır. Uydular yörüngelerinde sürekli dönmekte olup düşük enerjide radyo sinyalleri yaymaktadırlar. Yeryüzündeki GPS alıcıları ise bu sinyalleri alarak konumlarını belirlemede kullanırlar (Zorlu 2010).

GPS uyduları L1 ve L2 adı verilen farklı frekanslarda taşıyıcı dalgalar yayınlamaktadır. L1 sinyali 1575.42 MHz frekans ölçüsünde ve L2 sinyali 1227.60 MHz frekans ölçüsündedir. L1 ve L2 sinyallerinin bir arada kullanılmasının 2 amacı vardır. Bu amaçlar sinyal bozulmasına karşı güvenlik sağlamak ve iyonosferden kaynaklı kırılmaları engellemektir. Bu sinyaller dünya üzerinde alıcıların yörünge parametreleri, uydu saat düzeltmeleri gibi bilgilere ulaşılması amacıyla belirli kodlarla navigasyon mesajları ile donatılmışlardır. Bu işlem ile her bir uyduya farklı farklı PRN (Pseudo Random Numbers) kod numarası verilmiştir (İnt.Kyn.1).

P kodu ve C/A kodu aynı anda gönderilir. Her uydu kendisine özgü C/A kodunu üretir. Uyduların her biri aynı taşıyıcı frekansta veri yayınlar fakat uydu sinyalleri PRN kod

numaraları sayesinde birbirine karışmazlar. L1 taşıyıcısı C/A kodunu, P kodunu ve uydu mesajlarını taşır. L2 taşıyıcısı ise P kodunu ve uydu mesajlarını taşır. Uydu mesajlarının içeriğinde uydu saat düzeltmesi, almanak bilgisi, iyonosfer bilgisi, uydunun durumu ve yörünge bilgisi bulunur (Derelioğlu 2007, Tiryakioğlu 2012).

Kontrol bölümünde GPS uydularının sürekli izlenmesiyle doğru yörünge ve zaman bilgileri sağlanır. Dört adet insansız kontrol merkezi, bir adet de insanlı kontrol merkezi olmak üzere yeryüzünde toplam beş adet kontrol istasyonu vardır. Ana merkez insansız kontrol merkezlerinden aldıkları verileri değerlendirip gereken düzeltmeleri uydulara gönderir (Hofmann-Wellenhof 2008, Zorlu 2010). Kullanıcı bölümü, yeryüzündeki alıcılardır. Çeşitli amaçlar ile GPS kullanarak yerini belirlemek isteyen kişiler sistemin kullanıcı bölümündedirler.

GPS(Küresel Konumlama Sistemi), klasik ölçümlere göre daha avantajlıdır. Her türlü hava koşullarında, gece veya gündüz GPS ölçümleri yapılabilir. Bu da GPS' in diğer klasik ölçme yöntemlerinden daha avantajlı olduğunu gösterir. GPS ölçümleriyle hesap edilen noktaların konum doğruluğu bayağı yüksektir. X koordinatı ve Y koordinatının hesaplanmasında oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. Lakin GPS ile ölçüm esnasında sinyallerin zayıf olmasından kaynaklı bazı olumsuzluklarda yaşanabilmektedir. Kapalı ortamlarda, yansıtıcı yüzeylerin çok fazla bulunduğu mekanlarda, ağaçların sıklaştığı bölgelerde, tünellerde ve şehir merkezlerinin bazı yerlerinde GPS ile ölçüm yapmak zorlaşabilir. Çünkü istenilen hassasiyet elde edilemeyebilir. Üstelik bazı şartlarda hiç ölçüm yapılamamaktadır. Böyle olduğu durumlarda ölçüm yapmak doğru değildir. GPS ölçümleri sonucunda elde edilen veriler WGS-84 datumundadır. Kullanılan amaçlar doğrultusunda yerel datuma dönüştürülmelidir (Şafak 2019).

3.2 GLONASS

GPS' den sonra dünyanın ikinci işler konumlandırma sistemi olan GLONASS (Global Navigation Satellite System), 1970' li yıllarda güvenliği sağlamak amacı ile Sovyet Rusya tarafından tasarlanmıştır. Özellikle Balkanlar, Orta doğu, Kuzey Avrupa ve Orta Asya'da kullanılmak üzere geliştirilmiştir.

1982 yılında COSMOS adı verilen ilk uydu uzaya fırlatılmıştır. Sistem GPS 'e benzer özelliklere sahip, 8 adet yer kontrol istasyonu ve 4 adet uydudan oluşmaktadır. Sistemin daha rahat kontrol edilebilmesi için Rusya sınırları kapsamında kullanılmıştır. Ancak Sovyetler Birliği' nin çöküşü ekonominin zayıflamasına sebep olmuş ve bu yüzden GLONASS yeterince geliştirilememiştir. GLONASS, 2001 senesine kadar sadece 7 uydu ile devam etmiştir. Sonra Rusya Devletinin başkanı olan Vladimir Putin GLONASS 'ı geliştirme amacıyla çalışmaları hızlandırmıştır. Böylece 2003 senesinde GLONASS-M ve 2011 senesinde de GLONASS-K işler hale getirilerek toplamda 24 aktif uydu planına ulaşılmıştır. GLONASS, Rusya toprak sınırlarının tamamına 2010 yılında ulaşmıştır. Ayrıca 2011' de 24 uyduya sahip olan tüm yörünge takımlarıyla küresel kapsama alanında etkinleştirilmiştir. GLONASS sistemi 3 ana bölümden oluşur. Bunlar, uzay bölümü, kullanıcı bölümü ve kontrol bölümleridir. Yeryüzünden 19,100 km yüksekte olan yörüngeler ekvator ile yaklaşık 64.8° bir eğim açısı yapmakta ve yaklaşık 11 saat 15 dakikalık bir yörüngesel devir sağlamaktadırlar (İnt.Kyn.2).



Şekil 3.2 İkinci nesil uydu sistemi (GLONASS-M) uydusunun sergilenen küçültülmüş modeli (İnt.Kyn.2).

GLONASS sistemi L1 (1602.5625 MHz - 1615.5 MHz) ve L2 (1240 MHz -1260MHz) olmak üzere birbirinden farklı frekanslarda yayın yapar. P kodu, L1 ve L2 frekanslarında yayınlanırken, C/A kodu sadece L1 frekansında yayınlanır. P kodu ile yaklaşık 10-20 m doğruluk sağlarken C/A kodu ile yaklaşık 100 m doğruluk sağlayarak konum

belirlemektedir. GLONASS navigasyon mesajını 2.5 dakikada yayınlarken saat bilgileri ve efemeris bilgileri yarım dakikada bir tekrar edilir. P kod ise 12 dakikada yayınlanırken saat bilgileri ve efemeris bilgileri 10 saniyede bir tekrar edilir (Kaplan 2006, Yalçın 2007, Kahveci ve Yıldız 2009, Tiryakioğlu 2012).

3.3 GALILEO

Galileo, Avrupa birliği tarafından geliştirilen GPS (Küresel Konumlama Sistemi)' e alternatif olarak tasarlanan bir navigasyon sistemidir. Bu sistem, şimdiye kadar Uzay Ajansı (ESA: European Space Agency) ile Avrupa kurumlarının yürütmüş olduğu en büyük projedir. Galileo tasarısı 2000 yılında başlamıştır. 2002 ve 2005 yılları arasında geliştirilmiş, yer istasyonları ile altyapı tesisleri oluşturulmuştur. Ayrıca sistemin uzayda deneme çalışmaları yapılmıştır (İnt.Kyn.3).

Galileo sistemi 3 ayrı bölümden oluşur. Bunlar uzay bölümü, yer kontrol bölümü ve kullanıcı bölümleridir. Uzay sisteminde her birinin boyutları 2.7 m x 1.2 m x 1.1 m ve yaklaşık ağırlığı 675 kg ve olan, yükseklikleri 23616 km olup ekvatorla yaklaşık 56 derece eğim açısı yapan uydular yer almaktadır. Bu uyduların üç yörünge düzleminde ki bir tam dolanımı 14 saat 22 dakikadır. Toplamda 30 adet uydu bulunmaktadır, bunların 27 tanesi asil, 3 tanesi yedektir. Galileo uyduları E5b, E6C, E6P, L1F ve L1P sinyallerinden oluşur. L1 sinyalinin taşıyıcı frekansı 1559- 1592 Mhz aralığında, E5 sinyalinin taşıyıcı frekansı 1164-1215 MHz aralığında, E6 sinyalinin taşıyıcı frekansı ise 1260-1300 MHz aralığında belirlenmiştir (Kaplan 2003, Pratt 2004, Tiryakioğlu 2012).

GPS referans koordinat sistemi WGS84' ü kullanırken Galileo, bundan farklı olarak GTRF (Galileo Terrestrial Reference Frame)' ı kullanmaktadır. WGS84 ile GTRF arasında birkaç santimetrelilik farkın olabileceği düşünülmektedir. Bu farkın ise yalnızca çok hassas yapılan çalışmalar dışında öneminin olmadığı düşünülmektedir. Galileo referans zamanı GST (Galileo System Time)' ı kullanmaktadır. Ancak bu sistem GPS zamanından nanosaniyeler kadar az farklılık göstermesinden ötürü ikisi de aynı kabul edilmektedir (Kaplan vd. 2006).

3.4 Diğer Konumlama Sistemleri

Beidou, Çin' in uydu navigasyon sistemidir. Çin Uzay Teknolojisi Akademisi (CAST: China Academy of Space Technology), deniz araçlarının konumunu sağlamak amacı ile 1983 yılında Beidou navigasyon sistemini geliştirmiştir. Beidou, Çince bağımsız takımyıldızı demektir. BeiDou' nun diğer küresel konumlama sistemlerine uyum sağlaması amacı ile 2007 yılında yapılan plan değişiklikleri doğrultusunda COMPASS adını almıştır. COMPASS uydularının yörünge yüksekliği ortalama 21500 kilometredir. Uydular ekvator ile yaklaşık 55° açı yaparak yörüngesindeki bir tam turunu 12 saat 35 dakikada tamamlar. Uydu ağı B1 sinyali (1561.10 MHz), B1-2 sinyali (1589.74 MHz), B2 sinyali (1589.74 MHz) ve B3 sinyali (1268.52 MHz) olmak üzere 4 frekans bandında üretilmiştir (Seeber 2003, Tiryakioğlu 2012).

3.5 GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi

GNSS verilerinin değerlendirme işlemi 4 aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar sırasıyla; verilerin değerlendirme işlemi için hazırlanması, ön değerlendirme, parametrelerin kestirimi ve sonuçlara ulaşılmasıdır.

Verileri değerlendirmeye hazırlanma işlemine farklı alıcılardan elde edilen ham verileri alıcıdan bağımsız veri formatı olan RINEX(Receiver Independent Exchange) formatına dönüştürmekle başlanır. Dönüşüm işlemi hazır programlar sayesinde basit bir şekilde yapılabilir. RINEX formatına dönüşen verilerin faz kesikliklerinin belirlenmesi gerekir. Faz kesiklikleri düzeltilebilir ve düzeltilemez olmak üzere iki türdür. Faz kesiklikleri ile ilgili problemler giderildikten sonra uydu saat hatalarının modellenmesi gerekir. Uydu saat hatalarının modellenmesi için yörünge bilgilerine ihtiyaç duyulur. Uydu yörünge bilgilerine uydulardan alınan navigasyon mesajlarından veya IGS (International GNSS Service) web ortamından ulaşmak mümkündür. Verilerin değerlendirme işlemine hazırlığındaki son aşama ise fiziksel modellerin belirlenmesidir. Değerlendirmede kullanılacak programların kütüphanelerinde bu fiziksel modeller yer almaktadır (Tiryakioğlu vd. 2012, Xu 2007, Kahveci 2010).Verilerin ön değerlendirilmesinde, alıcıya ait mutlak konum belirlenir. Mutlak konum belirlemede iki yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler tek nokta ve hassas nokta konum belirlemedir. Bu

yöntemlerin ikisinde de istasyon koordinatları ile alıcı saat hataları belirlenir (Seeber 2003).

GNSS verilerinin değerlendirilme aşamasında ticari veya bilimsel amaçla üretilmiş birçok yazılım kullanılmaktadır. Ticari yazılımlar GNSS alıcısı üreten ticari kuruluşlar tarafından geliştirilmektedir. Kullanıcının ihtiyaçlarına yönelik tasarlanan bu yazılımlar kolay kullanım ve zaman kazandıran ara yüze sahip olması nedeniyle daha çok pratik mühendislik işlemlerinde tercih edilmektedir. Buna karşın yazılımın çalışma prensibinin bilinmemesi, içerdiği algoritmaların kullanıcı tarafından incelenmesine, kontrol edilmesine ve düzenlenmesine imkan vermemesi ve bir çok bilinmeyen olması sebebiyle hala gizemini korumaktadır. Leica Geo Office, Ashtech Office Suite, Thales GNSS ticari yazılım programlarından bazılarıdır. Bu yazılımlar GNSS alıcıları üreten kuruluşlar tarafından GNSS seti ile birlikte müşteriye sunulmaktadır. Ticari kuruluşların ürettiği GNSS alıcıları verileri kendine özgü bir formatta kayıt ederek, alıcı ile birlikte sunulan ticari yazılımlar ile okutulmasına izin verir. Bilimsel yazılımların ticari yazılımlardan daha hassas sonuç vermesi sebebiyle jeodezik ağların kurulmasında, deformasyon ölçümlerinde, datum parametrelerinin belirlenmesinde, yer kabuğu hareketlerinin izlenmesinde ve birçok bilimsel amaçlı projede bilimsel yazılımlar kullanılır. Günümüzde yapılan bilimsel amaçlı çalışmaların birçoğunda BERNESE ve GAMIT/GLOBK gibi yazılımların kullanımı tercih edilmektedir (İnal ve Salgın 2008).

Ticari amaçlı yazılımlarda kullanma kılavuzundaki işlem adımları uygulanırsa ve önerilen kriterlere uyulursa sonuçlarda önemli bir sorunla karşılaşılmamaktadır. Bilimsel yazılımların kullanımı ise oldukça karmaşıktır. Bilimsel yazılımlarda analiz yapacak kişilerin GPS ve yazılım konusunda deneyim sahibi kişiler olması gerekmektedir. Değerlendirme sırasında bir parametrede veya modellendirmede yapılacak yanlış seçim sonuçlarda farklılık oluşturmaktadır (Kahveci ve Yıldız 2005, Maraş 2010). Buna karşın uluslararası yürütülen projelerde kullanıcının yaptığı değişiklikler yüzünden meydana gelen farklılıkları gidermek için belirli standartlar konulmuştur. Yedi farklı analiz merkezinde üretilmesine rağmen IGS yörünge bilgilerinin analiz sonuçlarında belirlenen standartlar sebebiyle önemli farklılıklar yoktur (Kahveci ve Yıldız 2012, İnal ve Salgın 2008).

3.5.1 GAMIT

GAMIT, MIT (Massachusetts Institute of Technology) tarafından geliştirilen ve NSF (National Science Foundation) tarafından da finanse edilen bilim bir yazılımdır. Yeni ilerlemelere aracı olması ve açık kaynak olması sebebiyle bilimsel çalışmalarda kullanıcılar tarafından daha çok tercih edilmektedir. Yazılımın ara yüzü olmaması ve seri komut takımıyla yönetilebilmesi sebebiyle Linux ve Unix türevi işletim sistemlerinde çalışmaktadır (Herring vd, 2009).

GAMIT yazılımında GNSS verilerinin değerlendirme işlemine başlamadan önce farklı markaya sahip alıcılarda elde edilmiş verilerin alıcıdan bağımsız değişim formatı olarak adlandırılan RINEX formatına dönüşümü sağlanmıştır.

GAMIT analiz işlemi sırasında kestirimleri yaparken genellikle taşıyıcı dalga faz ile Pseudo-range gözlemlerini kullanmaktadır. Faz belirsizlerinin çözümünde ise çiftli fark yöntemini kullanır.

GAMIT yazılımında GNSS ölçüleri değerlendirilirken birçok aşama kullanılır. Bu aşamalar manuel veya otomatik olarak iki şekilde yapılabilir. Manuel olarak yapılan işlemler `sh_gamit` komutu kullanılarak sırasıyla otomatik olarakta yapılabilir. Her iki seçenekte de veriler sırasıyla aynı işlem adımlarından geçmektedir ve sonuçlarda herhangi bir farklılık olmamaktadır.

GAMIT yazılımında ilk işlem aşaması uydu saatleri ile uydu ön yörünge bilgilerinin elde edilmesidir. Yörünge ve kod ölçü bilgileri kullanılarak yaklaşık nokta koordinatlarına dayalı olmak üzere istasyon saat düzeltmeleri hesaplanmaktadır. İkinci aşamasında ise faz kesikleri saptanarak ortadan kaldırılmaktadır (Herring vd. 2015).

GAMIT sonraki adımlar için algoritmalar kullanarak birbirinden bağımsız çift-farkları oluşturur. Çift-farkları oluşturulmuş iyonosferden bağımsız gözlemlerin kullanımıyla ilk dengelemede gereken tüm parametreler kestirilir. İlk dengelemede tespit edilen birbirinden bağımsız çift farkların faz belirsizlik parametreleri, faz verisinin dağılımı ve baz uzunluğuna dayalı eşleme ile orijinal taşıyıcı faz belirsizliklerinden üretilir. Eşleme, belirsizlik çözümünde kısa baz uzunluklarını kullanarak çözümün daha güvenli olmasını avantaj olarak sağlar. Bu avantajı ağın tümünde kullanarak birbirinden bağımsız çift

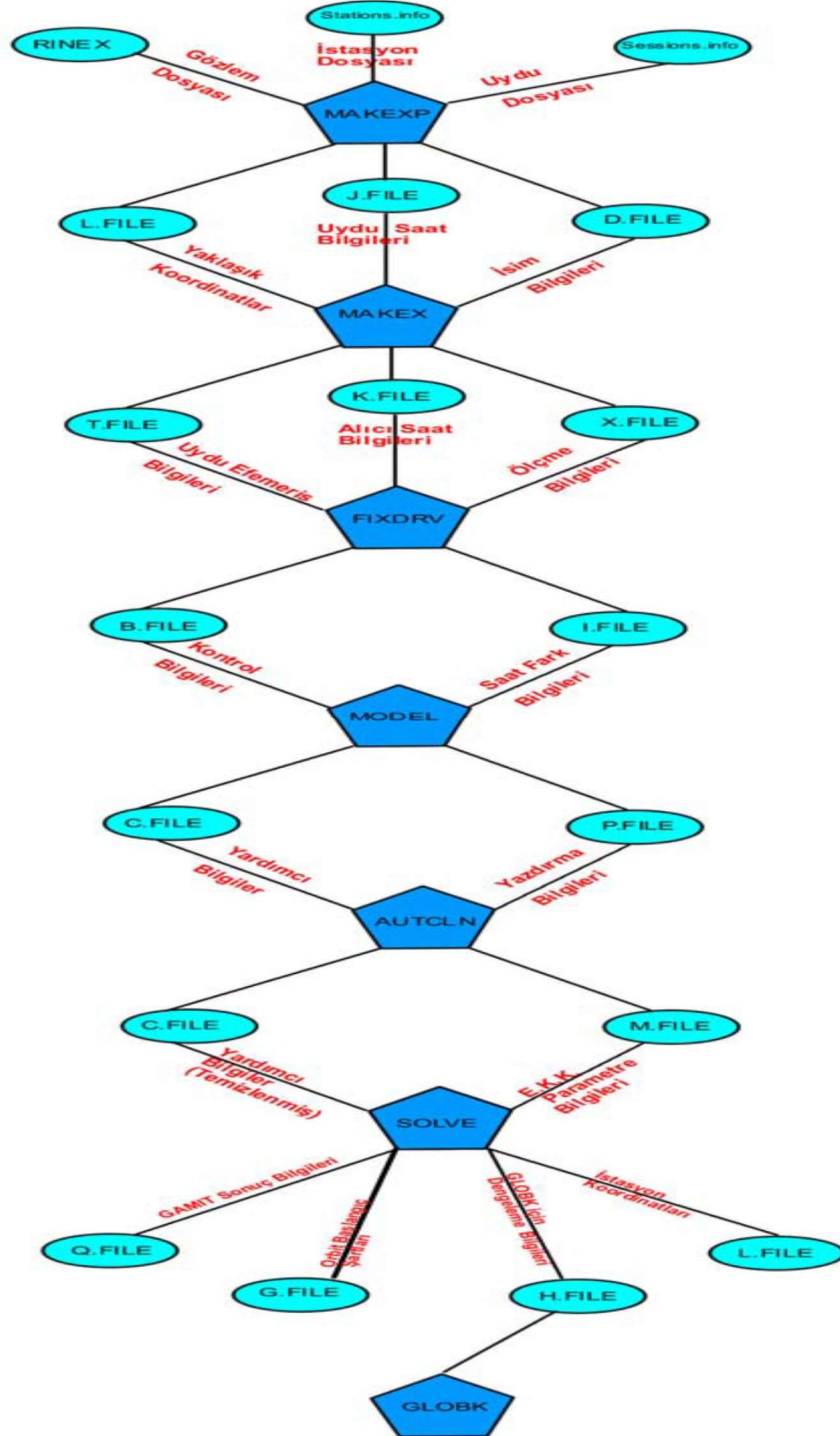
farkları oluşturur. Bir sonraki aşamada L1 ve L2 faz gözlemlerini bağımsız olarak kullanılır. Çift fark uzun dalga boylu faz belirsizlik parametrelerine uygun tamsayı iterasyon yapılarak hesaplanır. Uzun dalga boylu belirsizlikler bir defa güvenli bir şekilde çözümlendikten sonra doğru tam sayı değerine yuvarlanır. Bütün parametreleri tespit etmek ve ardışık kısa dalga boylu belirsizlerin çözümü için iyonosferden bağımsız çift farka sahip gözlemler üzerinde bir başka dengeleme işlemi yapılır (Erdoğan 2005,Poyraz 2009,Yavaşoğlu 2009, Herring vd. 2015).

Bu kısma kadar anlatılan işlem adımlarının GAMIT yazılımında uygulanabilmesi için GAMIT yazılımı kendi içerisinde çok sayıda küçük program kullanmaktadır. Bu programlardan sağlıklı bir sonuç elde edilebilmesi için girdi dosyalarının doğru bir şekilde hazırlanması gerekmektedir. GAMIT yazılımı analiz yaparken bazı fiziksel modeller vardır. Bu fiziksel modeller yazılımın kütüphanesinde mevcuttur. Sh_setup komutu kullanılarak gerekli fiziksel modeller tables klasörü içerisinde oluşmaktadır (Herring vd. 2015).

GAMIT ilk önce MAKEXP ile MAKEX programlarını çalıştırmaktadır. RINEX ile station.info ve sessions.info dosyaları MAKEXP programı için girdi olarak kullanılır. RINEX dosyaları alıcıdan bağımsız değişim formatını kullanan gözlem ve navigasyon veri dosyalarından oluşmaktadır. Station.info dosyasının içeriğinde istasyonlara ait bilgiler ve alıcıları ait bilgiler bulunmaktadır. Sessions.info dosyası da içeriğinde yapılan oturuma ait bilgileri barındırmaktadır. MAKEXP programı çalıştırılarak MAKEX ve diğer programlar için girdi olan gözlem dosyalarını üretmektedir. MAKEX programı için gerekli girdi dosyaları ise L.file, X-files ve K dosyasıdır.

MAKEXP ve MAKEX programlarının çalıştırması sonucunda FIXDRV' da kullanılmak amacıyla girdi verileri oluşmaktadır. FIXDRV ile girdi dosyaları düzenlenerek B ve I dosyaları oluşturulur. B ve I dosyaları uydu ve alıcı saatine ait değerleri içermektedir. ARC ve MODEL programlarının çalışmasıyla gözlenen ve teorik ölçme değerlerinin farkları hesaplanır ve AUTCLN programda kullanılmak için C dosyalarını oluşturulur. AUTCLN programı C dosyalarını kullanarak devir kesikliklerini ve kaba hataları otomatik olarak düzenler. SOLVE programında ise tüm parametreler en küçük kareler yöntemine göre dengelenerek öncül çözüm elde edilir. Öncül çözümler MODEL, AUTCLN ile SOLVE programlarında tekrar kullanıp soncul çözümlerin elde edilir ve

bunun sonucunda Q ve H dosyaları oluşturulur. GAMIT işlem akış şeması Şekil 3.3’ de verilmiştir (Çakmak 2001, Poyraz 2009, Tiryakioğlu 2012, Herring vd. 2015).



Şekil 3.3 GAMIT işlem akış şeması (Tiryakioğlu 2012).

3.5.2 GLOBK

GAMIT yazılımı tarafından üretilen H dosyaları GLOBK yazılımında girdi veri olarak kullanılmaktadır. GLOBK veri olarak nokta konumlarını, yörünge parametrelerini, yer dönüş parametlerinin kovaryans matrislerini kullanmaktadır. GLOBK' nin algoritmasındaki temel işleyiş Kalman Filtresi kullanımınıdır (Herring vd. 2015).

GLOBK yazılımı veri işleme aşamasında HTOGLB, GLRED, GLOBK, GLORG gibi birçok alt program kullanılmaktadır. GAMIT yazılımının SOLVE programı yardımıyla üretilen H dosyaları HTOGLB programı kullanılarak GLOBK formatında kullanılabilir H dosyalarına dönüştürülür. GAMIT yazılımında her bir oturum için H dosyaları ayrı ayrı üretilmektedir. Bütün kampanyadaki H dosyalarını birleştirmek amacıyla küresel ölçekte değerlendirilen ve internet ortamına sunulan H dosyalarından faydalanılır. Lokal ve küresel H dosyaları ve GLRED programı kullanılarak çözümler bir araya getirilir ve her istasyona ait uzun ve kısa dönem zaman serileri elde edilir. Elde edilen birleştirilmiş H dosyaları GLOBK alt programı ile amacına uygun olarak haftalık, aylık veya yıllık şekilde tek bir H dosyası haline getirilebilir. Referans sisteminin tanımlanması ve istasyonların hız bilgisinin elde edilmesinde GLORG programı kullanılır. GAMIT yazılımıyla oluşturulan nokta ve uydu vektörlerinin sonuçları korelasyonlu ve büyük varyanslı bir kovaryans matrisine sahiptir. Ancak yüksek oranlardaki kısıtlanmış çözümlerin normal geometrik ilişkilerinin devamına olanak sağlar. Bu yöntem koordinatların eş zamanlı olarak saptanması amacıyla birden çok oturumdan hesaplanan dengelemeleri birleştirme imkânına sahiptir. Hem nokta parametreleri hem de uydu parametrelerindeki değişik apriori kabullerin kullanım etkisinin test edilmesi için uygun bir yöntemdir. Özellikle bu olanaklar birbirinden farklı olan güvenilir ağların kullanılmasından ulaşılan dengelemelerin tek örnek olarak birleştirilmesinde kullanışlıdır (Erdoğan 2005, Poyraz 2009, Yavaşoğlu 2009, Herring vd. 2015).

4. DEPREMSELLİK ve SİSMİK TEHLİKE

4.1 Depremsellik

Depremsellik anlam olarak genel itibariyle herhangi bir alanda meydana gelmiş depremlerin zamansal ve uzaysal olarak dağılımlarını tanımlamak amacıyla kullanılan bir terimdir. Bir bölgenin depremselliği kavramı ise inceleme yapılan bölgedeki meydana gelen depremlerin dağılımları, oluş zamanları, magnitüdüleri ile neden oldukları hasarı tanımlamak amacı ile kullanılır (Özmenek 1996, Yalçınkaya 2013, Kılıç 2016).

Depremsellik ile ilgili yapılan ilk çalışmaların 1900' lü yılların başında Oldham ile Monteuss Ballore 'nin yaptığı düşünülmektedir. Depremin zaman ve uzay içerisinde büyüklüğünü gösteren episantr dağılım haritalarını hazırlamışlardır. İlk çalışmaların yapılmasından daha sonra depremsellik konusu üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Bu sayede depremsellik hakkında daha fazla bilgi elde edilmeye başlanmıştır. Richter tarafından yapılan çalışmaların sonucunda magnitüd ölçeği ortaya çıkmıştır. Bu sayede depremsellik üzerine yapılan çalışmalarda büyük bir ilerleme sağlanmıştır (Purcaru 1975, Richter 1958, Kılıç 2016).

Depremsellik üzerine yapılan çalışmalara tarihsel olarak bakıldığında üç aşamada gelişmiştir (Purcaru 1975) :

- Depremselliğin tanımlanmasında strain boşalımı ve bununla alakalı tektonik akı kavramlarının kullanılması (Benioff 1951, St.Amand 1956).
- Depremselliğin tanımlanmasında sismik enerji ifadesinin kullanılması (Ulmann ve Maaz 1966).
- Gutenberg ve Richter tarafından Magnitüd-frekans bağıntılarının incelenmesi ve bununla birlikte daha sonra enerji-frekans bağıntılarının incelenmesi (Gutenberg ve Richter 1944, Riznichenko 1958).

Bu yaklaşımlar ile birlikte deprem oluşumu ile alakalı bazı parametreler

belirlenebilmektedir. Buna karşın bu yaklaşımlar her biri depremselliği belirli bir ölçüde yansıtabilmektedir (Kılıç 2016).

Depremselliğin anlamına ve tarihsel sürecine bakılarak şu sonuca varılabilir. Depremsellik çalışması herhangi bir bölgedeki sismoteknik ve jeodinamik durumun açıklanması ile birlikte o bölgenin sismik tehlike ile sismik riskinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalar olarak ifade edilebilir (Yalçınkaya 2013).

4.1.1 Gutenberg-Richter Bağıntısı

Geçmişten bugüne kadar kaydedilmiş güvenilir deprem verileriyle, gelecek yıllarda meydana gelebilecek depremlerin meydana gelme olasılıkları ve tekrarlamaya periyotları istatistiksel olarak hesaplanabilir. Gutenberg ve Richter tarafından 1944 yılında yapılan çalışmalarda depremin büyüklüğü ve meydana gelen deprem sayıları arasında logaritmik bir ilişki olduğu görülmüştür. Bu çalışmalar sonucunda deprem büyüklüğünün değeri arttıkça meydana gelen deprem sayısı logaritmik olarak azalmaktadır.

Gutenberg ve Richter'in geliştirmiş olduğu eşitlik aşağıda verilmiştir (4.1). Bu eşitlikte deprem büyüklüğünün değeri olan Magnitüd(M) ile bir yıllık zaman sürecinde meydana gelen deprem sayısı (N) arasında logaritmik bir ilişkinin olduğunu söylemişlerdir. Bu bağıntı deprem büyüklüğü değerlerinin olasılık dağılımlarını bulmak için kullanılmaktadır (Özmen 2011, Özmen 2018).

$$\text{Log}(N) = a - bM \quad (4.1)$$

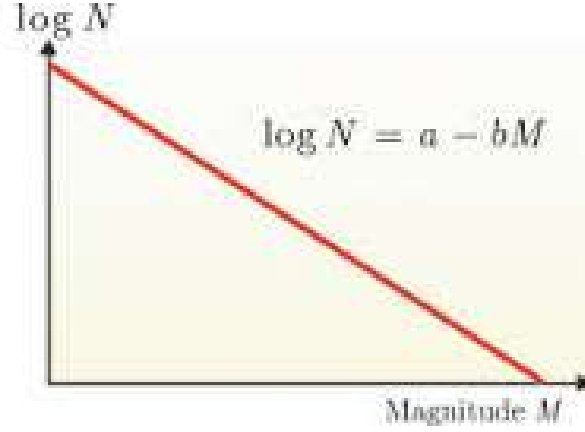
Bu eşitlikte;

M: Deprem Büyüklüğünü,

N: Büyüklüğü M ve M' den büyük olan depremlerin bir yılda meydana gelme sayısını,

a ve b: Regresyon katsayılarını ifade etmektedir.

Bu eşitlikte yer alan bir yılda meydana gelen deprem sayısının logaritması ile deprem büyüklüğü değerlerine göre bir grafik çizildiğinde doğrusal bir ilişki görülmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Deprem sayısının logaritması ile deprem büyüklüğü arasında doğrusal ilişki grafiği (İnt.Kyn.5).

Gutenberg-Richter bağıntısındaki katsayılar, deprem kaynak zonlarının tektonik özelliklerinin birbirinden farklı olması nedeniyle her zon için farklı bir değere sahip olacaktır.

a katsayısı; kaynak zonlarının büyüklüğüne, deprem verilerinin gözlem süresine ve gözlem süresince meydana gelen deprem hareketine bağlı olmak üzere değişmektedir. Bu parametre “Ortalama yıllık sismik aktivite indeksi” olarak tanımlanmaktadır. Çalışma alanının genişliği, deprem aktivite düzeyi ve gözlem dönemi hakkındaki bilgilerin elde edilmesini sağlar. b katsayısı ise; kaynak zonlarının tektonik özelliklerine göre değişkenlik gösterir. Bu parametre de “Sismoteknik parametre” olarak tanımlanmaktadır. Çalışma alanının tektonik ve karakteristik özellikleri hakkındaki bilgilerin elde edilmesini sağlar (Gutenberg ve Richter 1944, Tabban ve Gencoğlu 1975, Kalyancuoğlu vd. 2006, Özmen 2011, Özmen 2018).

b parametresi küçük ve büyük magnitüdü depremlerin birbirlerine oranla meydana gelmelerini ifade etmektedir. b değeri arttıkça küçük depremlerin oluşum sayısına göre büyük depremlerin oluşum sayısı azalmaktadır (Kramer 1996). Dünya ölçüsünde istatistiksel sonuçlar temel alınarak, sığ depremler için $b=0,9\pm 0,02$ değerlerini, orta ve derin depremler içinse $b=1,2\pm 0,2$ değerlerini alır. Türkiye için bu değer $b=0,9\pm 0,02$ olarak belirlenmiştir (Gutenberg ve Richter 1944, Özmen 2018).

Shcholz (1968) yaptığı çalışmada frekans-magnitüd bağıntısındaki b parametresinin

gerilmeyle ilişkili olduğunu tespit etmiştir. Gerilmenin artarken b değerinin düşük değere sahip olduğunu, gerilme azalırken b değerinin yüksek değere sahip olduğunu deneylerle ortaya koymuştur. Deprem sırasında açığa çıkan enerjinin de kırılan malzeme ve biriken gerilme ile ilişkili olduğunu ifade etmiştir. Yüksek dayanımlı ve gerilme konsantrasyonunun büyük olduğu alanlar fayın kilitlendiği deprem potansiyeli yüksek alanları (düşük b), düşük dayanımlı alanlar ise kırılmanın daha sık gözlemlendiği alanları ifade eder (büyük a). a değeri deprem etkinliğini, b değeri ise gerilmeyi ifade eder. Sismik aktiveye sahip bölgelerde b katsayısının 1' den küçük değerler alması o bölgedeki fayların yüksek deprem üretkenliğine sahip olduğunu göstermektedir (Kılıç 2016, Yıldırım 2016).

Depremselliğin temel bağıntısı olan Gutenberg-Richter bağıntısı çeşitli yöntemler ile hesaplanabilmektedir. Bu yöntemler aşağıda verilmiştir.

- Gözle uydurma yöntemi
- En küçük kareler yöntemi
- Ağırlıklı en küçük kareler yöntemi
- En büyük olasılık yöntemi
- Kal-Tek yöntemi

Gutenberg-Richter bağıntısındaki parametreler yukarıda verilen yöntemler ile hesaplandıktan sonra sismik tehlike (risk) belirlenebilir. Bir bölge için istatistiksel risk analizinde yıl bazında belirli bir M değerine eşit veya daha büyük magnitüdeki depremlerin olma olasılıkları 4.2 eşitliği ile hesaplanabilmektedir.

$$R(M) = 1 - e^{-n(M)T} \quad (4.2)$$

$R(M)$ = Sismik tehlikeyi, $n(M)$ = yılda deprem olma sayısını ve T = gelecek zamanda göz önüne alınacak periyot miktarını ifade etmektedir.

İnceleme bölgesinde, meydana gelebilecek deprem büyüklüğünün karakteristik çözümüne ait tekrarlanma periyodu da 4.3 eşitliği ile hesaplanabilir.

$$Q(M) = 1/n(M) \quad (4.3)$$

$Q(M)$ = depremin tekrarlanma periyodunu $n(M)$ = yılda deprem olma sayısını ifade etmektedir (Yıldırım 2016).

4.1.2 Potansiyel Deprem Büyüklüklerinin Belirlenmesi

Faylarda meydana gelebilecek belirli bir büyüklükteki depremin tekrarlanma periyodunun hesaplanmasının yanında faya ait belirli özelliklerde (fay uzunluğu, faylanma yapısı, fay kayma hızı) kullanılarak fayın üretebileceği maksimum büyüklükteki depremin de hesaplanması birçok alanda yaşanacak olumsuzluklara karşı alınacak önlemler açısından çok önemlidir. Çeşitli modeller kullanılarak bir fayın üretebileceği maksimum büyüklükteki deprem hesaplanabilmektedir. Bu modeller içerisinde en çok kabul gören Wells ve Coppersmith (1994)' in önerdiği model olmakla birlikte; bu model fay uzunluğu(km), faylanma yapısı bilgilerini kullanarak fayın ortaya çıkaracağı maksimum büyüklükteki (M_w) depremi kuramsal olarak hesaplayabilmektedir. Ayrıca Hanks ve Kanamori (1979)' nin fay kayma hızlarını kullanarak tanımladığı bağıntı kullanılarak da fayın üreteceği maksimum büyüklükteki deprem belirlenebilmektedir (Solak 2020).

Aktuğ(2017)' un jeodezik deprem tekrarlanma periyotlarını belirlemek amacıyla geliştirmiş olduğu modele, Solak(2020) tarafından ters çözüm yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yaklaşım sayesinde model, fayların meydana getirebileceği maksimum deprem büyüklüğünü hesaplamak içinde kullanılabilir hale gelmiştir. Böylece aktif olan bir fayın depremsizlik süresinin (son büyük depremden günümüze geçen zaman) belirlenmesi durumunda depremsizlik süresi boyunca biriktirdiği enerji belirlenebilmektedir ve bu enerjinin tamamının açığa çıkmasıyla meydana gelebilecek depremin moment büyüklüğü de hesaplanabilmektedir (Solak 2020).

4.2 Sismik Tehlike ve Sismik Risk

Sismik tehlike, deprem veya depremin tetiklemiş olduğu doğal afetlerin oluşma potansiyeli olarak tanımlanmaktadır. Birbirinden uzaklaşan levhaların oluşturduğu açılma zonlarında deprem oluşma potansiyelinin olması sismik tehlikenin de olduğuna

işaret eder. Sismik risk ise sismik tehlike gerçekleştiğinde ortaya çıkacak ekonomik ve sosyal kaybın meydana gelme olasılığıdır. Sismik tehlike analizleri sismik risk çalışmalarının temelini oluşturmaktadır.

Bir bölgedeki sismik risk, $Sismik Risk = Sismik Tehlike \times Hasar Görebilirlik$ şeklinde tanımlanabilmektedir. Hasar görebilirliğin en aza indirilmesi ile sismik riskte düşürülebilmektedir. Sismik tehlikelerin aynı olduğu alanlarda yapıların ve zemin koşullarının farklı olması değişik sismik risk derecelerinin görülmesine neden olmaktadır. Belirli bir bölgedeki sismik risk, can ve mal kaybına neden olabilecek depremden kaynaklanan yer hareketinin belirli bir zaman periyodunda ve belirli bir yerde meydana gelme olasılığı olarak ifade edilebilmektedir.

Bir bölgenin depremselliği belirlenirken iki temel unsur vardır. Bunlar sismik boşluk ve deprem üretebilecek tektonik yapılardır. Sismik boşluk, fayın hareket edememesinden kaynaklı depremin meydana gelememesidir. Sismik boşluğa kilitlenen bölge adıda verilmektedir. Kilitlenen bölgede enerjinin aşırı birikmesiyle büyük bir deprem meydana gelebilmektedir (Polat 2015).

4.2.1 Sismik Tehlike Analizi

Sismik riskin elde edilebilmesi için sismik tehlike analizinin oluşturulması gerekmektedir. Sismik tehlike tanımsal olarak hasar ve can kaybına sebep olacak büyüklükteki bir depremin yarattığı yer hareketinin belirli bir yer ve zaman periyodu içerisinde belirlenmesidir. Sismik tehlike analizi ise yer hareketinin yarattığı tehlikenin nicel olarak hesaplanmasıdır.

Deprem tehlike analizlerinde deprem kaynakları, deprem kaynaklarından oluşabilecek en büyük depremler, depremlerin tekrarlanma aralıkları gibi konular incelenmektedir. Bu analizleri amacı belirli bir bölgedeki aktif faylar ve fay zonlarının oluşturabileceği yer hareketlerinin ivme, hız gibi parametrelerle belirlenmesidir. Bu parametrelerin önemi mühendislik hesaplarında kullanılabilmesidir.

Sismik tehlike analizindeki amaç, bir bölgedeki geçmiş dönemlerde meydana gelen depremlerin mevcut verilerini sismolojik, istatistiksel, jeolojik ve diğer ilgili alanlardaki veriler ile birleşimini yapmak ve o bölgede meydana gelmesi beklenen sismik aktivitenin olasılık değerlerini belirlemektir. Kısaca sismik tehlike analizi geçmişteki depremlerle ilgili verileri ele alarak gelecekte meydana gelebilecek sismik hareketler için çeşitli olasılık yöntemleri kullanıp risk değerini belirlemeyi amaçlar.

Sismik tehlike analizinde bazı belirsizlikler bulunmaktadır:

- Uygulanan yöntemlerden kaynaklanan belirsizlikler.
- Depremlerin hangi büyüklükte, nerede ve ne zaman meydana geleceğinin bilinmemesi.
- Analiz yapılacak bölgenin sismik ve geometrik parametre değerlerinin yetersizliği.

Analiz sonuçlarının daha doğru ve güvenilir olması için bu belirsizliklere dikkat edilmesi gerekmektedir.

Sismik tehlike analizinde aşağıda verilen yaklaşımlar kullanılmaktadır:

- Zemin hareketi parametrelerinin belirlenmesi.
- Yer hareketinin süresinin ve bölgenin sismik geçmişinin belirlenmesi.
- Periyot aralığına uygun ivme davranış spektrumunun belirlenmesi.
- Tasarım deprem şiddeti ya da ani şiddetin olasılığının tahmini.

Sismik tehlike analizi sonucunda elde edilecek tahminin doğruluğu sismik veriler başta olmak üzere verilerin zenginliğine bağlıdır. Sismik veriler tarihsel dönem verileri ve aletsel dönem verileri olmak üzere ikiye ayrılır. Tarihsel dönem verileri 1900 yılına kadar deprem katalogları içerisinde yer alan depremleri içerir. Bu kataloglarda depremin meydana getirdiği hasar ve hissedilme dereceleri yer almaktadır. Aletsel dönem katalogları ise 1900 yılı ve sonrasında hem aletsel hem de gözlemsel şekilde belirlenmiş

depremleri içermektedir. Sismik tehlike analizi yapılırken iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar şöyledir;

- Deterministik Tehlike Analizi.
- Olasılıksal (probabilistik) Tehlike Analizi (Mualchin 2005).

Bu yöntemler kullanılacak olan çalışma bölgesine göre belirlenmektedir. Çalışma bölgesinde tehlikeyi tek bir sismik kaynak belirliyorsa deterministik yaklaşım, birden fazla kaynak belirliyorsa olasılıksal yaklaşım tercih edilmektedir. Ayrıca deprem senaryoları için deterministik yaklaşım, tehlike haritaları içinse olasılıksal yaklaşım daha uygun görülmektedir (Polat 2015).

4.2.2 Deterministik Sismik Tehlike Analizi

Bu analiz yönteminde ilk olarak inceleme alanını etkileyen deprem kaynaklarını ortaya koymak gerekir. Bu kaynakların daha önceki dönemlerde meydana gelmiş ve daha sonra meydana gelebilecek en büyük depremleri belirlenmelidir. Çalışma bölgesinin karakteristiğine uygun olarak azalım ilişkisi seçilir. Bu çalışma bölgesine belirli uzaklıkta bulunan deprem kaynağındaki oluşabilecek en büyük depremin çalışma bölgesinde oluşturabileceği en büyük yer ivmesi hesaplanır. Hesaplanan yer ivmesi belli bir aşılma olasılığı ve belirsiz içermektedir. Bu yöntemin avantajı pratik olmasıdır ancak en büyük yer ivmesinin değeri belirlenirken belirsizliklerin yeterince hesaba katılamaması en büyük dezavantajıdır (Kayabalı 1995, Polat 2015).

Deprem sonrası zararı azaltmak için yapılacak en önemli çalışmalardan biriside deprem senaryolarının hazırlanmasıdır. Deterministik analiz belirli bölgede ve belirli boyutta depremin oluşacağını varsayarak sismik senaryoların geliştirilmesini sağlar. Genellikle olasılıksal analiz çalışması yapıldıktan sonra deterministik analiz yapılır. Analiz sonucunda yer hareket parametreleri ya da yapay kuvvetli yer hareket akselerogramları elde edilir. Pratikte deterministik analiz her bir kaynaktaki en büyük mangitüdü depremin en kısa uzaklıkta olacağını varsayar ve önemli yapılar için en kötü durumu ortaya koyar (Reiter 1990, Kramer 1996, Polat 2015).

4.2.3 Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi

Sismik olarak aktif bir bölgede gelecekte meydana gelebilecek depremlerin hangi zamanda, hangi büyüklükte, nerede olacağı daha öncesinde kestirilememektedir. Depremler yer, zaman, şiddet bakımından gösterdikleri değişkenlik ve belirsizlikler nedeniyle projelerde kullanılacak parametre değerlerinin olasılıksal analiz ile belirlenmesi gerekmektedir.

Olasılıksal analizde, çalışma bölgesini etkileyecek tüm deprem kaynakları (diri faylar), en büyük depremler, depremlerin tekrarlama süreleri dikkate alınarak çalışma bölgesinde belirli bir zamanda aşılması beklenen depremin olasılığının hesaplanmasıdır. Bu yöntem belirsizlikleri miktarsal olarak hesaba dahil etmesi nedeniyle deterministik yöntemle göre daha çok tercih edilmektedir.

Olasılıksal sismik tehlike analizi Cornell ve McGuire'nin makalelerinde tanıtılmıştır. O zamandan günümüze kadar yer hareketlerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan yaygın bir yöntem olmuştur (Bommer 2002, Polat 2015).

Olasılıksal yöntemin avantajları şunlardır:

- Deprem tehlikesinin dönüş periyodunu hesaplar.
- Tarihsel dönem deprem verilerini hesaba dahil eder.
- Analiz yapan kişinin deneyim ve yargısını kullanmasına imkan verir.
- Sismik tehlikeyi farklı cinsten parametrelerle verme esnekliğine sahiptir (spektral ivme, hız, deplasman).

4.2.4 Jeodezik Deprem Tekrarlama Periyodu

Günümüzde birçok alanda bilimsel ve pratik amaçlarla bir bölgenin sismik aktivitesinin tespit edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Deprem kataloglarını ve sismik tehlike

analizlerini kullanarak yapılan bu analizler birçok bölgede yeterli olmamaktadır. Deprem tekrarlama periyodu genellikle sismolojik veriler kullanılarak hesaplanmaktadır. Sismolojik veriler ise deprem kataloglarından elde edilmektedir. Ülkemizde aletsel dönem 1950 yılından sonraki yıllar olarak düşünülmektedir. 1950' li yıllarda dahi deprem kayıt cihazları oldukça azdır. Bu sebeple depremlerin yeri ve büyüklüğü hakkındaki bilgiler oldukça kısıtlıdır. Aletsel deprem kataloglarının son 50-60 yıllık bir bölümü kapsadığı düşünülürse uzun deprem periyoduna sahip bölgelerin hesaplamalara katılmadığı ya da eksik dahil edildiği görülür. Tarihsel dönemde deprem ürettiği bilinen ancak aletsel dönemde büyük deprem üretmemiş birçok bölgenin bulunması ve istatistiksel analizlerde kullanılan sismolojik verilerin deprem kataloglarından elde edilmesi nedeniyle bu bölgelerin güvenli olarak sismik analizi ve sınıflandırılması güçtür.

Geçmiş dönemlerde jeodezik verilerden elde edilen deformasyon hızlarının deprem tehlike haritalarındaki büyüklüklerle ilişkisi kurulamamakta ve kullanılamamaktaydı. Son yıllarda meydana gelen gelişmeler sayesinde gerinim hızları kullanılarak jeodezik olarak deprem tekrarlama periyotları belirlenebilmektedir. Jeodezik yöntemlerin deprem kataloglarıyla beraber kullanılması deprem tehlike haritalarının geliştirilmesine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir (Aktuğ 2017).

Belirli bir büyüklükte (M , $M < M_{max}$) yıllık deprem sayısı (N) aşağıdaki gibi Kesikli Gutenberg-Richter modeliyle ifade edilebilir:

$$N(M) = 10^{a+bM} (M < M_{max}) \quad (4.2)$$

Bu eşitlik temel alınarak büyüklüğü M 'ye eşit veya daha büyük depremlerin ortalama tekrarlama aralığı ise

$$T(\geq M) = \frac{1}{10^a \int_M^{M_{max}} 10^{bM} dM} \quad (4.3)$$

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

$$M_0 = 10^{\frac{3}{2}(M_w+6.07)} \quad (4.4)$$

bağıntısı (4.2) eşitliği kullanılarak tüm depremler için toplam yıllık moment hızı (\dot{M}_0)

$$\dot{M}_0 = 10^a \int_{-\infty}^{M_{max}} 10^{(1.5+b)M_w+9.1} dM \quad (4.5)$$

şeklinde hesaplanabilir(Ward 1994). Burada 10^a terimi eşitliğin sol tarafında kalacak şekilde (4.5) eşitliği yeniden düzenlenirse

$$10^a = \frac{\dot{M}_0}{\int_{-\infty}^{M_{max}} 10^{(1.5+b)M_w+9.1} dM} \quad (4.6)$$

Eşitliği elde edilir. Bu eşitliğin integrali alınarak

$$10^a = \frac{(1.5+b)\dot{M}_0 \cdot \log 10}{10^{(1.5+b)M_{max}+9.1}} \quad (4.7)$$

Bulunabilir (Ward 1994) . (4.6) eşitliğindeki 10^a değeri (4.3) eşitliğinde yerine konursa büyüklüğü M 'ye eşit ve daha büyük depremlerin ortalama tekrarlama aralığı

$$T(\geq M) = \frac{b}{(1.5+b)} \frac{10^{(1.5+b)M_w+9.1}}{\dot{M}_0(10^{bM_{max}} - 10^{bM_w})} \quad (4.8)$$

haline gelir.

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

$$\dot{\epsilon}_{max} = \max(\dot{\lambda}_1, \dot{\lambda}_2) \quad (4.9)$$

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

$$\dot{M}_0^{geodetic} = 2\mu H_{sismojenik} \dot{\epsilon}_{max} \quad (4.10)$$

(4.8) eşitliğindeki sismik moment hızı yerine, jeodezik verilerden hesaplanan moment hızı kullanıldığında (4.8) eşitliği

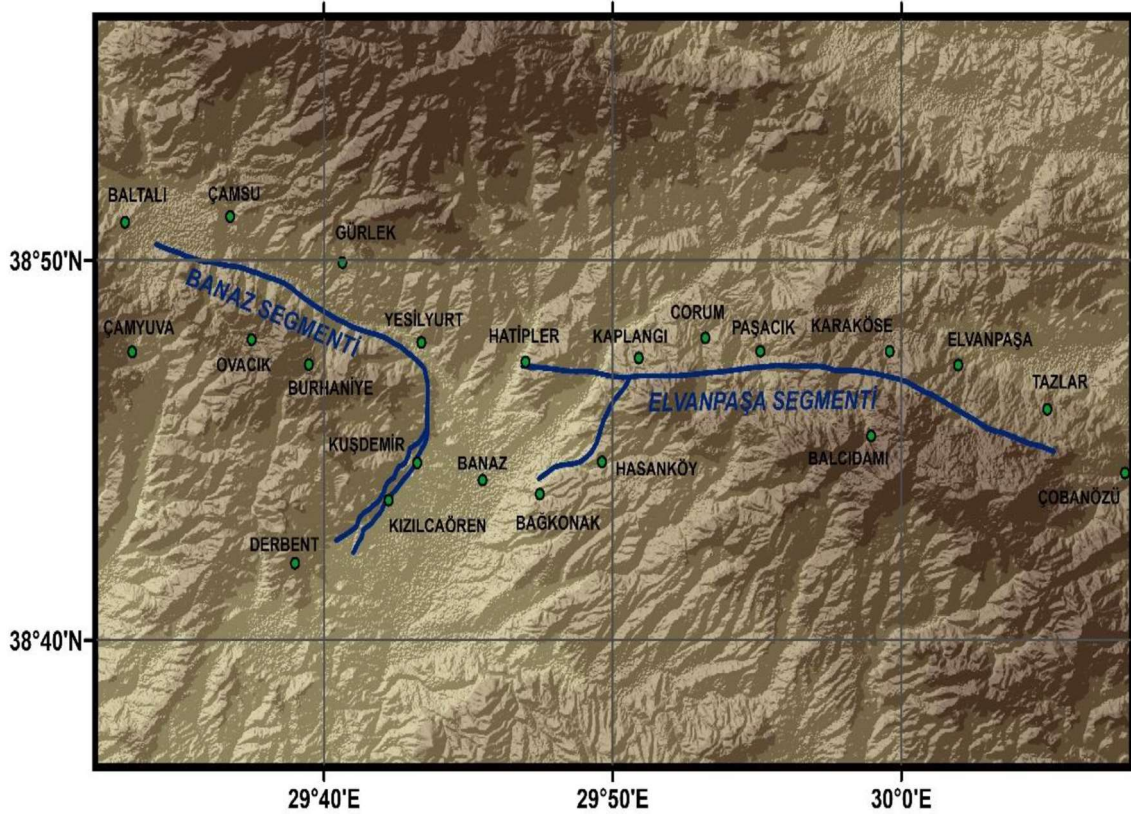
$$T(\geq M) = \frac{b}{(1.5+b)} \frac{10^{(1.5+b)M_w+9.1}}{2\mu H_{sismojenik} \dot{\epsilon}_{max} (10^{bM_{max}} - 10^{bM_w})} \quad (4.11)$$

şekline gelir.

5. UYGULAMA

5.1 Çalışma Alanının Tanıtılması

Çalışma bölgesi Akşehir-Simav Fay Sistemi içerisinde yer almaktadır. İncelenen bölge Uşak İli Banaz İlçesi ve Afyon İli arasında bulunan, Banaz ile Elvanpaşa segmentleridir. Banaz Segmenti; Baltalı köyünden başlayıp, Çamyuva, Ovacık, Burhaniye köylerinin kuzeyi ile Çamsu, Gürlek, Yeşilyurt köylerinin güneyinden geçtikten sonra güneybatı yönünde devam ederek Kuşdemir, Kızılcaören köylerini de geçip Derbent köyüne ulaşmadan son bulur. Elvanpaşa Segmenti; batıda Hatipler köyünden başlayıp Bağkonak, Hasanköy, Kaplangı köylerinden geçtikten sonra doğu yönünde ilerleyerek Corum, Paşacık, Karaköse, Balcıdamı, Elvanpaşa, Tazlar köylerini de geçip Çobanozü köyüne ulaşmadan son bulur (Şekil 5.1). Çalışma alanı Uşak ili Banaz ilçesini merkez alan yaklaşık 40 km yarıçaplı bir daireyi oluşturmaktadır. Çalışma alanı yaklaşık olarak 5000 km² dir.



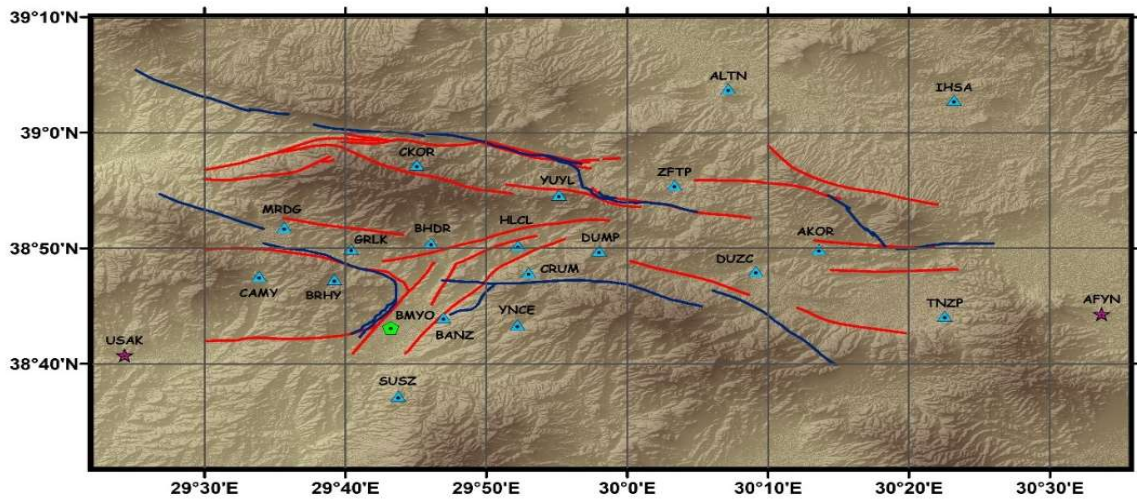
Şekil 5.1 Fay genel görünüm (Öztürk 2019).

5.2 GNSS Ağı ve Ölçüleri

Banaz fayı ve çevresinde 2016 yılında 3 tanesi sabit olmak üzere toplamda 22 noktalı GNSS ağı tesis edilmiştir. TUBITAK tarafından desteklenen 115Y246 No'lu proje ile kurulmuştur. Bu proje kapsamında 2016 – 2019 yılları arasında 5 kampanya 4 periyot ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümlere ek olarak tez kapsamında 2019-2020 yılları arasında 2 kampanya GNSS ölçüsü yapılmıştır. Yapılmış olan tüm GNSS ölçüleri, eş zamanlı ve en az 8 saatlik olmak üzere 2 gün ölçülmüştür. Ölçü yapılacak noktalar bölgede bulunan blok sınırları, bölgenin jeolojik yapısı ve ölçme tekniğine uygun olması gibi faktörler göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. GNSS ağına yapılmış olan kampanyalar Çizelge 5.1'de ve ağda bulunan noktaların konumları ile tesis bilgileri Çizelge 5.2 ve Şekil 5.2' de verilmiştir.

Çizelge 5.1 GNSS Ağının Kampanya Tarihleri.

Kampanya No	Tarih
1.Kampanya	17-18 Aralık 2016
2.Kampanya	3 Haziran 2017
3.Kampanya	16-17 Aralık 2017
4.Kampanya	20 Mayıs - 9 Eylül 2018
5.Kampanya	26-27 Ocak 2019
6.Kampanya	1-5 Kasım 2019
7.Kampanya	6-12 Haziran 2020



Şekil 5.2 (Banaz Fayı GNSS Ağı) Mavi renkli faylar MTA diri fay Haritalarından, kırmızı renkli faylar Prof. Dr. Ali KOÇYİĞİT' in Çukurören-Çobanlar (Afyon) Arasının Sismotektonik Haritasından temin edilmiştir (Öztürk 2019).

Çizelge 5.2 Çalışma alanına kurulan GNSS ağı noktalarının konum ve tesis türü.

Nokta Adı	İl	İlçe	Mevkii	Boylam (°)	Enlem (°)	Tesis Türü
AKOR	Afyonkarahisar	Sinanpaşa	Akdeğirmen	30.22679	38.83159	Zemin Pilye
ALTN	Kütahya	Altıntaş	Altıntaş	30.11960	39.06288	Zemin Pilye
BANZ	Uşak	Banaz	Banaz	29.78279	38.73328	Kayada Bronz
BHDR	Uşak	Banaz	Bahadır	29.76768	38.84063	Zemin Pilye
BMYO	Uşak	Banaz	Banaz MYO	29.72021	38.71848	Zemin Pilye (Sabit)
BRHY	Uşak	Banaz	Burhaniye	29.65373	38.78807	Kayada Bronz
CAMY	Uşak	Merkez	Çamyuva	29.56469	38.79252	Kayada Bronz
CKOR	Kütahya	Gediz	Çukurören	29.75105	38.95323	Zemin Pilye
CRUM	Uşak	Banaz	Corum	29.88350	38.79788	Kayada Bronz
DUMP	Kütahya	Dumlupınar	Dumlupınar	29.96683	38.82948	Zemin Pilye
DUZC	Afyonkarahisar	Sinanpaşa	Düzağaç	30.15239	38.80015	Zemin Pilye
GRLK	Uşak	Banaz	Gürlek	29.67352	38.83211	Kayada Bronz
HLCL	Uşak	Banaz	Halaçlar	29.87095	38.83702	Zemin Pilye
IHSA	Afyonkarahisar	İhsaniye	İhsaniye	30.38653	39.04634	Zemin Pilye
MRDG	Uşak	Banaz	Küçükler	29.59438	38.86337	Zemin Pilye
SUSZ	Uşak	Banaz	Susuz	29.72907	38.62003	Zemin Pilye
TNZP	Afyonkarahisar	Sinanpaşa	Tınaztepe	30.37559	38.73552	Zemin Pilye
YNCE	Uşak	Banaz	Yenice	29.87027	38.72250	Kayada Bronz
YUYL	Kütahya	Dumlupınar	Yüylük	29.91918	38.91013	Zemin Pilye
ZFTP	Kütahya	Altıntaş	Zafertepe	30.05582	38.92426	Zemin Pilye

Çizelge 5.3 Kurulan GNSS ağındaki CORS-TR noktaları.

Nokta Adı	İl	İlçe	Mevkii	Boylam (°)	Enlem (°)	Tesis Türü
AFYN	Afyonkarahisar	Merkez	Merkez	30.56100	38.73836	Zemin Pilye
USAK	Uşak	Merkez	Merkez	29.40522	38.67921	Çatı Pilye

GNSS ağının ölçüm kampanyalarında faz başlangıç belirsizliğinin hassas bir şekilde modellenebilmesi amacıyla 15 sn' lik epoklar ile veri kaydı yapılmıştır. Kayıta minimum anten yükseklik açısı 5° seçilmiştir. GNSS ölçülerinde noktanın tesis durumuna göre pilye tesisleri ve alet sehпасı kullanılmıştır. Thales Z- Max ve Ashtech Z- Xtreme ölçümde kullanılan alıcılardır (Şekil 5.3). Kampanyalara ait GNSS ölçü günleri Çizelge 5.4' de verilmiştir.



Şekil 5.3 Uygulamada kullanılan GNSS ekipmanları.

Çizelge 5.4 GNSS ölçü çizelgesi.

NOKTA ADI	AKOR	ALTN	BANZ	BHDR	BRHY	CAMY	CKOR	CRUM	DUMP	DUZC	GRLK	HLCL	İHSA	MRDG	SUSZ	TNZP	YNCE	YUYL	ZFTP
2003	203	X																	
	204	X																	
	209			X															
	210			X															
2005	206									X									
	108														X				
2006	227											X							
	329						X												
	330						X												
	115		X																
2007	116		X																
	117			X															X
	121																		X
	89												X						
2008	96												X						
	154	X																	
2011	167		X																
	82				X														
2016	159	X	X						X				X			X			
	160	X	X						X				X			X			
	174			X										X					
	175			X										X					
	352				X	X	X	X			X						X		
	353				X	X	X	X			X						X		
2017	154			X	X	X		X	X					X	X		X		
	155			X	X	X		X	X					X	X		X		
	196										X							X	X
	197										X							X	
	350			X	X	X		X			X						X		
	351			X	X	X		X											
2018	139						X												
	140				X		X	X	X							X	X		
	141				X			X	X							X	X		
	189		X							X			X						X
	192			X		X	X				X			X					
	193			X		X	X				X			X					
	251							X				X			X				X
	252							X											
2019	26				X	X		X			X			X			X		
	27				X	X		X			X			X			X		
	305				X	X					X								
	306				X	X					X								
	309			X				X	X								X		
	310			X				X	X								X		
2020	158				X	X					X			X					
	159				X	X					X			X					
	164			X				X	X								X		
	165			X				X	X								X		

5.3 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi

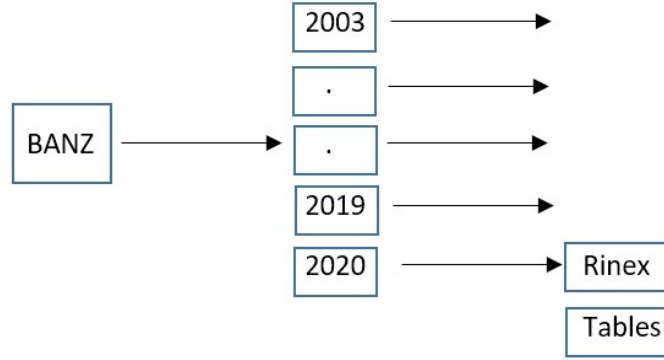
Bu çalışmada GNSS verilerinin değerlendirilmesi yapılırken GAMIT/GLOBK programları kullanılmıştır. GAMIT/GLOBK MIT tarafından geliştirilen, ticari amacı olmayan ve UNIX işletim sistemi altında çalışan açık kaynak kodlu bir yazılımdır. GAMIT (GPS Analysis at MIT), uydu yörüngeleri ve yer istasyonlarının üç boyutlu göreceli konumlarını, atmosferik zenit gecikmelerini ve Dünya yönelim parametrelerini tahmin etmek amacıyla faz verilerini işlemek için programların toplanmasıdır. GLOBK (Global Kalman Filter), GPS, VLBI (Very Long Base Interferometry) ve SLR (Satellite Long Range) ölçüm teknikleri gibi çeşitli jeodezik çözümleri birleştiren bir Kalman filtresidir (İnt.Kyn.4).

GAMIT yazılımı GNSS verilerinin işlenmesinde, alıcı bağımsız hale gelen veri formatı olan RINEX' i kullanmaktadır. RINEX; gözlem veri dosyası, meteorolojik veri dosyası ve navigasyon mesajı dosyası olmak üzere ASCII dosya tipinde olan üç dosyadan oluşmaktadır. Farklı GNSS alıcılarının kaydettiği çeşitli formattaki veriler dönüştürücü programlar kullanılarak RINEX formatına dönüştürülmektedir. GAMIT' te değerlendirme işlemleri 4 bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler hazırlık, değerlendirme, kontrol ve sonuçtur. İşlemler aşağıda anlatılmıştır.

5.3.1 Hazırlık İşlemleri

Hazırlık işlemine bilgisayarın hard diskinde uygun bulunan bir kısıma dört karakterden oluşan bir klasör açılarak başlanır. Açılan bu klasör girdi ve çıktı dosyalarının tamamını barındıran ana klasördür. Örneğin “banz” gibi. Ana klasör içerisine ölçüm yapılan her yıl için, yıl klasörleri oluşturulur. Oluşturulan yıl klasörleri içerisine Rinex isminde bir klasör daha oluşturulur. Rinex klasörleri bulunduğu yıl klasörüne ait Rinex formatında olan ham veri dosyalarını içerir. GAMIT yazılımı değerlendirmede hata vermemesi için Rinex dosyalarının içerisinde büyük harf kullanılarak yazılmış dosya ismi varsa küçük harfe çevrilmelidir. Bu işlem Rinex klasörü içerisinde terminal açılıp sh_casefold komutu yazılarak gerçekleştirilebilir. Yıl klasörünün içerisinde oluşturulması gerekli olan diğer klasörde “table” klasörüdür. Bu klasör GAMIT yazılımının verileri değerlendirirken ihtiyaç duyduğu tüm dosyaları içermektedir. Bu klasör yıl klasörü içerisinde terminal

açılarak komut satırına “sh_setup –year yılı” komutu yazılarak oluşturulabilir. GAMIT klasör yapısı şekil 5.4’ de ve Table klasörü içerisinde bulunan standart dosya isimleri ve içerikleri de Çizelge 5.5 ‘de verilmiştir.



Şekil 5.4 GAMIT klasör yapısı.

Çizelge 5.5 Tables klasörü içerisinde bulunan standart dosya isimleri ve içerikleri.

Girdi Adı	Girdi İçeriği
gdetic.dat	Jeodezik datum parametreleri tablosu
tform.dat	Koordinat dönüşüm parametreleri
antmod.dat	Anten faz merkez ofsetleri tablosu
rcvant.dat	Alıcı ve anten özellikleri
svnav.dat	GNSS uydularının ismini ve PRN numaralarını tanıma tablosu
leap.sec	UTC'ye eklenen 1 saniyelik ofsetler
luntab.	Ay efemeris tablosu
nutabl.	Nutasyon parametreleri tablosu
soltab.	Güneş efemeris tablosu
pole	Kutupsal hareket değerleri tablosu
ut1	IERS bülteni UT1
itirf05.apr	Koordinat değerleri
station info	GNSS noktalarına ait alıcı, anten ve çalışma süresi bilgileri
site.defaults	IGS noktalarına ait bilgiler
process.defaults	Mail adresi bilgileri

Değerlendirmeye başlamadan önce GAMIT yazılımının üç temel girdi dosyası olan station.info, process.defaults, site.defaults dosyalarının düzenlenmesi gerekmektedir. station.info dosyasına GNSS ölçümü yapılan ölçüm noktalarının ve IGS noktalarının gerekli bilgileri girilir ve kaydedilir. Bu dosya içerisinde sırası ile nokta adı, nokta tanımı, GPS oturumu başlangıç ve bitiş saatleri, anten yüksekliği, anten yüksekliği ölçüm noktası, alıcı modeli, anten modeli gibi bilgileri içermektedir (Tiryakioğlu 2012). Station.info dosyasına ait bir bölüm Şekil 5.5’ te verilmiştir.

Station Name	Year	Month	Day	Hour	Minute	Second	Latitude	Longitude	Height	Antenna Model			
GRLK	2019	026	0	0	0	0	2019	028	0	0	0	1.1410	DHARP
Ynce	2019	026	0	0	0	0	2019	028	0	0	0	1.4580	DHARP
MRDG	2019	026	0	0	0	0	2019	028	0	0	0	0.4090	DHARP
BRHY	2019	026	0	0	0	0	2019	028	0	0	0	1.4940	DHARP
CAMY	2019	026	0	0	0	0	2019	028	0	0	0	1.2560	DHARP
CRUM	2019	026	0	0	0	0	2019	028	0	0	0	1.0830	DHARP
BMYO	2016	258	0	0	0	0	2021	131	12	0	0	0.0820	DHARP
BLV1	2016	258	0	0	0	0	2021	131	12	0	0	0.0860	DHARP

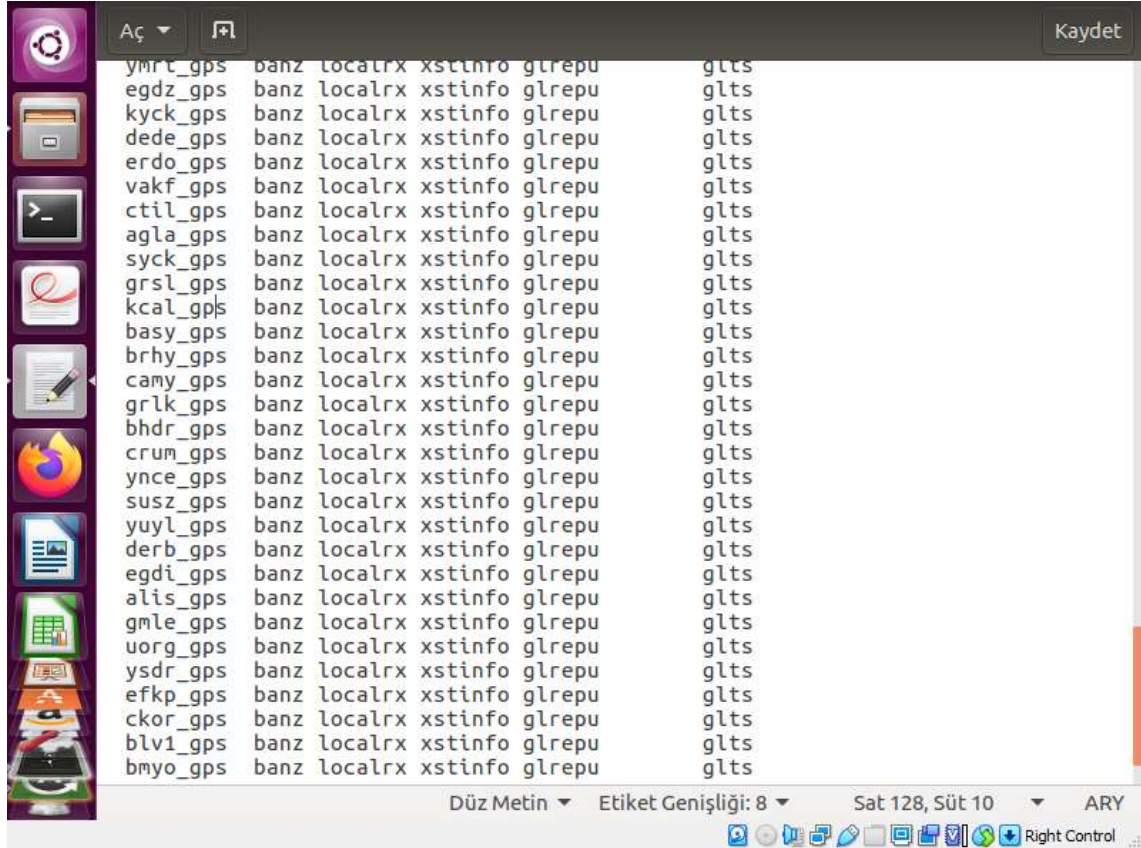
Şekil 5.5 Station.info dosyasının bir bölümü.

Station.info dosyası hazırlandıktan sonra site.defaults dosyası düzenlenir. Stabilizasyon ve tekrarlılık analizinde kullanılacak noktaları içermektedir (Şekil 5.6). GAMIT yazılımı değerlendirme esnasında site.defaults dosyası içerisindeki IGS noktalarını internet ortamından temin ederek RINEX klasörü içerisine kaydeder. GAMIT değerlendirme yaparken hem lokal ağı global ağla ilişkilendirmek hem de yüksek duyarlılıktaki koordinatlardan yararlanarak dünya dönme ve yörünge parametrelerini hassas bir şekilde hesaplamak amacıyla IGS ağına bağlı noktalardan faydalanmaktadır. Değerlendirme

yapılırken kullanılan IGS noktaları Çizelge 5.6’ da verilmiştir.

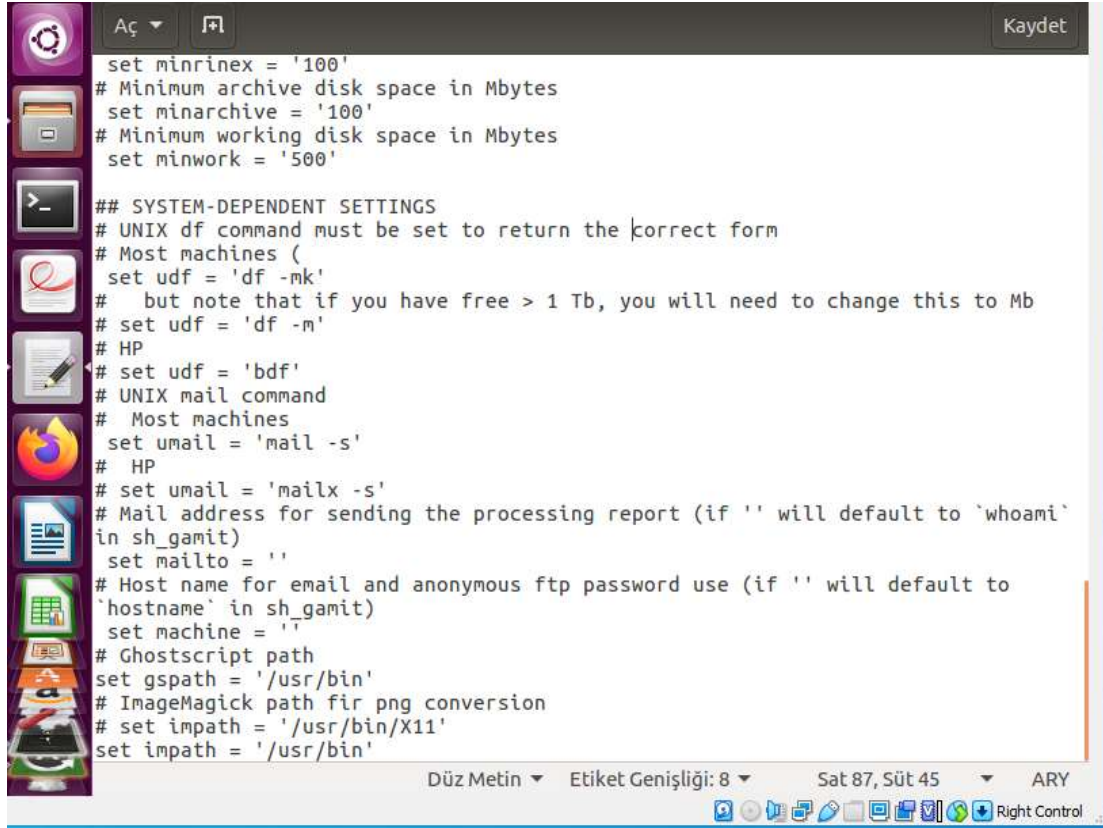
Çizelge 5.6 Değerlendirmede kullanılan IGS istasyonları.

Nokta Adı	Ülke	Şehir	Nokta Adı	Ülke	Şehir
ADIS	Etiyopya	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	Almanya	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



Şekil 5.6 Site.defaults dosyasına ait bir bölüm.

Tables klasörü içerisinde düzenlenmesi gereken bir diğer dosyada process.defaults dosyasıdır. Bu dosyada SYSTEM-DEPENDENT SETTINGS yazan kısmın altında bulunan mail adresi bölümüne değerlendirme sonucunun yollanması gereken mail adresi girilerek dosya düzenlenir (Şekil 5.7).



```
set minrinex = '100'
# Minimum archive disk space in Mbytes
set minarchive = '100'
# Minimum working disk space in Mbytes
set minwork = '500'

## SYSTEM-DEPENDENT SETTINGS
# UNIX df command must be set to return the correct form
# Most machines (
set udf = 'df -mk'
# but note that if you have free > 1 Tb, you will need to change this to Mb
# set udf = 'df -m'
# HP
# set udf = 'bdf'
# UNIX mail command
# Most machines
set umail = 'mail -s'
# HP
# set umail = 'mailx -s'
# Mail address for sending the processing report (if '' will default to 'whoami'
in sh_gamit)
set mailto = ''
# Host name for email and anonymous ftp password use (if '' will default to
'hostname' in sh_gamit)
set machine = ''
# Ghostscript path
set gspath = '/usr/bin'
# ImageMagick path for png conversion
# set impath = '/usr/bin/X11'
set impath = '/usr/bin'
```

Şekil 5.7 process.defaults dosyasına ait bir bölüm.

Tables klasörü içerisindeki girdi dosyalarını hazırlama işlemi tamamlandıktan sonra GAMIT yazılımının kontrol aşamasının tamamında kullanılacak olan komutların yer aldığı "sestbl." dosyası hazırlanır. "sestbl" dosyasında verilerin değerlendirilmesinde kullanılan çözüm stratejileri tanımlanmaktadır. Projemiz için seçilen çözüm stratejileri Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7 GAMIT değerlendirme stratejisi.

Değerlendirme Stratejisi	
Veri Toplama Aralığı	15 saniye
Uydu Yükseklik Açısı	10 o
Yörünge Bilgisi	IGS-F
Anten Faz Merkezi Bilgisi	Yüksekliğe Bağlı Model (IGS05_1552_plus.atx)
Yer Dönme Parametre Bilgisi	USNO_bull_b
Çözüm İçin İterasyon Sayısı	4
Kullanılan Troposfer Model	Sastamoinen öncül standart modele dayalı olarak 2 saat
Taşıyıcı Dalga Faz Belirsizliği Çözümü	İyonosferden Bağımsız (Ionosphere-free)

5.3.2 Değerlendirme İşlemleri

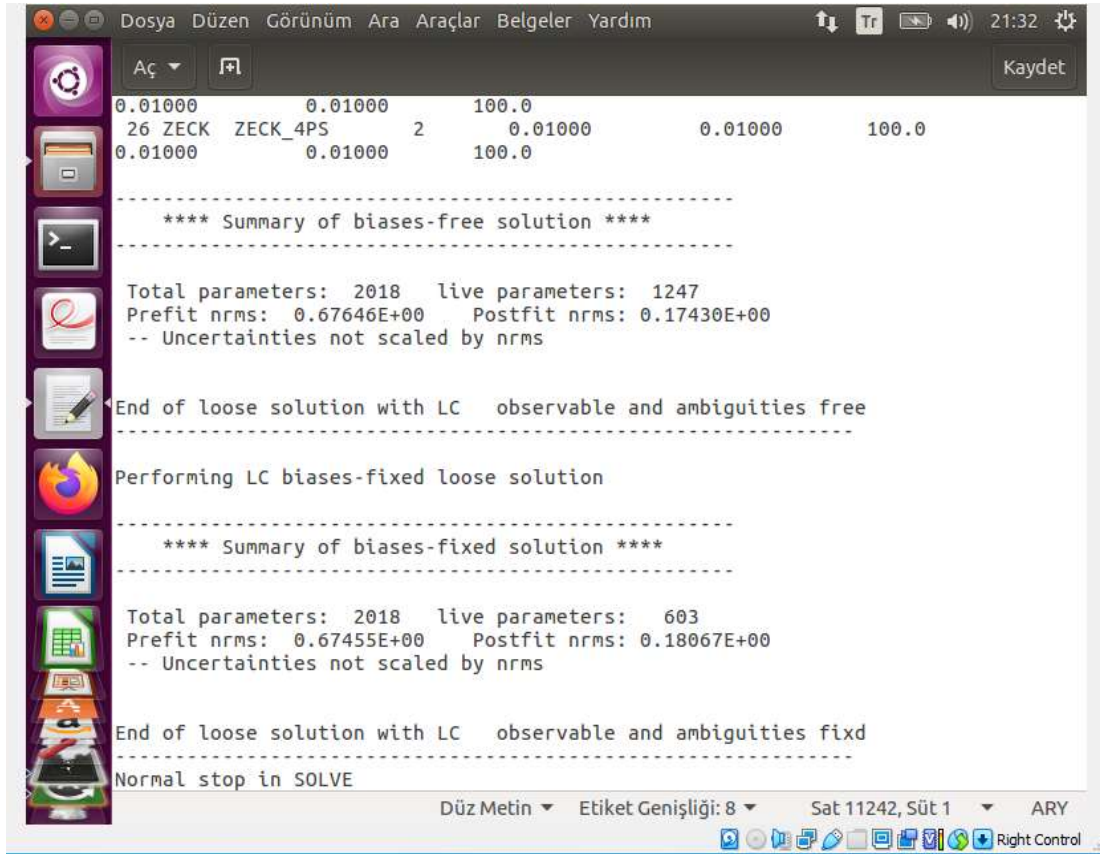
GAMIT yazılımında hazırlık işlemleri tamamlandıktan sonra değerlendirme aşamasına geçilir. Değerlendirme aşaması manuel ya da otomatik olmak üzere 2 farklı şekilde yapılabilir. Yıl klasörü içerisinde terminal açılarak komut satırına `sh_gamit` komutu girilir ve çalıştırılır. Komut girildikten sonra değerlendirme işlemi başarılı bir şekilde tamamlanırsa yıl klasörleri içerisinde ölçü gün sayısı kadar gün dosyası ve `gfiles`, `glbf`, `gifs`, `brdc`, `gsoln`, `igs` dosyaları oluşur(Şekil 5.8). Eğer değerlendirme işlemi sırasında hata mesajı alınır ise hata giderilmelidir. Hatanın hangi sebepten kaynaklandığı gün klasöründe oluşan `GAMIT.fatal` dosyasının içerisindeki açıklamada yazmaktadır.



Şekil 5.8 Değerlendirme işleminden sonraki GAMIT klasör ağı.

5.3.3 Kontrol İşlemleri

GAMIT yazılımının değerlendirme aşamasını başarılı bir şekilde tamamlaması ile birlikte gün klasörünün içerisine çeşitli sonuç dosyaları oluşur. Oluşan bu dosyalardan bazılarının hata sınırı içerisinde kalıp kalmadığı denetlenir. Denetleme işlemine “qxxxxa.ddd” dosyası ile başlanır. Bu dosya isminde xxxx proje adının verildiği ana klasörü, ddd ise ölçüm yapılan yıldaki GPS gününü ifade etmektedir. Örneğin “qbanz.193” dosyasında ana klasör ismi banz, ölçüm yapılan yıldaki GPS günü ise 193 tür. q dosyasına giriş yapılarak en alt kısımdaki postfit.nrms değeri kontrol edilir. Bu değer 0.15 ile 0.25 arasında olması gerekmektedir (Şekil 5.9). Eğer değer bu aralıklardaysa kurulan modelin doğruluğu ve ölçünün noise seviyesi kabul edilebilirdir (Herring vd. 2009, Poyraz 2009, Tiryakioğlu 2012).



```
Dosya Düzen Görünüm Ara Araçlar Belgeler Yardım
Aç [ ] Kaydet
0.01000 0.01000 100.0
26 ZECK ZECK_4PS 2 0.01000 0.01000 100.0
0.01000 0.01000 100.0

-----
**** Summary of biases-free solution ****
-----
Total parameters: 2018 live parameters: 1247
Prefit nrms: 0.67646E+00 Postfit nrms: 0.17430E+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: 2018 live parameters: 603
Prefit nrms: 0.67455E+00 Postfit nrms: 0.18067E+00
-- Uncertainties not scaled by nrms

End of loose solution with LC observable and ambiguities fixed
-----
Normal stop in SOLVE

Düz Metin Etiket Genişliği: 8 Sat 11242, Süt 1 ARY
Right Control
```

Şekil 5.9 Örnek q dosyasındaki postfit nrms değeri.

Kontrol edilmesi gereken diğer dosyada GNSS ölçüm noktalarına ait sonuçları bulunduran “autcln.post.sum.xxxx” dosyasıdır. Bu dosyada Allan SD@100 değeri ile range.rms değerlerinin kontrolü yapılır. SD@100 değerinin ölçümü yapılan her GNSS

noktası için 50 ppb değerinin altında kalması gerekir. Eğer bu değer 50 ppb ve üzerinde ise faz ölçüsünün kötü olduğu görülür. range.rms değeri P kodu bozucu etkiler altında ise 1000-2000 mm arasında, değilse metre altında olması beklenir. Eğer range.rms değeri anlatılan 2 durumdaki değerlerden farklı bir değere sahipse GAMIT yazılımı farklı değere sahip olan ölçü noktasını hesaplamaya dahil etmeyerek daha sonraki bölümlerde koordinatlarını hesaplamaz (Herring vd. 2009, Poyraz 2009, Tiryakioğlu 2012).

```

AUTCLN SUMMARY FILE: Version 3.37

Clock and Range noise statistics at iteration 5
Site/PRN      Allan SD@100 #      Range rms      #
sec (ppb)                (mm)
ADIS          43.352812  2820      1205.8  26401 JPS
ANKR           0.024375   395        190.3   3225 LEI
BAKU           0.027919   2843      1239.2  23634 TRM
BOR1           0.026663   2879        951.5   24839 TRM
BUCU           0.071384   2879        685.1   24729 LEI
CRAO           0.051133   2879      1638.8  23716 ASH
CRUM           0.092942   1511        675.0   12939 ASH
DRAG           27.971501  2876        888.8   24932 JAV
GLSV           0.030227   2792        979.6   24699 NOV
GRAS           0.020659   2879        685.5   24782 TRM
GRAZ           0.042876   2878        846.5   25006 LEI
HLCL           0.039806   1562      1134.6  13406 ASH
MATE           0.011926   2879        403.1   24244 LEI
NICO           0.019254   2877        467.4   24831 LEI
NOT1           0.012124   2879        433.5   23514 LEI
ONSA           0.054584   2879      1876.5  26046 JAV
SOFI           0.079800   2877      1119.8  24271 LEI
SUSZ           0.061716   1846        192.4   16328 THA
TEHN           0.028520   2879      1179.6  24849 TRM
TELA           0.025423   2879      1127.4  24604 LEI
TUBI           4.706398   2877      1156.0  19509 TRM
VILL           0.023934   2879        887.1   24081 SEP
YUYL           39.507641  2284        681.9   18877 ASH
ZECK           0.032468   2879      1102.0  24662 JAV

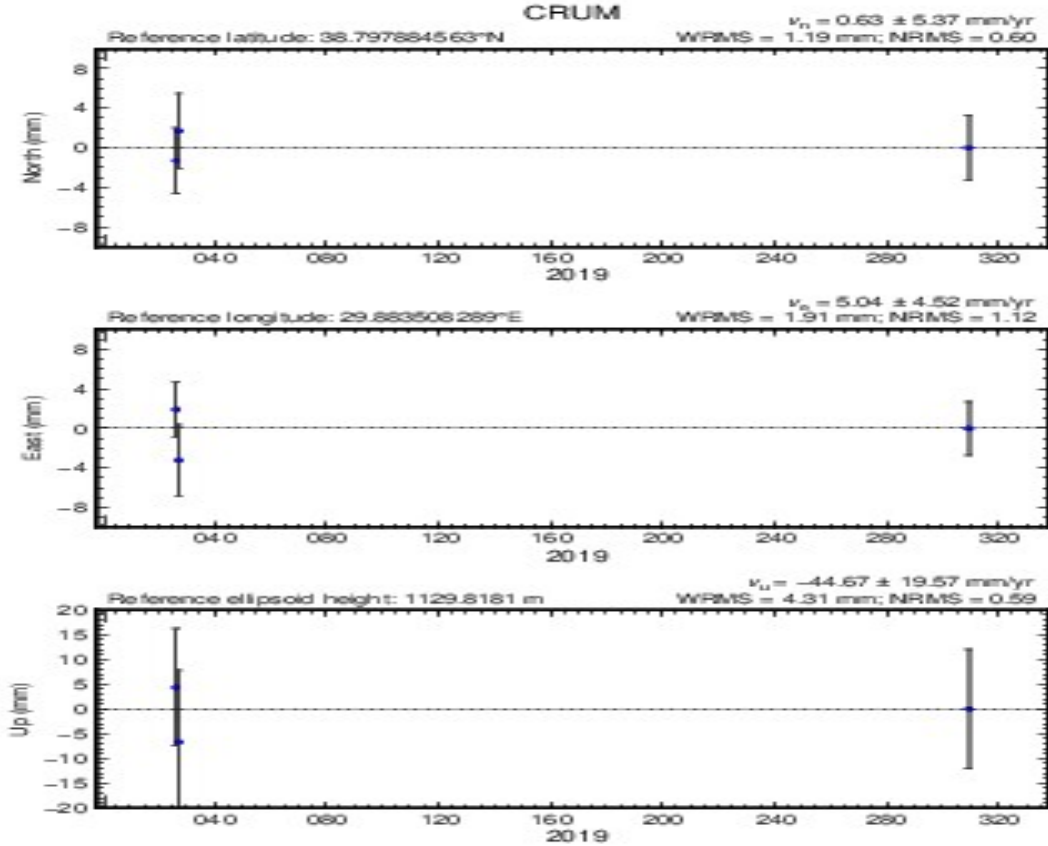
```

Şekil 5.10 “autcln.post.sum.xxxx” dosyası örneği.

5.3.4 Sonuç İşlemleri

Kontrol işlemlerinde belirtilen şartlara uygun sonuçlar bulunuyorsa GAMIT yazılımı çözüm işlemini tamamlamıştır. Aynı yıl içerisinde farklı günlerde GNSS ölçüsü yapılmış noktalara ait zaman serileri üretilmelidir (günlük tekrarlılık). Yıl klasörü içerisinde terminal açılarak komut satırına “sh_glred” yazılır. Komutun çalışmasıyla birlikte “gsoln” klasöründe ölçüm yapılan gün sayısı kadar “glr prt,org” dosyaları oluşur. Ayrıca

hem günlük tekrarlılık grafiği olan “psbase_XXXX.SITE” dosyası hem de GLOBK yazılımında kullanılacak “H” dosyaları üretilmiş olur (XXXX=Ana klasör ismi, SITE: ölçüm yapılan nokta adı). Çalışmamız için yapılan uygulamada CRUM noktasına ait günlük tekrarlılıklar Şekil 5.11’ de verilmiştir.



Şekil 5.11 CRUM noktası 2019 yılı ölçümleri günlük tekrarlılık grafikleri.

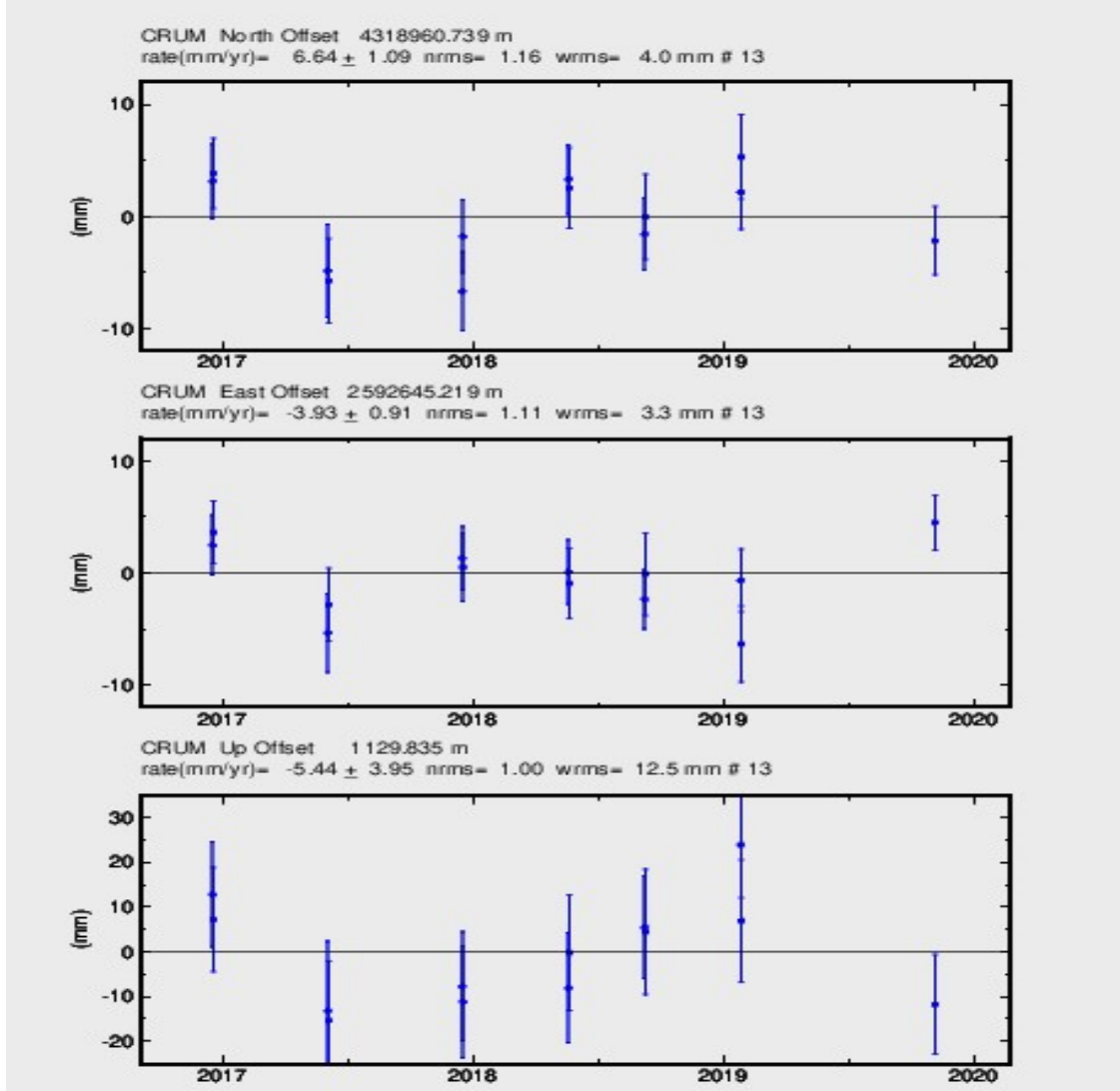
Aynı ölçüm noktasına ait farklı günlerde yapılmış ölçme işlemlerinin yorumlanmasında günlük tekrarlılık grafikleri önemli bir yer kaplar. Günlük tekrarlılıklarda elde edilen “nrms (normalize edilmiş karesel ortalama hata)” ve “wrms (ağırlıklandırılmış karesel ortalama hata)” değerleri sayesinde tekrarlı ölçüler üzerine yorum yapılabilir. 24 saatlik GNSS ölçümlerindeki koordinat belirsizlikleri, yatay koordinatlardaki wrms değeri 1 ile 2 mm arasında, düşey koordinatlardaki wrms değeri ise 2 ile 4 mm arasında elde edilmektedir. 8 saatlik GNSS ölçümlerinde yatay koordinatlardaki wrms değeri 2 ile 4 mm arasında, düşey koordinatlardaki wrms değeri ise 10 ile 15 mm arasında olması gerekir (Tiryakioğlu 2012, Herring vd. 2015).

5.3.5 GAMIT Sonuçlarının GLOBK’de Değerlendirilmesi

Yeryüzü parçalı ve dinamik plakalardan meydana gelmektedir. Depremlerin oluşumunu ve yeryüzü hareketlerini inceleyen bilimlerin bu dinamik yapının hareket yönü ile hızını bilmesi çok önemlidir. Bu dinamik yapının hareket yönünün ve hızının belirlenerek modellenmesi ile hesaplamalar ve ölçümlerden elde edilen sonuçlar anlamlı bir şekilde yorumlanabilir hale gelecektir. GLOBK bu dinamik yapının modellenmesinde ve noktaların konum değişikliklerini baz alarak zaman serilerinin üretilmesinde kullanılmakta olan Kalman Filtrelemesidir. Bu filtre elde olan verileri değerlendirerek bir model kurup gelecekteki verileri tahmin eder. Eldeki veri ne kadar fazlalaşırsa tahminindeki kesinlikte doğru orantılı olarak artar (Dong vd. 1998).

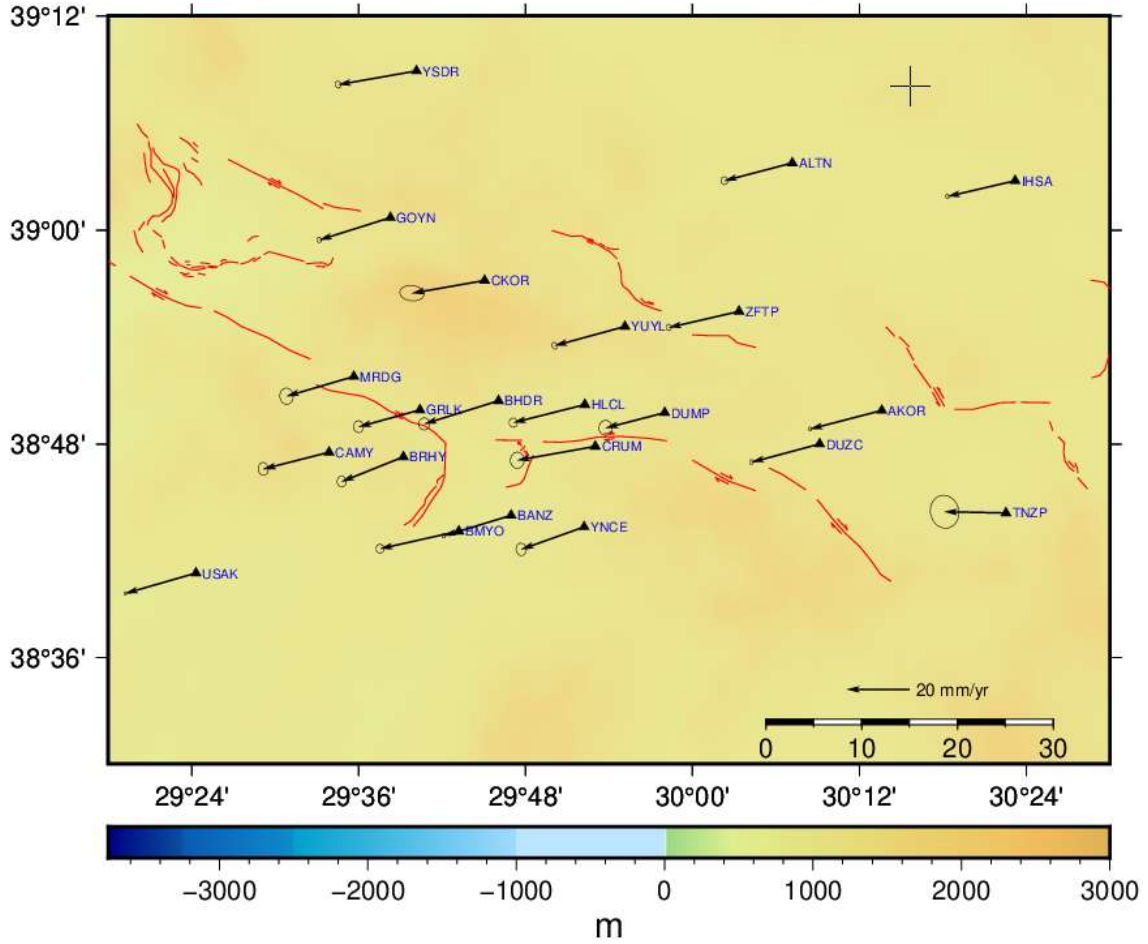
GLOBK yazılımında tektonik hareketin gözlemlenebilmesi için uzun dönem zaman serilerinin üretilmesi gerekir (yıllık tekrarlılık). Üretim işlemine ana klasör içerisine yıllarla eşit seviyede vsoln klasörü açılarak başlanır. Vsoln klasörü içerisinde terminal açılarak komut satırına “sh_plotcrd” yazılır ve uzun dönem zaman serisi grafikleri üretilmiş olur. Bu grafiklerden yola çıkılarak GNSS ağındaki noktalar tektonik açıdan yorumlanabilir. Çalışmamızda elde edilen CRUM noktasına ait uzun dönem zaman serileri Şekil 5.12’ de verilmiştir.

Hız çözümlerini yapabilmek için H dosyaları kullanılmaktadır. Proje adıyla başlayan gdl uzantılı boş bir metin dosyası vsoln klasörü içerisinde oluşturulur. Günlük tekrarlılıkların üretiminden sonra yıl dosyalarının içerisindeki glbf klasöründe her ölçü gününe ait olan birer adet hyymmdd1200_XXXX.glx dosyası oluşmaktadır (yy:yıl, mm:ay, dd:gün, XXXX:proje adı). gdl dosyaları oluşturularak gamit klasörü altında bulunan tables dosyasından GLOBK modülüne yönetecek olan glorg_vel.cmd ve globk_vel.cmd dosyaları kopyalanır. IGS tarafından belirlenen referans sistemine dönüşümde kullanılan istasyon noktalarına, yer dönüş ve uydu yörünge parametrelerine bu komut dosyaları ile kısıtlamalar getirilir. GLOBK modülü birleştirme işlemini referans sistemini tanımlamadan yapmaktadır. Bu yüzden globk_vel.cmd dosyasında yapılacak düzenlemelerin başında hızların belirlenmesi gereken referans çatının seçilmesi gelir.



Şekil 5.12 CRUM noktası yıllık tekrarlılık grafikleri.

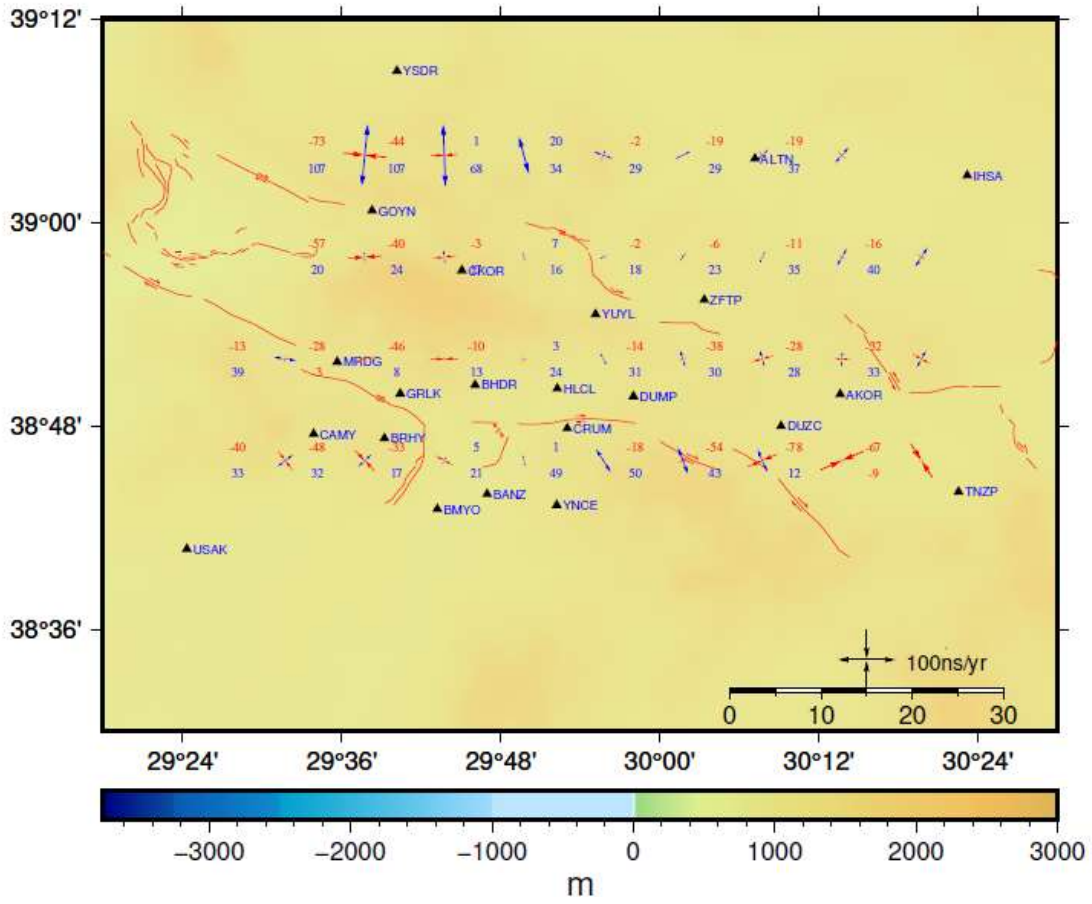
Stabilizasyon işlemi GLOBK yazılımında önemli bir yere sahiptir. Bu işlem noktaların birbirine göre hızlarını hesaplayarak yapılırsa bölgesel stabilizasyon, daha önceden tanımlanmış plakalara göre hızlarını hesaplayarak yapılırsa global stabilizasyon ismini alır. Çalışmamızda global stabilizasyon kullanılmıştır. GAMIT programında değerlendirmeye alınan ve Çizelge 5.6' da verilen IGS noktalarından uygun olanlar stabilizasyon işleminde kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Avrasya sabit alınarak elde edilmiş hızlar GMT yazılımıyla görselleştirilerek Şekil 5.13' te verilmiştir. Elde edilen hız alanı incelendiğinde bölgenin literatür verileri ile uyumlu olarak BGB yönlü 20-26 mm/yıllık bir hareket sergilediği görülmektedir.



Şekil 5.13 Avrasya sabit hız alanı.

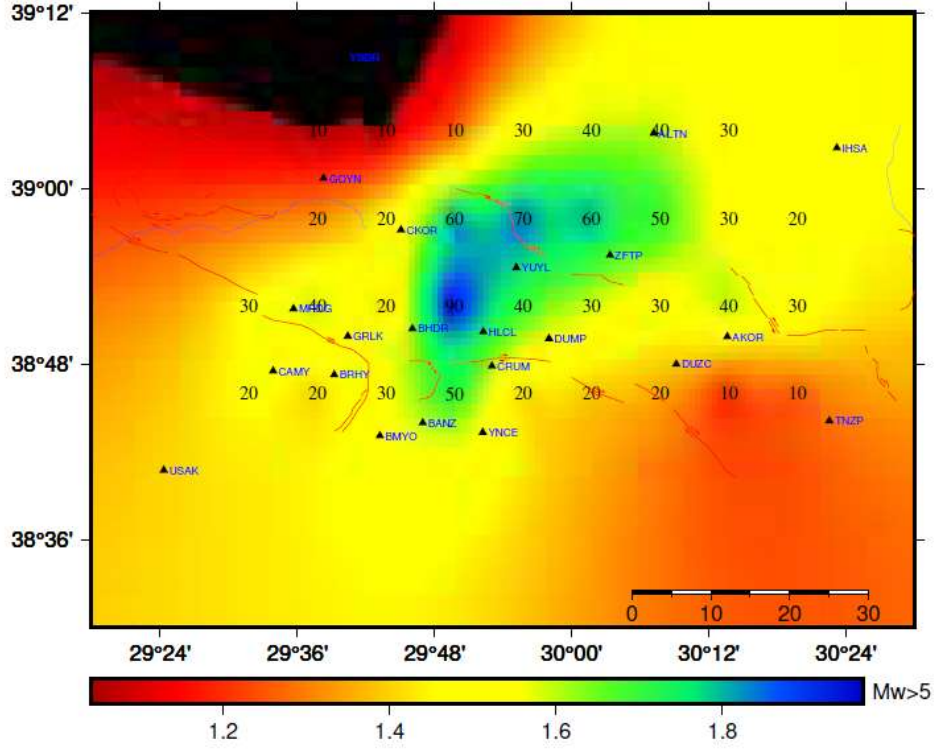
5.3.6 Yamulma Analizi ve Jeodezik Deprem Tekrarlama Haritaları

Çalışma bölgesindeki yamulma alanlarının hesaplanması amacıyla GeodSuit programı kullanılarak yamulma analizi yapılmıştır. Analiz girdileri bölgede bulunan noktalara ait hızlar ve bu hızların doğruluklarıdır. GNSS teknolojisi henüz üçüncü boyutta çalışmada istenilen doğruluğu vermemesi sebebiyle çalışmada 2 boyutlu yamulma analizi kullanılmıştır. Çalışma alanı 0.1x0.1 derecelik gridlere bölünerek her grid köşesine ait yamulma alanları iteratif olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan yamulma alanları Şekil 5.14' te verilmiştir. Mavi oklar açılmayı, kırmızı oklar sıkışmayı göstermektedir. Yamulma alanının kolay yorumlanabilmesi açısından okların sol tarafına yamulma bileşenlerinin değerleri aynı renklerle eklenmiştir. Bölgede 50 ns/yıla varan yamulmalar gözlenmekte olup yamulma alanları genel olarak literatür çalışmaları ile uyum içerisindedir.

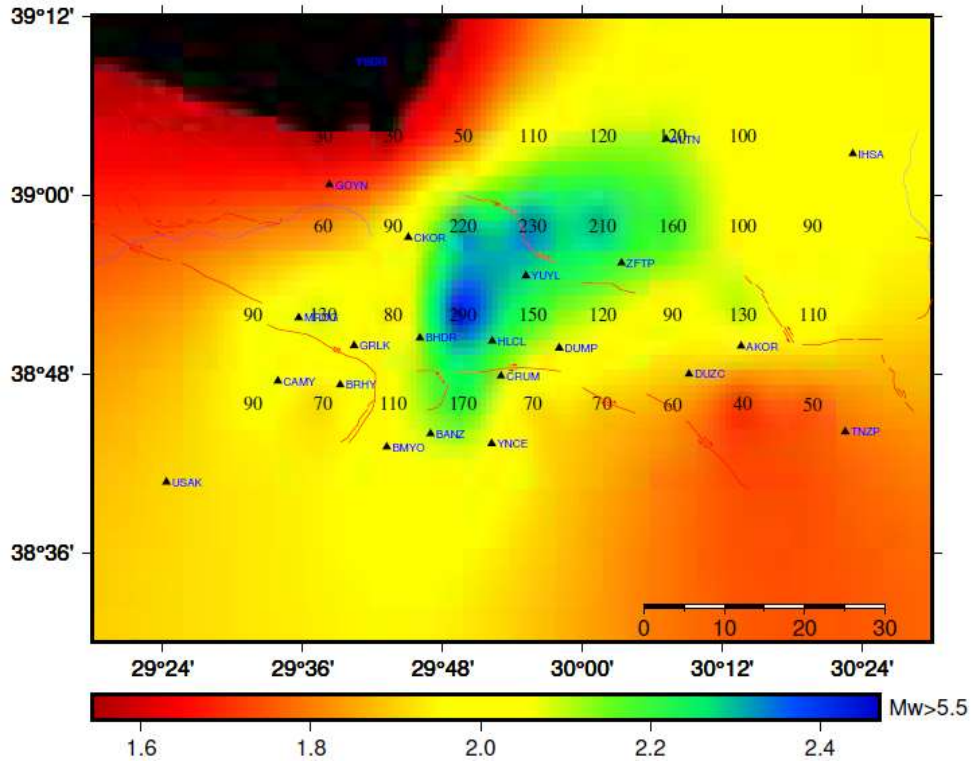


Şekil 5.14 Yamulma alanı.

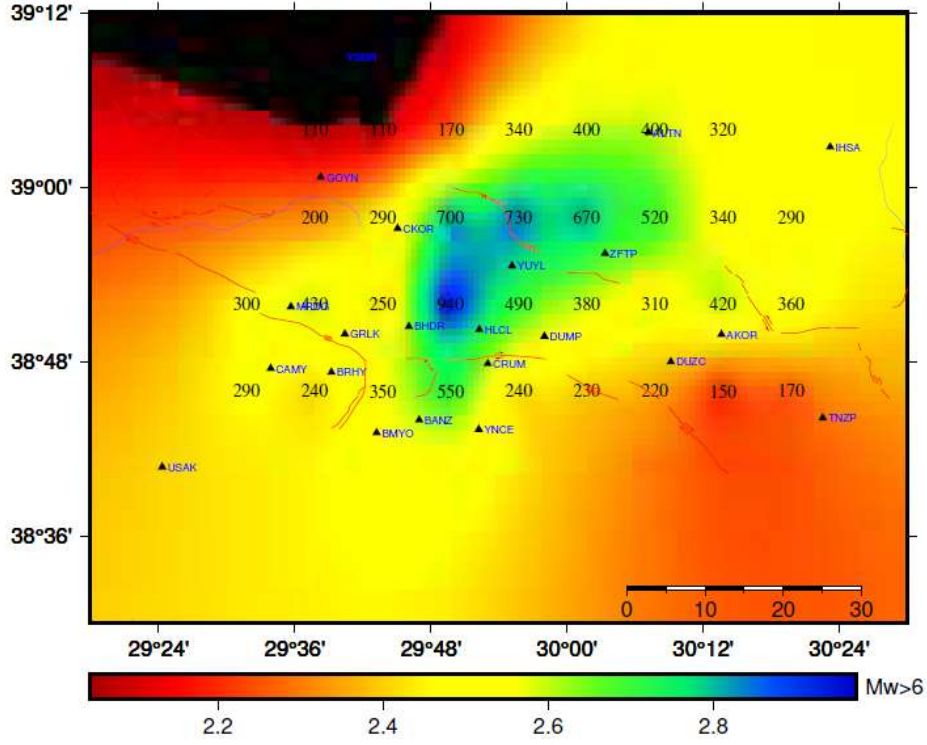
Hesaplanan yamulma alanları kullanılarak $M_w > 5- 5,5 - 6$ için jeodezik deprem tekrarlama periyotları elde edilmiştir. Periyotların hesaplanmasında kullanılan sismojenik zon derinliği 15 km, rijitlik modülü 30 GPa, Türkiye için maksimum deprem büyüklüğü 8 ve b parametre değeri -1 olarak belirlenmiştir. Ayrıca birim alandaki moment hızının moment hızına dönüşümünde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen periyotlar GMT yazılımı ile görselleştirilerek Şekil 5.15-5.16-5.17' de sunulmuştur. Şekillerin alt kısmında yer alan renk lejantları logaritmik tabanlı olarak deprem tekrarlama periyodunun yıl aralığını, şekillerin üzerinde yer alan sayılar ise yıl cinsinden deprem tekrarlama periyotlarını göstermektedir.



Şekil 5.15 Jeodezik deprem tekrarlama haritaları ($M > 5$).



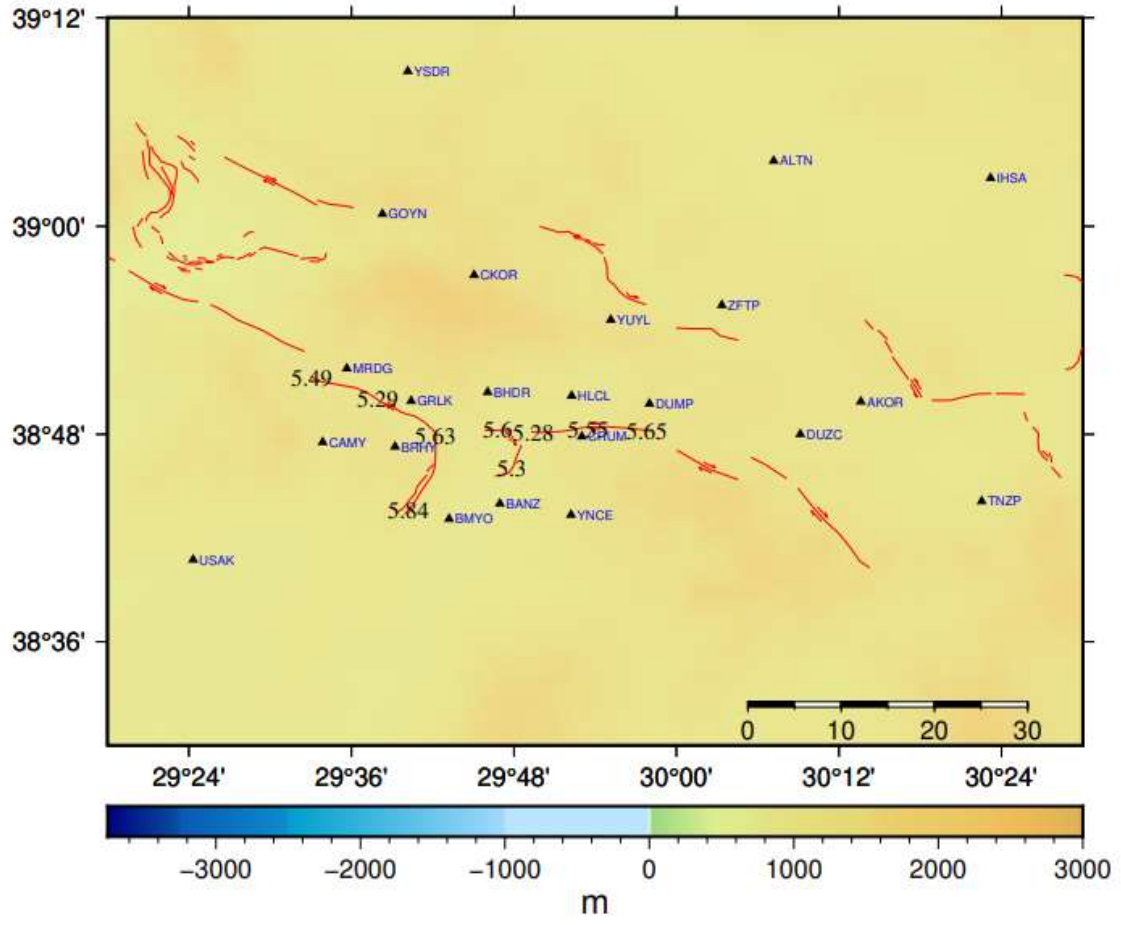
Şekil 5.16 Jeodezik deprem tekrarlama haritaları ($M > 5.5$).



Şekil 3.17 Jeodezik deprem tekrarlama haritaları ($M > 6$).

Deprem tekrarlama haritaları incelendiğinde $M > 5$ için tekrarlama periyodunun bölge genelinde 20-50 yıl civarında olduğu görülmektedir. $M > 5.5$ ve üzeri için ise tekrarlama periyodu 70-170 yıl civarındadır. $M > 6$ için periyotlar genel olarak 200 yılın üzerindedir.

Bölüm 4.1.2' de anlatılan potansiyel deprem büyüklüğünün belirlenmesi amacıyla kullanılan yaklaşım çalışma bölgemizde bulunan Banaz Segmenti ve Elvanpaşa Segmenti için uygulanmıştır. Çalışma bölgesi için tarihsel deprem kayıtlarına bakıldığında son en büyük magnitüdeki depremin 30 Eylül 1887 tarihinde meydana geldiği görülmektedir. Son büyük depremden günümüze 133 yıl geçmiştir. Depremsizlik süresi 133 yıl alınarak, Banaz Segmenti ve Elvanpaşa Segmentinin biriktiği enerjinin tamamının ortaya çıkmasıyla meydana gelebilecek depremin moment büyüklüğü hesaplanmıştır (Şekil 5.18). Potansiyel deprem büyüklükleri Banaz Segmenti için M_w : 5.3-5.8 Elvanpaşa Segmenti içinse M_w : 5.3-5.7 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.18 Banaz ve Elvanpaşa Segmentleri için hesaplanan potansiyel deprem büyüklükleri.

6.TARTIŞMA ve SONUÇ

ASFS içerisinde yer alan Banaz Segmenti, Elvanpaşa Segmenti ve çevresinin hız alanı, yamulma alanı, jeodezik deprem tekrarlamaya periyodu ve potansiyel deprem büyüklüklerini belirlemek amacıyla 22 noktalı GNSS ağı oluşturulmuştur. Ağ noktalarına ait 2003-2016 yılları arasındaki GNSS ölçüm verileri ilgili kurum ve kuruluşlardan, 2016-2019 yılları arasındaki ölçüm verileri 115Y246 No' lu TÜBİTAK projesinden temin edilmiştir. Bu ölçüm verilerine ek olarak tez kapsamında 2019-2020 yıllarında 2 kampanya daha GNSS ölçüsü yapılmıştır. GNSS ölçü verileri GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Çalışma bölgesine ait hız alanı; Avrasya referans sistemi sabit alınarak (ITRF2008) incelendiğinde bölgenin 20-26 mm/yıl hızlarla BGB yönünde hareket ettiği görülmüştür. Bu sonuçların Anadolu'nun batıya kaçış hareketi ve bölgede yapılan geçmiş çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür (Öztürk 2019, Tiryakioğlu vd. 2019). İlk ve son ölçü epokları arasında geçen sürenin fazla olması ve hassas ölçü yapılması sayesinde elde edilen hızların doğrulukları ~1 mm' nin altındadır.

Çalışma bölgesi 0.1 x 0.1 derecelik gridlere bölünerek her grid köşesine ait yamulma alanları Geodsuid yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 5.14' de verilen yamulma alanı incelendiğinde; Banaz Segmentinin güneyinde KD-GB yönlü açılmalar ve KB-GD yönlü sıkışmalar görülmektedir. Bu bölgede yamulmalar 30-50 ns/yıl civarındadır. Banaz Segmentinin kuzeyinde ise genel olarak sıkışma bileşenleri baskın olup 20-50 ns/yıl civarındadır. Bu bölgede açılma bileşenleri minimum düzeydedir. Elvanpaşa Segmenti'nin güneyinde KB-GD yönlü açılma bileşenlerinin hâkim olduğu görülürken doğu kısımlarında ise KB-GD açılmalarla birlikte KD-GB yönlü sıkışmalarda görülmektedir. Bu durum özellikle Elvanpaşa segmentindeki fayların sol yanallı atımlı olabileceğini düşüncesini vermektedir.

Jeodezik verilerden elde edilen yamulma alanları kullanılarak jeodezik deprem tekrarlamaya periyotları hesaplanmıştır. Şekil 5.15 incelendiğinde M>5 için Banaz Segmenti civarında deprem tekrarlamaya periyodunun 20-40 yıl, Elvanpaşa Segmenti

civarında ise 20-50 yıl olduğu arasında gör÷lmektedir. Bu periyodun $M > 5.5$ için sırasıyla Banaz Segmenti civarında 70-130 yıl, Elvanpaşa Segmenti için ise 70-170 yıl olduğu gör÷lmektedir (Şekil 5.16). Bölgede yer alan yamulmaların küçük olmasından dolayı deprem tekrarlama periyodunun $M_w > 6$ ve üzeri depremler için 200 yılın üzerinde olduğu değerlendirilmiştir (Şekil 5.17). Çalışma bölgesinde az sayıda deprem olması sebebiyle Gutenberg – Richter bağıntısındaki parametreler belirlenememiştir. Bu nedenle çalışma bölgesi için istatistiksel risk analizi yapılamamıştır.

Tarihsel ve aletsel dönem kayıtlarına bakıldığında son büyük depremin 30 Eylül 1887 tarihinde meydana geldiği gör÷lmektedir. Bu depremin en çok hissedildiği ve ağır hasar verdiği bölgeler (Comburt(Ayrancı) Vadisi, Banaz Köyü, İslamköy(Susuz)) Banaz Fayı ile oldukça uyumludur. 30 Eylül 1887 depreminden günümüze kadar yaklaşık 133 yıldır bölgede büyük mangitüdü bir deprem yaşanmamıştır. Bu süre içerisinde bölgede bulunan segmentlerin biriktirdiği enerjinin tamamını ortaya çıkarmasıyla meydana getirebilecekleri potansiyel deprem büyüklükleri Banaz Segmenti için $M_w: 5.3-5.8$ Elvanpaşa Segmenti içinse $M_w: 5.3-5.7$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.18).

7. KAYNAKLAR

- Akyüz H S, Altunel E, Karabacak V, Yalçiner C Ç, 2006, Historical earthquake activity of the northern part of the Dead Sea Fault Zone, southern Turkey, *Tectonophysics*, 426, 281–293.
- Altunel E, Barka A A, Akyüz S, 1999, Paleoseismology of Dinar fault, SW Turkey, *Terra Nova*, 11, 297–302.
- Ambraseys N N, Tchalenko J S, 1972. Seismotectonic aspect of the Gediz, Turkey, Earthquake of March 1972, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 229–252.
- Ambraseys N N, Finkel C F, 1995, *The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas: A Historical Review 1500–1800*, 240p, Eren publishing and booktrade, İstanbul.
- Barka A A, Reilinger R E, Şaroğlu F, Şengör A M C, 1995, Isparta Angle: Its importance in the neotectonics of the Eastern Mediterranean Region. In: Pişkin D, Ergün M, Savaşçın M Y, Tarcan G (eds.), *International Earth Science Colloquium on the Aegean Region*, 9-14 October 1995, İzmir, 3–18.
- Başarır Baştürk N, Özel N M, Altınok Y, Duman T Y (Ed.), 2017, Türkiye ve yakın çevresi için geliştirilmiş tarihsel dönem (MÖ 2000 - MS 1900-) deprem kataloğu, *Türkiye Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayınlar Serisi-34, 239 s, Ankara.
- Başokur A T, Gökten E, Seyitoğlu G, Varol B, Ulugergerli U E, Işık V, Candansayar E, Tokgöz E, 2002, Jeolojik ve jeofizik çalışmalar ışığında 03.02.2002 Çay (Afyon) depreminin mekanizması, hasarın nedenleri ve bölgenin deprem etkinliği, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Araştırma Raporu, 56 s.
- Benioff H, 1951, Earthquakes and Rock Creep (Part I: Creep characteristics of Rocks and Origin of Aftershocks) *Bulletin of the Seismological Society of America*, 41, 31-62.
- Blumenthal M, 1963, Le systeme structural du Taurus sud-Anatolien. In *Livre a memoire du Professeur P. Fallot. Memoire de la Societe Geologique de France* 2, 611-662.
- Bommer J, 2002, Deterministic vs. Probabilistic Seismic Hazard Assessment: An Exaggerated and Obstructive Dichotomy. *Journal of Earthquake Engineering*. Vol. 5, 43-73.
- Boray A, Şaroğlu F, Emre Ö, 1985, Isparta Büklümünün kuzey kesiminde D–B daralma

- için bazı veriler, Bulletin of Chamber of Geological Engineers, 23, 9-20.
- Çakmak R, 2001, Marmara Bölgesi'nde Kabuk Deformasyonlarının GPS Yardımıyla İzlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 89s, İstanbul.
- Çiçek A, Koçyiğit A, 2009, A NNE-trending active graben in the Isparta Angle, SW Turkey: Karamık Graben, its geometry, age and earthquake potential, Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo, 29, 168-174.
- Danchik R J, 1998, An Overview of Transit Development. Johns Hopkins Apl Technical Digest, 19, 1.
- Demirci A, Özden S, Bekler T, Kalafat D, Pınar A, 2015, An active extensional deformation example: 19 May 2011 Simav earthquake ($M_w = 5.8$), Western Anatolia, Turkey. J Geophys Eng, 12, 552–565.
- Demirtaş R, İravul Y, Yaman M, 2002, 3 Şubat 2002 Eber ve Çay depremleri ön raporu, Jeoloji Mühendisliği Haber Bülteni, 1-2, 58-63.
- Derelioğlu B, 2007, GPS ve GPRS Tabanlı Geniş Alan Uygulaması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99s, Ankara.
- Dirik D, 2002, Akarçay (Afyon) havzasının tektoniği ve Çay-Afyon (03.02.2002) depreminin önemi, Aktif Tektonik Araştırma Grubu 6. Toplantısı(ATAG-6), 21-22 Kasım 2002, Ankara.
- Duman T Y(Ed.), Emre Ö, Özalp S, Çan T, Olgun Ş, Elmacı H, Şaroğlu F, 2017, Türkiye ve Yakın Çevresindeki Diri Faylar ve Özellikleri. Türkiye Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-34, 12 s, Ankara.
- Emre Ö, Duman T Y, Doğan A, Özalp S, Tokay F, Kuşcu İ, 2003, Surface Faulting Associated with the Sultandağı Earthquake ($M_w 6.5$) of 3 February 2002, Southwestern Turkey, Seismological Research Letters 74, 4, 382-392.
- Emre Ö, Duman T Y, Özalp S, Olgun Ş, 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.
- Erdoğan S, 2005, Burdur Fethiye Fay Zonunun GPS ile İzlenmesi, İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 115s, İstanbul.
- Ergin K, Güçlü U, Uz Z, 1967, A Catalogue of Earthquakes for Turkey and Surrounding

- Area (11 A.D. – 1964) , Technical University of İstanbul, Publications, no 24.
- Eyidoğan H, Jackson J A, 1985, A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir ve Gediz earthquake of 1969-1970 in western Turkey: implications for the nature and geometry of deformation deformation in the continental crust, *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society*, 81, 569–607
- Grabert H, 1971, Crossing of two faults causing the March 28, 1970 Earthquake occurred in West Anatolia, *Mineral Research and Exploration Directorate (MTA) Bulletin*, 77, 22-29
- Gutenberg B, Richter C F, 1944, Frequency of Earthquakes in California, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34, 185-188.
- Gündoğdu E, Özden S, Güngör T, 2015, Simav (Kütahya) ve Yakın Civarının Geç Senozoyik Yaşlı Jeodinamik Evrimi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 58, 23-37.
- Gürboğa Ş, 2014, Structural analyses of Şaphane relay ramps and fault linkage evolution in active extensional regime, western Turkey, *Turkish Journal of Earth Science*, 23, 615-626.
- Herring T A, King R W, McClusky S C, 2009, GAMIT reference manual, Release 10.4. Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Mass.Inst. Of Technol.
- Herring T A, Floyd M A, King R W, McClusky S C, 2015, Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program 10.6. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology.
- Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, Wasle E, 2008, GNSS Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo & more, Springer Wien New York, 309-466.
- Işık V, Seyitoğlu G, Çemen İ, 2003, Ductile-brittle transition along the Alaşehir detachment fault and its structural relationship with the Simav detachment fault, Menderes massif, western Turkey, *Tectonophysics*, 374, 1 – 18.
- İnal C, Salgın Ö, 2008, Farklı GPS Yazılımları ile Değerlendirilen GPS Baz Uzunluklarının Bilinen Değerler İle Karşılaştırılması, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 , 2
- Kahveci M, Yıldız F, 2005, GPS Teori ve Uygulama, Nobel Yayın Dağıtım,215s, İstanbul.

- Kahveci M, 2010, GPS/GNSS Gözlemlerini Değerlendirme Yöntemlerinde Son Gelişmeler, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 102, 3-9.
- Kalafat D, Kara M, Öz G, Kekovalı K, Güneş Y, Özel N vd, 2002, 3 Şubat 2002 Sultandağı (Afyon) depremi raporu, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 51s.
- Kalafat D, Görgün E, 2017, An example of triggered earthquakes in western Turkey: 2000–2015 Afyon-Akşehir Graben earthquake sequences, Journal of Asian Earth Sciences, 146, 103-113.
- Kaplan D E, Hegarty C J, 2006, Understanding GPS Principles and Application. Artech House, 723 p, Boston.
- Kaplan M, 2014, Neotectonics and Seismicity of Eastern Simav Graben, Kütahya-Turkey, Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Thesis of of Master of Science, 121p, Ankara.
- Kayabalı K, 1995, Sismik Tehlike Analizi: Teori ve Uygulama. Jeoloji Mühendisliği, 46/J8-43, 28-43.
- Kılıç N C, 2016, Batı Anadolu’ da Depremsellik, Gerilme Dağılımı ve Sismik Tehlike Analizi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 333s, Isparta.
- Koçyiğit A, 1984, Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 27,1- 15.
- Koçyiğit A, Ünay E, Saraç G, 2000, Episodic graben formation and extensional neotectonic regime in west Central Anatolia and the Isparta Angle: a case study in the Akşehir-Afyon Graben, Turkey, Geological Society of London Special Publication, 173, 405-421.
- Koçyiğit A, Özacar A, 2003, Extensional neotectonic regime through the NE edge of outer Isparta Angle, SW Turkey: new field and seismic data, Turkish Journal of Earth Sciences, 12, 67–90.
- Koçyiğit A, Deveci Ş, 2005, Akşehir-Simav fay sistemi: güneybatı Türkiye’de neotektonik rejimin başlama yaşı ve depremsellik, Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, Kocaeli, 26.
- Koçyiğit A, Deveci Ş, 2007, A N-S-trending Active Extensional Structure, the Şuhut (Afyon) Graben: Commencement Age of the Extensional Neotectonic Period in

- the Isparta Angle, SW Turkey, Turkish Journal of EARTH SCIENCES, 16, 391-416.
- Kramer S L, 1996, Geoteknik Deprem Mühendisliği, Çev: Kayabalı K, Gazi Kitabevi, 708s, Ankara.
- Maraş S, 2010, Web Tabanlı Otomatik GPS Veri İşleme Sistemi Tasarımı, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 155s, Konya.
- Mualchin L, 2005, Seismic hazard analysis for critical infrastructures in California, Engineering Geology, 79, 177–184.
- Özden S, Kavak K Ş, Koçbulut F, Över S, Temiz H, 2003, 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) Depremleri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 45, 49-56.
- Özden S, Gündoğdu E, Karaca Ö, Can L, Fıratlıgil E, Akgün E, 2011, Simav Fayı, Emet Zonu ve Kütahya Fayıyla Sınırlandırılan Bölgenin Geç Senozoyik Yaşlı Gerilme Durumları, Orta-Batı Anadolu Active Tectonics Research Group (ATAG15),19-22 Ekim 2011, Adana.
- Özkaymak Ç, Sözbilir H, Tiryakioğlu İ, Baybura T, 2017, Bolvadin’de (Afyon-Akşehir Grabeni, Afyon) Gözlenen Yüzey Deformasyonlarının Jeolojik, Jeomorfolojik ve Jeodezik Analizi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 60, 169-188
- Özmen B, 2011, Ankara’nın Deprem Tehlikesinin Belirlenmesi, Ankara Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 240s, Ankara.
- Özmen H B, 2018, Eskişehir İli Sismik Tehlike Analizi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 98s, Eskişehir.
- Özmenek Ş G, 1996, Marmara Bölgesinin Deprem Risk Analizi (39.50°-41.50°K, 28.00°-32.00°K), Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 120s,Kocaeli.
- Öztürk M, 2019, Banaz Fayının Tektonik Hareketlerinin GNSS Yöntemiyle Belirlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 71s, Afyonkarahisar.
- Pınar N, Lahn E, 1952, Türkiye Depremleri İzahlı Kataloğu, Bayındırlık Bakanlığı, Yapı ve İmar İşleri Reisliği, No. 6, Ankara.
- Polat H E, 2015, Yedisu Fayı’nın (Kuzey Anadolu Fayı) Sismik Tehlike Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 77s, İstanbul.
- Poyraz F, 2009, Kuzey Anadolu Fay Zonu Doğu Kesiminde Yatay Yerkabuğu

- Hareketleri Ve Gerilme Birikiminin Araştırılması, Y.T.Ü. , Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 140s, İstanbul.
- Pratt A R, Owen J J R, 2004, Performance of GPS/Galileo Receivers Using m-PSK BOC Signals, Proceedings of the 2004 National Technical Meeting of The Institute of Navigation, 26 - 28 Ocak 2004, San Diego.
- Purcaru G, 1975, A New Magnitude- Frequency Relation for Earthquakes and a Classification of Relation Types, Geophysical Royal Journal Astronomical Society, 42, 61-79.
- Reiter L, 1990, Earthquake Hazard Analysis: Issues and Insights, Columbia University Press, 254p, New York.
- Richter C F, 1958, Elementary Seismology, Classic Book, 578p, San Francisco.
- Riznichenko, Y V, 1959, Methods for Large-Scale Determination of Focus Coordinates of Nearby Earthquakes and Velocities of Seismic Waves in the Focal Region, Society for the Scientific Study of Reading, 4.
- Satılmış S, 2016, 30 Eylül 1887 Banaz Depremi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi, 38, 79-96.
- Solak H İ, 2020, İzmir – Balıkesir Transfer Zonu ve Çevresindeki Güncel Deformasyonların GNSS Yöntemi ile İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 163s, Afyonkarahisar.
- Seeber G, 2003, Satellite Geodesy, Walter de Gruyter, 589p, Berlin.
- Seyitoğlu G, 1997, The Simav Graben: an example of young E–W trending structures in the late Cenozoic extensional system of Western Turkey Turk, J. Earth. Sci, 6, 135–141.
- Soysal H, Sipahioğlu S, Kolçak D, Altınok Y, 1981, Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (2100 B.C.–1900 A.D.). TÜBİTAK Rapor No: TBAG-341,86s.
- St Amand P, 1956, Two Proposed Measures of Seismicity, Bulletin of the Seismological Society of America, 46, 41-45.
- Şaroğlu F, Boray A, Emre Ö, 1987, Türkiye’ nin aktif fayları, Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Rapor No: 8643, 394s.
- Şafak Ş, 2019, GNSS Hız Doğruluklarına Etki Eden Parametrelerin Belirlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99s, Afyonkarahisar.

- Tabban A, Gencoğlu S, 1975, Deprem ve Parametreleri, Deprem Araştırma Bülteni, 11, 7-83.
- Tan O, Tapırdamaz M C, Yörük A, 2008, The earthquakes catalogues for Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 17, 405–418.
- Tapırdamaz M C, Tarancıoğlu A, Özalaybey S, Ergin M, Selvi O, Yörük A vd, 2002, Sultandağı (Afyon) depremi (03 Şubat 2002, Mw =6.2) artçı deprem çalışması, Aktif Tektonik Araştırma Grubu 6. Toplantısı (ATAG-6), 21-22 Kasım 2002, Ankara, 34 - 41.
- Taymaz T, Tan O, 2001, Source parameters of June 6, 2000 OrtaÇankırı (Mw=6.0) and December 15, 2000 Sultandağı-Akşehir (Mw=6.0) earthquakes obtained from inversion of teleseismic Pand SH- body-waveforms, Scientific Activities 2001 Symposia Book, Istanbul Technical University, Faculty of Mines, May 8, 2001, İstanbul, Turkey, 96–107.
- Taymaz T. Tan O, Özalaybey S, Karabalulut H, 2002, Source characteristics of February 3, 2001 Çay-Sultandağ Earthquake (Mw = 6.5) sequence in SW Turkey: a synthesis of seismological observations of body-waveforms, strong motions, and aftershock seismicity survey data, 1st International Symposium of Istanbul Technical University, the Faculty of Mines on Earth Sciences and Engineering, 16-18 May 2002, Istanbul, 60.
- Tiryakioğlu İ, 2012, GNSS Ölçüleri İle Güneybatı Anadolu' daki Blok Hareketleri ve Gerilim Alanlarının Belirlenmesi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 110s, 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.
- Tiryakioğlu İ, Özkaymak Ç, Baybura T, Yılmaz M, Dindar A A, 2019, Akşehir Simav Fay Sisteminin Güncel Tektonik Hareketlerinin İzlenmesi, TÜBİTAK Proje No: 115Y246,130s.
- Ullman W, Maaz R, 1966, A New Method for Computation of Seismicity, Pure and Applied Geophysics, 63, 15-22.
- Ulusay R, Aydan Ö, Erken A, Tuncay E, Kumsar H, Kaya Z, 2004, An overview of geotechnical aspects of the Cay-Eber (Turkey) earthquake, Engineering Geology

73, 51–70.

- Wells D L, Coppersmith K J, 1994, New empirical relationship among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, ve surface displacement, Bulletin of the Seismological Society of America, 84, 974–1002.
- Xu G, 2007, GPS Theory, Algorithms and Applications, Springer, 340p, Berlin.
- Yalçın B, 2007, Yerel Bir Ağda GPS Ölçü Süresinin Nokta Konum Doğruluğuna Etkisinin Araştırılması, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 153s, Konya.
- Yalçınkaya E, 2013, Deprem İstatistiği (Depremsellik ve Parametreleri), İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Ders Notları, İstanbul.
- Yavaşoğlu H, 2009, Kuzey Anadolu Fayının Orta Anadolu Bölümündeki Güncel Tektonik Aktivitenin Jeodezik Yöntemler Ve Elastik Yarı Uzay Modelleme İle Belirlenmesi, İ.T.Ü. , Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 205s, İstanbul.
- Yıldırım B, 2016, Marmaris, Yeşilova ve Gökova Depremleri Işığında Güneydoğu Ege Denizi' nin Neotektonik İncelemesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 71s, İzmir.
- Yıldız F, Kahveci M, 2009, GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri, Nobel Yayınları, 222s, Ankara.
- Yürür T, Köse O, Demirbağ H, Özkaymak Ç, Selçuk L, 2003, Could the coseismic fractures of a lake ice reflect the earthquake mechanism? (Afyon earthquakes of 2 March 2002, Central Anatolia, Turkey), Geodynamica Acta 16, 83-87
- Zorlu N, 2010, Küresel Uydu Yönbulum Sistemlerine (GNSS) Genel Bir Bakış, Avrupa'nın Galileo Yönbulum Sistemi, Türkiye İçin Çıkarımlar, Hava Harp Okulu Komutanlığı, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 131s, İstanbul.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://tr.wikipedia.org/wiki/GPS>, 15.04.2020
- 2- <https://tr.wikipedia.org/wiki/GLONASS>, 15.04.2020
- 3- https://tr.wikipedia.org/wiki/Galileo_konumland%C4%B1rma_sistemi, 15.04.2020
- 4- <http://geoweb.mit.edu/gg/>, 19.04.2020
- 5- <https://images.app.goo.gl/Eynvd8Fmhk7syCdY7>, 28.04.2020

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Burak Erdem AKYAR
Doğum Yeri ve Tarihi : Uşak 29.05.1995
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon / e-posta) : 5383868794 / berdemakyar@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Orhan Deniz Anadolu Lisesi (2009 – 2013)
Lisans : Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği
Bölümü(2013-2017)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı (2018-2020)