

**BOLVADİN FAYI YÜZEY
DEFORMASYONLARININ HASSAS
NİVELMAN ÖLÇÜLERİ İLE İZLENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Mustafa YALÇIN

Danışman

Doç. Dr. Mustafa YILMAZ

İkinci Danışman

Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2019

Bu tez çalışması, TÜBİTAK'ın 115Y246 numaralı projesi ve AKÜ BAPK tarafından 16.FEN.BİL.42 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BOLVADİN FAYI YÜZEY DEFORMASYONLARININ HASSAS
NİVELMAN ÖLÇÜLERİ İLE İZLENMESİ

Mustafa YALÇIN

Danışman

Doç. Dr. Mustafa YILMAZ

İkinci Danışman

Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Mustafa YALÇIN tarafından hazırlanan “Bolvadin Fayı Yüzey Deformasyonlarının Hassas Nivelman Ölçüleri ile İzlenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 18/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç.Dr. Mustafa YILMAZ

İkinci Danışman : Doç.Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Başkan : Doç.Dr. Burak AKPINAR

Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi

Üye : Doç.Dr. Mustafa YILMAZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç.Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç.Dr. Tamer BAYBURA

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç.Dr. Çağlar ÖZKAYMAK

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

İmza

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.


İmza

18/06/2019

Mustafa YALÇIN

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**BOLVADİN FAYI YÜZEY DEFORMASYONLARININ HASSAS NİVELMAN
ÖLÇÜLERİ İLE İZLENMESİ**

Mustafa YALÇIN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa YILMAZ

İkinci Danışman: Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Tektonik hareketlerinin incelenmesi sayesinde bugün, büyük depremlerin kaynak fayları nerelerde olacağı tahmin edilebilmektedir. Faylar üzerinde meydana gelen yanal ve düşey yer değiştirme miktarlarını ölçümler yaparak fayın kayma hızını ve fay zonunu oluşturan her bir fay segmenti üzerinde meydana gelen büyük depremlerin tekrarlanma aralıklarını belirlemek deprem tehlike analizleri için önemlidir.

Son yıllarda, Afyon-Akşehir Grabeninin ortasında yer alan Bolvadin şehir merkezinin güney kısmı ile kuzey doğu bölümü arasında kalan alan içerisinde, Bolvadin Fayına paralel/yarı paralel gidişli önceden gözlemlenmeyen yüzey deformasyonları meydana gelmiş ve meydana gelmeye devam etmektedir. Bolvadin merkezinde büyük bir kısmı yerleşim alanlarından çizgisel bir hat boyunca geçen yüzey deformasyonları nedeniyle, bahçe duvarlarında kırılmalar, binalarda çatlaklar, yollarda çökmeler, yer altı kanalizasyon ve su hatlarında kırılmalar meydana geldiği gözlenmiştir. Çizgisel gidişli yarı ve çatlaklar şeklinde gözlenen yüzey deformasyonları boyunca güneydoğuda kalan bloğun düştüğü gözlemlenmiştir. 2014 yılında kurulan ve bu bölge içinde kalan bir sabit GNSS noktası incelendiğine diğer alanlara göre bölge içinde kalan istasyon noktasının yaklaşık 20 cm lik düşey hareketi izlenmiştir.

Bu tez çalışmasında Bolvadin civarında meydana gelen güncel yüzey deformasyonlarının nedeninin ve miktarının tespit edilmesi için Bolvadin çevresine 3 ayrı bölgede toplam 2 km'lik bir hatta bulunan elektrik direklerine pirinçten çubuklar monte edilerek 2016 ve 2017 yılları Ağustos aylarında toplam 2 kampanya ölçümleri

yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre deformasyon zonu boyunca, 5 ile 65 mm/yıl arasında düşey deformasyon hızı hesaplanmıştır.

2019, xi + 54 sayfa

Anahtar Kelimeler: Bolvadin Fayı, Yüzey Deformasyonları, Afyon-Akşehir Grabeni, Hassas Nivelman



ABSTRACT
M.Sc. Thesis

**THE MONITORING OF BOLVADIN FAULT CRUST DEFORMATION WITH
PRECISE LEVELLING**

Mustafa YALÇIN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Mustafa YILMAZ

Co-Supervisor: Assoc. Prof. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Today, source faults of the major earthquakes are estimated thanks to the studies of active tectonics and earthquake geology. It is important to determine the slip rate by measuring the lateral and vertical displacements across the faults and estimate the recurrence intervals of the large earthquakes occurring on each fault segment forming the fault zone for earthquake hazard analysis.

In recent, it was observed that active surface deformations occurred parallel to Bolvadin fault in the area between the southern part of the Bolvadin center and the northeast section in the center of Afyon-Akşehir Graben. Breaks in the garden walls, underground sewerage, and water lines, cracks in buildings, crashes in roads happened due to the surface deformations along a line from the large part of settlement areas in the center of Bolvadin. It was seen that the block remaining in the southeast fell along the surface deformations in the form of splits and cracks in the line. When a fixed GNSS point in this region, which was set in 2014 was examined, approximately 20 cm vertical movement was monitored compared to the other areas.

In this thesis, in order to determine the cause and the amount of the current surface deformations in the vicinity of Bolvadin, brass rods were mounted on electric poles located on a 2 km line in 3 different regions around Bolvadin and 2 campaign measurements were made in August 2016 and 2017. According to the findings, vertical

deformation rate between 5 and 65 mm / year was calculated along the deformation zone.

2019, xi +54 pages

Keywords: Bolvadin Fault, Crust Deformation, Afyon-Akşehir Graben, Precise Levelling



TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında bilgi ve birikimlerini aktaran Danışmanım sayın Doç. Dr. Mustafa YILMAZ'a gerek arazi çalışmaları gerekse tez yazım aşamasında her türlü kolaylığı sağlayan, yardımını esirgemeyen, yol gösteren ikinci danışmanım sayın Doç. Dr. İbrahim Tiryakioğlu'na, arazi çalışmalarında bana yardımcı olan Afyon Kocatepe Üniversitesi Harita Mühendisliği öğrencilerine teşekkürlerimi bir borç bilirim. Bu çalışmayı 115Y246 nolu proje numarası ile destekleyen TUBİTAK'a ve 16.FEN.BİL.42 numaralı projesi ile destekleyen AKÜ BAPK'na teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olan maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aile büyüklerime, tez yazım süresince bana her zaman inanan yanımda olması bana güç veren sevgili eşim Tuğçe'ye ve tez yazım aşamasında dünyaya gelen biricik kızım Ayşe Sare'ye teşekkür ederim.

Mustafa YALÇIN

AFYONKARAHİSAR, 2019

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.TÜRKİYE'NİN TEKTONİĞİ.....	3
2.1 Fay Çeşitleri.....	5
2.2 Afyon Akşehir Grabeni.....	8
2.3 Bölgenin Depremselliği.....	10
2.4 Bolvadin Fayı.....	13
3.MATERYAL VE METOT.....	15
3.1.Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS).....	15
3.1.1 GPS ile Yüksekliklerin Belirlenmesi.....	16
3.2 Trigonometrik Nivelman.....	18
3.3 Barometrik Nivelman.....	19
3.4 Geometrik Nivelman.....	19
3.5 Hassas (Prezisyonlu) Nivelman.....	20
3.5.1 Hassas Nivelmanda Alet Donanımı.....	21
3.5.1.1 Sayısal Nivolar ve Yapıları.....	22
3.5.1.2 Sayısal Miralar ve Yapıları.....	24
3.6 Nivelmanda Hata Kaynakları.....	25
3.6.1 Alet ve donanımdan kaynaklanan hatalar.....	25
3.6.2 Dış Ortamdan Kaynaklanan Hatalar ve Diğer Hatalar.....	26
3.7 Nivelman Ağlarının Dengelenmesi.....	26
3.7.1 Serbest Ağ Dengelemesi.....	27
4.UYGULAMA	29
4.1 Çalışma Bölgesinin Tanıtılması.....	29

4.2 Yüzey Deformasyonlarının Haritalanması.....	31
4.3 Nivelman Ağının Kurulması.....	32
4.4 Nivelman Ölçüleri.....	34
5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	45
6.KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ.....	54



KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

ASFS	Akşehir-Simav Fay Sistemi
AAG	Afyon-Akşehir Grabeni
BAGB	Batı Anadolu Genişleme Bölgesi
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning Systems
DAF	Doğu Anadolu Fayı
ÇFZ	Çobanlar Fay Zonu
ISFZ	Işıklar Fay Zonu
MTA	Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Türkiye'nin genel tektonik durumu (Bozkurt 2001).....	4
Şekil 2.2 Türkiye ve çevresinde bulunan levhaların hareket hızı ve yönleri (Mc Clusky <i>et al.</i> 2000).....	5
Şekil 2.3 Esnek bir yer bloğunun tektonik kuvvetler altında kırılması aşamaları (Press ve Siever 1999)	6
Şekil 2.4 Fayların çeşitleri (Press ve Siever 1999)	7
Şekil 2.5 Horst ve graben örnekleri (Press ve Siever 1999)	8
Şekil 2.6 AAG ve çevresinin jeoloji haritası (Özkaymak vd. 2017).....	9
Şekil 2.7 AAG ve çevresinin sismotektonik haritası (Özkaymak vd. 2017).....	10
Şekil 2.8. Sultandağı Fayında son yüz yılda gerçekleşen depremleri gösteren harita (Özkaymak vd. 2017).....	11
Şekil 2.9 Bolvadin ve çevresinin diri fay haritası (Özkaymak vd. 2017).....	12
Şekil 2.10 Bolvadin ve yakın civarının yenilenmiş diri fay haritası (İnt.Kyn.1).....	13
Şekil.2.11 Bolvadin Fayı ve yüzey deformasyonları.....	14
Şekil 3.1 GPS Elipsoidi; WGS-84.....	17
Şekil 3.2 Ortometrik yükseklik, elipsoid yükseklik ve jeoid yüksekliği arasındaki ilişki.....	18
Şekil 3.3 Trigonometrik nivelman.....	19
Şekil 3.4 Geometrik nivelman.....	20
Şekil 3.5 Hassas (prezisyonlu) nivelman.....	21
Şekil 3.6 Sayısal nivo.....	23
Şekil 3.7 İnvar miralar.....	25
Şekil 3.8 Örnek nivelman ağı (Bayrak 2011).....	27
Şekil 4.1 Çalışma bölgesinde kurulan nivelman ağı.....	30
Şekil 4.2 Şehrin güneybatı kısmında gözlenen yüzey deformasyonları. c-e-f) Kırkgöz Mahallesi'nde gözlenen yüzey kırıkları a-b-d) Akcan parkında gözlenen yüzey kırıkları.....	31
Şekil 4.3 Haritalanan yüzey deformasyonları (Tiryakioğlu <i>et al.</i> 2016).....	32
Şekil 4.4 RS lerin tesis edildiği elektrik direkleri.....	33
Şekil 4.5 Nivelman RS leri.....	33

Şekil 4.6	Nivelman ölçü güzergahları (Kırmızı hatlar: yüzey deformasyonları; Yeşil hatlar: nivelman güzergâhları; Sarı ve Mavi hatlar: bağlantı nivelmanı).....	34
Şekil 4.7	Örnek nivelman klişesi.....	35
Şekil 4.8	7.Güzergah mavi yeşil nivelman tesisleri.....	36
Şekil 4.9	1.Güzergah mavi yeşil nivelman tesisleri.....	36
Şekil 4.10	Bolvadin düşey deformasyon izleme nivelman ağı ana noktaları	37
Şekil 4.11	1-3 Güzergahı (mm).....	42
Şekil 4.12	2-3 Güzergahı (mm).....	42
Şekil 4.13	2-5 Güzergahı (mm).....	43
Şekil 4.14	Deformasyon haritası (mm). Siyah kalın çizgiler yüzey deformasyonlarını, kırmızı daireler deformasyon noktalarını göstermektedir.....	43

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 Ana Nivelman ağı noktaları değişim miktarları ve anlamlılık durumları.....	8
Çizelge 4.2 101-107 noktalarının değişimleri [1-3 güzergahı boyunca]..	39
Çizelge 4.3 201-207 noktalarının değişimleri [2-3 güzergahı boyunca].....	39
Çizelge 4.4 301-305 noktalarının değişimleri [3-4 güzergahı boyunca].....	39
Çizelge 4.5 401-414 noktalarının değişimleri [2-5 güzergahı boyunca].....	40
Çizelge 4.6 501-515 noktalarının değişimleri [6-7 güzergahı boyunca].....	40
Çizelge 4.7 601-605 noktalarının değişimleri [8-9 güzergahı boyunca].....	41
Çizelge 4.8 701-703 noktalarının değişimleri [10-11 güzergahı boyunca].....	41
Çizelge 4.9 801-804 noktalarının değişimleri [12-13 güzergahı boyunca].....	41
Çizelge 4.10 901-904 noktalarının değişimleri [14-15 güzergahı boyunca].....	41
Çizelge 4.11 Nivelman ağı ve noktaları.....	42

1.GİRİŞ

Depremler rastgele olaylar olmayıp yerküreyi şekillendiren tektonik hareketler ile yakından ilişkilidir. Tarih boyunca insanların depremlerden büyük zarar görmüş olmaları, Türkiye’de son 100 yılda meydana gelen depremlerde yaklaşık 100.000 kişinin hayatını kaybetmesi, maddi zararların bütün yapılarda oluşan hasar ile işletmelerin kayıplarında göz önüne alındığında milli gelirin % 3-4’ü kadar olması (DPT 2017) gerek Türkiye’de, gerekse dünyada depreme dayalı çalışmaların gereğini ve önemini göstermektedir.

Levha hareketleri nedeniyle Litosferde deformasyonlar oluşmaktadır. Bu deformasyon ile birlikte levha birbirine göre hareket etmekte, hatta bu hareketin miktarı yıllık 100 mm’ye kadar çıkabilmektedir (Herring 1999). Yıllarca süren araştırmalar sonucunda bir nokta üzerinde deformasyon oluşuyorsa, bu alanlarda gerilim olduğunun ve bölgenin tektonik anlamda aktif olduğunun habercisi anlamına gelmektedir. Bu şekilde meydana gelen deformasyon birikimleri genellikle depremlerle sonuçlanmaktadır. Jeolojik gözlemler sonucunda depremlerin önceden tahmin edilebilmeleri tüm çalışmaların genel hedefini oluşturmaktadır (Erdoğan 2006).

Akşehir- Simav Fay Sistemi (ASFS), Batı Anadolu’nun önemli fay sistemleri içinde yer almaktadır. Sistemin güneydoğu bölümünü Afyon-Akşehir Grabeni (AAG) oluşturur. Bu sistem aynı zamanda Isparta Açısı’nın doğu kanadını oluşturmaktadır (Blumenthal 1963, Koçyiğit 1984, Koçyiğit ve Özacar 2003). AAG, Batı Anadolu Genişleme Bölgesi (BAGB)’nin en önemli sismojenik kuşaklardan birisidir. Bununla birlikte AAG içerisinde meydana gelen 03 Şubat 2002 Çay Depremleri, ASFS’nin aktivitesine işaret eden en son kanıtları teşkil eder.

Batı Anadolu Genişleme Bölgesinde, yıkıcı deprem olmaksızın meydana gelen yüzey deformasyonlarının en iyi örneklerinden biri, Afyon-Akşehir Grabeni içerisinde yer alan Bolvadin yerleşim alanı içerisinde yer almaktadır. Bu alanda, kent merkezini KD-GB doğrultulu uzunlukları 300 metre ile 2000 m arasında değişen yüzey deformasyonları olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte yerleşim alanı içerisinde yüzey deformasyonlarının en kuzeyde olanı Bolvadin Fayı’nın güneybatıdaki devamı niteliğindedir. (Özkaymak vd. 2017) yaptıkları jeolojik ve jeomorfolojik analizlerde yüzey faylanmalarında, güneydoğuda yer alan bloğun 10-40 cm arasında düştüğüne işaret etmişlerdir.

Bu alışma ile Bolvadin civarında meydana gelen yüzey deformasyonlarının nedeninin ve miktarının tespit edilmesi için nivelman ağı kurulmuştur. Kurulan nivelman ağı içerisinde 2016-2017 yıllarında hassas nivelman ölçüleri gerçekleştirilmiş, meydana gelen deformasyonlar doğru ve yüksek duyarlı bir şekilde belirlenmiştir.

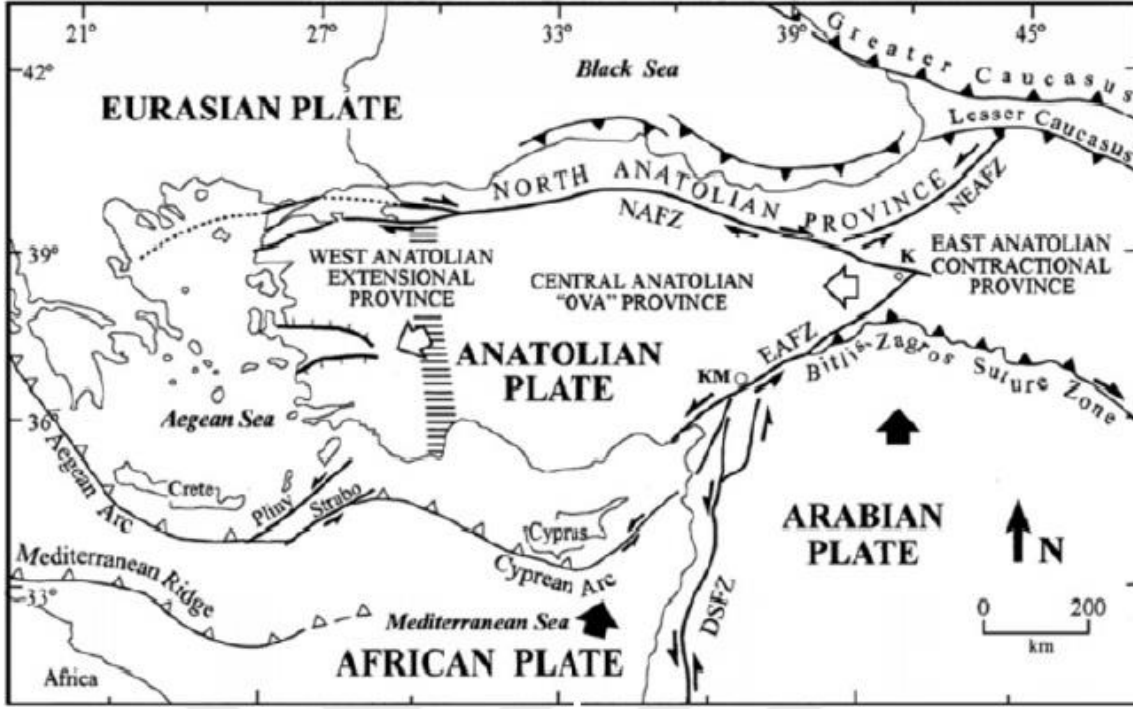


2. TÜRKİYENİN TEKTONİĞİ

Türkiye, tektonik yapı bakımından topraklarının % 98'i deprem riski altında bulunan bir ülkedir. Bu durum, Türkiye'nin üzerinde bulunduğu bölgenin tektonik yapısıyla ve bu tektonik yapı içerisindeki coğrafi konumundan kaynaklanmaktadır. Türkiye, Alp-Himalaya orojenik sisteminin Akdeniz kısmında yer alır ve bu sistem Akdeniz'den batı-doğu yönünde Asya'ya doğru hareket etmektedir. Bu Anadolu plakasının kuzeyi Avrasya Plakası, güneyi Afrika ve Arap plakaları, doğusu Doğu Anadolu Bloğu ve batısı Ege Bloğu ile çevrilidir. Yeryüzünün en büyük plakası Avrasya Plakası olup, Afrika ile Arabistan plakalarına göre daha yavaş hareket etmektedir. Jeodezik araştırmalar göstermiştir ki, Avrasya yılda 5 mm, Arabistan 18 mm ve Afrika plakası 6 mm hızla kuzeye doğru hareket etmektedir. Bahsi geçen plakalar arasında yer alan Anadolu Plakasının sıkışması sonucunda Anadolu Plakası yılda ortalama 23 mm hızla batıya doğru hareket etmektedir (Şekil 2.1) (Öztürk 2009).

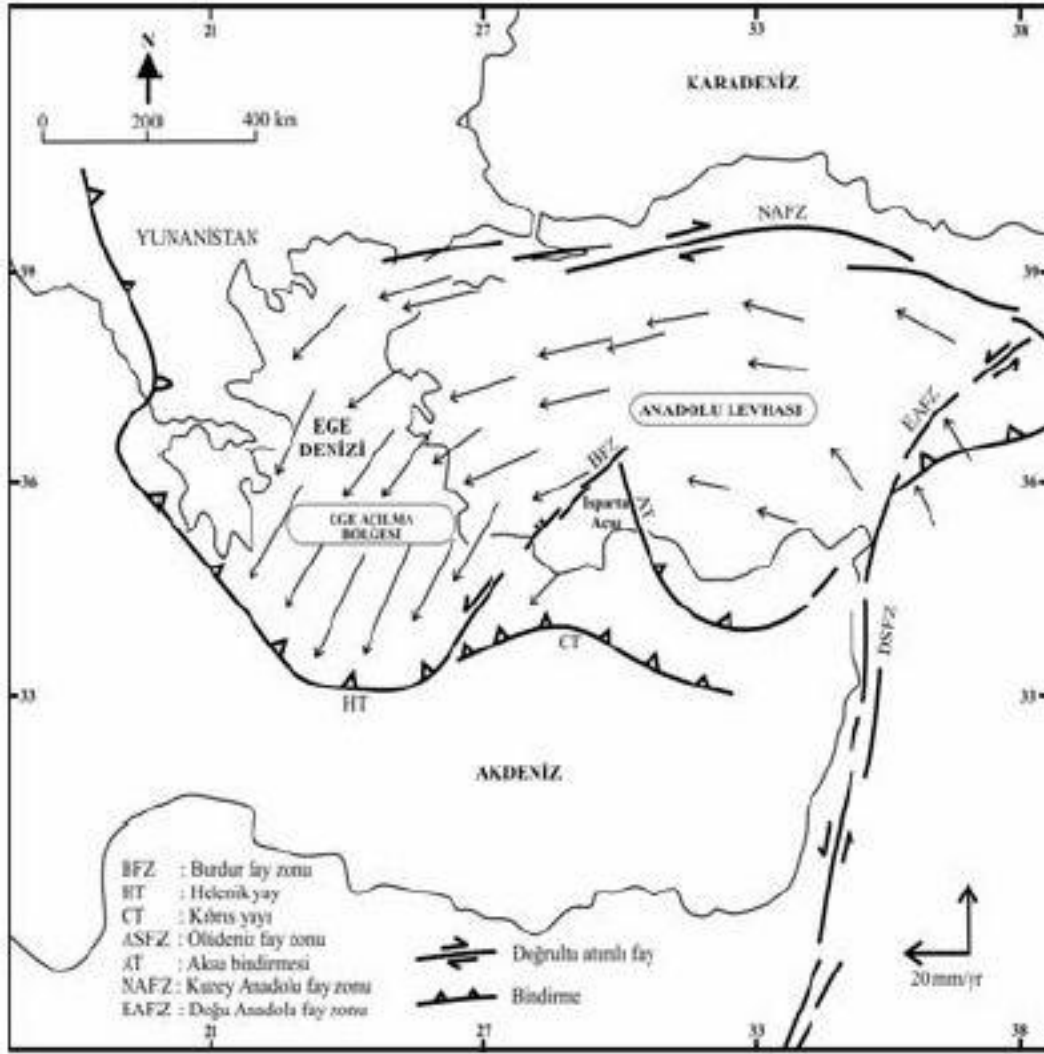
Türkiye'nin yeni tektonik dönemi kontrol eden en önemli yapı öğeleri Helenik yayı (Ege yayı), Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Doğu Anadolu Fayı (DAF) ve Ege Graben Sistemi'dir (Toksöz 1975, Le Pichon *et al.* 1973).

Anadolu bloğu bu faylar boyunca batıya doğru hareket etmeye başlamıştır. Arap levhasının kuzeye doğru olan hareketi durmamış ve jeolojik dönem boyunca da devam etmiştir. Bu hareket Kuzey ve Doğu Anadolu fayları ile tolere edilmeye çalışılmıştır. Ancak bu hareketin tümü karşılanmamaya başlayınca Anadolu bloğu içsel deformasyona uğrayarak birbiriyle bileşik fay sistemi oluşturan faylar meydana gelmeye başlamış ve bu faylar boyunca küçük bloklar oluşmuştur. Anadolu bloğunun batıya doğru hareketinde zorlanması, Anadolu bloğunun bu kesiminde K-G yönlü genişlemesine, dolayısı ile D-B doğrultulu Ege Graben Sisteminin gelişmesine sebep olmuştur (Demirtaş ve Yılmaz 1996). Anadolu bloğu Yunan makaslama zonunun engellemesi sonucu daha fazla batıya doğru hareket edememiş ve yön değiştirerek GB ya doğru yıllık 25-35 mm hızla Akdeniz okyanussal kabuğu üzerine hareket etmeye başlamıştır (Mc Clusky *et al.* 2000).



Şekil 2.1 Türkiye'nin genel tektonik durumu (Bozkurt 2001).

Jeodezideki klasik ölçme yöntemlerinin 1980'li yıllardan itibaren teknolojik gelişmelere bağlı olarak milimetrik düzeyde ölçüm yapılabilir duruma gelen GPS tekniği, küresel ölçekte yerbilimlerinde çok geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Farklı disiplinlerin geliştirdiği birçok teknolojik gelişim, depremlerin önceden belirlenebilmesine yönelik yapılan çalışmalarda bir arada kullanılmıştır. Hassas jeodezik ölçme yöntemleri bu tip çalışmalarda her zaman önemli bir yer tutmaktadırlar. Jeodezi biliminin kullandığı GPS tekniği yöntemi, bu yöntemlerden en önemlisidir. GPS teknolojisinin kullanımıyla tektonik hareketlerin belirlenmesinde; yüksek doğruluk, hızlı çözüm ve birçok geleneksel uygulamaya göre daha ucuza yapılmaktadır. Tüm bu özelliklerinden dolayı GPS ölçme tekniği, sadece haritacılık ve mühendislik uygulamalarına değil, aynı zamanda kabuksal hareketlerin jeodinamiğini ve kinematığını anlamaya yönelik çalışmalara da önemli katkılar sağlamaktadır (Şekil 2.2) (Poyraz 2009).



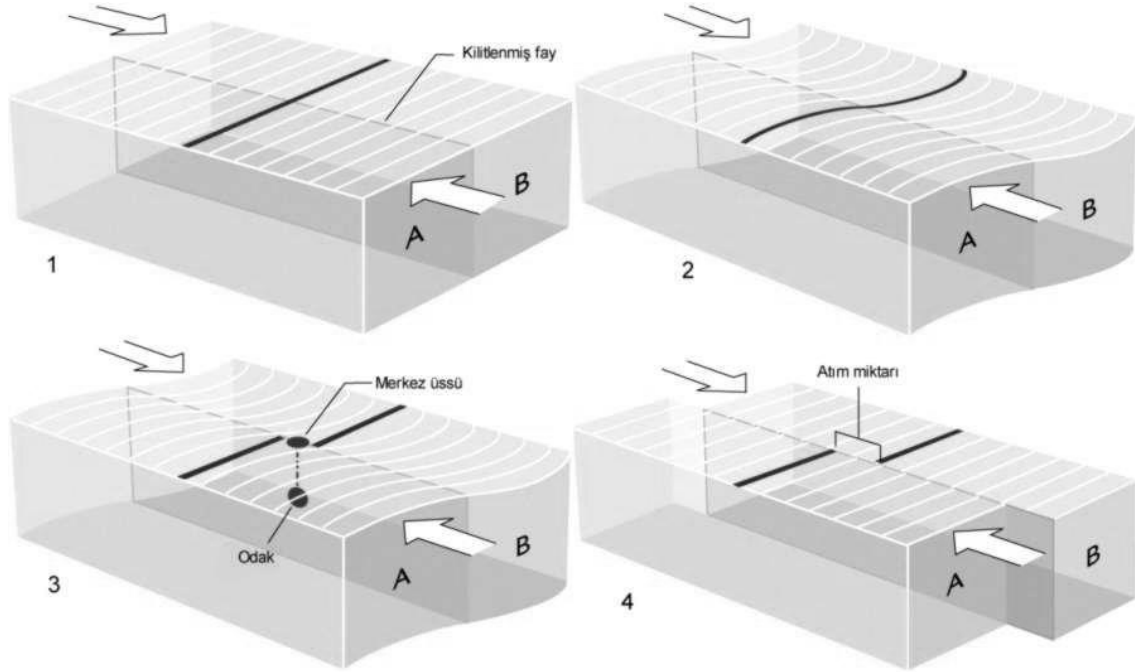
Şekil 2.2 Türkiye ve çevresinde bulunan levhaların hareket hızı ve yönleri (Mc Clusky *et al.* 2000).

2.1 Fay Çeşitleri

Yeryuvarında meydana gelen yıkıcı yer sarsıntılarının tamamına yakını fay yapıları ile ilişkilidir. Bu nedenle depremlerin anlaşılabilmesi açısından fayların anlaşılması önemlidir. Fayların uzunlukları birkaç km'den birkaç bin km'ye ulaşabilmektedir. Bu fayların atım miktarları ise birkaç cm'den yüzlerce km olabilmektedir.

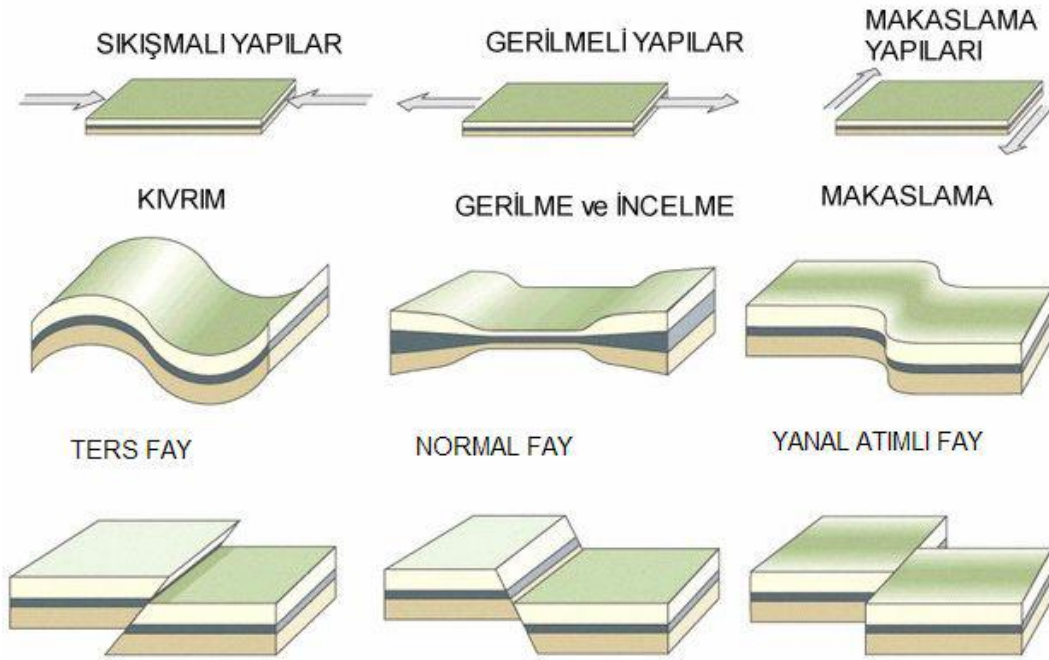
Fayların uzunluğu depremin büyüklüğü ile doğrudan orantılıdır. Büyük depremlerde yeryüzünde gözlenen fayın uzunluğu yüzlerce kilometreye kadar ulaşabilmektedir. Örneğin 1939 Erzincan depreminde gerçekleşen fayın boyu 360 km olup üzerindeki en

büyük yer değiştirme ise 750 cm'dir. Faylar segmentler (birbirinin devamı şeklindeki fay parçaları) şeklinde olabilirler (şekil 2.3) (Tüysüz 1999).



şekil 2.3 Esnek bir yer bloğunun tektonik kuvvetler altında kırılması aşamaları (Press ve Siever 1999).

Faylar, blokların hareket yönü ile fay düzlemi arasındaki ilişkiye göre; eğim atımlı, verrev (oblik) ve doğrultu atımlı faylar olarak sınıflanırlar. Bunlar sıkışma, gerilme ya da makaslama kuvvetlerinin etkisi ile meydana gelip, kendilerini oluşturan kuvvete bağlı olarak farklı şekiller alırlar (şekil 2.4) (Tüysüz 1999).



Şekil 2.4 Fay çeşitleri (Press ve Siever 1999).

Blokların fay düzlemi boyunca birbirinden uzaklaşma miktarına atım ya da ötelenme denir. Bir fay düzleminin iki tarafında bulunan ve fay aracılığıyla birbirine göre ötelenen kayalar fay bloklarını oluştururlar. Fay düzlemi düşey ise bu bloklar hareket ettikleri yöne bağlı olarak alçalan veya yükselen blok olarak adlandırılırlar. Eğer fay düzlemi eğimli ise fay düzleminin eğimi yönündeki bloğa tavan bloğu, tersi yönündeki bloğa da taban bloğu denir. Faylar, fay bloklarının fay düzlemine göre hareket ettikleri yöne göre isimlendirilirler (Tüysüz 1999).

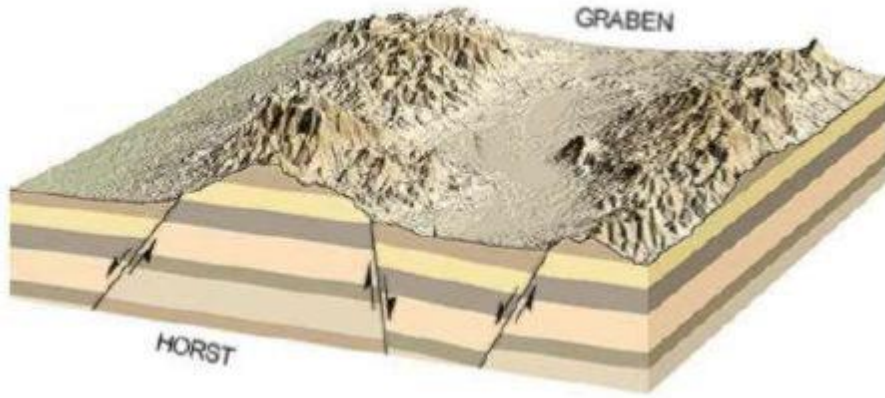
Eğim atımlı faylar blokların fay düzleminin eğimi yönüne doğru (doğrultusuna dik olarak) hareket ettiği faylara denir. Tavan bloğu taban bloğuna göre aşağı düşmüşse eğim atımlı normal fay, tavan bloğu taban bloğuna göre yukarı çıkmışsa eğim atımlı ters fay olarak isimlendirilir. Faylar gerilmeli tektonik düzen altında gelişir ve bölgenin genişlemesine neden olurlar. Ters faylar ise sıkışmalı tektonik rejim altında gelişir ve bölgenin kışalmasına sebep olurlar (Tüysüz 1999).

Doğrultu (yanal) atımlı fayların blokların fay düzleminin istikameti boyunca hareket ettiği faylara denir. Bloklardan birinden karşı bloğa doğru bakıldığında karşı blok sağa doğru hareket etmişse sağ yanal, sola doğru hareket etmişse sol yanal atımlı faydan olarak adlandırılır. Bu faylar makaslama kuvvetleri etkisinde oluşurlar (Tüysüz 1999).

Örneğin Kuzey Anadolu Fayı (KAF) sağ, Doğu Anadolu Fayı (DAF) sol yanal atımlı bir faydır (Ambraseys 1970, Le Pichon *et al.* 1973).

Oblik (verev) faylar blokların doğrultu ve eğim yönüne doğru hareket ettiği faylara denir. Bunlar eğer tavan bloğu alçalmışsa oblik normal fay, eğer tavan bloğu yükselmiş ise ters fay olarak isimlendirilir (Tüysüz 1999).

Yatay veya yataya yakın eğimdeki ters faylara ise nap adı verilir. İç Anadolu Bölgesinde, Karadeniz Bölgesinde, Toroslar'da çeşitli nap örnekleri bulunmaktadır. Bir bölgede normal faylar art arda geliştikleri zaman horst-graben yapısının gelişimine yol açarlar (Şekil 2.5). Horstlar yükselen, grabenler ise alçalan fay bloklarına karşılık gelirler. Horstlar dağlık ve yüksek bölgeleri, grabenler ise alçak ve düzlük bölgelerden meydana gelirler. Ege bölgesinde bu tür horst-grabenlere sıklıkla rastlanılmaktadır.

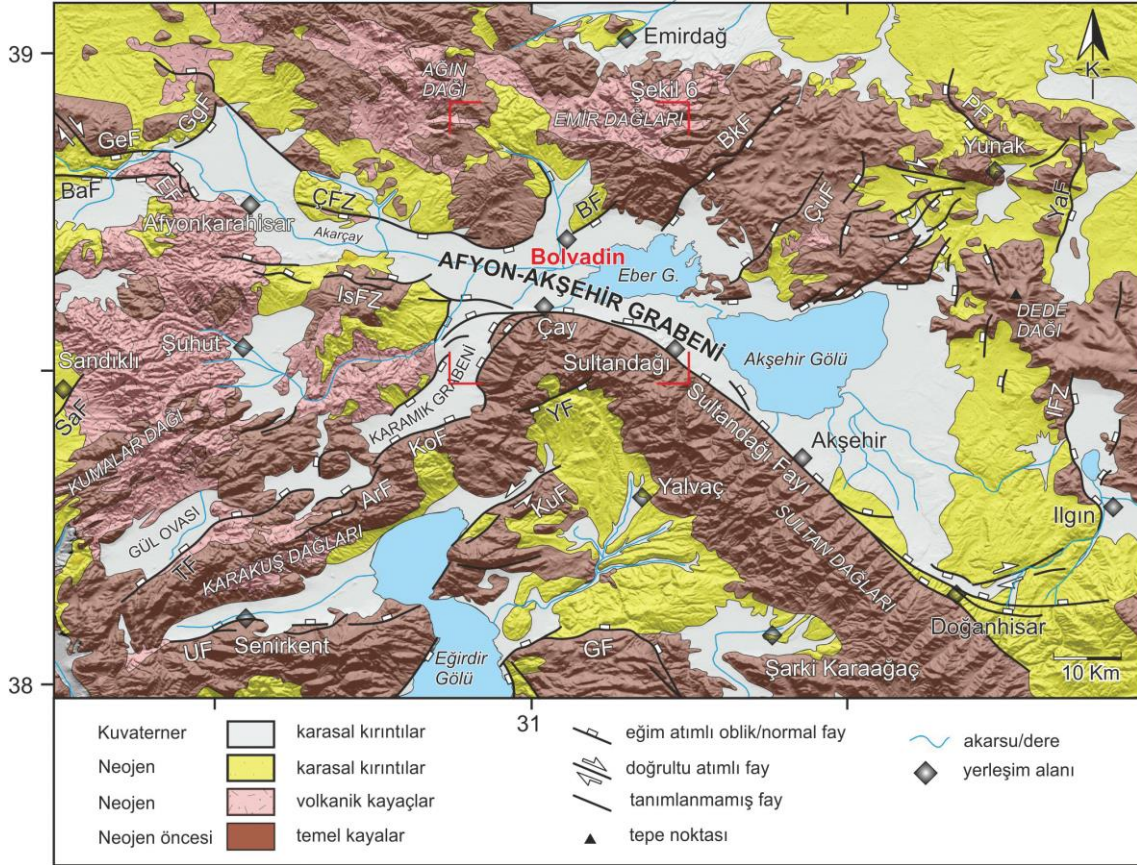


Şekil 2.5 Horst ve graben örnekleri (Press ve Siever 1999).

2.2 Afyon-Akşehir Grabeni

Afyon-Akşehir grabeni (AAG), 5-20 km genişliğinde, yaklaşık 135 km uzunluğunda olan, KB-GD uzanımlı, aktif olarak büyüyen bir alanıdır (Koçyiğit 1984, Koçyiğit *et al.* 2000, Koçyiğit ve Özacar, 2003). Grabenin kenar fayları, 2011 yılında güncellenmiş olan Türkiye Diri Fay Haritasında diri fay kapsamında değerlendirilmiştir (Emre *et al.* 2011). AAG içinde Afyon'un doğusunda 30 km uzunluğunda Çobanlar Fay Zonu (ÇFZ) bulunmaktadır. Bu fay batıda Akçın köyünün doğusundan, Çobanlar Hamidiye'yi takip ederek Bolvadin'in batısında uzanarak kuzey batı güney doğu doğrultusu boyunca gözlemlenir. Fay zonunda iyi korunmuş fay düzlemleri incelendiğinde, ÇFZ'nin eğim atımlı normal fay olduğu görülmektedir (Özkaymak vd. 2017). AAG'nin güney

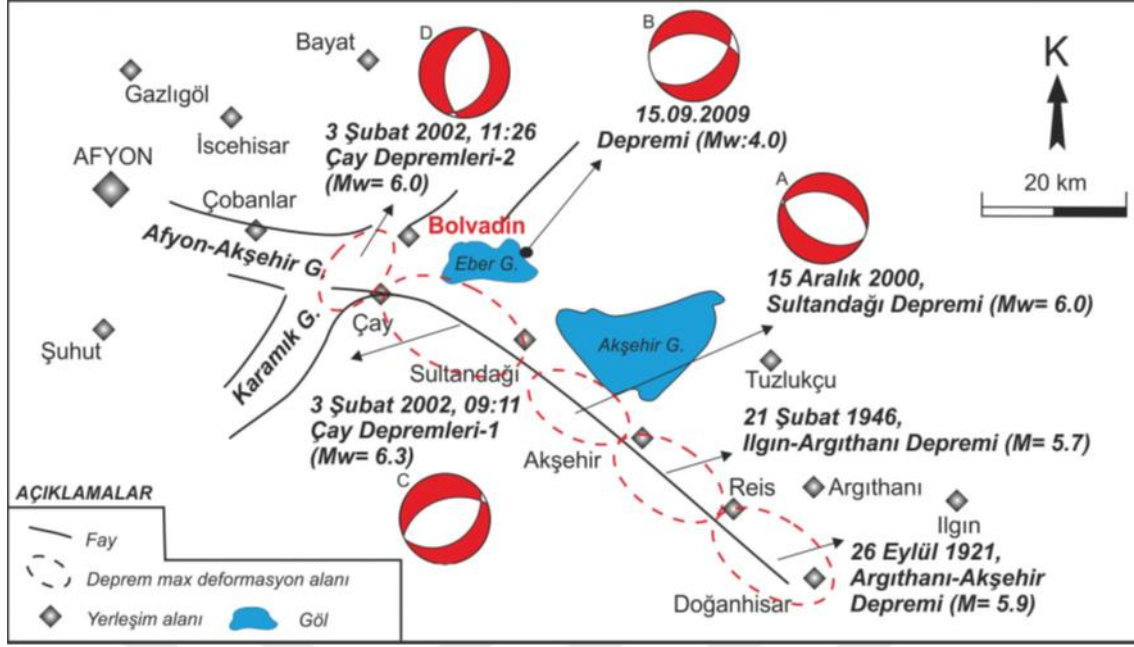
tarafında Işıklar Fay Zonu (IsFZ) bulunmaktadır. Bu zon BKB-DGD uzanımlı olup K-KKD'ya eğimlidir. Birbirine paralel ve grabene doğru basamaklı fay kolları IsFZ'yi oluşturmaktadır (Şekil 2.6, Özkaymak vd. 2017). Afyon Akşehir Grabeni'nin batısında ise Afyonkarahisar yerleşim alanı ile sınırlanmaktadır. Bu hat boyunca takip edilen oblik atımlı faylardan meydana gelir (Özkaymak vd. 2017).



Şekil 2.6 AAG ve çevresinin jeoloji haritası (Özkaymak vd. 2017).

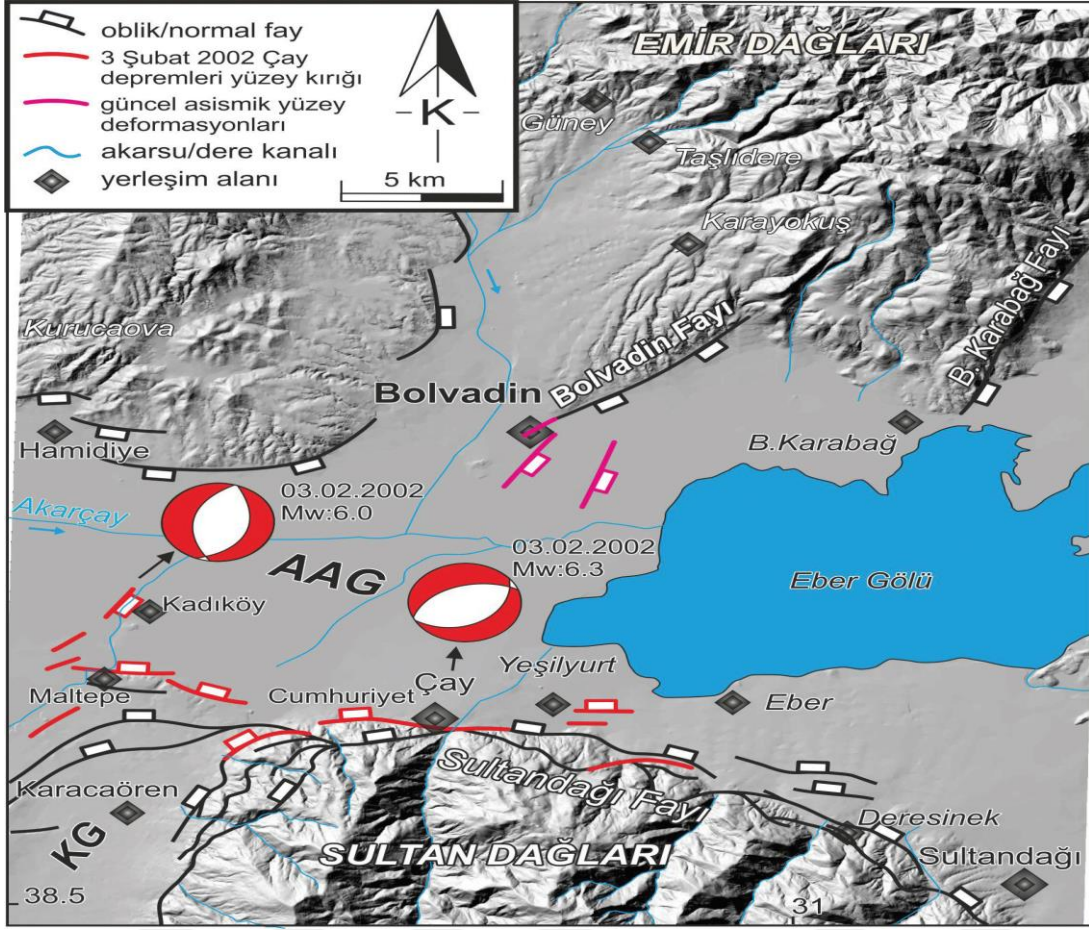
2.3 Bölgenin Depremselliği

Afyon Akşehir Grabeni ve yakın çevresi sismik açıdan oldukça aktif bir bölgedir. Aletsel dönemde büyüklükleri 4 ile 7.2 arasında yaklaşık 300 deprem meydana gelmiştir. Son 30 yıldır bölgede meydana gelen bazı depremlerin odak mekanizma çözümleri incelendiğinde, bölgede, yanal atımlı ve eğim atımlı faylanma karakterinde yansıtan depremlerin meydana geldiği görülmüştür (Şekil 2.7).



Şekil 2.8 Sultandağı Fayında son yüz yılda gerçekleşen depremleri gösteren harita (Özkaymak vd. 2017).

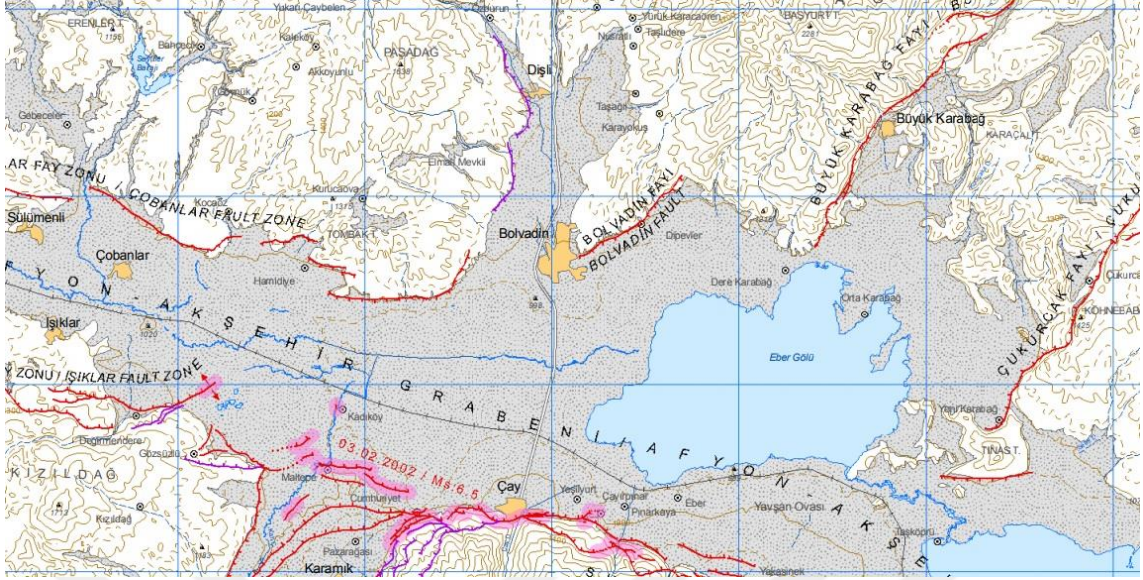
3 Şubat 2002 Çay depremlerinde Sultandağı ile Çay arasında ve Çay'ın batısında 26 km uzunluğunda bir yüzey kırığı oluşturmuştur. Bu yüzey kırığında 30 cm'e varan düşey yer değiştirmeler gerçekleşmiştir (Emre *et al.* 2003, Akyüz *et al.* 2006). 3 Şubat tarihinde meydana gelen ilk deprem (Mw: 6.3) Eber Gölü güneyinde saat 09:11'de meydana gelmiştir. Bu deprem ile yaklaşık D-B doğrultulu kuzeye eğimli ve kuzeyde kalan bloğu düşüren yüzey kırıkları oluşmuştur (Şekil 2.9) (Özkaymak vd. 2017). İkinci deprem (Mw: 6.0) ise, 11:26'da Çay batısında meydana gelmiştir (Şekil 2.9). Bu deprem ile kırığın doğusunda kalan blokta 10 cm'e kadar düşey yer değiştirmeler gözlenmiştir (Özden *et al.* 2002). Bu depremlerin arazi verileri ile odak mekanizma çözümleri incelendiğinde her iki depremi üreten fayın da eğim atımlı çalıştığı görülmüştür (Özkaymak vd. 2017).



Şekil 2.9 Bolvadin ve çevresinin diri fay haritası (Özkaymak vd. 2017).

2.4 Bolvadin Fayı

Bolvadin Fayı, KD-GB uzanımlı yaklaşık 10-11 km uzunluğunda, aktif bir faydır. Kuzeydoğusu boyunca çizgisellik gösteren fay, güneybatısında alüvyon zemin üzerine kurulu olan Bolvadin kent alanı içerisine girmektedir (Şekil 2.10). Bu noktada sonra fay takip edilememektedir. Fay kinematik verileri incelendiğinde fayın eğim atımlı normal fay karakterinde olduğunu göstermektedir (Özkaymak vd. 2017).



Şekil 2.10 Bolvadin ve yakın civarının yenilenmiş diri fay haritası (Emre et al.2011).

Büyük bir kısmı alüvyon zemin üzerinde yer alan Bolvadin yerleşim alanı merkezinde, son 10 yıldan itibaren daha önceden olmayan bazı deformasyonların gerçekleştiği gözlenmiştir (Şekil 2.11). Bu yüzey kırıklarının bir kısmı imar planı içerisinde olup kent merkezini KD-GB istikametinde kesmektedir, Bölgede yapılan çalışmalarda, uzunlukları 300 metre ile 2 km; arasında değişen çizgisel gidişli çatlaklar şeklinde gelişen kademeli yüzey deformasyonları haritalanmıştır (Özkaymak vd. 2017).

Bölgede yapılan GNSS ölçülerinden yüzey deformasyonlarının doğusunda kalan bloğun son 3 yılda yaklaşık 20 cm düştüğü görülmüştür. Yerleşim alanı içerisinde haritalanan deformasyon yapılarının en kuzeyde olanı Bolvadin Fayı'nın güneybatıdaki devamı niteliğinde olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2.11 Bolvadin fayı ve yüzey deformasyonları.

3. MATERYAL VE METOT

Günümüzde, genellikle mühendislik hizmetlerine yönelik uygulamalarda, noktaların arasındaki yükseklik farklarının veya nokta yükseltilerinin tespit edilmesi istenilmektedir. Yükseklik belirlemesi için 1850'li yıllara kadar trigonometrik nivelman kullanılmıştır. Trigonometrik nivelmandaki refraksiyon hatası nedeniyle bu yöntem yerini geometrik nivelmana bırakmıştır. 1936'da Hollanda'da Hidrostatik nivelman kullanılmıştır. Kısa bir süre sonra hidrostatik nivelman geliştirilerek hidrodinamik nivelman metodu kullanılmıştır. 20. yüzyılın başlarına kadar geometrik nivelmanda sadece silindirik düzeçli nivolar kullanılmakta iken daha sonraları kompansatörlü nivoların geliştirilmesiyle 1950'li yıllardan sonra bu tip nivolar kullanılmıştır. Kompansatörlü nivoların sonraları lazer ve elektronik nivolar geliştirilmiştir. Pescel tarafından 1962'de motorize geometrik nivelman tekniği geliştirilerek $\pm 2 \sim \pm 4$ mm/km'lik doğruluğa ulaşılmıştır. 1970'lerde Bahnert, gözleme uzunluklarının birkaç yüz metre ile sınırlı tutulması, açıların eş zamanlı karşılıklı olarak ölçülmesi, uzunlukların da elektronik uzunluk ölçer kullanılması şartı ile trigonometrik nivelman tekniğini tekrar gündeme getirmiştir (Ceylan 1993).

1985'de cm hassasiyetinde yükseklik taşınmasına imkan veren lazer nivolar kullanılmaya başlanmış, 1993'de lazer nivonun geliştirilerek yersel yükseklik ölçmelerinde mm hassasiyetinin altına inilmiş ve dijital nivolar üretilmiştir. Günümüzde dijital nivolar ve uydu bazlı konum belirleme tekniği olan GPS yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.1 Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS)

GPS (Global Positioning System); herhangi bir kullanıcının, uydu Sinyallerinden faydalanarak, konumlama yapan bir sistemdir. Bu sistem herhangi bir yer ve zamanda, bütün hava koşulunda, ortak bir koordinat sisteminde, konum, hız ve zaman bilgilerini elde etmesine olanak sağlayan uzay teknolojisine dayalı bir radyo sistemidir (Tiryakioğlu *et al.* 2005).

Yer merkezli üç boyutlu konum belirleme sistemi (GPS) uydulardan yayımlanan radyo dalgaları yardımıyla, uydu yörünge parametrelerinin ve yayın zamanının yerdeki alıcılarla kaydedilmesi yoluyla uydu ile yer noktası arasındaki uzaklığın belirlenmesi

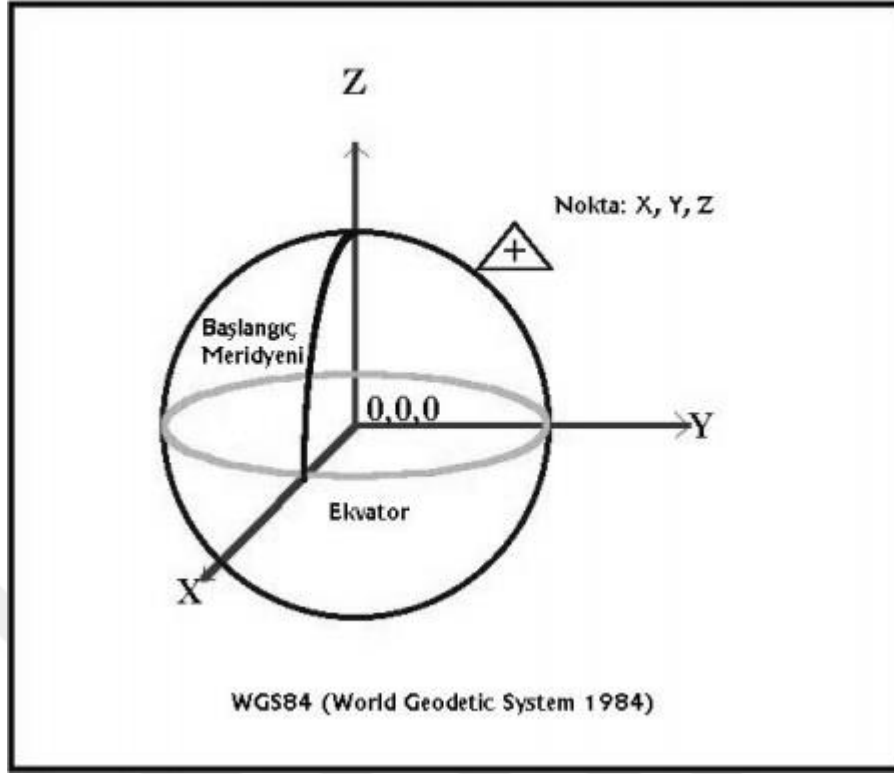
temeline dayanır. Aynı yer noktasından dört uyduya olan uzaklıklar belirlenerek “Uzunluklarla Geriden Kestirme” yöntemiyle yer noktasının yer merkezli üç boyutlu koordinatları (X,Y,Z) WGS84; uydu yörüngelerinin tanımlanmış olduğu Dünya Jeodezik Sistemi WGS84’de (World Geodetic System 1984) hesaplanabilmekte ve GPS alıcılarının saat hataları belirlenebilmektedir (Öztürk 1993).

Bugün GPS sayesinde herhangi bir koordinat sisteminde küresel nokta konumlarında mm, nokta hızlarında ise mm altı doğruluklara ulaşmak mümkün hale gelmiştir. (Koçak ve Ayan 2005).

Dünyadan 20.000 km uzaklıktaki yörüngelere yerleştirilmiş olan 48 adet uydu, güneş enerjisiyle beslenmekte ve 7000 mil hızla hareket etmektedir. Bu sayede 12 saatte bir dünyanın etrafında dönmektedirler. Bu uyduların dışında yaklaşık olarak dünyadan 40.000 km yükseklikte geostasyoner uydu bulunmaktadır. Bu uydu bir turunu 24 saatte yaptığından dünyadaki herhangi bir noktaya göre hareketsiz gibi görünmektedir (Collins 2000).

3.1.1 GPS ile Yüksekliklerin Belirlenmesi

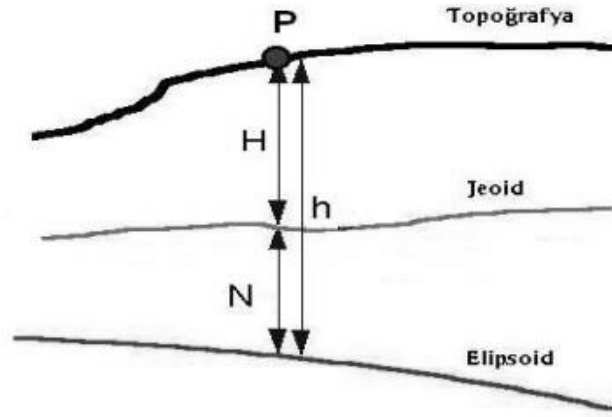
GNSS, başlangıcı yeryuvarlağının ağırlık merkezi ile çakıştığı varsayılan üç boyutlu bir kartezyen koordinat sisteminde, bir alıcının X, Y, Z koordinatlarını verir. WGS84 (yerel) koordinat sistemindeki bu dik koordinatlar, aynı sistemde tanımlanmış bir elipsoide ilişkin jeodezik koordinatlara (j, l, h) dönüştürülebilir (Şekil 3.1). GPS’ den elde edilen koordinatlar her ne kadar üç boyutlu olsa da konum belirlemede yatay ve düşey bileşenlerinden söz edilir. Yeryüzündeki bir noktanın yüksekliği, noktanın iz düşürüldüğü yüzey üzerindeki konumu ve aynı yada başka bir yüzeyden uzaklığı ile ifade edilir.



Şekil 3.1 GPS elipsoidi; WGS-84.

Jeodezik amaçlı GNSS gözlemlerinde, uydulara dayalı olarak ölçülen yükseklikler ve relatif yükseklik farkları WGS-84 elipsoidine bağlı olarak elde edilen değerlerdir. Ancak pratik yükseklik olarak tanımlayabileceğimiz ortometrik yüksekliklerin bulunabilmesi için elipsoid yüzeyi ile fiziksel yeryüzü arasında bir geçiş yüzeyinin dolayısıyla jeoidin tanımlanmış olması gerekmektedir.

Bu durumda ise Şekil 3.2 'den de görülebileceği gibi elipsoit yüksekliği ile ortometrik yükseklik arasındaki farkı tanımlayan ve jeoid yüksekliği denilen bir üçüncü yüksekliğin daha tanımlanmış olması gerekmektedir. Burada bahsedilen elipsoid yüksekliği (h), ortometrik yükseklik (H) ve jeoid ondülasyonu ya da jeoid yüksekliği (N) arasında ise; $N=h-H$ şeklinde bağlantı kurulur.



Şekil 3.2 Ortometrik yükseklik, elipsoid yükseklik ve jeoid yüksekliği arasındaki ilişki

Geometrik nivelmanla belirlenen yükseklik farkı gravite ölçüleriyle birleştirilirse, ortometrik yükseklik veya farklı yükseklik sistemleri arasında geçiş yapılır. GPS'in yüksek doğruluğu ve ekonomik olması avantajları nedeniyle düşey kontrol ağlarının güncelleştirilmesi ve ulusal yükseklik sistemleri gibi çalışmalarda GPS'in önemi büyüktür.

GPS ile belirlenen elipsoidal yüksekliklerinden başka referans sistemlerine dönüştürülmesinde en önemli adım yüksek doğruluklu bir jeoidin tayin edilmesidir. Geçmişte astrojeodezik, gravimetrik ve bunların kombinasyonlarıyla bölgesel uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Günümüzde ise konum bilgileri ve yeryuvarının ağırlık alanına ilişkin değerler daha hassas bir şekilde belirlenebilmekte ve jeodezik teknikler yardımıyla hızlı bir şekilde toplanabilmektedir (Karagöz 2008).

3.2 Trigonometrik Nivelman

Trigonometrik nivelmanda düşey açı gözlemleri ve yatay uzunluklar kullanılarak iki nokta arasındaki yükseklik farkı hesaplanır. Düşey açı gözlemleri için teodolit, yatay uzunluklar için elektronik uzaklık ölçerler kullanılır.

Kule veya minare gibi yanına gidilemeyen yüksek yapıların veya arazinin çok engebeli olduğu gibi durumlarda ve geometrik nivelman duyarlılığı istenmeyen işlerde, noktaların yükseklikleri trigonometrik nivelman ile belirlenebilir. Totalstation ile yapılan 3 boyutlu detay alımında nokta yüksekliklerinin belirlenmesinde trigonometrik nivelman yönteminden faydalanılır.

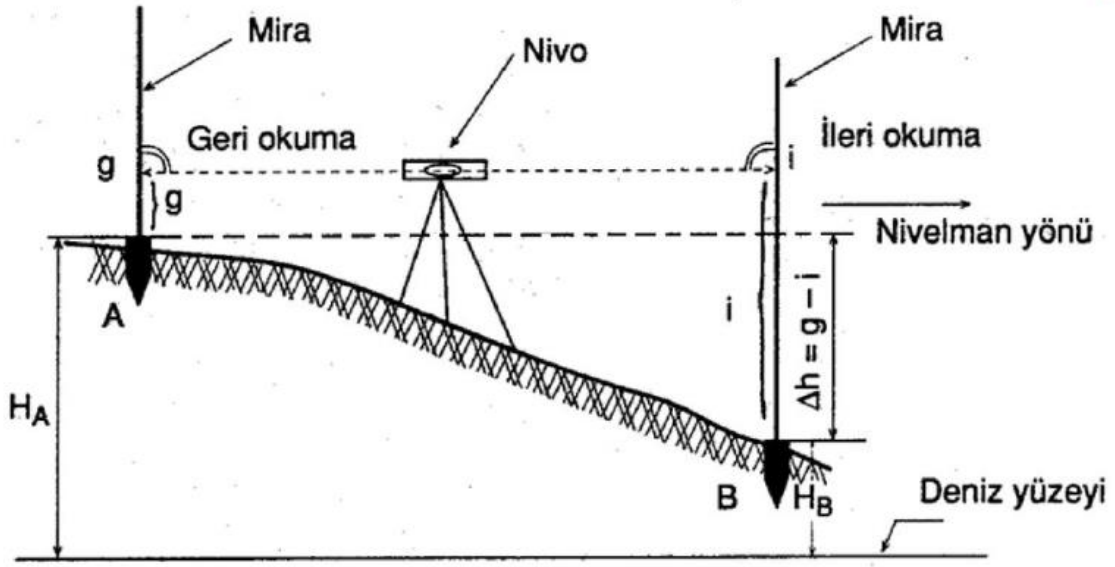
The diagram illustrates a two-pointed arch structure. The left support is labeled A and the right support is labeled B . The horizontal distance from A to the central vertical axis is S_a , and the horizontal distance from the central vertical axis to B is S_b . The total horizontal span is S . The height of the arch at support A is h_A , and the height at support B is h_B . The central vertical axis is labeled Z_A and Z_B . The arch is divided into two parts: the left part is labeled ℓ_A and the right part is labeled ℓ_B . The left part is further divided into ℓ_A (labeled "geri") and the right part is divided into ℓ_B (labeled "ileri"). The arch is supported by a central vertical axis and a horizontal axis. The arch is shown in a perspective view, with the central vertical axis and the horizontal axis intersecting at the center of the arch. The arch is supported by a central vertical axis and a horizontal axis. The arch is shown in a perspective view, with the central vertical axis and the horizontal axis intersecting at the center of the arch.

3.3 Barometrik Nivelman

Deniz seviyesindeki hava basıncı 760 mm'lik civa sütununa eşittir. Yükseklerle çıkıldıkça hava basıncı ve civa seviyesi düşer. Deniz seviyesinde ve 20 °C'lik ısıda yaklaşık olarak her 11 m yükseklik için civa düzeyi 1 mm düşer (Tüdeş 1989). Ancak yükseklerle çıkıldıkça bu miktar değişir. 3000 m'de civa sütununun 1 mm düşmesi için yaklaşık olarak 14 m yüksekliğe çıkmak gerekmektedir.

Geometrik nivelmanın ölçme modeli, ölçü yüzeyi üzerinde oluşturulan; bölüm çizgileri oluşturulmuş yatay bir düzlemden olan düşey uzaklıkların ölçülmesi esasına dayanır. Burada yatay düzlem için nivo aleti, düşey uzaklıkların ölçülmesi için ise miralar

kullanılır. Nivelman ölçüleri, gidiş-dönüş olarak yapılır. Alet ile mira arasındaki uzaklıklar, geri ve ileri okumalarda bir takım hataları ortadan kaldırmak için eşit alınır. Eğer şartlar zorlamıyorsa, bütün ölçü boyunca uzaklıkları eşit almak yerinde olur. Bu sayede okuma sırasında görüntüyü netleştirmeye gerek kalmaz ve okumalar aynı şartlarda yapılmış olur. Miralar, çarık ve pabuç denilen altlıklar üzerine oturtularak okuma yapılır. Bilhassa miranın dönüşü sırasında bir hata kaynağı olmaması için bu altlıklarla çalışılması yerinde olur (Tüdeş 1994). Geometrik nivelmanda incelik 1 km’de $\pm 1\text{mm}$ ile $\pm 10\text{ mm}$ arasındadır. Geometrik nivelman, her türlü mühendislik uygulamalarında ve teknik hizmetlerde kullanılır (Şekil 3.4).



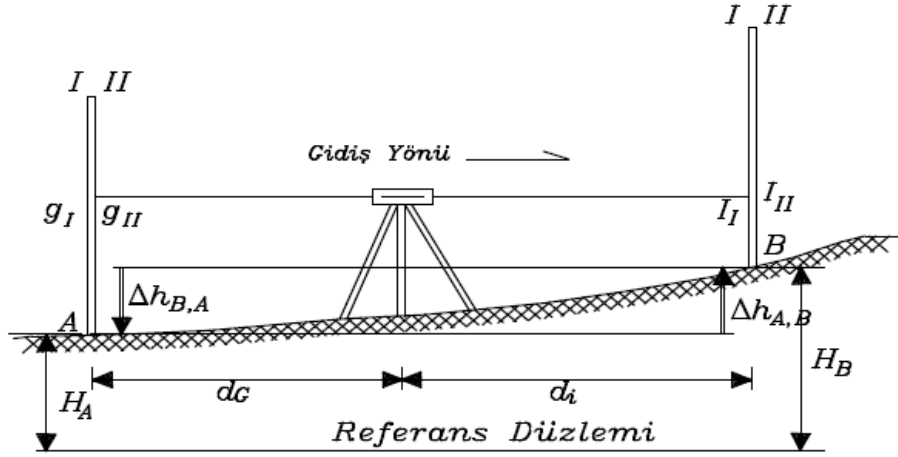
Şekil 3.4 Geometrik nivelman.

3.5 Hassas (Prezisyonlu) Nivelman

Bir memlekette bütün yükseklik ölçülerinin çerçevesini teşkil edecek yükseklik sisteminin kurulması maksadı ile yapılan hassas nivelmanın aynı zamanda yer kabuğu hareketleri, mevzi ölçmeler gibi bir takım bilimsel konularda da yardımcı bir metot olarak büyük önemi vardır (Tüdeş 1989).

Geometrik nivelman için açıklanan esaslar hassas nivelman için de geçerlidir. Ancak yüksek hassasiyet elde etmek için kullanılan aletler farklı olduğu gibi ölçü şekli de farklılık arz etmektedir. Bu teknik yardımıyla noktalar arasındaki yükseklik farkları $\pm 0.5\text{ mm/ km}$ presizyonla belirlenebilmekte, düzenli hata kaynaklarına karşı etkin

önlemler alınması durumunda bu presizyon daha da yükselebilmektedir (Baykal 2002). Günümüzde yer kabuğu düşey hareketlerinin izlenmesinde (0.1–0.5 mm/yıl) hareket hızlarının belirlenmesi gerekli görülmekte, talep edilen bu doğruluk ise sadece hassas nivelman tekniği ile karşılanmaya çalışılmaktadır.



Şekil 3.5 Hassas (prezisyonlu) nivelman.

Presizyonlu nivelman ölçmelerinde bunlara ek olarak, nivonun her kuruluşunda, geri ve ileri noktalarda tutulan miralarda I. (ana) ve II. (yardımcı) bölümlendirmeler okunmakta (GIIG), böylelikle yükseklik farkları ikişer kez ölçülmektedir. Ayrıca, nivelman noktaları arasındaki ölçmeler, doğruluğu artırmak, kaba hataları ortaya çıkarmak için gidiş-dönüş olarak yapılır (Şekil 3.5). Sonuçta noktalar arasındaki yükseklik farkları için dörder değer elde edilir (Ekinci 2008).

3.5.1 Hassas Nivelmanda Alet Donanımı

Hassas nivelmanın alet donanımı, geometrik nivelmandaki gibi mira ve nivodan oluşur. Bunlarla birlikte miraların tutulacağı zemin noktalarındaki çökmeleri azaltmak için mira altlıkları ile miraları sallantısız ve düşey tutabilmek için mira destekleme donanımı kullanılır (Baykal 2002). Hassas nivelmanda bir çift invar mira kullanılır. Bu miraların koruyucu kasası sert ağaç ya da metalden yapılmıştır. Günümüzde çalışmalara hız kazandırmak ve sonucu etkileyecek olan hataların bir kısmını elimine etmek için elektronik hafızalı nivolar (sayısal nivo) ve barkodlu miralar (sayısal mira) kullanılmaktadır (Baykal 2002).

Sayısal nivolarla mira görüntüsü sayısal görüntü sağlanarak değerlendirilmektedir. Bu aletlerde göz yerini alan sıralı elektronik algılayıcılar, (detektör diyot dizisi) barkod tekniği ile kodlanmış mira bölümlerini tanımakta ve bu görüntüden bir sinyal modeli oluşturarak korelasyon modeli ile değerlendirme yapan elektronik birime göndermektedir. Bu işlem sonucunda gözlem ekseninin mirada denk geldiği yer okunmakta ve analitik noktaya göre hedef uzaklığı elde edilmektedir.

Sayısal nivo ile yapılan nivelman, verileri işleyen ve depolayan programlar ve kontrol hesaplamaları ile desteklenmiştir. Böylece mira okumaları ile mira alet uzaklıkları kayıt birimine kaydedilmektedir. Dürbünün görüş alanındaki miranın görünen kısmının uzunluğu, nivoonun miraya uzaklığının bir fonksiyonudur. Bu nedenle bu görüntünün işlemin bir parçası olarak, sayısal nivoda mira ile nivo arasındaki uzaklık da hesaplanır. Sayısal nivolarla, ± 0.5 mm doğrulukla 100 metreye kadar yatay uzaklık okuması yapılmaktadır.

Mira görüntüsünün sayısal olarak değerlendirilmesi, yükseklik ve mesafe ölçmelerinin kaydedilmesi ile, klasik nivolarla meydana gelecek kişisel hataların ve atmosferik koşullardan meydana gelen hataların önüne geçilmiş olacaktır. Aynı zamanda insan duyu organlarından kaynaklanan hatalar da yok edilecek, zamandan ve ekonomiden tasarruf fazlasıyla sağlanacaktır (Karagöz 2008).

3.5.1.1 Sayısal Nivolar ve Yapıları

Sayısal nivolar yapı itibarıyla bir kompansatörlü nivodur. Sayısal nivoların normal otomatik nivolardan farkı göz yerini alan sıralı elektronik algılayıcıların bulunmasıdır. Elektronik algılayıcılar, barkod tekniği ile kodlanmış mira bölüm çizgilerini tanımakta ve bu görüntüden bir sinyal modeli oluşturarak korelasyon yöntemi ile değerlendirme yapan elektronik birime göndermektedir. Değerlendirme sonucunda gözleme ekseninin mirayı kestiği yerin okuması ve gözleme uzaklığı elde edilmektedir. Sayısal nivolar nivelman verilerini işleyen ve depolayan programlar ve kontrol üniteleriyle desteklenmiştir (Şekil 3.6).

Sayısal nivolarla mira okuması işlemi, aletin düzeçlenmesi, miraya yöneltilmesi ve görüntünün netleştirilmesi ve sayısal ölçmenin başlatılması olmak üzere harici işlemlerle başlatılır. Mira değerinin elde edilmesi için ise yaklaşık 4 saniye süren dahili

işlemler; kaba korelasyon ve ince korelasyon ile tamamlanır. Nivo üzerindeki ölçme düğmesine basıldığında, netlik durumu tespit edilir ve kompensatörün izlenmesine başlanır. Yaklaşık 1 saniye süren “kaba korelasyon” ile alet yüksekliği ve görüntü ölçeği yaklaşık olarak belirlenir. İkinci saniyede, kalibrasyon sabitleri yardımıyla ince korelasyon ile mira değeri ve alet-mira arası uzunluk değeri hesaplanır (Gürdal 2004).



Şekil 3.6 Sayısal nivo.

Sayısal nivoların üstünlükleri ve sağladığı yararlar;

- Dijital ekran,
- Ölçümü yapacak kişinin gözle mira okuması yapmaması nedeni ile yorulmaması,
- Tek tuş ile ölçme fonksiyonu,
- Kullanıcı tarafından sistem kontrol ve ayarı,
- Kolay ve doğru sonuç alma,
- Otomatik veri depolama,
- Ölçüm sonuçlarını bilgisayara direkt aktarım,
- Otomatik yükseklik ve nivelman kapanma hesabı,
- Tecviz değerinin aşılması durumunda otomatik ölçümü durdurma,
- Tutarlılık ve güvenilirlik,
- Otomatik netleştirme,
- Hızlı ve ekonomik ölçme,

- Uzaklık miktarında artış (100 m uzaklık ölçümü),
- Klasik nivonun kullanılabildiği bütün koşullarda kullanım,

3.5.1.2 Sayısal Miralar ve Yapıları

Presizyonlu nivelmanda çift bölümlü invar miralar kullanılır. Bu kullanılan invar miralar 25 mm genişliğinde 1 mm kalınlığında bir invar şerit ve bu şeridin yerleştirildiği 3 m uzunluğunda olan genellikle metal kasadan meydana gelir. Genleşme katsayısı küçük olan şerit, kasa içerisine özel olarak yerleştirilmiştir. Presizyonlu nivelmanda invar miraların tercih edilmesini sebebi sıcaklık ve nem farklılaşmalarından meydana gelecek hata oranlarını en aza indirmektir. Sayısal nivo ile okuma yapabilmek için fiberglas, alüminyum ve invar olmak üzere bir yüzü barkod bölümlü miralar imal edilmiştir. Miranın üzerinde 5 cm eninde barkod çizgileri işaretlenmiştir. Barkod ile taranmış kısmın arka tarafındaki yüzünde, klasik geometrik nivelman ölçümleri yapmaya yarayan mira bölümlemesi bulunmaktadır.

Sayısal miralar genellikle genleşme katsayısı oldukça düşük olan alaşımlardan üretilmektedir. Miralar, bir yüzünde elektronik okuma yapılacak şekilde barkod ile bölümlendirilmiştir.

Presizyonlu nivelman ölçmelerine ölçek verecek uzunluk birimleri invar mira üzerinde bulunur. Bu birimlerin invar şerit üzerine işaretlenmesi işlemine mira bölümlendirilmesi denir. Bu bölümler beyaz zemin üzerine siyah renkte ve yaklaşık 0.8 mm kalınlıkta belirlenmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 İnvar miralar.

3.6 Nivelmanda Hata Kaynakları

Nivelman ölçmelerindeki model hataları, yükseklik farkları ve buna bağlı olarak doğruluk kriterlerini etkilemektedir.

Nivelman yönteminde hata kaynaklarını iki ana başlıkta inceleyebiliriz. Bunlar;

- Alet ve donanımdan kaynaklanan hatalar
 - Miralardan kaynaklanan hatalar
 - Nivolardan kaynaklanan hatalar
- Dış ortamdan kaynaklanan hatalar ve diğer hatalar biçiminde sıralanır.

3.6.1 Alet ve Donanımdan Kaynaklanan Hatalar

Miralardan kaynaklanan hatalar

Nivelman ölçmelerinde ölçeklendirme elemanı olan miralardan kaynaklanan hataların nivelman sonuçlarına etkisi önemlidir. Miralardan kaynaklanan hataları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Miranın eğik tutulması hatası
- Mira çifti sıfır konum hatası
- Mira tabanının düzlem olmaması hatası
- Mira bölümlendirme hatası

Nivolardan kaynaklanan hatalar

Nivelman ölçmeleri için kabul edilen ana modeldeki varsayımlardan birisi de nivo gözleme ekseninin yatay bir düzlem oluşturması ve bunun bir istasyon noktasındaki ölçme süresince sabit kalmasıdır. Eğer gözleme ekseni yataydan sapar veya dürbün geri doğrultudan ileri doğrultuya (veya tersine) döndürürken gözleme ekseninde bir sıçrama meydana gelirse hatalı ölçmeler yapılmış olur. Nivolardan kaynaklanan hataları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Nivo gözleme ekseni şartının düzensizliği (kolimasyon hatası)

- Kompansatörlü nivolarda artık kompensasyon hatası
- Küresel düzeç eksen şartının düzensizliği
- Uzunluk ölçmelerindeki hatalar
- Düşey açı gözlemlerindeki hatalar

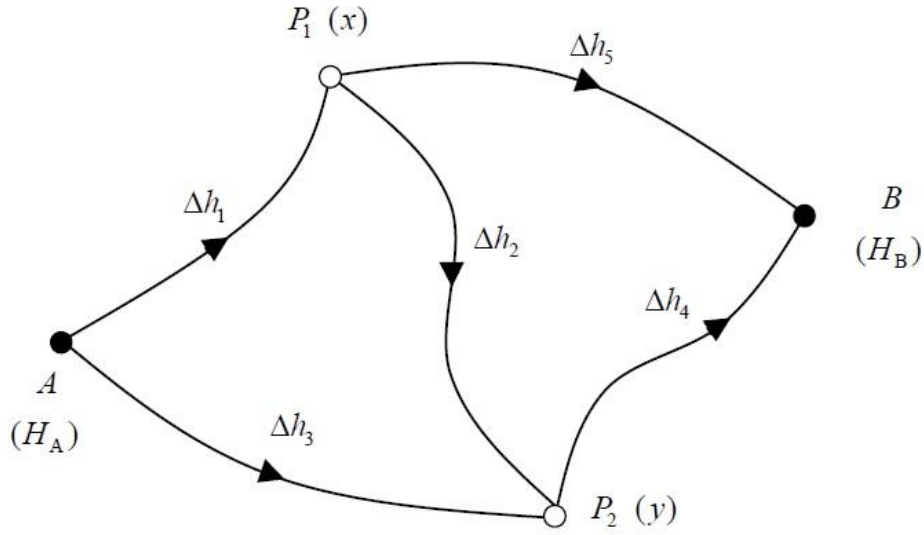
3.6.2 Dış Ortamdan Kaynaklanan Hatalar ve Diğer Hatalar

Nivelman ölçülerinde dış ortamın fiziksel parametrelerdeki değişimler ölçmelerde hatalara neden olur. Bu hatalar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Mira ve nivonun çökmesi
- Sıcaklığın miraya etkisi
- Sıcaklığın nivoya etkisi
- Geomagnetik alanın kompansatörlü nivoya etkisi
- Gel-git etkisi
- Düşey refraksiyonun etkisi
- Çekül sapmasının etkisi
- Atmosferik refraksiyonun etkisi
- Gravite alanının etkisi

3.7 Nivelman Ağlarının Dengelenmesi

Günümüzde uygulamalarda en çok kullanılan ağ nivelman ağlarıdır. Bu tür ağlarda ölçümler nivo ve miralar yardımıyla yapılır. Hassas ve Geometrik nivelman olmak üzere iki çeşit ölçme yöntemi vardır. Bir nivelman ağında herhangi bir noktanın yüksekliğini bilmek o ağdaki diğer tüm noktalara yükseklik taşımak için yeterlidir. Ağ üzerindeki okların yönü yükselme yönlerini gösterir. Δh gösterimleri iki nokta arasındaki yükseklik farkını temsil eder. İçi dolu daire olarak gösterilen noktalar yüksekliği değişmez alınan noktalardır. İçi boş olarak gösterilen noktalar dengeleme ile yüksekliği bulunacak noktalardır (Şekil 3.8) (Bayrak 2011).



Şekil 3.8 Örnek nivelman ağı (Bayrak 2011).

3.7.1 Serbest Ağ Dengelemesi

Bilindiği gibi dolaylı ölçülerle nivelman, nirengi ve üç boyutlu jeodezik ağlarda dış parametrelerin tamamı belirlenememektedir. Bu dış parametreler; Nivelman ağlarında 1 (yükseklik), Nirengi ağlarında 4 (2 öteleme, 1 ölçek, 1 dönüklük), Üç boyutlu jeodezik ağlarda 7 (3 öteleme, 3 dönüklük, 1 ölçek) tanedirler. Bu dış parametreler, nivelman ağlarında en az bir noktanın yüksekliği sabit olarak alınırsa, sadece doğrultuların gözlemlendiği Nirengi ağlarında iki nokta koordinatlarıyla değişmez olarak alınırsa, doğrultuların yanında en az bir kenar ve bir semtin ölçüldüğü Nirengi ağlarında bir nokta koordinatlarıyla değişmez olarak alınırsa, sadece eğik kenarların ölçüldüğü Üç boyutlu jeodezik ağlarda iki nokta koordinatlarıyla değişmez olarak alınırsa kendiliğinden belirlenir. Bu dış parametrelerin önceden belirlendiği durumlarda dayalı dengeleme söz konusu olmaktadır. Bu parametrelerin önceden belirlenmesi için hatasız oldukları varsayılan koordinat ve ölçü değerleri, gerçekte bir takım hatalarla yüklü olduklarından dengeleme sonuçlarında bu hatalarla yüklü olacakları açıktır, işte dayalı dengelemenin bu sakıncalı yönü ağın dış parametrelerinin de dengeleme hesabı içinde belirlendiği serbest ağ dengelemesi ile giderilmektedir. Serbest ağ dengelemesi sonucunda bulunan düzeltmeler dayalı dengelemedekilerle aynıdır. Fakat hiç bir zorlama olmaksızın yalnızca ölçü değerlerinden elde edilen bilinmeyenler ve duyarlık

değerleri dayalı dengeleme sonuçlarından farklı olup gerçek değerlere daha yakındırlar. Serbest ağ dengelemesinin bu avantajına karşın hesaplaması dayalı dengelemeye göre biraz daha zordur. Bu nedenle Serbest ağ dengelemesi deformasyon araştırması gibi amaçlar için yapılan çok duyarlı ölçülerin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır.

Deformasyon izleme amacıyla oluşturulan jeodezik ağlarda noktaların koordinatları ve koordinatların doğrulukları deformasyon analizinde kullanılan giriş değerlerdir. Deformasyon analizi ve yorumu açısından bu değerlerin serbest ağ dengelemesi metoduyla elde edilmiş olması tercih edilmektedir (Bektaş 1990).



4. UYGULAMA

Fay hareketlerini gözlemlemek titizlik ve sabır gerektiren bir iştir. Periyodik gözlemler yapmak, küçük hareketlerin belirlenebilmesi için uzun süreli ve olumsuz arazi koşullarında çalışmak pek çok insan için sıkıntı vericidir (Sylvester 1984, 1986, 1995).

Amerika, Japonya ve Avrupa’da hassas nivelman tekniği, düşey deformasyonların belirlenmesinde kullanılan bir yöntem olmasına rağmen ülkemizde bu güne kadar çok fazla ilgi görmüş bir teknik değildir. Bunun nedenlerinin başında tekniğin zahmetli oluşu gelmektedir.

Afyon-Akşehir Grabeninin ortasında bulunan Bolvadin merkezinin güney kısmı ile kuzey doğu bölümü arasında kalan alan içerisinde, Bolvadin Fayına paralel/yarı paralel gidişli önceden bulunmayan yüzey deformasyonları meydana gelmiş ve meydana gelmeye devam ettiği gözlenmiştir. Bolvadin merkezinde büyük bir kısmı yerleşim alanlarından bir hat boyunca geçen yüzey deformasyonları nedeniyle, bahçe duvarlarında kırılmalar, binalarda çatlaklar, yollarda çökmeler, yer altı kanalizasyon ve su hatlarında kırılmalar meydana geldiği gözlenmiştir. Çizgisel gidişli yarık ve çatlaklar şeklinde gözlenen yüzey deformasyonları boyunca güneydoğuda kalan bloğun düştüğü gözlemlenmiştir.

Daha önce bölgede hassas nivelman yöntemiyle literatüre geçmiş olan herhangi bir çalışma yapılmadığı bilinmektedir

Bu çalışma kapsamında 2010-2018 yılları arasında Bolvadin ilçe merkezinde meydana gelen asismik olarak meydana gelen yüzey deformasyonları izlenmiştir. 115Y246 nolu proje kapsamında yüzey kırıklarının olduğu bölgelerde 2016-2017 yılları arasında 2 kampanya ölçümler yapılmıştır.

4.1 Çalışma Bölgesinin Tanıtılması

Bolvadin İç Batı Anadolu bölgesinde Afyon İli’ne bağlı İlçe merkezidir. Sultan dağlarının kuzey bölümü ile Emir Dağı arasında kalan Eber Gölüne dökülen Akarçay’ın geçtiği ovanın kuzey kenarındadır. Deniz seviyesinden yüksekliği 995 m dir. Bolvadin İlçe olarak 1108 km² lik alan üzerine kuruludur.

Bolvadin İlçesi Bakanlar kurulunun 22.01.2018 gün ve 2018/11275 sayılı kararı ile kabul edilen Türkiye Deprem Bölgesi haritasına göre Yüksek tehlikeli deprem alanında yer almaktadır.

Bolvadin İlçesini yaklaşık 13. Km güneyinde, kuzeybatı-güneydoğu yönünde uzanan Sultandağı fayı vardır. Bu fay yaklaşık 100 km. lik uzanım ve 500 m. lik atıma sahip aktif bir faydır. Ayrıca Bolvadin İlçesinin 20 km. doğusunda Büyükkarabağ fayı vardır. Kuzeydoğu-güneybatı yönlü olan bu fay 40 km. lik bir uzanım sahiptir. Büyükkarabağ fayı eğim atımlı normal bir faydır. Bu iki fayın harekete geçmesi ile oluşacak deprem inceleme alanını büyük ölçüde etkileyecektir.

Nivelman ağı kurulan alan ise İlçenin Güney kısmından başlayarak Kuzeydoğu kısmına kadar olan alanı kapsamaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Çalışma bölgesinde kurulan nivelman ağı.

4.2 Yüzey Deformasyonlarının Haritalanması

Son yıllarda Bolvadin yerleşim alanı içinde, şehrin güney kısmından kuzeydoğu yönüne doğru büyük bir kısmı İmar planı içerisinde kalan hat boyunca devam eden yüzey deformasyonları meydana gelmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda yüzey deformasyonlarının gözlemlendiği hat boyunca bahçe duvarlarında kırılmalar, binalarda çatlaklar, yollarda çökmeler, yer altı kanalizasyon ve su hatlarında kırılmalar meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Şehrin güney kısmında gözlenen yüzey deformasyonları. c-e-f) Kırkgöz Mahallesi'nde gözlenen yüzey kırıkları a-b-d) Akcan parkında gözlenen yüzey kırıkları.

Bölgede yapılan çalışmalar sonucunda, büyük ölçekli deprem olmaksızın, uzunlukları 300 metre ile 2 km; çizgisel gidişli çatlak ve yarıklar şeklinde gelişen kademeli yüzey deformasyonları 1/1.000 ölçeğinde haritalanmıştır (Tiryakioğlu *et al.*2016). Haritalanan deformasyonlar sonucunda oluşturulan yüzey kırıkları hattının, yenilenmiş diri fay

haritasında bulunan Bolvadin Fayı'nın güneydeki devamı niteliğinde olduğu anlaşılmaktadır (Tiryakioğlu *et al.* 2017).

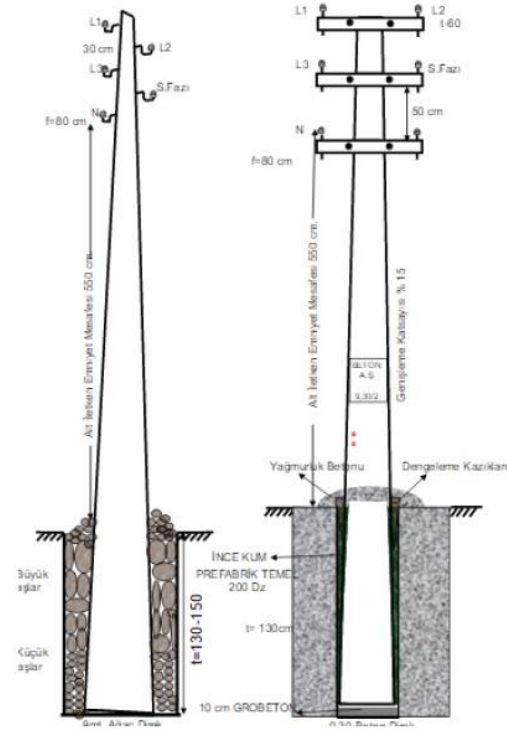
Yüzey deformasyonlarının Bolvadin imar sınırı içinde kalan bölümü için imar planına tam olarak işaretlenmesi ve arazide konumun kolay bulunması için Google Earth ile imar planı karşılaştırılmıştır (Şekil 4.3). Yüzey kırıklarının başlangıçtan bitimine kadar olan bölümü arazi üzerinde takip edilerek harita üzerine işlenmiştir.



Şekil 4.3 Haritalanan yüzey deformasyonları (Tiryakioğlu *et al.* 2016).

4.3 Nivelman Ağının Kurulması

Yüzey deformasyonlarının belirlenmesinden sonra bu deformasyonlara dik olarak 9 profil tesis edilmiş ve bu 9 güzergahta toplam 94 adet RS noktası ile nivelman ağı oluşturulmuştur. Nivelman noktaları olarak elektrik direğinin üzerinde, birbirine dik doğrultuda direğin kendi içinde meydana gelen deformasyonların da hesaba katılması için 2'şer adet duvar tesisi kullanılmıştır. Bu direkler boyuna göre değişen ortalama 1-2 metre derinlikte temelleri olan direklerdir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 RS lerin tesis edildiği elektrik direkleri.

Nivelman tesisleri için yurt dışından özel duvar RS leri getirtilmiştir (Şekil 4.5). Bu tesislerin en büyük özelliği ölçü bitiminde çıkartılıp daha sonra tekrar takılabilmeleridir. Bu özelliği sayesinde noktaların tahrip edilmesi önlenmiştir. Bu hatlara “Mavi” ve “Yeşil” hat isimleri verilmiş ve bu hatlarda ayrı ayrı nivelman yapılmıştır. Nivelman noktaları arası mesafe yaklaşık 30 metredir.



Şekil 4.5 Nivelman RS leri.

4.4 Nivelman Ölçüleri

Nivelman ağının ölçüleri 2016 ve 2017 yılları Ağustos ayı içinde yapılmıştır. Nivelman ölçüleri 2 adet TOPCON DL-101C dijital nivoları ile yapılmıştır. Nivoların ölçü öncesi yetkili servis tarafından kalibrasyonu yapılmıştır. Uygulamada hassas nivelman ölçmelerinde kullanılan ölçme yöntemlerinden GIIG ölçü yöntemi kullanılmıştır. Bütün profillerde ölçüler invar barkotlu miralarla gidiş dönüş olarak yapılmıştır. Tüm profillerin başlangıç ve bitiş noktaları nivelman ile birbirine bağlanmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Nivelman ölçü güzergahları (Kırmızı hatlar: yüzey deformasyonları; Yeşil hatlar: nivelman güzergâhları; Sarı ve Mavi hatlar: bağlantı nivelmanı).

Tüm güzergâhlarda gidiş dönüş ölçüleri arasındaki farklar $4\sqrt{S}$ formülünden hesaplanan tecviz sınırını geçmemiştir. Ülkemizde Hassas nivelman teknikleri için tecviz sınır bağıntıları bulunmadığı için Alman standartlarında (DIN-18710) belirtilen tecviz sınırları kullanılmıştır. Dijital nivolar mira okumaları her okumada üç kere yapılacak ve okumalar arasındaki fark 0.4 mm geçtiğinde ölçüleri tekrarlayacak şekilde ayarlanmıştır.

Belirlenen sınırlar içinde kalan okumaların ortalaması alınarak ölçüler yapılmıştır. Deformasyon ölçü noktaları elektrik direkleri olduğu için mira payandası ve mira altlığı kullanılmamıştır. Ancak bağlantı ölçülerinde payanda ve altlık kullanılmıştır. Mira ile

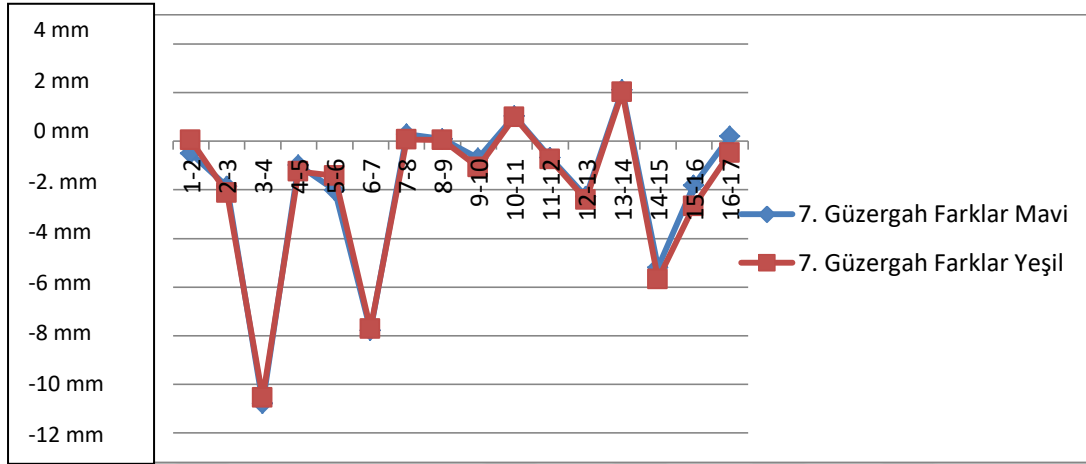
nivo arası mesafeler yaklaşık eşit alınmış (maksimum 30 m) ve okumalar yapılmıştır. Mira ve nivo arasındaki mesafeler yaklaşık eşit alınarak başta yer küreselliği eğriliği, refraksiyon etkisi, kolimasyon vb. hatalar elimine edilmiştir. Ölçüler esnasında gözlem çizgileri yerden en az 70 cm (deformasyon noktaları direkler üzerinde yerden 40-50 cm yukarıda tesis edilmiştir) üzerinde olacak şekilde nivolar kurulmuştur. Hassas nivelman ölçülerinde tek parçalı alet sehpa kullanılması gerektiği halde bu hatanın ölçülere etkisinin çok az olduğu bilinmektedir. Güzergâhların mavi ve yeşil güzergâh olarak 2 kez ölçüm yapılarak bu hata miktarı minimize edilmiştir (Şekil 4.7).

GÜZERGAH ADI:1 (DÖNÜŞ) MAVİ			ÖLÇÜ YERİ: BOLVADİN			
NOKTA NO	ARA UZAKLIK (m)		MİRA OKUMALARI		GERİ-İLERİ FARKLAR	ORTALAMA GERİ-İLERİ (m)
			GERİ 1	İLERİ 1		
			GERİ 2	İLERİ 2		
1-9	19.986		1.42578			
			1.42579			
1-8	30.265	18.328	0.27441	0.45278	0.97300	0.972965
			0.27442	0.45286	0.97293	
1-7	23.050	31.775	1.17906	0.59696	-0.32255	-0.322615
			1.17889	0.59710	-0.32268	
1-6	14.701	27.767	1.30442	0.41263	0.76643	0.766345
			1.30441	0.41263	0.76626	
1-5	11.492	23.681	1.10111	0.74787	0.55655	0.556550
			1.10110	0.74786	0.55655	
1-4	35.068	17.862	0.62246	0.31869	0.78242	0.782425
			0.62263	0.31867	0.78243	
1-3	22.085	38.160	1.27452	0.57422	0.04824	0.048320
			1.27460	0.57423	0.04840	
1-2	18.484	24.602	0.88972	0.79278	0.48174	0.481765
			0.88908	0.79281	0.48179	
1-1		18.734		0.90323	-0.01351	-0.013780
				0.90313	-0.01405	

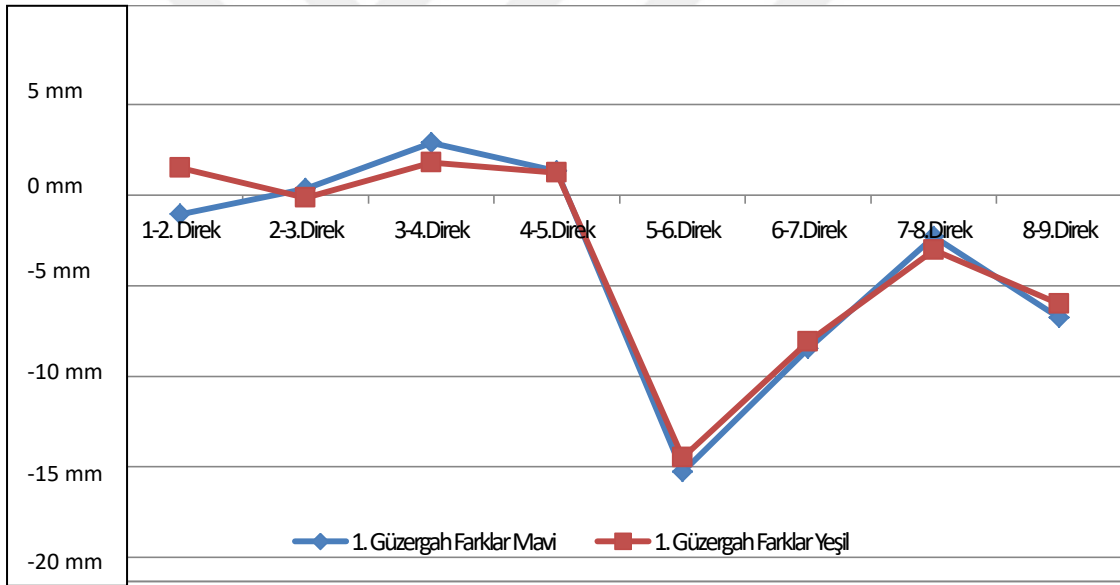
Şekil 4.7 Örnek nivelman klişesi.

Bu şekilde oluşturulan bir ağ ile meydana deformasyonların çökme nedeniyle mi yoksa direklerin bir yöne doğru eğilmesi nedeniyle mi gelen olduğunun araştırılması amaçlanmıştır. Yapılan incelemelerde mavi yeşil hatlarda elde edilen yükseklik farklarının 1-2 mm nin altında kaldığı görülmüştür (Şekil 4.8) (Şekil 4.9). Bu nedenle

hesap kolaylığı olması açısından tüm dengeleme işleri mavi güzergâh ölçülerine göre yapılması kararlaştırılmıştır.

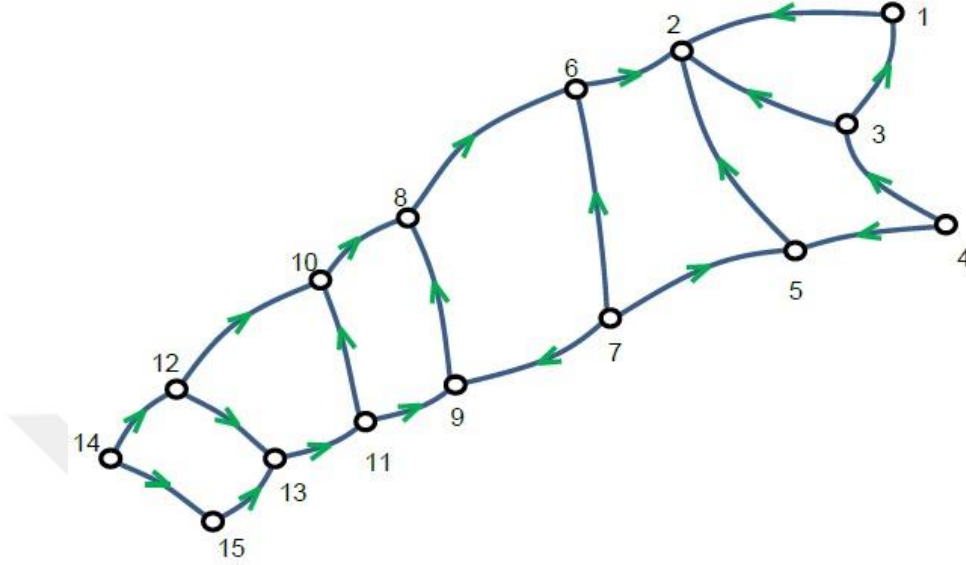


Şekil 4.8 7.Güzergah mavi yeşil nivelman tesisleri.



Şekil 4.9 1.Güzergah mavi yeşil nivelman tesisleri.

Hem 2016 hem de 2017 yılı dengelenmiş nokta yükseklikleri ve hatalarının bulunması için mavi güzergâhlarda gidiş ve dönüş nivelmanı ile elde edilen yükseklik farklarının ortalaması hesaplanmış ve bu değerler dengeleme işleminde ölçü olarak alınmıştır. Ağda öncelikle Şekil 4.10 da görülen noktalar ana nivelman olarak belirlenmiştir. Daha önce 9 olarak belirlediğimiz profil sayısı 9. güzergah dengeleme işlemine katılmadığı için 8. Profil olarak yapılmıştır.



Şekil 4.10 Bolvadin düşey deformasyon izleme nivelman ağı ana noktaları.

Ağ önce serbest dengelenmiş ve uyşumsuz ölçü testi yapılmıştır. Uyşumsuz ölçü testi POPE yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test sonucunda tüm ölçülerin uyşumlu olduğu görülmüştür. Daha sonra ana ağ noktalarında S-transformasyonu yardımıyla deformasyon analizi yapılmıştır. Ağda yapılan GLOBAL TEST sonucunda deformasyon olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra, yerelleştirme adımına geçilmiş ve deformasyona uğramış olan noktalar sırasıyla tespit edilmiştir. Yerelleştirme sonucuna göre 1 ve 2 nolu nokta haricindeki tüm noktalarda düşey yönlü değişimlerin anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Bir sonraki aşamada ağdaki mutlak deformasyonları tespit etmek için hem 2016 hem de 2017 yılı ölçüleri 1 noktasına dayalı olarak zorlamasız olarak en küçük kareler yöntemiyle dengelenmiştir. Güzergah uzunlukları dengelenen stokastik modelini oluşturmada kullanılmış ve ölçü ağırlıkları $1/S$ km formülüne göre belirlenmiştir. Bir noktadaki değişim miktarı (Δh), 2017 yılı dengelenmiş yükseklik miktarı (h_{2017}) ve 2016 yılı dengelenmiş yükseklik miktarı (h_{2016}) kullanılarak aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\Delta h = h_{2017} - h_{2016} \quad (4.1)$$

Hesaplanan değişim miktarının hatası, noktaların yükseklik hataları (m_{h2017} , m_{h2016}) kullanılarak ve hata yayılma kuralı uygulanarak aşığıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$m_{\Delta h} = \sqrt{m_{h2017}^2 + m_{h2016}^2} \quad (4.2)$$

Noktalardaki değişimin hatalarına oranı aşığıdaki formül kullanılarak elde edilmiştir.

$$t = \frac{\Delta h}{m_{\Delta h}} \quad (4.3)$$

Δh değişim miktarı, $m_{\Delta h}$ değişim miktarı hatasından 3 kat fazla ise (yani: $\Delta h > 3 \cdot m_{\Delta h}$) yada $t > 3$ ise değişimin anlamlı olduğu değil ise değişimin anlamsız olduğuna karar verilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 Ana nivelman ağı noktaları değişim miktarları ve anlamlılık durumları.

N.no	YükseklikDeğişim Miktarı (mm)	Yükseklik değişimi hatası (mm)	Test değeri	KARAR	
	$\Delta h = h_{2017} - h_{2016}$	$m_{\Delta h} = \sqrt{m_{h2017}^2 + m_{h2016}^2}$	$t = \frac{\Delta h}{m_{\Delta h}}$		
1	0				
2	1.9	2.2	0.9	Anlamsız	$< 3 \cdot \sigma$
3	-28.5	2.1	13.8	Anlamlı	$> 3 \cdot \sigma$
4	-40.3	2.9	13.8	Anlamlı	$> 3 \cdot \sigma$
5	-36.3	3.0	11.9	Anlamlı	$> 3 \cdot \sigma$
6	-9.4	3.4	2.8	Anlamlı	$> 3 \cdot \sigma$
7	-41.5	3.7	11.1	Anlamlı	$> 3 \cdot \sigma$
8	-26.0	4.4	5.8	Anlamlı	$> 3 \cdot \sigma$
9	-42.1	4.4	9.6	Anlamlı	$> 3 \cdot \sigma$
10	-29.1	4.8	5.9	Anlamlı	$> 3 \cdot \sigma$
11	-47.1	4.9	9.8	Anlamlı	$> 3 \cdot \sigma$
12	-53.6	5.6	10.3	Anlamlı	$> 3 \cdot \sigma$
13	-49.2	5.6	9.4	Anlamlı	$> 3 \cdot \sigma$
14	-61.2	5.8	11.2	Anlamlı	$> 3 \cdot \sigma$
15	-58.2	5.8	10.7	Anlamlı	$> 3 \cdot \sigma$

Bölgede ayrıca fay hattını dik kesen ve fay hattının sağ ve sol yakasındaki düşey yönlü hareketlerin tespit edilmesi için gerçekleştirilen nivelman ölçüleri ve bu noktaların yükseklikleri en küçük kareler yöntemine göre güzergâh başlangıç ve bitiş noktalarına dayalı olarak dengelenmiş ve nokta yükseklikleri elde edilmiştir. 2016 ve 2017 yılına ilişkin her bir nivelman güzergâhı ayrı ayrı dengelenmiştir. Örneğin 2016 yılına ait ölçülerin dengelemesinde dayalı noktaların yükseklik değerleri 2016 yılı ana nivelman

dengelemesi sonucunda bulunan yükseklikler alınarak, 2017 yılına ait ölçülerin dengelemesinde dayalı noktaların yükseklik değerleri 2017 yılı ana nivelman dengeleme sonucunda bulunan yükseklikler alınarak gerçekleştirilmiştir. Fay hattını dik kesen güzergâhlar ve bu güzergâhtaki noktaların değişim miktarları ve anlamlılık testleri aşağıda sıralanmıştır (Tablo 7-15).

Çizelge 4.2 101-107 noktalarının değişimleri [1-3 güzergahı boyunca].

NN	Yükseklik Değişim Miktarı (mm) $\Delta h = h_{2017} - h_{2016}$	Yükseklik değişimi hatası (mm) $m_{\Delta h} = \sqrt{m_{2017}^2 + m_{2016}^2}$	Test değeri $t = \frac{\Delta h}{m_{\Delta h}}$	KARAR	
10	-1.0	1.0	1.0	Anlamsız	< $3*\sigma$
10	-0.5	1.2	0.5	Anlamsız	< $3*\sigma$
10	2.5	1.3	1.9	Anlamsız	< $3*\sigma$
10	3.9	1.3	2.9	Anlamsız	< $3*\sigma$
10	-11.2	1.3	9.2	Anlamlı	> $3*\sigma$
10	-19.6	1.2	17.1	Anlamlı	> $3*\sigma$
10	-21.8	1.0	22.8	Anlamlı	> $3*\sigma$

Çizelge 4.3 201-207 noktalarının değişimleri [2-3 güzergahı boyunca].

NN	Yükseklik Değişim Miktarı (mm) $\Delta h = h_{2017} - h_{2016}$	Yükseklik değişimi hatası (mm) $m_{\Delta h} = \sqrt{m_{2017}^2 + m_{2016}^2}$	Test değeri $t = \frac{\Delta h}{m_{\Delta h}}$	KARAR	
201	2.5	0.8	3.3	Anlamlı	> $3*\sigma$
202	-3.4	0.9	3.7	Anlamlı	> $3*\sigma$
203	-5.1	1.0	4.9	Anlamlı	> $3*\sigma$
204	-12.5	1.1	11.9	Anlamlı	> $3*\sigma$
205	-11.2	1.0	11.0	Anlamlı	> $3*\sigma$
206	-17.9	0.9	19.3	Anlamlı	> $3*\sigma$
207	-26.5	0.8	35.2	Anlamlı	> $3*\sigma$

Çizelge 4.4 301-305 noktalarının değişimleri [3-4 güzergahı boyunca].

NN	Yükseklik Değişim Miktarı (mm)	Yükseklik değişimi hatası (mm)	Test değeri	KARAR	
	$\Delta h = h_{2017} - h_{2016}$	$m_{\Delta h} = \sqrt{m_{2017}^2 + m_{2016}^2}$	$t = \frac{\Delta h}{m_{\Delta h}}$		
301	-27.7	0.5	58.6	Anlamlı	> $3*\sigma$
302	-29.1	0.5	56.6	Anlamlı	> $3*\sigma$
303	-26.0	0.5	48.5	Anlamlı	> $3*\sigma$
304	-23.6	0.5	45.6	Anlamlı	> $3*\sigma$
305	-33.9	0.5	71.5	Anlamlı	> $3*\sigma$

Çizelge 4.5 401-414 noktalarının değişimleri [2-5 güzergahı boyunca].

NN	Yükseklik Değişim Miktarı (mm)	Yükseklik değişimi hatası (mm)	Test değeri	KARAR	
	$\Delta h = h_{2017} - h_{2016}$	$m_{\Delta h} = \sqrt{m_{2017}^2 + m_{2016}^2}$	$t = \frac{\Delta h}{m_{\Delta h}}$		
401	2.2	0.4	5.6	Anlamlı	> $3*\sigma$
402	2.8	0.5	5.8	Anlamlı	> $3*\sigma$
403	-8.3	0.5	15.2	Anlamlı	> $3*\sigma$
404	-10.4	0.6	17.8	Anlamlı	> $3*\sigma$
405	-27.5	0.6	44.3	Anlamlı	> $3*\sigma$
406	-33.0	0.6	52.6	Anlamlı	> $3*\sigma$
407	-35.1	0.7	53.8	Anlamlı	> $3*\sigma$
408	-40.0	0.7	61.5	Anlamlı	> $3*\sigma$
409	-38.1	0.6	60.6	Anlamlı	> $3*\sigma$
410	-34.5	0.6	55.6	Anlamlı	> $3*\sigma$
411	-27.6	0.6	47.2	Anlamlı	> $3*\sigma$
412	-29.9	0.5	55.4	Anlamlı	> $3*\sigma$
413	-37.2	0.5	76.4	Anlamlı	> $3*\sigma$
414	-38.4	0.4	97.9	Anlamlı	> $3*\sigma$

Çizelge 4.6 501-515 noktalarının değişimleri [6-7 güzergahı boyunca].

NN	Yükseklik Değişim Miktarı (mm) $\Delta h = h_{2017} - h_{2016}$	Yükseklik değişimi hatası (mm) $m_{\Delta h} = \sqrt{m_{2017}^2 + m_{2016}^2}$	Test değeri $t = \frac{\Delta h}{m_{\Delta h}}$	KARAR	
501	-10.0	0.7	14.6	Anlamlı	> $3^*\sigma$
502	-11.9	0.8	14.3	Anlamlı	> $3^*\sigma$
503	-22.8	0.9	24.1	Anlamlı	> $3^*\sigma$
504	-23.9	1.0	23.2	Anlamlı	> $3^*\sigma$
505	-26.0	1.1	24.1	Anlamlı	> $3^*\sigma$
506	-33.9	1.1	30.5	Anlamlı	> $3^*\sigma$
507	-33.6	1.1	29.7	Anlamlı	> $3^*\sigma$
508	-33.6	1.1	29.5	Anlamlı	> $3^*\sigma$
509	-34.4	1.1	30.3	Anlamlı	> $3^*\sigma$
510	-33.4	1.1	30.0	Anlamlı	> $3^*\sigma$
511	-34.1	1.1	31.5	Anlamlı	> $3^*\sigma$
512	-36.4	1.0	35.5	Anlamlı	> $3^*\sigma$
513	-34.5	0.9	36.2	Anlamlı	> $3^*\sigma$
514	-39.7	0.8	47.3	Anlamlı	> $3^*\sigma$
515	-41.7	0.7	60.3	Anlamlı	> $3^*\sigma$

Çizelge 4.7 601-605 noktalarının değişimleri [8-9 güzergahı boyunca].

NN	Yükseklik Değişim Miktarı (mm) $\Delta h = h_{2017} - h_{2016}$	Yükseklik değişimi hatası (mm) $m_{\Delta h} = \sqrt{m_{2017}^2 + m_{2016}^2}$	Test değeri $t = \frac{\Delta h}{m_{\Delta h}}$	KARAR	
601	-21.2	0.3	67.1	Anlamlı	> $3^*\sigma$
602	-17.9	0.4	49.7	Anlamlı	> $3^*\sigma$
603	-34.0	0.4	93.4	Anlamlı	> $3^*\sigma$
604	-28.1	0.4	80.1	Anlamlı	> $3^*\sigma$
605	-36.9	0.3	119.8	Anlamlı	> $3^*\sigma$

Çizelge 4.8 701-703 noktalarının değişimleri [10-11 güzergahı boyunca].

NN	Yükseklik Değişim Miktarı (mm) $\Delta h = h_{2017} - h_{2016}$	Yükseklik değişimi hatası (mm) $m_{\Delta h} = \sqrt{m_{2017}^2 + m_{2016}^2}$	Test değeri $t = \frac{\Delta h}{m_{\Delta h}}$	KARAR	
701	-26.5	0.5	51.5	Anlamlı	> $3^*\sigma$
702	-49.5	0.5	90.4	Anlamlı	> $3^*\sigma$
703	-40.3	0.5	79.6	Anlamlı	> $3^*\sigma$

Çizelge 4.9 801-804 noktalarının değişimleri [12-13 güzergahı boyunca].

NN	Yükseklik Değişim Miktarı (mm)	Yükseklik değişimi hatası (mm)	Test değeri	KARAR	
	$\Delta h = h_{2017} - h_{2016}$	$m_{\Delta h} = \sqrt{m_{2017}^2 + m_{2016}^2}$	$t = \frac{\Delta h}{m_{\Delta h}}$		
801	-50.1	0.9	59.7	Anlamlı	> 3*σ
802	-43.8	1.0	47.5	Anlamlı	> 3*σ
803	-62.5	1.0	66.0	Anlamlı	> 3*σ
804	-55.8	0.9	65.3	Anlamlı	> 3*σ

Çizelge 4.10 901-904 noktalarının değişimleri [14-15 güzergahı boyunca].

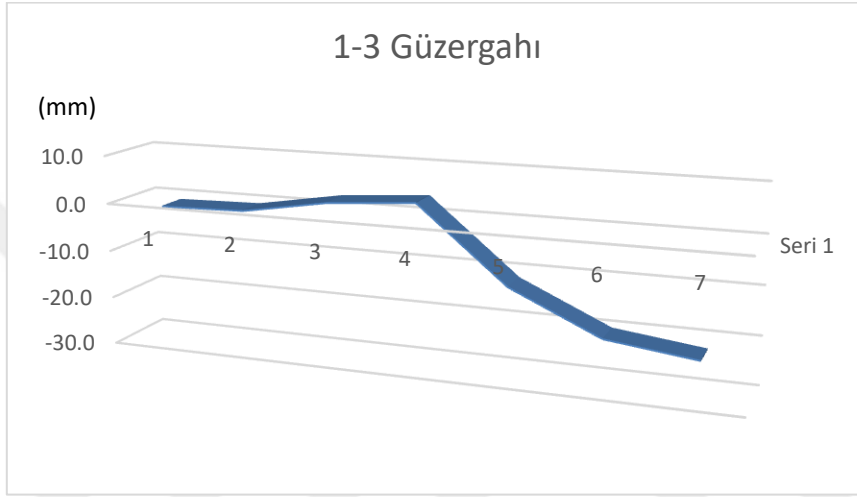
NN	Yükseklik Değişim Miktarı (mm)	Yükseklik değişimi hatası (mm)	Test değeri	KARAR	
	$\Delta h = h_{2017} - h_{2016}$	$m_{\Delta h} = \sqrt{m_{2017}^2 + m_{2016}^2}$	$t = \frac{\Delta h}{m_{\Delta h}}$		
901	-57.9	0.8	43.5	Anlamlı	> 3*σ
902	-58.8	0.9	39.0	Anlamlı	> 3*σ
903	-63.2	0.9	38.6	Anlamlı	> 3*σ
904	-56.2	0.8	42.3	Anlamlı	> 3*σ

Çizelge 4.11 Nivelman Ağları ve Noktaları.

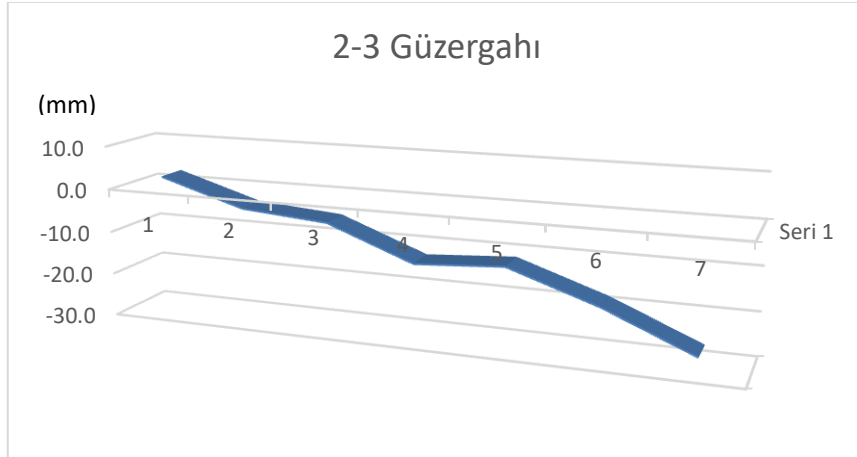
Profiller	Noktalar
Profil 1	1-101-102-103-104-105-106-107-3
Profil 2	2-201-202-203-204-205-206-207-3-301-302-303-304-305-4
Profil 3	2-401-402-403-404-405-406-407-408-409-410-411-412-413-414-5
Profil 4	6-501-502-503-504-505-506-507-508-509-510-511-512-513-514-515-7
Profil 5	8-601-602-603-604-605-9
Profil 6	10-701-702-703-11
Profil 7	12-801-802-803-804-13
Profil 8	14-901-902-903-904-15

Ağ noktalarının dengelemesini iki ayrı aşamada gerçekleştirilmesinin temel gerekçesi güzergâh uzunluklarının ve dolayısıyla ölçü ağırlıklarının ağda homojen olmamasıdır.

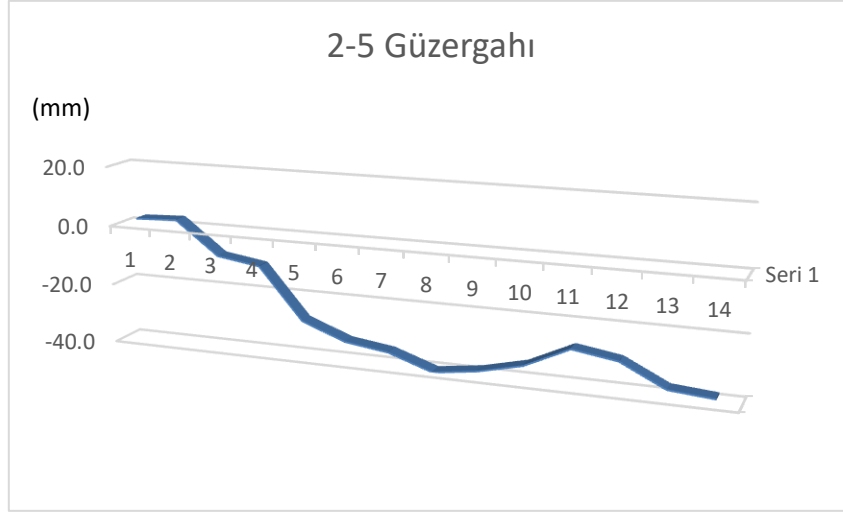
Bu nedenle önce 1-15 noktalarından oluşan ana ağın dengelenmesi deformasyon analizi sonucu sabit kalan 1 noktasına dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, dengelenmiş ana noktalar arasında kalan ve genellikle eşit uzaklıklı noktalar (101-107, 201-207, 301-305, 401-414, 501-515, 601- 605, 701-703, 801-804, 901-904; [toplamda 8 ayrı güzergâh]) ayrı ayrı iki noktaya dayalı olarak dengelenmiştir. Nivelman güzergâhları boyunca dengelenmiş yükseklikler arasındaki farkların bazıları (Şekil 4.11) (Şekil-4.13) verilmiştir.



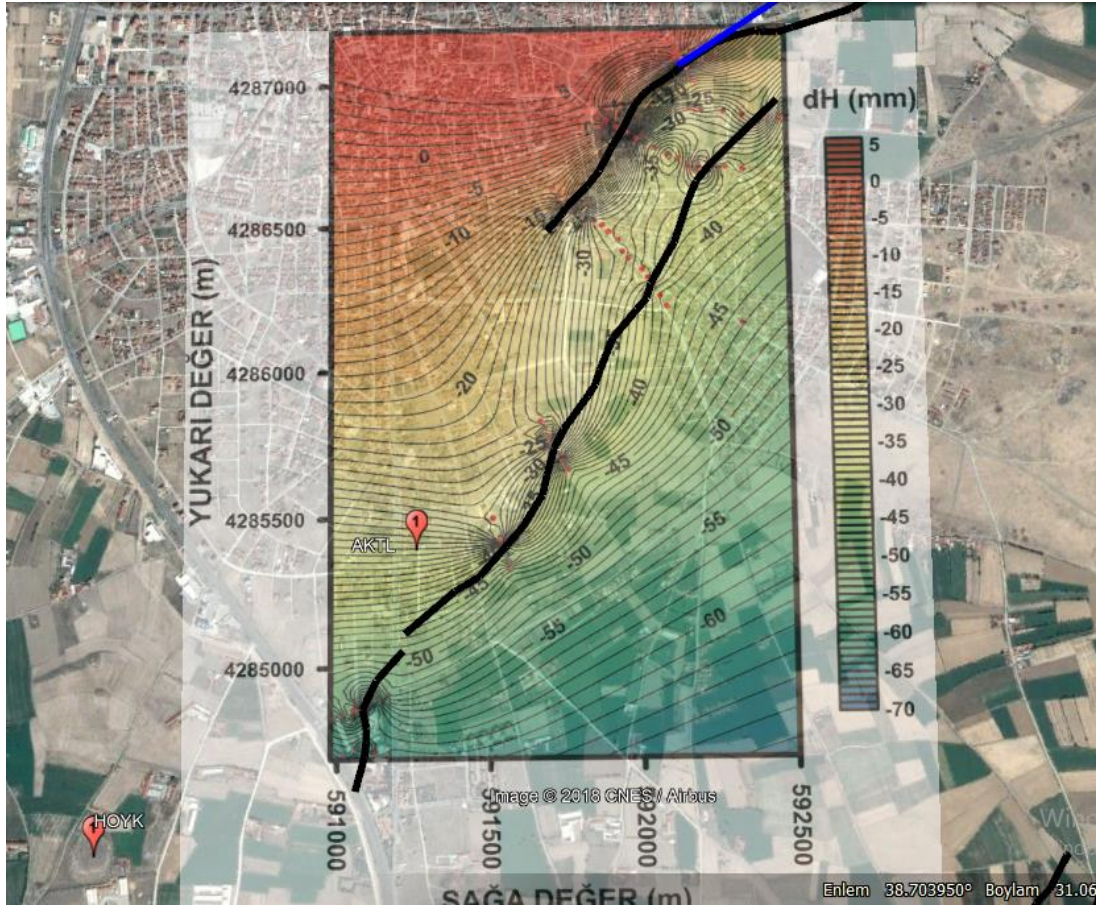
Şekil 4.11 1-3 Güzergahı (mm).



Şekil 4.12 2-3 Güzergahı (mm).



Şekil 4.13 2-5 Güzergahı (mm).



Şekil 4.14 Deformasyon haritası (mm). Siyah kalın çizgiler yüzey deformasyonlarını, kırmızı daireler deformasyon noktalarını göstermektedir.

Çizelge 4.1 - 4.12 arasında elde edilen dengelenmiş yüksekliklere ilişkin fark haritası oluşturulmuştur. Daha sonra oluşturulan fark haritaları uydu görüntüleri ile karşılaştırılmıştır. Fark haritalarının üzerine daha önceki raporlarda anlatılan yüzey deformasyon hatları işlenmiştir (Şekil 4.14).



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bolvadin bölgesinde yapılmış olan arazi çalışmalarında, uzunlukları yaklaşık 300 metre ile 2 km arasında değişen doğrultuları ise K15°D ile K70°D arasında olan çizgisel gidişli baskın olarak yıkıcı deprem olmaksızın, meydana gelmiştir. Bu yüzey deformasyonları yüzey faylanması ile yer yer yüzey yarıkları şeklinde gelişen ve Bolvadin aktif fayı üzerinde meydana geldiğine işaret etmektedir. Ayrıca, bu bölgedeki asismik yüzey faylanmaları ile meydana gelen düşey yer değiştirmelerin yeraltı suyu düşüşüne bağlı gelişen oturmalar ile birlikte tektonik krip ve sismik etkinlikler ile de ilişkili olabileceği ileri sürülmüştür (Özkaymak vd. 2014, 2015, 2017).

Bölgede meydana gelen yüzey deformasyonlarını incelemek amacıyla deformasyonlara dik 8 adet profil şeklinde nivelman ağı tesis edilmiştir. Bu ağlarda hassas nivelman ölçü yöntemiyle gidiş dönüş ölçüler yapılmıştır. Gidiş dönüş nivelman ölçüleri arasında maksimum 2-3 mm farklar bulunmuştur.

Bu farklar incelendiğinde Alman standartlarında (DIN-18710) kabul edilebilir sınırlarda olduğu görülmüştür. Noktalar arasındaki yükseklik farkları incelendiğinde 12 aylık dönemde 3 farklı kol boyunca gelişen yüzey deformasyonları boyunca güneydoğuda kalan bloğun düştüğüne işaret etmektedir. Bu kollar üzerinde gerçekleştirilen Nivelman ölçümleri, yaklaşık -5 ile -65 mm/yıl arasında düşey yönde deformasyonların geliştiğine, işaret etmektedir. Tüm ağdaki noktaların değişim miktarları bir bütün olarak inceleyebilmek için bölgeyi, görünen yüzey deformasyonlarının ve noktaların dağılımını gösteren bir deformasyon haritası oluşturulmuştur. Kuzey doğudaki noktalarda bu değerler 2017 yılında -10 mm iken 2018 yılında -40 mm değerlerine ulaşırken güney batıda bu değerler sırasıyla -63 mm değerlerine ulaşmıştır. Benzer şekilde noktalardaki deformasyon miktarları bağıl olarak karşılaştırma yapıldığında, kuzeybatıdan güneydoğuya doğru artış göstermiştir. Özellikle Profil 2, 3, ve 4 de ki düşey yer değiştirmeler incelendiğinde açıkça görülmektedir.

Bu deformasyonların hassas nivelman yöntemiyle ölçülmesi sonucu ortaya çıkan yer değiştirme ve deformasyon geometrisi Bolvadin ana fayının geometrisi ve kinematik özellikleri ile uyum göstermektedir.

Tez çalışması sonucunda elde edilen bilgiler ışığında bölgenin tektoniği ile ilgili öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Şehrin güney kısmından başlayarak kuzeybatı istikametine doğru bir hat boyunca devam eden yüzey kırıklarının bulunduğu alanların büyük bir kısmı İmar planı içerisinde konut alanında kaldığından söz konusu alanlarda yapılacak yeni yapılaşmalar büyük risk oluşturmaktadır.
- Söz konusu çalışmanın yapıldığı bölgenin büyük bir kısmı İmar planı içerisinde kaldığından İmar Planına Esas Mikro bölgeleme Etüt Raporu hazırlanması gerekmektedir.
- Bölgedeki yapılan çalışmalar sonucunda düşey yer değiştirme hareketlerinin homojen olmadığı ve çeşitlilik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu değişkenlik aşırı yeraltı suyu yönelimleri ve tektonik aktiviteler gibi mekanizmalar nedeniyle olabilir. Yükseklik ölçümlerinin temel bir sınırlaması, ölçümlerin mekansal sürekliliği olmayan belirli noktalarla sınırlı olmasıdır. Yapılan hassas nivelman ölçüleri ile düşey yer değiştirme hareketlerinin tam olarak yer altı sularından mı kaynaklandığı veya tektonik hareketlerden mi kaynaklandığı sonucuna ulaşılmasının mümkün olmadığından dolayı söz konusu alanda InSAR (İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar) tekniği ve GNSS ölçüleri yardımıyla daha net sonuçlara ulaşılabileceği düşünülmektedir (Tiryakioğlu *et al.* 2019).

6. KAYNAKLAR

- Ambraseys, N.N. (1970). Some Characteric Features of the Anatolian Fault Zone, *Tectonophysics*, **9**: 143-165.
- Akyüz, S. Uçarkuş, G. Şatır, D. Dikbaş, A. ve Kozacı, Ö., (2006). 3 Şubat 2002 Çay Depreminde Meydana Gelen Yüzey Kırığı Üzerinde Paleosismolojik Araştırmalar. *Yerbilimleri*, **27**: 41-52.
- Baykal, O., (2002). İstanbul Teknik Üniversitesi, Presizyonlu Nivelman Teniği Yüksek Lisans Ders Notları, Yayınlanmamış, İstanbul.
- Bayrak, T. (2011). Dengeleme Hesabı II ders notları, Yayınlanmamış, Gümüşhane.
- Blumenthal, M., (1963). Le systeme structural du Taurus sud-Anatolien. In Livre a memoire du Proffesseur P. Fallot. Memoire de la Societe Geologique de France, **2**: 611- 662.
- Bektaş, S. (1990). Serbest Ağ Dengelemesi, *Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Dergisi*, **66**: 34.
- Bozkurt, E. (2001), “Neotectonics of Turkey-a synthesis”, *Geodinamica Acta.*, **14**: 3-30.
- Ceylan, A., (1993). Presizyonlu Nivelman Yerine Trigonometrik Nivelman Yönteminin Kullanılabileceği Üzerine Bir Çalışma, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Collins ,D., (2000). Understanding GPS Priciples and Applications, Artech House, 1-100, Norwood.
- Demirtaş, R. ve Yılmaz, R., (1996). Türkiye’nin Sismotektoniği, Sismisitedeki Uzun Süreli Değişim ve Güncel Sismisiteyi Esas Alarak Deprem Tahminine Bir Yaklaşım, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Dergisi*, **91**: 55-62.
- Demirtaş, R., İravul, Y., ve Yaman M. (2002). 3 Şubat 2002 Eber ve Çay depremleri ön raporu. *Jeoloji Mühendisliği Haber Bülteni*, **1-2**: 58-63.

- Demirtaş, R., Ercan, S., Demir, B. ve Aktan., M., (2008). Ege Çöküntü Bölgesi'nde Alüvyal Havzalarda Son 20 Yılda Oluşmuş Yüzey Deformasyonlarının Oluşum Mekanizması. ATAG 12 Bildiri Özleri Kitabı, 42-44.
- DPT, (2017). Disaster Management and Economic Impacts of Disasters, Devlet Planlama Teşkilatı Doğal Afetler İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara
- Ekinci, S.K., Çamyar, E. ve Maldar, C., (2005). Klasik Presizyonlu Nivolar ile Elektronik Presizyonlu Nivoların Karşılaştırılması, Tasarım Projesi, İ.T.Ü.. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Ekinci, S.K., (2008). Sayısal Presizyonlu Nivolar ve Sayısal Prezisyonlu Nivelman Tekniğinin Doğruluğu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Doğan, A., Özalp, S., Tokay, F. ve Kuşcu, İ., (2003). Surface Faulting Associated with the Sultandağı Earthquake (Mw 6.5) of 3 February 2002, Southwestern Turkey. Seismological Research Letters **74**: 382-392.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Olgun, Ş. ve Elmacı, H., (2011). 1:250.000 scale active fault map series of Turkey, Afyon (NJ 36-5) Quadrangle. Serial number: 16, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey
- Erdoğan, S., (2006). Burdur Fethiye Fay Zonu Tektonik Hareketlerinin GPS ile Belirlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gürdal, M.A., (2004). Sayısal Nivoların Teknolojisi ve Tarihsel Gelişimi, *Harita Dergisi*, **131**: 20-33,
- Gürsoy, H., Temiz, H., Tatar, O. ve Barka, A., (1997). Gediz grabeni güney kenarındaki güncel deformasyon verileri. II. İzmir ve Çevresinin Jeoteknik ve Deprem Sorunları Sempozyumu, Bildiri Özetleri, s.14.
- Herring, T.A.,(1999). Geodetic Applications of GPS, *IEEE*, **87**: 1.

- Karagöz, Ç.B (2008). Dinar Fayı Tektonik Hareketlerinin presizyonlu nivelman yöntemiyle belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- Koca, M. Y., Sözbilir, H. ve Uzel, B., (2011). Sarıgöl Fay Zonu Boyunca Meydana Gelen Deformasyonların Nedenleri Üzerine bir araştırma. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* **35**: 151-173.
- Koçak, M.G. ve Ayan, T., (2005). GPS Sabit İstasyonlarında Zaman Serileri Analizi, *İTÜ Mühendislik Dergisi*, **3**: 126-134.
- Koçyiğit, A., (1984). Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, **27**: 1-15.
- Koçyiğit, A., Ünay, E. ve 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* **173**: 285-301
- Koçyiğit, A., Bozkurt, E., Kaymakçı, N. ve Şaroğlu, F., (2002). 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) Depreminin Kaynağı ve Ağır Hasarın Nedenleri: Akşehir Fay Zonu, ODTÜ Tektonik Araştırma Birimi Ön Raporu, Ankara.
- Koçyiğit, A. ve 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
- Le Pichon, X., Franheteau, J. ve Bonnin, J., (1973). Plate Tectonics. Developments in Geotectonics, Elsevier, 300 p., Amsterdam
- Mc Clusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gürkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kantens, K., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Perilepin, M., Reilinger, R., Şanlı, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M.N. ve Vis, G., (2000). Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics and Dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus, *Journal of Geophysical Research*, **105**: 5695-5719.

- Özden, S., Kavak, K.Ş., Koçbulut, F., Över, S. ve Temiz, H., (2002). 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) Depremleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, **45**: 49-56
- Öztürk, E., (1993). Ülke Nirengi Ağ Sıklaştırılması İçin Yersel Gözlemlerle GPS Ölçülerinin Birlikte Değerlendirilmesi, Prof. Dr. H. Wolf Jeodezi Sempozyumu, İstanbul, 3-5 Kasım, 81-89.
- Özkaymak, Ç., Yıldız, A., Sarıkaya, H., Başaran, C., Dumlupınar, İ., Akman, İ., (2014). Bolvadin Fayı boyunca meydana gelen yüzey deformasyonları, Batı Anadolu-Türkiye. Aktif Tektonik Araştırma Grubu Çalıştayı Onsekizinci Çalıştayı (ATAG-18), Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, 5-7 Kasım 2014, Bildiri Özleri Kitabı, s. 52.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Tiryakioğlu, İ., Baybura, T., (2015). Sarıgöl (Gediz Grabeni, Manisa) ile Bolvadin'de (Afyon-Akşehir Grabeni, Afyon) Gözlenen Yüzey Deformasyonlarının Oluşum ve Kökensel Açından Karşılaştırılması. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 68. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 06-10 Nisan 2015, Bildiri Özleri Kitabı, 464-465.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir H., Tiryakioğlu, İ., Baybura, T., (2017). Bolvadin'de (Afyon-Akşehir Grabeni, Afyon) Gözlenen Yüzey Deformasyonlarının Jeolojik, Jeomorfolojik ve Jeodezik Analizi. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası. Türkiye Jeoloji Bülteni 169-188, 01 Nisan 2017,
- Poyraz, F., (2009). Kuzey Anadolu Fay Zonu Doğu Kesiminde Yatay Yerkabuğu Hareketleri ve Gerilme Birikiminin Araştırılması, Doktora Tezi Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Press, F. ve Siever, R., (1999). Understanding Earth, W.H. Freeman and Company.
- Sylvester, A.G., (1984). Leveling Precision and Benchmark Motions, Pinon Flat Observatory, California, *Journal of Geophysical Research*, **89**: 7949-7956.
- Sylvester, A.G., (1986). Nearfield Tectonic Geodesy, National Academy Press, Washington, 164-180.

- Sylvester, A.G., (1995). Nearfield Vertical Displacement in the Creeping Segment of the San Andreas Fault, Central California, 1975 to 1994 , *Tectonophysics* **247**: 4-25.
- Tiryakioğlu, İ., Güllü, M., Baybura, T. ve Erdoğan, S., (2005). GPS Sinyal Yansımasının (Multipath) Nokta Konumlarına Etkisinin Araştırılması, HKMO 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul.
- Tiryakioğlu, İ., Baybura, T., Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Sandıkçioğlu, A., Erdoğan, S., Yılmaz, İ., Uysal, M., Yılmaz, M., Yıldız, A., Dereli, M.A., Yalçın, M., Dumlupınar, İ., M., Yalım, H., Ertuğrul, O., (2015). Sultandağı Fayı Batı Kısmı Fay Aktivitelerinin Multidisipliner Çalışmalarla Belirlenmesi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **7**: 7-16.
- Tiryakioğlu, İ., Özkaymak, C., Uğur, M. A., Baybura, T., Yılmaz, M., Yigit C. O., Dindar, A. A., Poyraz, F., Sozbilir, H., (2016). Akşehir Simav Fay Sistemindeki Güncel Tektonik Hareketlerinin İzlenmesi: Bolvadin’de Meydana Gelen Güncel Yüzey Deformasyonlarının Haritalanması, 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul 19-21 Ekim 2016.
- Tiryakioğlu, İ., Uğur, M.A., Yalçın, M., Baybura, T., Yılmaz, M., Özkaymak, Ç., Yiğit, C.O., Dindar, A.A., Poyraz, F., Uysal, M., Sözbilir, H., Gülal, E., (2017). Akşehir Simav Fay Sistemindeki Güncel Tektonik Hareketlerinin İzlenmesi: Nivalman Çalışmaları, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 11-13 Ekim 2017.
- Tiryakioğlu, İ., Yiğit, C.O., Özkaymak, Ç., Baybura, T., Yılmaz, M., Uğur, M., Yalçın, M., Poyraz, F., Sözbilir, H., Gülal, E., (2019) Active surface deformations detected by precise levelling surveys in the Afyon-Akşehir Graben, Western Anatolia, *Geofizika Vol. 36*, 2019
- Toksöz, N., (1975). Subduction of the Lithosphere, *Scientific American*, **233**: 89-101.
- Turan, N., (2002). Geological map of Turkey in 1:500.000 scale: Ankara sheet. Publication of Mineral Research and Exploration Direction of Turkey (MTA), Ankara.

Tüdeş, T., (1989). Ölçme Bilgisi, 408-426 , Trabzon.

Tüdeş, T., (1994). Kadastro Bilgisi, 239 , Trabzon

Tüysüz, O., (1999). Yeryuvarının iç Yapısı Depremler ve Türkiye, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ulusay, R., Aydan, Ö., Erken, A., Tuncay, E., Kumsar, H. ve Kaya, Z., (2004). An overview of geotechnical aspects of the C ay-Eber (Turkey) earthquake, *Engineering Geology* **73**: 51–70.

Yağmurlu F. ve Şentürk M., (2005). Güneybatı Anadolu'nun Güncel Tektonik Yapısı, Türkiye Kuvaterner Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2-5 Haziran,.

Yürür, T., Köse, O., Demirbağ, H., Özkaymak, Ç. Ve Selçuk, L. (2003). Could the coseismic fractures of a lake ice reflect the earthquake mechanism (Afyon earthquakes of 2 March 2002, Central Anatolia, Turkey), *Geodinamica Acta* **16**: 83-87.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa YALÇIN

Doğum Yeri ve Tarihi : 15.01.1990 Bolvadin

Yabancı Dili : İngilizce

İletişim (Telefon/e-posta) : 546-765-39-49 / mustafayalcin03@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bolvadin Anadolu Öğretmen Lisesi, (2004-2008)

Lisans : Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, (2009-2014)

Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, (2015-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Özel Sektör (2014-2015), Bolvadin Belediyesi-Harita Mühendisi (2015- Devam ediyor)