

**BOLVADİN FAYINDAKİ YÜZEY
DEFORMASYONLARININ YER ALTI SULARI
İLE İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan Basri BOZKUŞ

Danışman

Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2019

Bu tez çalışması 115Y246 numaralı proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BOLVADİN FAYINDAKİ YÜZEY DEFORMASYONLARININ YER
ALTI SULARI İLE İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Hasan Basri BOZKUŞ

DANIŞMAN

Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MAYIS 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Hasan Basri BOZKUŞ tarafından hazırlanan “BOLVADİN FAYINDAKİ YÜZEY DEFORMASYONLARININ YERALTI SULARI İLE İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 17/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç.Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Başkan : Doç.Dr. Mustafa YILMAZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi.....

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

Üye : Dr.Öğr. Üyesi Mehmet Ali DERELİ
Giresun 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.

10.06.2019

Hasan Basri BOZKUŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BOLVADİN FAYINDAKİ YÜZEY DEFORMASYONLARININ YER ALTI SULARI İLE İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Hasan Basri BOZKUŞ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Bu araştırmada, son 10 yılda Bolvadin ilçe merkezinde meydana gelen asismik yüzey deformasyon miktarı nivelman yöntemiyle belirlenmiştir. Bu amaçla Bolvadin ilçe merkezine yüzey deformasyonlarına dik olarak 9 profilden oluşan nivelman ağı tesis edilmiştir. 2016-2018 yılları ağustos ayları arasında 12 kampanya nivelman ölçüsü yapılmıştır. Yapılan ölçüler sonucunda bölgede 2 yılma 100 mm ulaşan deformasyonlar hesaplanmıştır. Daha sonra bölgede bulunan DSİ su kuyularından yeraltı su seviyelerini gösterir veriler alınmıştır. Yeraltı su seviyelerinin 24 ayda 5 metre düştüğü tespit edilmiştir. Yeraltı su seviyeleriyle deformasyonlar arasında korelasyonu araştırma için Kendal, Sperman ve Pearson korelasyon yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 4 ve 5 nolu kuyular hariç yüzey deformasyonlarıyla yeraltı su seviyelerindeki düşüş arasında orta seviyede korelasyon olduğu tespit edilmiştir.

2019, viii + 48 sayfa

Anahtar Kelimeler: Nivelman, yüzey deformasyonu, korelasyon, yeraltı su seviyesi

ABSTRACT

M.Sc Thesis

DETERMINATION OF SURFACE DEFORMATIONS IN BOLVADIN FAULT WITH PRECISION LEVELING METHOD AND INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP WITH UNDERGROUND WATERS

Hasan Basri BOZKUŞ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. İbrahim TİRYAKİOĞLU

In this study, the amount of aseismic surface deformation occurring in Bolvadin district center in the last 10 years was determined by leveling method. For this purpose, the Bolvadin district center has a leveling network consisting of 9 profiles perpendicular to the surface deformations. 12 campaign leveling measurements were made between in 2016-2018. As a result of the measurements made, the deformations reaching to the 2 years 100 mm in the region were calculated. Subsequently, data were collected from DSI water wells in the region showing groundwater levels. It was determined that underground water levels decreased 5 meters in 24 months. Kendal, Sperman and Pearson correlation methods were used to investigate the correlation between groundwater levels and deformations. According to the results, there was a correlation between surface deformations and decrease in ground water levels except for wells 4 and 5.

2019, viii + 48 pages

Keywords: Levelling, surface deformation, correlation, groundwater levels

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca yardım, bilgi ve tecrübeleri ile bana sürekli destek olan, tez konusunu seçerken isteklerimi göz önünde bulundurup bana yardımcı olan, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali DERELİ 'ye, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca çalışmayı destekleyen TÜBİTAK'a (Proje No: 115y246) teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme ve eşime teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hasan Basri BOZKUŞ
AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
3. BÖLGE TEKTONİĞİ	7
3.1 Akşehir Simav Fay Sistemi	7
3.2 Bolvadin Fayı	7
3.3 Yüzey Deformasyonlarının Sınıflandırılması.....	8
4. NİVELMAN ve NİVELMAN TÜRLERİ.....	10
4.1 Geometrik Nivelman	11
4.2 Trigonometrik Nivelman	12
4.3 Barometrik Nivelman	13
4.4 Hidrostatik Nivelman	13
4.5 Nivelmana Etki Eden Hatalar	13
4.5.1 Düzenli (Sistematik) Hatalar	13
4.5.2 Düzensiz (Tesadüfi) Hatalar	13
4.6 Hassas Nivelman	14
4.6.1 Hassas Nivelmanda Doğruluk Derecesini Etkileyen Hususlar	14
5. KORELASYON VE KORELASYON TÜRLERİ.....	16
5.1 Pearson-Moment Korelasyon Katsayısı	16
5.2 Spearman-Rank Korelasyon Katsayısı	17
5.3 Kendall-Tau Korelasyon Katsayısı.....	18
6. UYGULAMA.....	20
6.1 Jeodezik Nivelman Ağın Kurulması.....	21
6.2 Hassas Nivelman Ölçüleri	23

6.3 Hassas Nivelman Ölçülerinin Değerlendirilmesi	27
6.4 Yeraltı Su Seviyelerinin İncelenmesi	38
6.5 Nivelman Sonuçları ile Yer Altı Su Seviyelerinin İlişkisinin Araştırılması	40
7. SONUÇ.....	42
8. KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ.....	49

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

AAG	Afyon – Akşehir Grabeni
AKÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ASFS	Afyon – Sultanağı Fay Sistemi
ASFZ	Afyon – Sultandağı Fay Zonu
GAMIT	GPS Analysis at MIT
GLOBK	Global Kalman Filter
GLONASS	Global Orbiting Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning Systems
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
KRDAE	Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
MC	Magnitude Of Completeness
MIT	Massachusetts Institute of Technology
SLR	Satellite Long Range
VLBI	Very Long Baseline Interferometry
WGS	World Geodetic System

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Bolvadin fayı (Emre <i>et al.</i> 2011).	8
Şekil 3.2 Yüzey yarığı.	9
Şekil 4.1 Nivelman Mantiğı.	10
Şekil 4.2 Nivelman yükseklik farkı.	11
Şekil 4.3 Trigonometrik nivelman.....	12
Şekil 6.1 Bolvadin imar planı alanı içerisinde gözlenen deformasyonlar.	20
Şekil 6.2 Bolvadin yerleşim alanı içerisinde gözlenen deformasyonlar.	21
Şekil 6.3 Nivelman tesisleri.....	22
Şekil 6.4 Elektrik direkleri kesit görüntüsü.	22
Şekil 6.5 Kurulan nivelman ağı. Kırmızı hatlar yüzey deformasyonlarını, Yeşil hatlar nivelman güzergâhlarını göstermektedir.	23
Şekil 6.6 Nivelman ölçüleri (Ağustos 2018).	26
Şekil 6.7 Kırmızı hatlar yüzey deformasyonlarını, Yeşil hatlar nivelman güzergâhlarını, sarı ve mavi hatlar bağlantı nivelmanını göstermektedir.	26
Şekil 6.8 Birinci güzergah aylık (A) ve mevsimlik (B) deformasyonlar.	28
Şekil 6.9 İkinci güzergah aylık (A) ve mevsimlik (B) deformasyonlar.	29
Şekil 6.10 İkinci ve üçüncü güzergahlar.	30
Şekil 6.11 Üçüncü güzergah aylık ve mevsimlik deformasyonlar.	31
Şekil 6.12 Altıncı güzergah aylık ve mevsimlik deformasyonlar.	32
Şekil 6.13 Yedinci güzergah aylık ve mevsimlik deformasyonlar.	33
Şekil 6.14 Sekizinci güzergah aylık ve mevsimlik deformasyonlar.	34
Şekil 6.15 Dokuzuncu güzergah aylık ve mevsimlik deformasyonlar	35
Şekil 6.16 Dördüncü güzergah aylık ve mevsimlik deformasyonlar.	36
Şekil 6.17 Beşinci güzergah aylık ve mevsimlik.	37
Şekil 6.18 Bolvadin bölgesinde bulunan yeraltı suyu gözlem kuyuları.	38
Şekil 6.19 Bolvadin merkez yeraltı suyu gözlem kuyusu.	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 6.1 Kampanya tarihleri.....	24
Çizelge 6.2 Örnek nivelman klişeleri.	25
Çizelge 6.3. Nivelman güzergah uzunlukları ve tecviz sınırları.	27
Çizelge 6.4 Bolvadin merkez (28372) yeraltı suyu gözlem kuyusu su seviyeleri	39
Çizelge 6.5 Korelasyon katsayıları.....	41

1. GİRİŞ

Depremler rasgele olaylar olmayıp yerküreyi şekillendiren tektonik hareketler ile yakından ilişkilidir. Levha ve fay hareketleri nedeniyle, litosfer (taşküre) parçalarında deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu deformasyonlar sonucunda levha ve fayların iki taraflarında bulunan sabit noktalar birbirine göre hareket etmekte, tahmini hareket miktarı yılda 100 mm'ye kadar çıkabilmektedir (Herring 2009). Bir kaç yıl süren araştırmalar sonunda bir nokta üzerinde deformasyon olduğunun belirlenmesi, bu bölgede gerilim olduğunun ve bölgenin tektonik anlamda aktif olduğunun habercisi anlamına gelmektedir. Bu gibi durumlarda ortaya çıkan deformasyon birikimleri genellikle depremlerle sonuçlanmaktadır. Jeolojik gözlemler ve jeofizik ölçümler sonucunda bu depremlerin önceden tahmin edilebilmeleri, tüm bilimsel çalışmaların genel hedefini oluşturmaktadır (Erdoğan 2006).

Türkiye, yeryüzünün en önemli deprem kuşaklarından birisi olan, Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır (McKenzie 1978). Anadolu levhası güneyde K-KB yönünde hareket eden Afrika ve Arap levhaları ile kuzeydeki Avrupa levhası arasında yer almakta olup, batıya doğru kaymaya zorlanmaktadır (Şengör and Yılmaz, 1981,). Bu nedenle depremler genellikle Anadolu levhasının, çevresindeki levhalarla olan sınır zonlarında meydana gelmektedir. Ayrıca batıya kaymaya zorlanan Anadolu levhasının hareketi batıda Ege levhasınca durdurulmaya çalışıldığından, bölgede K-G yönlü genişlemenin söz konusu olduğu Ege grabenleri oluşmuştur (Dewey and Şengör 1979). Dinar'daki tektonik yapı bu şekilde oluşmuş bir horst-graben yapısıdır. 2 Tarih boyunca yıkıcı depremlere sahne olmuş Dinar'da son büyük deprem 1 Ekim 1995 tarihinde olmuştur. 6.1 büyüklüğündeki bu deprem büyük maddi hasara ve 96 kişinin ölümüne yol açmıştır (Öncel *et al.* 1998).

Bazı faylar yüzeyleri boyunca bir kayma hareketi yapar. Bu yavaş asismik kayma hareketi "Fay kripi" ya da "krip" olarak adlandırılır. Krip hareketi, sabit ve sürekli veya geçici ve bölgesel olup, krip hareketi görülen fay segmentlerindeki uzun zamanlı hızı depremlerden önce veya sonra değişken olabilir. Krip hareketi fay zonlarında iki şekilde görülmektedir. Bunlardan birincisi, krip hızının fayı oluşturan levhaların

ortalama hızına eşit olması durumunda enerji birikiminin olmayacağı ve kriptli segmentlerde büyük deprem oluşumunun engelleneceğı şeklindedir. İkincisi ise, krip hareketinin sığ bir derinlikte oluştuğı ve levhaların hızından daha yavaş bir kayma hızına sahip olduğudur. Bu durumda enerji birikimini engellenemez. Dolayısıyla fay orta ve büyük depremlere neden olabilir. Bu bakımdan, bazı araştırmacılara göre krip, depremlerin habercisidir. Bu sebeplerden dolayı, doğrultu ve derinlik boyunca fay kripinin hız ve büyüklüğü, sismik risklerin değerlendirmesi ve deprem döngüsü ile fay davranışlarını anlayabilmemiz için anahtar parametrelerdir. Bu yüzden faylar sürekli olarak izlenmesi ve belirlenmesi gerekir

Bu çalışma kapsamında, Afyon-Akşehir Grabeni'nin orta bölümünde yer alan Bolvadin yerleşim alanı içerisinde, Bolvadin Fayına paralel/yarı paralel gidişli daha önceden olmayan yüzey deformasyonları oluşmuş ve oluşmaya devam ettiğı gözlemlenmiştir. Yerleşim alanlarından geçen yüzey deformasyonları üzerinde bazı binalarda çatlamalar, yeraltı su ve kanalizasyon kanallarında kırılmalar meydana gelmiştir. Çizgisel gidişli yarık ve çatlaklar şeklinde gözlenen yüzey deformasyonları boyunca güneydoğuda kalan bloğun düştüğü gözlemlenmiştir. Daha önce kurulan ve bu bölge içinde kalan bir Global Navigation Satellite System (GNSS) noktası incelendiğinde stabil kalan alanlara göre bölge içinde kalan istasyon noktasında yaklaşık 20 cm.lik düşey hareket gözlemlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda Bolvadin civarında meydana gelen yüzey deformasyonları 12 kampanya hassas nivelman ölçüsüyle elde edilmiştir. Sonuçlar yeraltı su seviyeleri ile ilişkili olup olmadığı Pearson, Spearman-Rank, Kendall-Tau, fonksiyonları ile belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

İnceleme konusunu oluşturan Akşehir Simav Fay Sistemi (ASFS), Batı Anadolu Graben Sistemi ile Kuzeybatı Anadolu Geçiş Zonu arasındaki yapısal sınırını oluşturmaktadır. İlk olarak Koçyiğit (1984) tarafından adlandırılmış olan ASFS, doğuda Ilgın ile batıda Bigadiç arasında uzanan yaklaşık 400 km uzunluğunda, Kuzeybatı-Güneydoğu uzanımlı neotektonik bir yapıdır (Koçyiğit 1984, Koçyigit ve Özacar 2003, Koçyigit ve Deveci 2007, Emre *et al.* 2011, Özkaymak *et al.* 2017).

Graben içerisindeki aktif tektonik konulu çalışmalar azdır ve 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) depremleri sonrası yoğunlaşmıştır (Demirtaş *et al.* 2002, Emre *et al.* 2003, Koçyiğit ve Özacar. 2003, Özden *et al.* 2002, Yürür *et al.* 2003, Ulusay *et al.* 2004, Akyüz *et al.* 2006). Bu çalışmalarda özetle, 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) depremleri ile Maltepe ve Çay bölgelerinde meydana gelen yüzey kırıkları haritalanmış, depremi üreten fay segmentleri tanımlanmış ve bölgenin deprenselliği tartışılmıştır. Afyon-Akşehir Grabeni içerisinde yer alan diri faylar üzerinde yapılan ilk ve tek paleosismoloji çalışmasını Akyüz *et al.* (2006) yapmıştır. Araştırmacılar, Akşehir Fay Zonunun Maltepe ve Çay segmentleri üzerinde hendek çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Maltepe hendeğinde, MS 1150 sonrasındaki bir tarihe yaşılandırılan ve 3 Şubat depremi ile benzer düşey yer değiştirmeye sahip bir önceki depreme ait izler tanımlanmıştır. Çay ilçesinde açılan bir diğer hendek çalışmasında ise MS 760 öncesi olarak tarihlendirilen bir olay tanımlanmıştır. Akyüz *et al.* (2006) Akşehir fayı üzerindeki kırılmamış fay parçalarının olduğunu ve yer belirtmeden gelecekte benzer büyüklüklerde depremlerin beklendiğini ifade etmişlerdir. Yine 3 Şubat 2002 Çay depremi sonrası yapılan bir başka çalışmada Demirtaş *et al.* (2002), kuzeybatıya doğru olan deprem göçünün devam edeceğini ve gelecekte Çayın batısında (Maltepe batısı-Çobanlar güneyi) kalan parçasında da benzer büyüklükte bir deprem olma olasılığının yüksek olduğunu açıklamışlardır. Benzer şekilde, Koçyiğit *et al.* 2002 hazırladıkları raporda Afyonkarahisar ili ve yakın çevresinde sismik boşluk özelliğini koruduğunu belirtmektedir. Daha doğuda yer alan Doğanhisar-Argıthanı-Ilgın çevresinde sırayla Ms = 5.4 ve 5.5 büyüklüğündeki 1921 ve 1946 depremleriyle önemli miktarda enerji boşalımı (serbestlemesi) olduğunu belirtmiştir. Eber Gölü ve yakın çevresinde ise, 15

Aralık 2000 Sultandağı ve 3 Şubat 2002 Çay depremleri ve onların artçıl şokları ile önemli miktarda enerji boşalımı gerçekleşmiş olup, bu bölge deprem tehlikesini büyük ölçüde atlatmış gözükmektedir. Ancak Afyonkarahisar ili yakın çevresinde yeni depremlerin beklendiğini belirtmektedir. Aktuğ 2010'da 03.02.2002 Sultandağı depreminin ilk çözümler depremin geçmişte yoğun depremselliğin yaşandığı Konya-Afyonkarahisar-Balıkesir hattı yakınında Eber ve Akşehir Gölleri arasında meydana geldiğini belirtmiştir. Koçyiğit *et al.* (2002) depremin Akşehir Fay Zonu olarak tanımlanan zonda meydana gelerek 2000 Sultandağ Depreminin kuzey-kuzey-batıya doğru devamı şeklinde yorumlamıştır (Koçyiğit, 2006). Buna karşın Demirtaş *et al.* (2002) ise ilk depremin Sultandağ Fayı üzerinde diğerlerinin ise Eber Gölü'nün hemen güneyinde yer alan Üçkuyu Fayları üzerinde meydana geldiğini iddia etmektedir. Koçyiğit *et al.* (2002)'ye benzer şekilde depremin Akşehir-Afyonkarahisar Grabeninin batı ucunu oluşturan Çay-Eber Fayı üzerinde meydana geldiğini belirtmektedir. Gerek 2000 gerek 2002 yılında meydana gelen depremlerin çözümleri normal bir faylanmaya işaret etmektedir.

Fay hareketlerinin belirlenmesinde özellikle son yıllarda jeodezik çalışmalar önem kazanmaktadır. Özellikle GNSS teknolojisinde gelişmeler meydana gelen depremlerin her aşamasında depremle ilgili önemli bilgiler sunmaktadır. GNSS deprem periyotlarındaki (ko-sismik, post-sismik, intersismik dönemleri) deformasyonların belirlenmesinde sıklıkla kullanılan bir tekniktir. Deprem öncesinde gerilme birikiminin belirlenmesinde, deprem anında depremin meydana getirdiği atımın büyüklüğünün belirlenmesinde ve deprem sonrası elastik hareketin bölgeyi etkileyişinin incelenmesinde çok sık olarak kullanılmaktadır (McClusky *et al.* 2000, Reilinger *et al.* 2006, Tiryakioğlu *et al.* 2013, Tiryakioğlu *et al.* 2017, Tiryakioğlu *et al.* 2018a, Tiryakioğlu *et al.* 2018b). GNSS için yatay bileşenlerin belirlenmesinde doğruluk yüksek iken, InSAR için düşey bileşenin belirlenmesindeki doğruluk yüksektir (Hanssen 2001). Bu durumda GNSS ve Radar interferometrisi (InSAR) tekniklerinin birlikte kullanılması durumunda düşeyde ve yatayda oluşan deformasyonlar daha duyarlı ve doğru bir şekilde belirlenebilmektedir. InSAR, birbirine çok yakın görüntüleme geometrileriyle elde edilmiş iki farklı radar görüntüsü arasında oluşan faz

farkını hesaplayan bir tekniktir (Massonnet and Feigl 1998, Hanssen, 2001, Gens and van Genderen 1996).

Karagöz'ün 2008 yılında yaptığı çalışmada, Dinar fayı üzerine üç profilden oluşan Nivelman ağı kurmuştur. Bu ağda üç periyot hassas nivelman ölçüsü yapmıştır. Ölçmeler gidiş-dönüş şeklinde markası Topcon DL-101C olan dijital nivo ve Topcon barkotlu miralar kullanılarak yapılmıştır. Gidiş-dönüş ölçümleri sırasında dijital nivonun okuma presizyonu 0.04 mm seviyesine ayarlanarak yüksek presizyonlu ölçü değerleri elde edilmiştir. Üç kampanya nivelman sonucunda bölgenin tektonik hareketleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Görmüş'ün 2011 yılında yaptığı çalışmanın gözlem sonuçlarında, ortalama olarak Avrasya bloğunda 4.59 ± 0.35 cm, Anadolu bloğunda ise 2.67 ± 0.46 cm yer değiştirmeler belirlenmiştir. 19 aylık periyotlarda gerçekleştirilen gözlemlerin segmentte 2.06 santimetrelik krip hareketi belirlenmiştir. Yıllık krip oranı ise 1.30 ± 0.39 cm şeklinde hesaplanmıştır.

İstanbul'un 350 km doğusunda ve Ankara'nın 100 km kuzeybatısında bulunan (Kuzey Anadolu Fayı) KAF'a ait İsmetpaşa segmenti, dünyada asismik krip hareketinin gözlemlendiği nadir yerlerden birisi olma özelliğine sahiptir. Bölgedeki krip hareketi ilk olarak İsmetpaşa kasabasındaki tren istasyonunun duvarında fark edilmiş, sonrasında segmentteki krip hareketini belirleyebilmek için üç noktası Anadolu plakasında, üç noktası da Avrasya plakasında kalacak şekilde mikro-jeodezik bir ağ tasarlanmıştır. Bu ağ birçok kez değişik metotlarla gözlenmiş, 1990 yılına kadar olan çalışmalarda ise 1999 Gölcük (M=7.6) ve Düzce (M=7.2) depremleri öncesinde segmentteki krip hızının azaldığı görülmüştür. 1999 yılı sonrasındaki çalışmalarda ise krip hızı artış göstermiştir.

Köse (2018) de yaptığı çalışmada, Obruk Barajı gövdesindeki düşey deformasyonların belirlenmesi amacıyla RS noktaları tesis etmiştir. 58 adet obje noktasında hassas nivelman ölçüleri yapmıştır. Bu noktaların tamamında ölçme doğruluğu 0.6mm/km olan dijital nivolar kullanmıştır. Gidiş-dönüş şeklinde yaklaşık 22 km nivelman hattının uzunluğu. Gidiş-dönüş ölçüleri arasındaki farklardan ve lup kapanmalarından 1 km gidiş-dönüş ölçü için standart sapma değeri hesaplanmıştır. Değerlendirmede hata sınırı

olarak $4\sqrt{S}$ değeri kullanılmıştır. Bu çalışmada PANDA programının tek boyutlu ölçülerin değerlendirilmesi, deformasyon analizinin nasıl yapıldığı ve 4 kampanya olarak yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Özkaymak *et al.* (2017) de yaptığı çalışmada Bolvadin ilçesi imar planı içerisinde kalan bölge ile şehrin güneybatı kısmından başlayarak kuzeydoğu istikametine doğru yer alan bölgelerde, 2010 yılından itibaren daha önce görülmeyen bazı deformasyonların oluştuğu ve oluşmaya devam ettiğini göstermişlerdir. Bölgede yapılan çalışmada, uzunlukları 300 metre ile 2 km; yönleri ise K15°D ile K70°D arasında değişen hareketler ve yarılmalar şeklinde gelişen kademeli yüzey deformasyonları yıkıcı depremler olmaksızın haritalanmıştır.

Tiryakioğlu *et al.* (2017) de, Bolvadin yerleşim alanı içerisinde, Bolvadin Fayına paralel/yarı paralel gidişli daha önceden olmayan yüzey deformasyonları oluşmuş ve oluşmaya devam ettiği gözlemlenmiştir. Yerleşim alanlarından geçen yüzey deformasyonları üzerinde yeralan bazı binalarda çatlamlar, yeraltı su ve kanalizasyon kanallarında kırılmalar meydana geldiğini görmüşlerdir. Bu yüzey deformasyonlarının haritalanmasından sonra bu deformasyonlara dik olarak 9 profil tesis edilmiş ve nivelman ağı oluşturmuştur. Nivelman ağı ölçüleri 2016 Ağustos ayı ve 2017 yılı mayıs ayı içinde yapılmıştır. Bütün profillerde ölçüler dijital nivo ve invar barkotlu miralarla G1-I1-I2-G2 ölçü yöntemi ile gidiş dönüş olarak yapılmıştır. Bu çalışmada nivelman ölçmeleri iş paketinde bulunan çalışmalar ve bulunan ilk sonuçlar anlatılmıştır.

Tiryakioğlu *et al.* (2018a) de, Bolvadin bölgesinde 2 adet sabit GNSS istasyonu kurmuş bu istasyonlarda yıllık 55 – 90 mm düşey yönde hareket izlenmiştir.

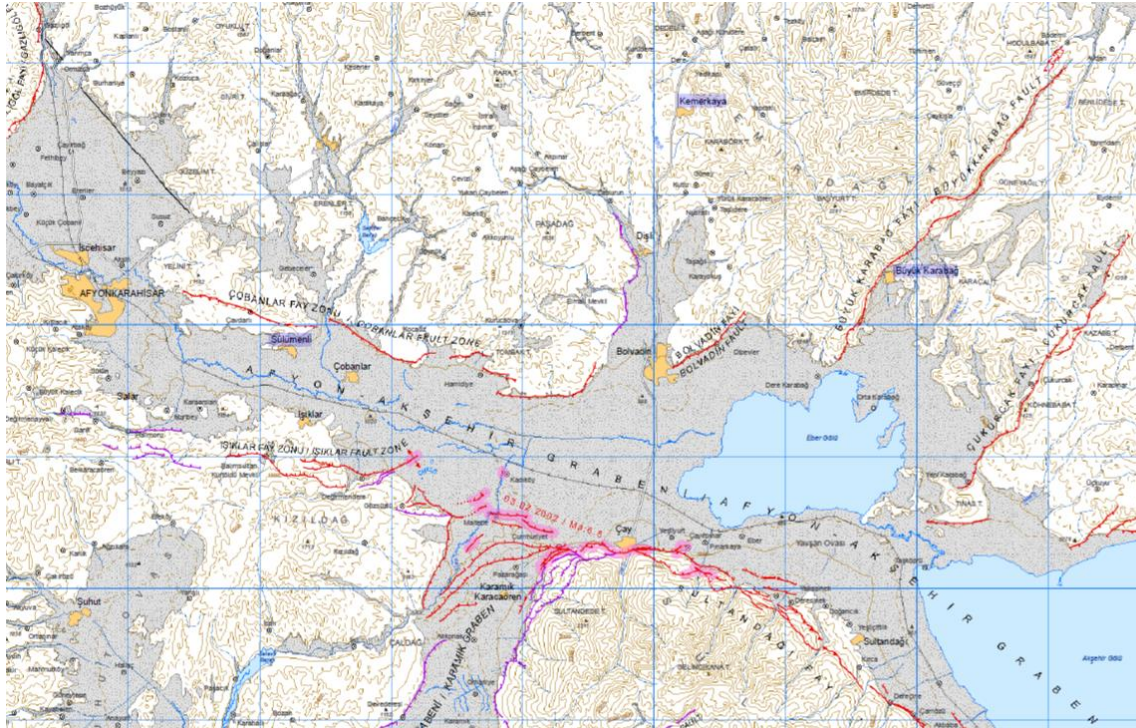
3. BÖLGE TEKTONİĞİ

3.1 Akşehir Simav Fay Sistemi

Çalışma alanı, Akşehir Simav fay sisteminin orta kesimini oluşturan ve fay sisteminin genel gidişine paralel olarak uzanan dört ana graben, yedi adet horst ve bu yapıların genel gidişine yaklaşık dik açıda gelişmiş üç adet ikincil graben ile bu graben horst sisteminin kenar faylarıyla biçimlenip karakterize edilir. Yaklaşık BKB-gidişli ana grabenler ve horstlar güneydoğudan kuzeybatıya doğru Akşehir Afyon, Sinan paşa, Altıntaş ve Ağaç köy grabenleri; Kızıldağ, Paşa dağ, Çavdarlı, Olucak, Ahır Dağ ve Murat Dağı horstları olarak sıralanır (EK-1). İkincil grabenler ise yaklaşık KKD-gidişli Karamık, Şuhut ve Banaz grabenleridir. Tüm bu graben ve horstların kenarlarını sınırlayıp denetleyen ve büyüklüğü 5 ve daha büyük deprem üretme potansiyeline sahip olan faylar, inceleme alanının güneydoğu ucundan başlamak üzere, aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3.2 Bolvadin Fayı

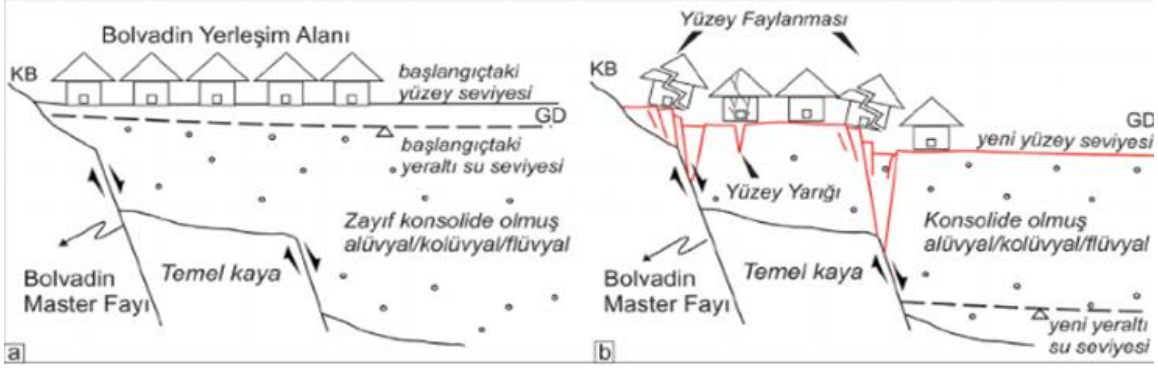
2002 yılının şubat ayında meydana gelen depremler sonucunda aktif çöküntü alanı içinde olduğu kanıtlanan Eber Gölünün yer aldığı graben tabanını kuzeyden sınırlayan yaklaşık 10 km uzunluğundaki kenar faylarından biri olan Bolvadin Fayı, Kuzeydoğu-Güneybatı yönlerinde uzanımlı aktif bulunan bir faydır. (Şekil 5.1) Kuzeydoğu hattı boyunca morfolojik olarak belirgin çizgiselliği bulunan fayın güneybatı sınırında ise alüvyon zemin üzerine kurulu Bolvadin yerleşim yeri bulunur ve buradan itibaren fay takip edilemez. Fay eğim atımlı normal fay karakterinde olup fay düzlemleri üzerindeki kinematik göstergeler bu durumu kanıtlamaktadır. Fay düzlemi üzerindeki eğim atımlı normal faylanmanın asal gerilim eksenleri (σ_1 , σ_2 ve σ_3) ilişkili kayma yüzeyi fay çizdiği seti ile hesaplanmış, hesaplanan asal gerilim eksenleri sırasıyla $351^\circ/81^\circ$, $240^\circ/03^\circ$, $149^\circ/09^\circ$ (yönlem/dalım) şeklinde sonuçlanmıştır. Hesaplanan değerler gerilme rejiminin Bolvadin Fayı üzerinde Kuzeybatı-Güneydoğu yönlü saf genişleme şeklinde olduğunu göstermiştir.



Şekil 3.1 Bolvadin fayı (Emre *et al.* 2011).

3.3 Yüzey Deformasyonlarının Sınıflandırılması

Asismik yüzey deformasyonları hakkında yapılan daha önceki çalışmalarda, bahse konu olan deformasyonlar yüzey faylanması (surface faults) ve yüzey yarıkları (earth fissure) şeklinde sınıflara ayrılmıştır. (Şekil 10) (Holzer 1984; Pewe 1990; Holzer and Galloway 2005; Pacheco-Martínez *et al.* 2013; Hernández-Madrigal *et al.* 2014). Ortaya çıkan analiz sonuçlarında yüzey faylanmaları ile gelişen deformasyonların su çekimi öncesinde oluşmuş bir fayı takip ettiği gözlemlenirken, yüzey yarıklarının ise çoğunlukla drenaj kanallarına paralel geliştiği tespit edilmiştir.



Şekil 3.2 Yüzey yarığı.

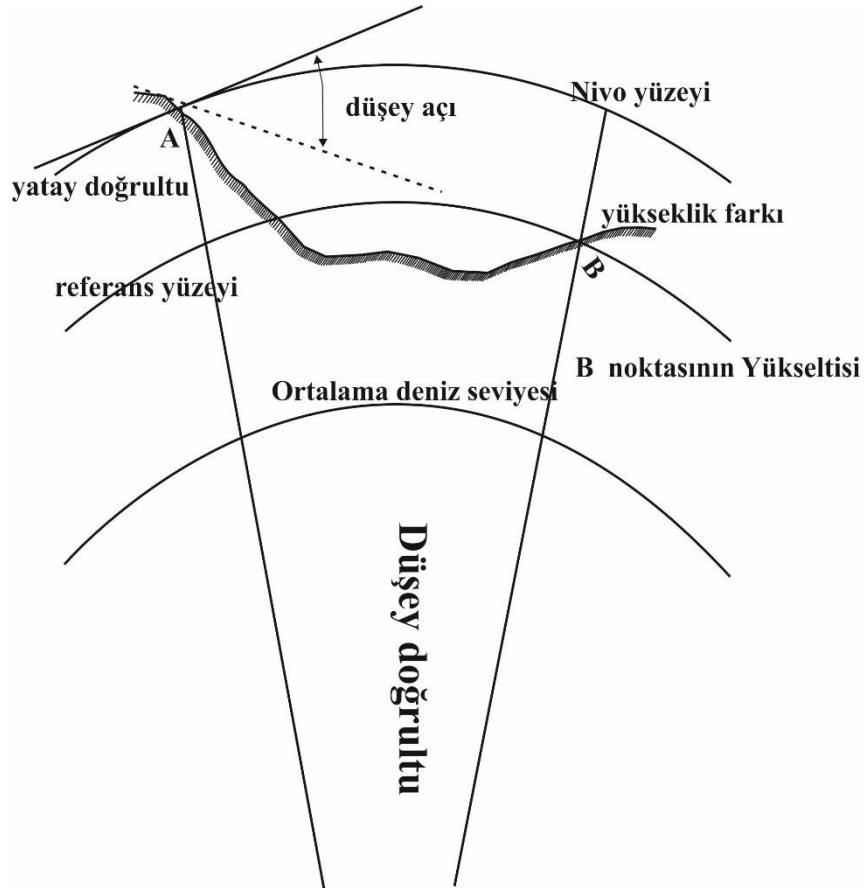
Yüzey faylanmalarında düşey yönde yer değiştirme gözlenir. Deformasyonlar derinlere doğru devam eder. Buna karşılık yüzey yarıkları boyunca düşey yönde yer değiştirme gözlenmez, dik yönde açılmalar gözlenir. Bu yarıklar yüzeye yakın derinliklerde sönümlenir. Her iki deformasyon tipinde de meydana gelen kırık ve yarıklar içine süzülen yüzey sularının sebep olduğu borulanma şeklinde isimlendirilen erozyonel süreçler meydana gelir. Yüzey faylanmaları hattı boyunca yeraltı suyunun çekilmesiyle gelişen oturmalar nedeniyle ortaya çıkan düşey yer değiştirmelerde tektonik krip de meydana gelebilir. Fakat yüzey yarıkları boyunca tektonik krip meydana gelmez. Deformasyon hat uzunluğu çoğunlukla 1 km'den fazla olurken oluşan sarplıkların yüksekliği 0.5 metreden fazla olmaktadır. Bolvadin yerleşim alanında son yıllarda ortaya çıkan kuraklığa ek olarak havzada fazlaca yapılan yeraltı su çekimleri nedeni ile son 10 yılda yeraltı su seviyesi yaklaşık olarak 20 metre düşmüştür. Bolvadin düzlüğünde, günümüzdeki yeraltı su seviyesi ortalama 24 metredir.

Graben kenarında yer alan Bolvadin Fayının düşen bloğunda, yeraltı su seviyesinin azalmasına bağlı olarak zayıf şekilde birleşmiş alüvyal çökellerde gözlemlenen sıkılaşımlar ve oturmalar, havza etrafındaki gömülü sentetikler üzerinde deformasyonlara sebep olmaktadır. Elde edilen veriler, Bolvadin'de gözlenen yüzey deformasyonlarının etkin olarak asismik yüzey faylanması biçiminde ortaya çıktığına, bazen de yüzey yarıklarının geliştiğini göstermektedir (Şekil 3.2).

4. NİVELMAN ve NİVELMAN TÜRLERİ

Rahmetli Zeki hocamızın ders notlarında da açıkladığı gibi Yeryüzü noktalarının, karaların altında da devam ettiği varsayılan durgun durumdaki denizlerin ortalama yüzeyinden olan düşey uzaklığına bu noktaların yükseltisi, herhangi bir noktadan geçtiği düşünülen bir yüzey veya yatay bir düzlemde olan düşey uzaklığına ise yüksekliği veya kotu denilmektedir. Noktalar arasındaki düşey uzaklık farkına yükseklik farkı, bu yükseklik farklarının ölçülmesine ise nivelman denilmektedir.

Konum plânı çıkarılan bir arazi parçasının gerçek biçimi ile gösterilmesi isteniyorsa, yeryüzündeki noktaların düşey konumlarının da belirlenmesi gerekmektedir.



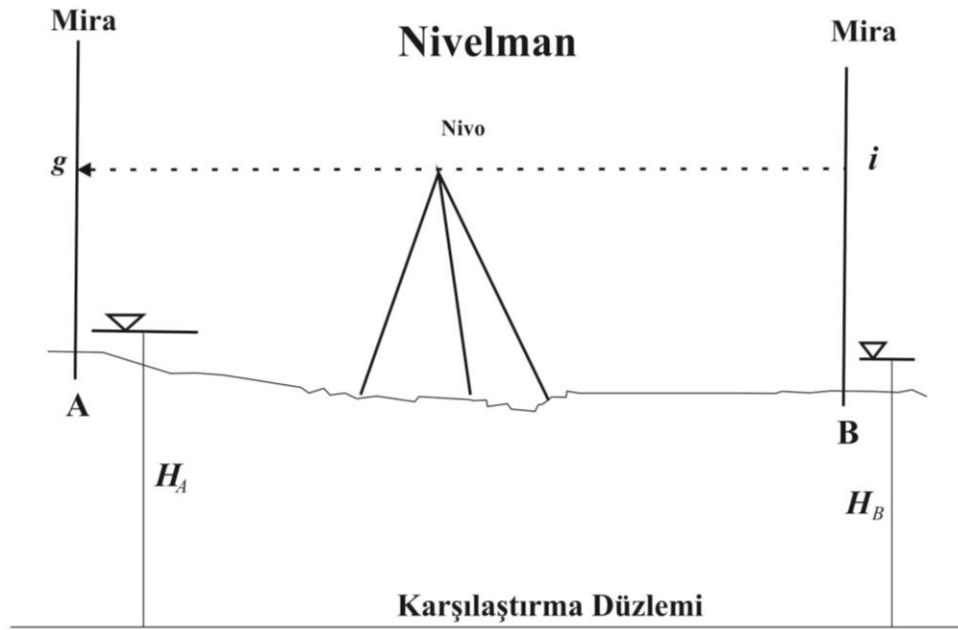
Şekil 4.1 Nivelman Mantığı.

Bu amaçla noktalardan geçen düşey doğrultulardaki uzaklıklar veya yükseklik farkları nivelman işlemi ile saptanır. Nivelman ölçmelerini değerlendirmek için bir karşılaştırma (kıyas) yüzeyine gerek vardır.

Yükseklik farklarının ölçülmesinde geometrik nivelman, trigonometrik nivelman, barometrik nivelman ve hidrostatik nivelman olmak üzere dört yöntem kullanılmaktadır.

4.1 Geometrik Nivelman

Geometrik nivelmanda, iki nokta arasındaki yükseklik farkı bu noktaların düşey doğrultuda yatay düzleme olan uzaklık farkları ölçülerek elde edilmektedir.



Şekil 4.2 Nivelman yükseklik farkı.

$$\Delta h = H_B - H_A = \text{geri} - \text{ileri} = g - i \quad (4.1)$$

$$\Delta h = g - i \quad (4.2)$$

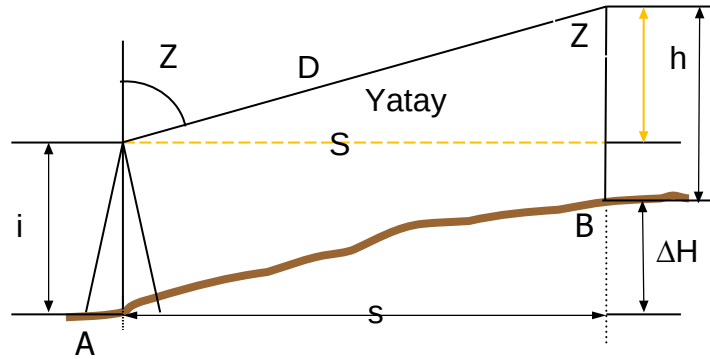
Geometrik nivelmanda doğruluk: ± 1 mm ile ± 10 mm

Hassas Nivelmanda doğruluk: ± 0.2 mm ile ± 0.5 mm

Nivelmanda doğruluk genel olarak 1 km’lik yolunda gidiş dönüş ölçü farkında bulunan standart sapma değeri ile ifade edilmektedir. Geometrik nivelmanın kullanım alanı her türlü mühendislik uygulamaları ve teknik hizmetlerdir. Yüksek doğruluk istenen köprü gibi mühendislik yapılarında düşey yöndeki deformasyonların tespit edilmesinde ve ayrıca hassas nivelman yöntemi olarak ülkemizin birinci ve ikinci derece nivelman ağlarının ölçülmesinde kullanılmaktadır.

4.2 Trigonometrik Nivelman

Trigonometrik Nivelman uygulamasında, iki nokta arasındaki uzunluk ile düşey açıdan yararlanılarak yükseklik farkları hesaplanmaktadır. Trigonometrik nivelmanın kullanım alanı, konum koordinatlarının elde edilmesi için oluşturulan jeodezik ağlarda nokta yüksekliklerinin belirlenmesi, sağladığı doğruluk yeterli olduğu sürece mühendislik hizmetleri ve geometrik nivelmanın uygulanmadığı dağlık arazideki her türlü yükseklik ölçmesidir. Doğruluk derecesi 1 km’de ± 1 cm ile ± 10 cm arasındadır.



Şekil 4.3 Trigonometrik nivelman.

$$H_B = H_A + i + h - t \quad (4.3)$$

$$\Delta_h = S \cdot \cot Z = D \cdot \cos Z \quad (4.4)$$

$$H_B = H_A + i + S \cdot \cot Z - t \quad (4.5)$$

4.3 Barometrik Nivelman

Barometrik nivelman, deniz seviyesinden yükseklerle doğru çıkıldıkça düşen hava basıncı ölçülerek hesaplanmaktadır. Barometrik nivelmanda iki nokta arasındaki yükseklik farkı $\pm 1-2$ m inceliyle bulunur. Yalnızca istikşaf işlerinde kullanılmaktadır.

4.4 Hidrostatik Nivelman

Noktalar arasındaki yükseklik farkları ± 0.01 mm inceliyle fizikteki birleşik kaplar ilkesinden yararlanılarak geliştirilen hortumlu su düzeci şeklinde adlandırılan aletlerle ölçülebilmektedir. Hidrostatik nivelmanın kullanım alanları genellikle hortumlu su düzeçleri ile basit şantiye ölçmeleri, hassas hortumlu su düzeçleri kullanılarak çok yüksek incelik gerektiren makine aplikasyonları ve kapalı yerlerde düşey yöndeki deformasyonların ölçülmesi işleridir.

4.5 Nivelmana Etki Eden Hatalar

Nivelmana etki eden hatalar iki ana başlık altında ele alınır.

4.5.1 Düzenli (Sistematik) Hatalar

- Gözlem ekseninin kırılması
- Küreselliğin etkisi
- Artık eğim hatası
- Simetrik olmayan kırılma
- Miranın eğik tutulmasından doğan hata Paralaks hatası
- Alet ve Miranın yere batmasının etkisi

olarak sınıflandırabilir.

4.5.2 Düzensiz (Tesadüfi) Hatalar

- Mira bölümlerinin tesadüfi ortalama hatası
- Mira üzerinde Tesadüfi okuma hatası

- Nivelman yolunun değişik eğimde olması nedeniyle ışığın kırılmasının ortalama hatası
 - Düzeyelemeden doğan ortalama hata
 - Eşit olmayan hedef uzaklıklarından doğan ortalama hata
- olarak sınıflandırabilir.

4.6 Hassas Nivelman

Hassas nivelman ölçme işlemi birinci ve ikinci derece ülke nivelman ağlarının ölçümünde, arz kabuğunun düşey hareketlerinin tayininde ve köprü, baraj gibi yapıların çökmelerinin araştırılmasında ve saptanması çalışmalarında uygulanır. Hassas nivelmanda kullanılan nivoların dürbün büyötmeleri 40–50, silindirsel düzecin duyarlığı ya da kompensatörün çalışma duyarlığı 10”den az olmalıdır. Optik mikrometre düzeni bulunan nivolar kullanılır. Aletin sehpası sağlam ve tek parça (sürgüsüz) olmalıdır. Genellikle tek parçalı ve 3 m boyunda invar miralar kullanılır. Miraların çift bölümlü olanları tercih edilir. Hassas nivelmanda daima çift mira kullanılır. Miralar yarım santimetre ya da bir santimetre bölümlü olur. Miranın düşeyliği mira üzerindeki bir küresel düzeçle kontrol edilir ve miranın sallanmadan durması için mira destekleri kullanılır. Hassas nivelman mutlaka gidiş-dönüş olarak ve olanaklıysa farklı zamanlarda yapılmalıdır. Bu şekilde eşit atmosfer koşullarından doğabilecek düzenli hatalardan sakınılmış olunur.

4.6.1 Hassas Nivelmanda Doğruluk Derecesini Etkileyen Hususlar

- Nivelman işaretlerinin kararlılığı
Nivelman işaretlerinin seçimi sırasında arazinin jeolojik durumu dikkate alınarak sağlam zeminlere nivelman işaretleri tesis edilmedir.
- Yüksek kapasitedeki Nivelman aleti
Nivelman aletinin hassasiyeti silindirik düzecin duyarlılığına, dürbünün büyötmeye gücüne (en az X40- X50) sahip olmasına ve aydınlık derecesine bağlı olarak hassasiyet değeri değişmektedir. Kompensatörün çalışma duyarlılığı 10” den az olmalıdır.

Nivo sehпасı sağlam, tekparça ve sürgüsüz olmalıdır.

- Hassas bölümlü invar Nivelman mirası

Miralar tek parça olarak ısı değişimi ve nem den mümkün olduğunca az etkilenecek
İnvar miralar olmalıdır.

- Mira boyunun sürekli kontrolü
- Özel l ve hesap yöntemi uygulanması
- l yapan kişinin deneyim ve becerikliliği

5. KORELASYON VE KORELASYON TÜRLERİ

Korelasyon iki ya da daha fazla değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi gösterir genel bağıntıdır. İki değişken arasındaki ilişki miktarı, ikili ya da basit korelasyon denen korelasyon teknikleriyle hesaplanır. Bir değişkenin iki ya da daha çok değişken ile olan ilişkisi çoklu korelasyon; bu değişkenlerden birinin sabitlenerek diğer değişkenler ile olan ilişkisi ise kısmi korelasyon teknikleriyle hesaplanır (Köklü vd. 2006). Değişkenler arasındaki ilişki, korelasyon katsayısı ile hesaplanmaktadır. Hangi korelasyon katsayısının kullanılacağına birden fazla ölçütle karar verilmektedir. Bu ölçütler, değişkenlerin hangi düzeyde ölçüldüğü, değişkenlerin sürekli veya süreksiz olmaları, verilerin doğrusallığı olarak isimlendirilebilir.

Korelasyon iki değişkenin arasındaki ilişkiyi gösteriyorsa buna basit korelasyon denir. Basit korelasyonda bir bireye ait iki ölçüm olduğunda bu iki değişken arasındaki ilişki belirlenir.

Bu analiz sonucunda, ilişkinin doğrusal olup olmadığına karar verilir. Ayrıca bu ilişkinin derecesi korelasyon katsayısı ile hesaplanır. Birçok korelasyon yöntemi bulunmaktadır. Korelasyon r ile gösterilir ve +1 pozitif yönlü, -1 ise negatif yönlü korelasyonu ifade eder. Bu korelasyon katsayıları hesaplayan birden fazla yöntem bulunmaktadır. Bunlardan en çok kullanılanlar Pearson, Spearman-Rank, Kendall-Tau, korelasyon katsayısı olarak isimlendirilirler.

5.1 Pearson-Moment Korelasyon Katsayısı

İki sürekli değişkenli N sayıda gözlem bulunan doğrusal bir veri grubunda, $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$, Pearson- Moment korelasyon katsayı hesabı aşağıdaki formül yardımıyla yapılır.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (5.1)$$

$$r_{xy} = \frac{\sum d_x d_y}{\sqrt{(\sum d_x^2)(\sum d_y^2)}} \quad (5.2)$$

Burada $\sum d_x d_y$ çarpımlar toplamını $\sum d_x^2$ ve $\sum d_y^2$ ise sırasıyla X ve Y özelliklerine ilişkin kareler toplamını göstermektedir. Bu yöntemle bulunan korelasyon katsayısının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek amacıyla aşağıdaki hipotez kurulur.

$$H_0: \rho_{xy} = 0$$

$H_1: \rho_{xy} \neq 0$ şeklinde kurulur. H_0 hipotezinin test edilmesi için gerekli olan test istatistiği ise:

$$t = \frac{r_{xy}}{\sqrt{\frac{1-r_{xy}^2}{n-2}}} \quad (5.3)$$

şeklinde hesaplanır. Hesaplanan t-değeri, (n-2) serbestlik dereceli t-tablo değerine eşit ya da büyük ise H_0 hipotezi ret edilir. Aksi durumda ise kabul edilir.

Elde edilen r değeri ;

0.00 ise ilişki yok

0.01 -0.29 düşük düzeyde ilişki;

0.30 -0.70 orta düzeyde ilişki;

0.71 -0.99 yüksek düzeyde ilişki;

1.00 mükemmel ilişki olarak yorumlanabilir.

5.2 Spearman-Rank Korelasyon Katsayısı

Spearman-Rank korelasyon katsayısı hesaplanırken ranklar, yani sıra değerleri üzerinden işlemler yürütülür. R(x) ve R(y), (X_i , Y_i) değişken çiftlerinin ranklarını göstermek üzere Spearman-Rank korelasyon katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$r_s = \frac{\sum_{i=1}^n R(x_i)R(y_i) - n\left(\frac{n+1}{2}\right)^2}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n R(x_i)^2 - n\left(\frac{n+1}{2}\right)^2)(\sum_{i=1}^n R(y_i)^2 - n\left(\frac{n+1}{2}\right)^2)}} \quad (5.4)$$

Gözlemler arasında aynı ranklı değerler yoksa X ve Y gibi iki değişkene ilişkin Spearman-Rank korelasyon katsayısı Pearson korelasyon katsayısında olduğu gibi hesaplanır (5.1).

Eğer çalışılan veri setlerinde aynı ranklı değerler varsa bu durumda Spearman-Rank korelasyon katsayısı $d_i = X_i - Y_i$ $i = 1, 2, \dots, n$ göstermek üzere

$$r_s = \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (5.5)$$

eşitliği ile hesaplanır.

$H_0 : \rho_{xy} = 0$ hipotezini test etmek amacıyla hesaplanan Spearman-Rank korelasyon katsayısı, bu amaçla özel hazırlanmış olan tablo değerinden büyük ya da eşit ise H_0 hipotezi ret edilir.

5.3 Kendall-Tau Korelasyon Katsayısı

(X_i, Y_i) değişken çiftleri arasındaki Kendall-Tau korelasyon katsayısı r_T

$$\frac{\text{uyumlu gözlem çift sayısı} - \text{uyumsuz gözlem çift sayısı}}{\frac{1}{2}n(n-1)} \quad (5.6)$$

Eğer (X_i, Y_i) ve (X_j, Y_j) gözlemler çiftlerinin $X_i > X_j$ ve $Y_i > Y_j$ $X_i < X_j$ ve $Y_i < Y_j$ şartlarını sağlıyorsa uyumlu gözlemler çifti, sağlamıyorsa yani eğer $X_i > X_j$ ve $Y_i < Y_j$ ya da $X_i < X_j$ ve $Y_i > Y_j$ ise uyumsuz gözlemler çifti olarak adlandırılır.

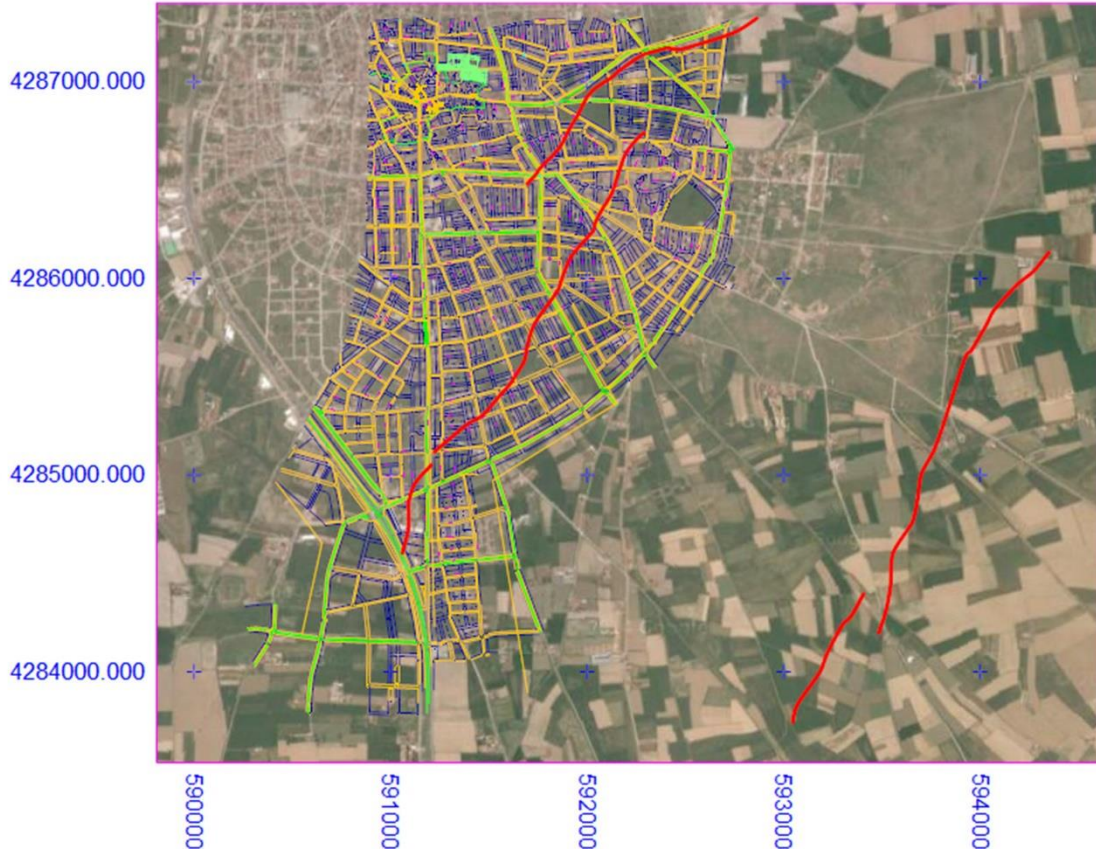
$H_0 : \rho_{xy} = 0$ hipotezini test etmek amacıyla gerekli olan Z test istatistiği

$$Z = \frac{3r_T \sqrt{n(n-1)}}{\sqrt{2(2n+5)}} \quad (5.7)$$

şeklinde hesaplanır. Eğer $Z \geq 1.96$ ise H_0 hipotezi ret edilir. Aksi durumda ise H_0 hipotezi kabul edilir.

6. UYGULAMA

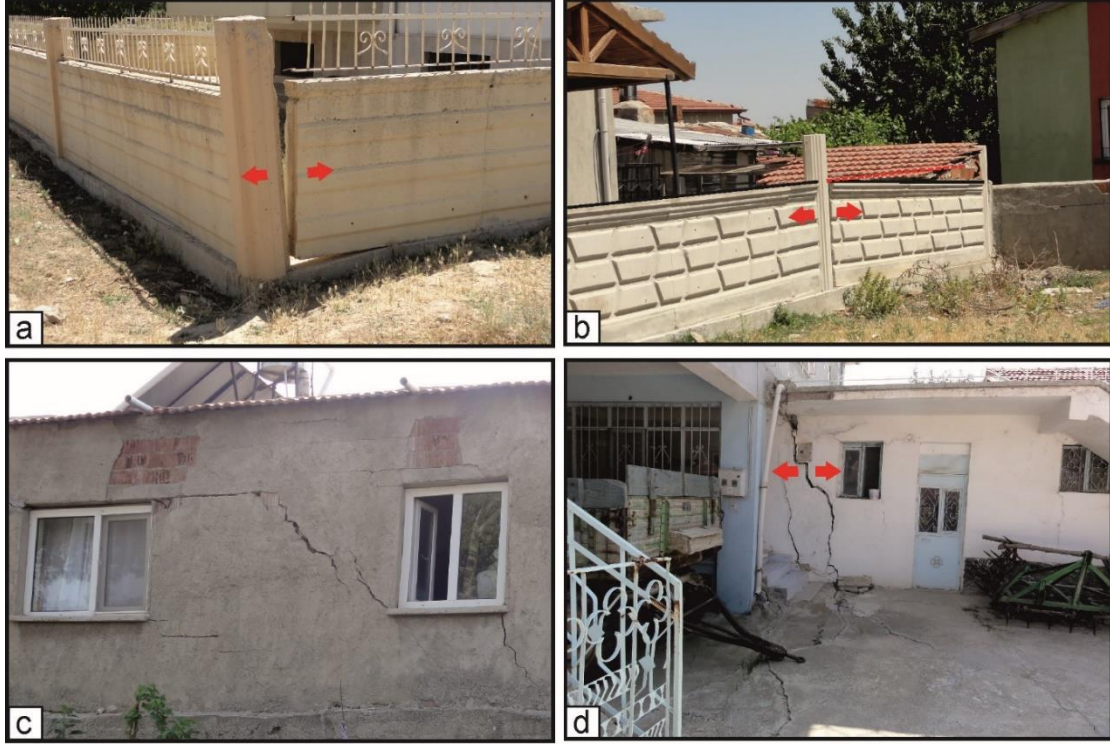
Son 10-20 yıldan beri, Batı Anadolu’da özellikle graben kenarlarını denetleyen aktif faylar üzerinde kurulu olan bazı yerleşim alanları üzerinde çizgisel gidişli birtakım asismik yüzey deformasyonları gelişmektedir (Gürsoy *et al.* 1997, Demirtaş *et al.* 2002, Koca *et al.* 2011, Özkaymak *et al.* 2015, 2017). Yıkıcı deprem olmaksızın gelişen bu deformasyonların en belirgin örneklerinden birisi son 7 yıldır Bolvadin Yerleşim alanı içerisinde gözlenmektedir. Bu deformasyon hattı boyunca yer alan 300’e yakın bina ve yeraltı kanalizasyon sistemleri zarar görmekte ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Bolvadin imar planı alanı içerisinde gözlenen deformasyonlar.

Arazi çalışmalarında yerleşim alanlarından geçen yüzey deformasyonu üzerinde yeralan bazı konutlar ve okullarda ciddi derecede hasar meydana geldiği; yeraltı su ve kanalizasyon kanallarının deforme olduğu ve kırıldıkları gözlemlenmiştir. Zon

içerisindeki binalar üzerinde gözlenen deformasyonlar genellikle düşen bloğa doğru eğimlenmeler, rotasyonel hareketler, duvarlarda çatlak ve yarık oluşumları şeklinde gözlenmektedir (Şekil 6.2)



Şekil 6.2 Bolvadin yerleşim alanı içerisinde gözlenen deformasyonlar.

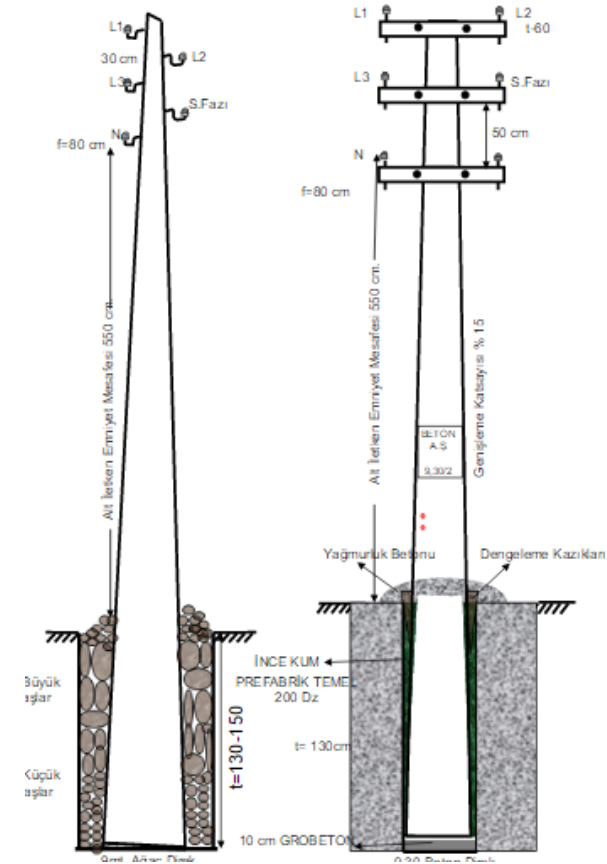
6.1 Jeodezik Nivelman Ağı Kurulması

2012 yıldan itibaren, genelde alüvyon zemin üzerine kurulu Bolvadin'in yerleşim alanının merkezinde yüzeyde daha önce oluşmayan deformasyonlarının olduğu ve hala oluşmaya devam ettiği gözlenmiştir. Bolvadin Fayı üzerindeki yüzey deformasyonlarına dik dokuz adet profil üzerinde, düşen ve yükselen blokları içerecek şekilde 85 noktalı nivelman ağı kurulmuştur. Bu profiller Tiryakioğlu *et al.* 2017 da haritalanması yapılan bölgedeki yüzey deformasyonlarına dik olarak tesis edilmiştir. Nivelman tesisleri için yurt dışından özel duvar tesisleri getirtilmiştir (Şekil 6.3).



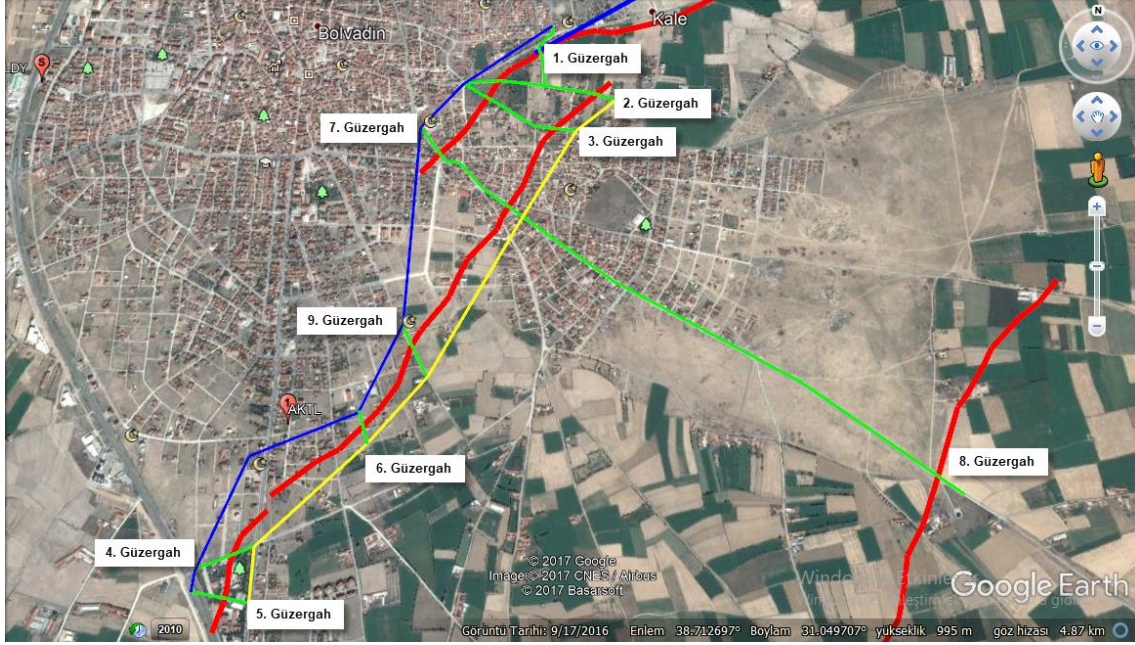
Şekil 6.3 Nivelman tesisleri.

Tesisler bölgede bulunan elektrik direklerine tesis edilmiştir. Direklerin temelleri direk yüksekliğine göre değişmekte ve zeminden ortalama 1.3-1.5 metre aşağıya inmektedir. (Şekil 6.4)



Şekil 6.4 Elektrik direkleri kesit görüntüsü.

Bu tesislerin en büyük özelliği ölçü bitiminde çıkartılıp daha sonra tekrar takılabilmeleridir. Bu özelliği sayesinde noktaların tahrip edilmesi önlenmiştir. Nivelman noktaları arası mesafe yaklaşık 30 metre olup tüm noktalar elektrik direkleri üzerine duvar noktası olarak tesisi yapılmıştır (Şekil 6.5).



Şekil 6.5 Kurulan nivelman ağı. Kırmızı hatlar yüzey deformasyonlarını, Yeşil hatlar nivelman güzergâhlarını göstermektedir.

6.2 Hassas Nivelman Ölçüleri

Nivelman ağı ölçüleri 2016-2018 yılları arasında 12 periyot olarak yapılmıştır. Bölgedeki deformasyonun mevsimsel davranışlarını incelemek için Nivelman ölçüleri her mevsimde olacak şekilde yapılmıştır. Yeraltı su seviyesinin deformasyona etkisini araştırmak için özellikle yaz mevsiminde her ay düzenli olarak ölçü yapılmaya çalışılmıştır (Çizelge 6.1) .

Çizelge 6.1 Kampanya tarihleri.

Kampanya	Tarih	Aralık	Kampanya	Tarih	Aralık
1.Kampanya	19.08.2016	0	7.Kampanya	15.11.2017	15
2.Kampanya	07.05.2017	9	8.Kampanya	25.02.2018	18
3.Kampanya	10.06.2017	10	9.Kampanya	13.04.2018	20
4.Kampanya	11.07.2017	11	10.Kampanya	08.06.2018	22
5.Kampanya	08.08.2017	12	11.Kampanya	16.07.2018	23
6.Kampanya	01.10.2017	14	12.Kampanya	04.08.2018	24

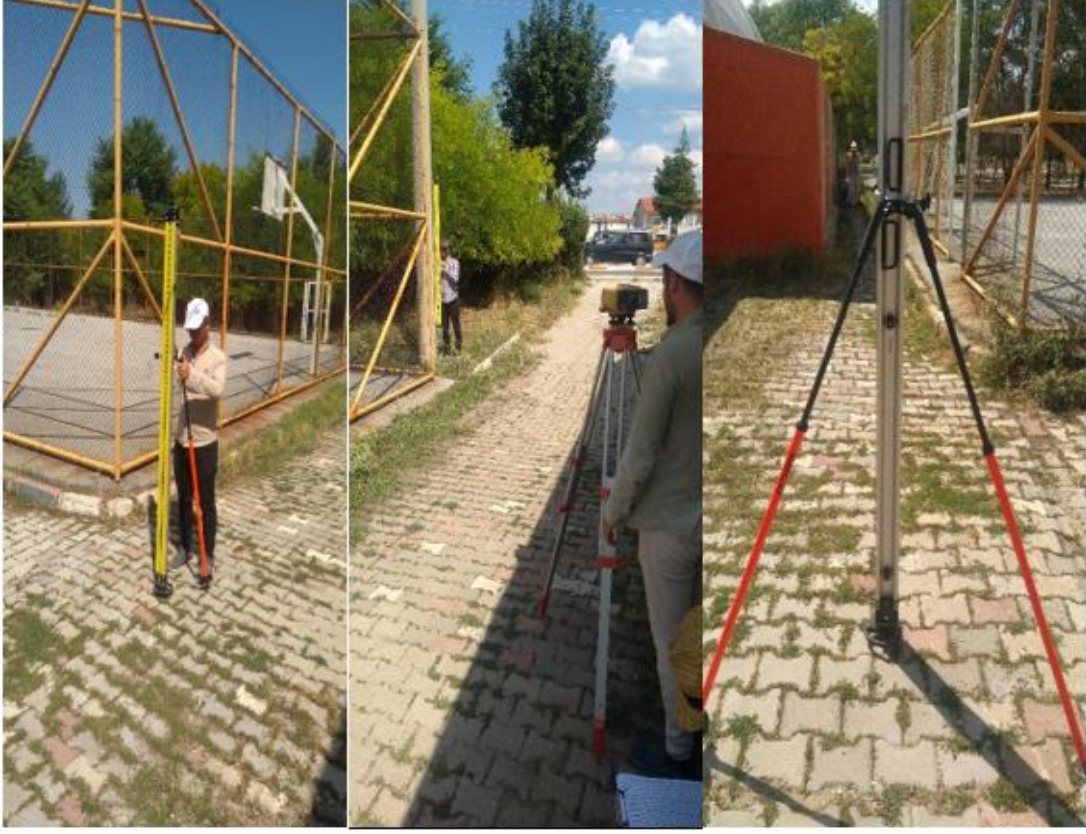
Bütün profillerde ölçüler Topcon DL 101c dijital nivosu ve kalibrasyonu yapılmış, yeni alınmış invar barkotlu miralarla gidiş dönüş olarak yapılmıştır. Bu güzergahlar ayrı 2 dijital nivo ile çift gidiş olarak ölçülmüştür. Hassas nivelman ölçülerinde tek parçalı alet sehpa kullanılması gerektiği halde bu hatanın ölçülere etkisinin çok az olduğu bilinmektedir. Bölgede deformasyonun cm üzeri olduğu düşünülürse bu hatanın sonuçlara etkisinin göz ardı edilebileceği düşünülmüştür.

Hassas nivelman da yüksek doğruluk elde etmek için ölçümler anında şu noktalara dikkat edilmiştir:

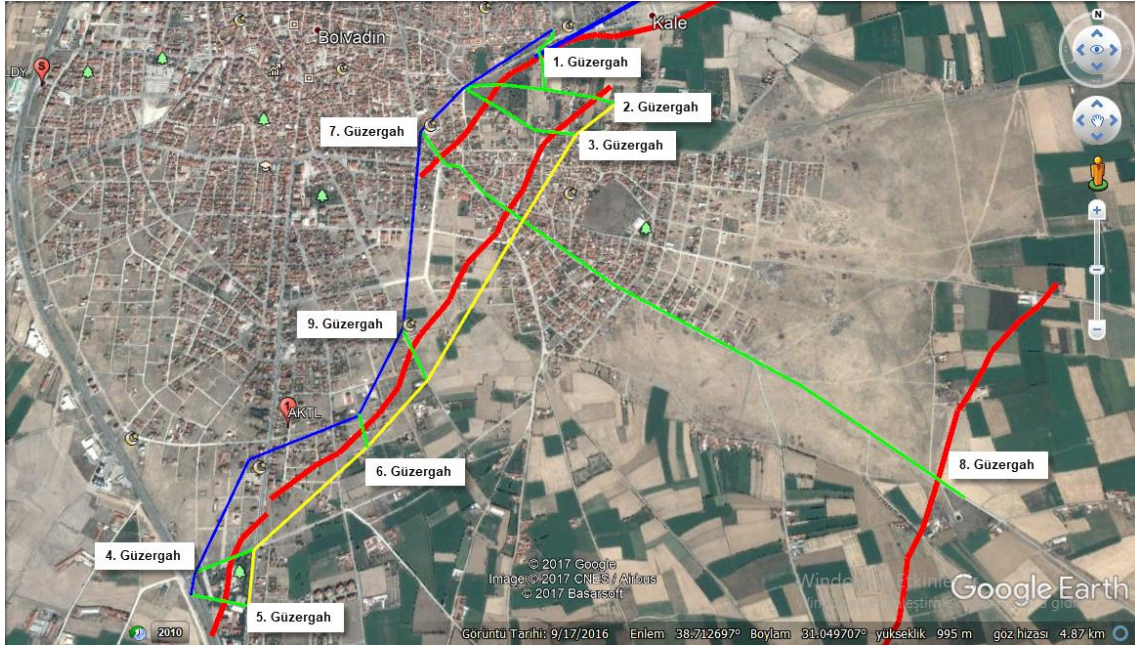
- Aletle mira arasındaki uzaklık 30 metreden fazla olmayacak şekilde geri ve ileri uzaklıklar arasındaki mesafeler eşit alınmıştır.
- Refraksiyonun etkilerini önlemek amacıyla alet olabildiğince yüksek kurularak yerden en az 70 cm yüksek okumalar yapılmıştır.
- Mira bölüm başlangıç hatalarını gidermek için ölçmeye başlanılan mira ile ölçüm bitirilmiştir.
- Tüm tesisler elektrik direklerinde olduğu için sadece geçiş noktalarında mira payandaları ve altlıkları kullanılmıştır.
- Mira okumalarında G1-İ1-İ2-G2 ölçü yöntemi kullanılmıştır (Çizelge 6.2).
- Her bir geri ve ileri ölçü 3 tekrarlı olarak yapılmış ve ortalamaları alınmıştır.
- Tekrarlı okumalarda ki iki okuma arası fark 0.4 mm geçtiğinde ölçüler tekrarlanacak şekilde ayarlamalar yapılmıştır.

Çizelge 6.2 Örnek nivelman klişeleri.

GÜZERGAH ADI:3 (DÖNÜŞ) MAVİ				ÖLÇÜ YERİ: BOLVADİN		
Ölçü Tarihi: 8 Haziran 2017						
NOKTA NO	ARA UZAKLIK		MİRA OKUMALARI		GERİ-İLERİ FARKLAR	ORTALAMA GERİ-İLERİ
			GERİ 1	İLERİ 1		
			GERİ 2	İLERİ 2		
3-15	15.046		0.86800			
			0.86792			
3-14	25.642 19.049		0.75362	1.50079	-0.63279	-0.632805
			0.75350	1.50074	-0.63282	
3-13	15.968 16.209		0.81322	1.07930	-0.32568	-0.325710
			0.81326	1.07924	-0.32574	
3-12	17.913 23.829		0.69620	1.35233	-0.53911	-0.539180
			0.69612	1.35251	-0.53925	
3-11	22.069 22.719		0.80235	1.25203	-0.55583	-0.555790
			0.80247	1.25187	-0.55575	
3-10	27.854 20.387		0.70302	1.04995	-0.24760	-0.247570
			0.70298	1.05001	-0.24754	
3-9	21.212 9.620		0.93817	1.25565	-0.55263	-0.552645
			0.93820	1.25564	-0.55266	
3-8	25.538 13.994		0.75024	1.33350	-0.39533	-0.395385
			0.75016	1.33364	-0.39544	
3-7	22.927 27.607		1.08129	1.33758	-0.58734	-0.587355
			1.08126	1.33753	-0.58737	
3-6	26.556 18.551		1.05846	1.44908	-0.36779	-0.367800
			1.05844	1.44907	-0.36781	
3-5	21.483 17.752		0.96085	1.41489	-0.35643	-0.356495
			0.96084	1.41500	-0.35656	
3-4	18.511 17.063		0.81463	1.12090	-0.16005	-0.160070
			0.81455	1.12093	-0.16009	
3-3	20.603 19.662		0.77843	0.94572	-0.13109	-0.131125
			0.77836	0.94571	-0.13116	
3-2	19.538 13.564		0.74454	0.77843	0.00000	-0.000040
			0.74449	0.77844	-0.00008	
3-1	30.713 11.080		1.16499	0.99684	-0.25230	-0.252300
			1.16511	0.99679	-0.25230	
2-1	28.497			0.41778	0.74721	0.747275
				0.41777	0.74734	



Şekil 6.6 Nivelman ölçüleri (Ağustos 2018).



Şekil 6.7 Kırmızı hatlar yüzey deformasyonlarını, Yeşil hatlar nivelman güzergâhlarını, sarı ve mavi hatlar bağlantı nivelmanını göstermektedir.

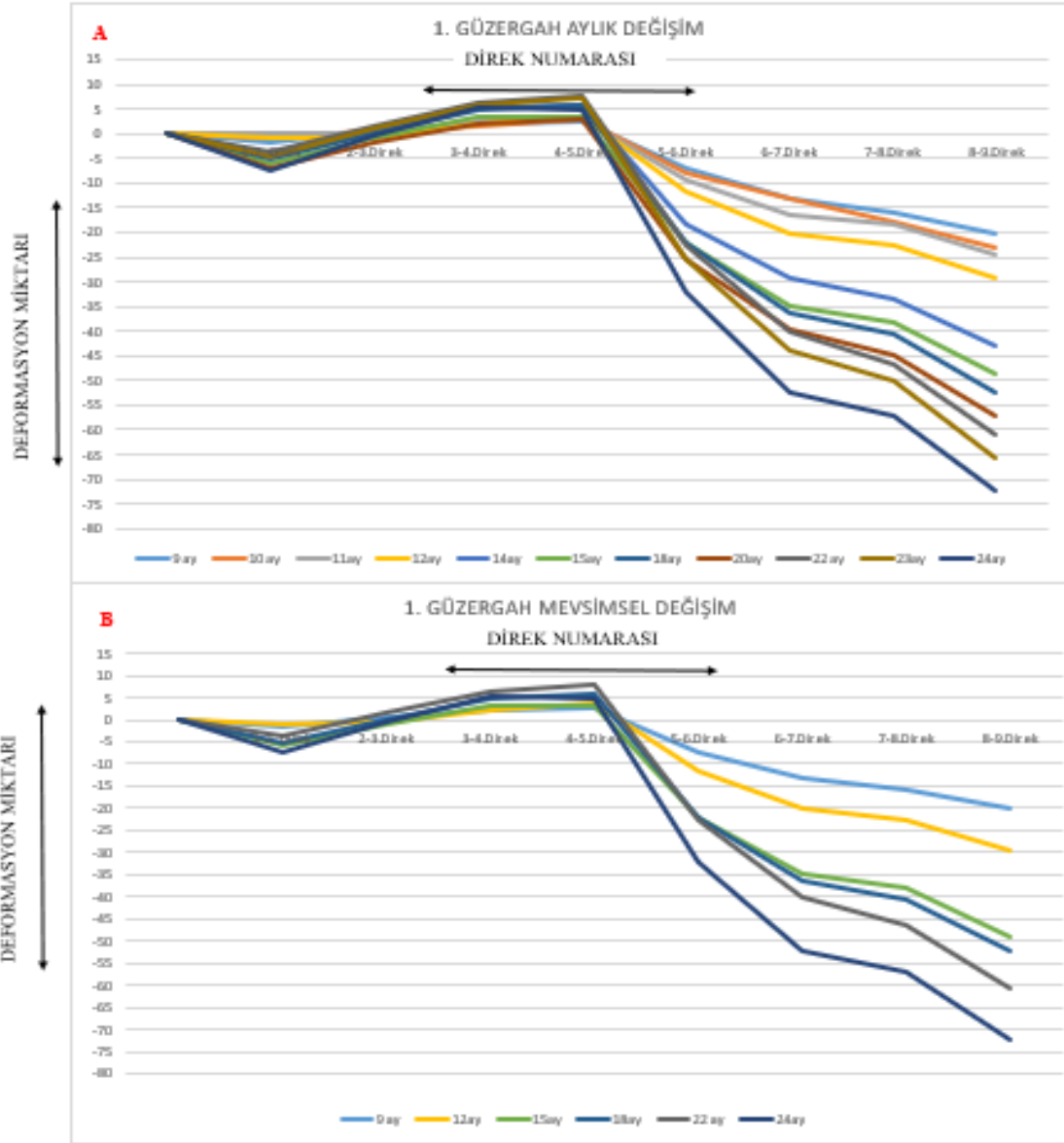
Tüm güzergahlarda gidiş dönüş ölçüleri arasındaki farklar $4\sqrt{S}$ formülünden hesaplanan tecviz sınırını geçmemiştir. Ülkemizde Hassas nivelman teknikleri için tecviz sınır bağıntıları bulunmadığı için Alman standartlarında (DIN-18710) belirtilen tecviz sınırları ve kapanma hataları (Çizelge 6.3. ve Çizelge 6.4.) verilmiştir.

Çizelge 6.3. Nivelman güzergah uzunlukları ve tecviz sınırları.

Güzergah No	Güzergah	Gidiş-Dönüş	Gidiş-Dönüş	Gidiş-Dönüş	Hata Sınırı
	Uzunluğu	Fark (mm)	Fark (mm)	Fark (mm)	
	(m)	2016	2017	2018	(mm)
1	300	0.8	0.6	0.7	2.2
2	800	0.8	0.7	0.6	3.6
3	550	0.5	0.4	0.7	3.0
4	250	0.5	0.6	0.9	2.0
5	200	0.6	0.2	1.0	1.8
6	150	0.5	1.0	0.1	1.5
7	600	1.2	0.2	2.4	3.1
8	400	1.1	1.1	0.1	2.5
9	250	1.1	1.1	0.1	2.0

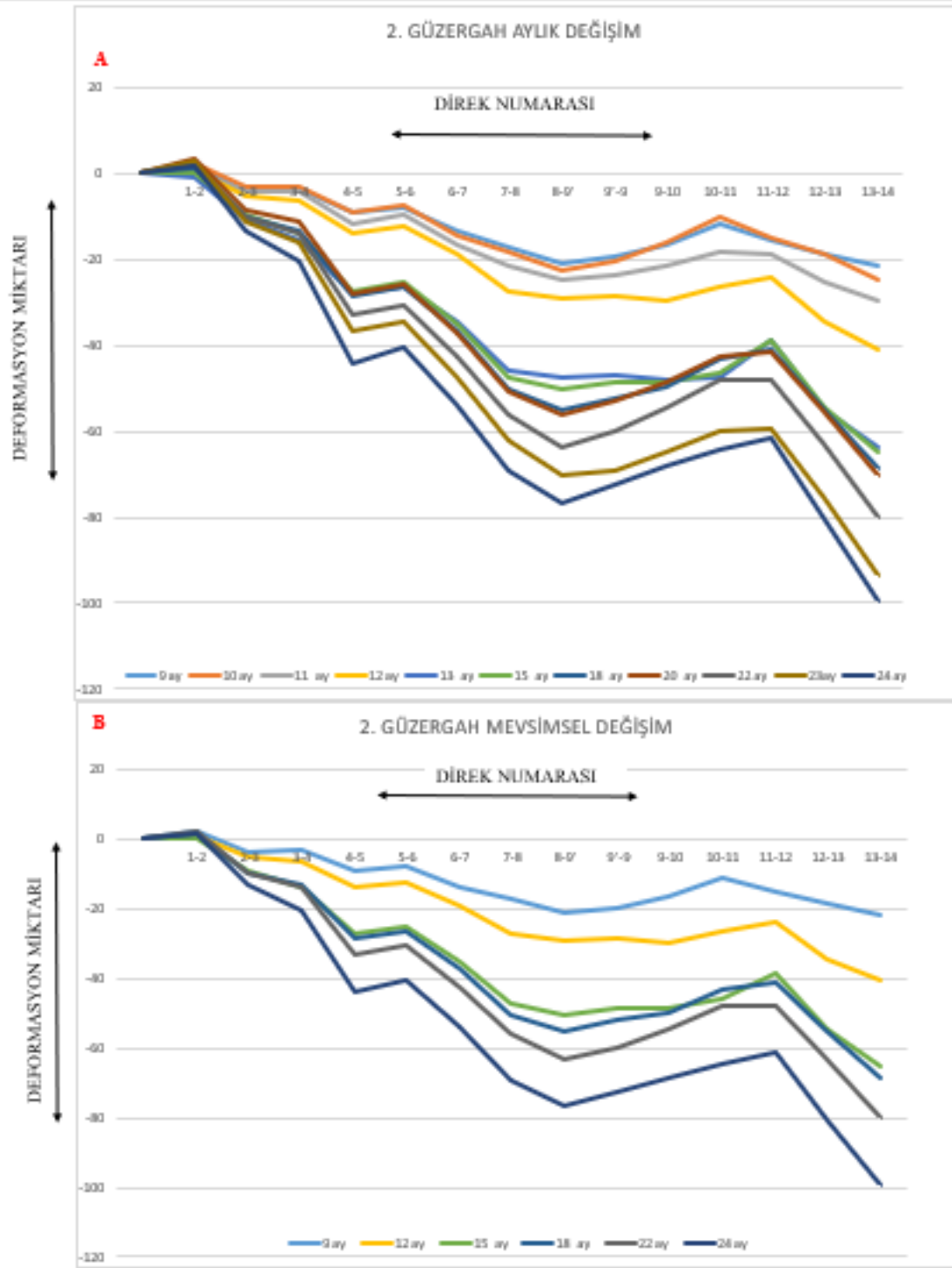
6.3 Hassas Nivelman Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Her güzergâhta noktalar arasındaki yükseklik farkları her yıl için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Güzergâhların gidiş dönüş ortalamaları alınarak yükseklik farkları elde edilmiştir. 19.08.2016 tarihinde yapılan birinci Kampanya ölçü referans alınarak diğer kampanyalar arası yükseklik farkları hesaplanıp meydana gelen deformasyon miktarları elde edilmiştir. Tüm Güzergâhlar için elde edilen deformasyon miktarları Şekil 6.8 – 6.17 de verilmiştir.



Şekil 6.8 Birinci güzergah aylık (A) ve mevsimlik (B) deformasyonlar.

Şekil 6.8 A incelendiğinde birinci güzergahta 5 no'lu direklerden itibaren deformasyon gözlemlenmektedir. Bu deformasyonlar gün geçtikçe arttığı net şekilde görülmektedir. Onikinci ayın sonunda deformasyon miktarı -29 mm iken 24. ayın sonunda -72 mm olduğu görülmektedir. Deformasyonların özellikle yaz aylarında doğru oldukça arttığı görülmüştür.



Şekil 6.9 İkinci güzergah aylık (A) ve mevsimlik (B) deformasyonlar.

Şekil 6.9 A incelendiğinde ikinci güzergahta 2 no'lu direklerden itibaren deformasyon gözlemlenmektedir. Bu deformasyonlar gün geçtikçe arttığı 9. direkten sonra yükselmeler görülmektedir. Aynı güzergahta 12 nolu direkten sonra yeniden düşmeler

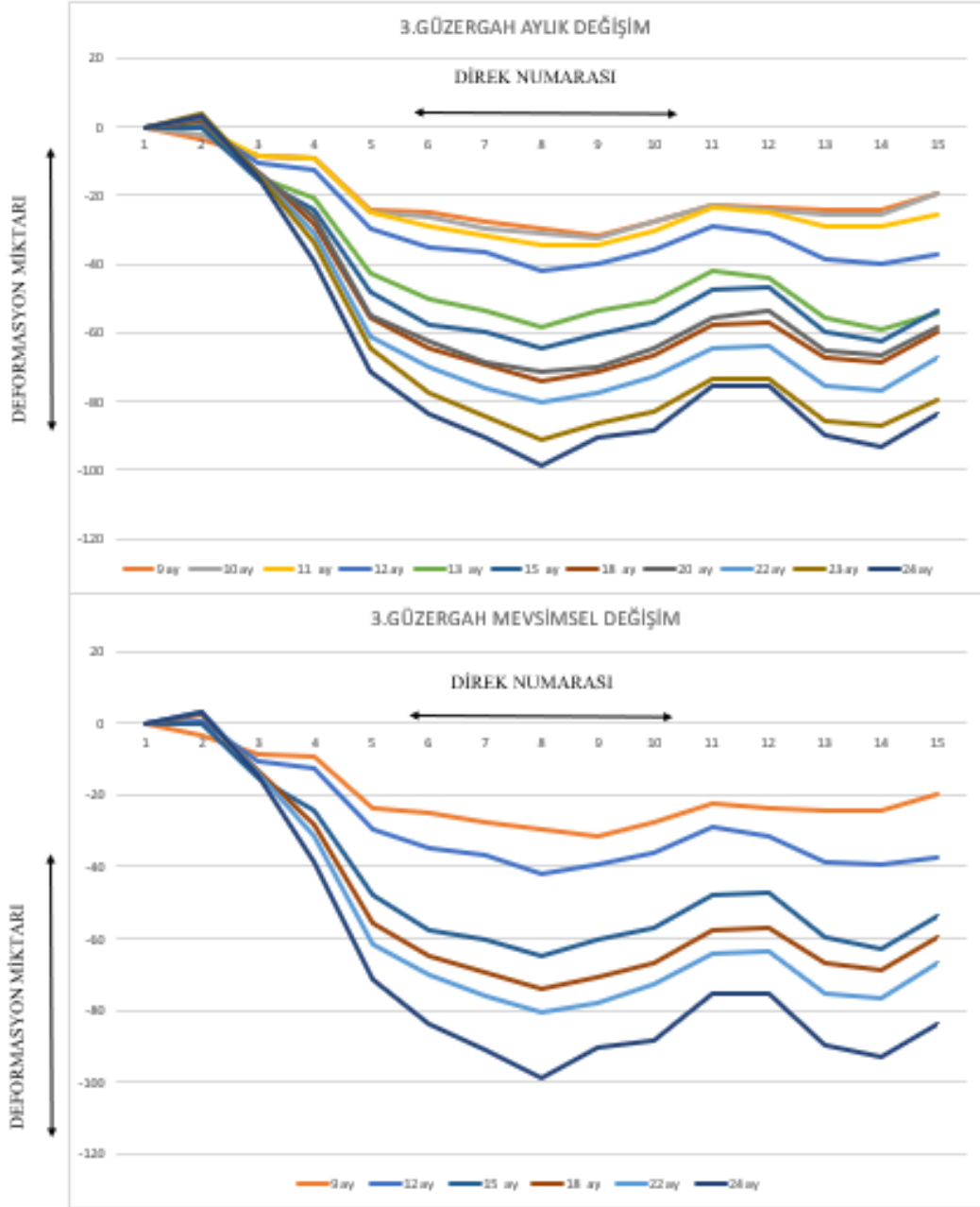
görülmektedir. Bunun temel sebebinin 2. güzergahın 2 adet yüzey deformasyonunu kesmesi olduğu düşünülmektedir (Şekil 6.10).



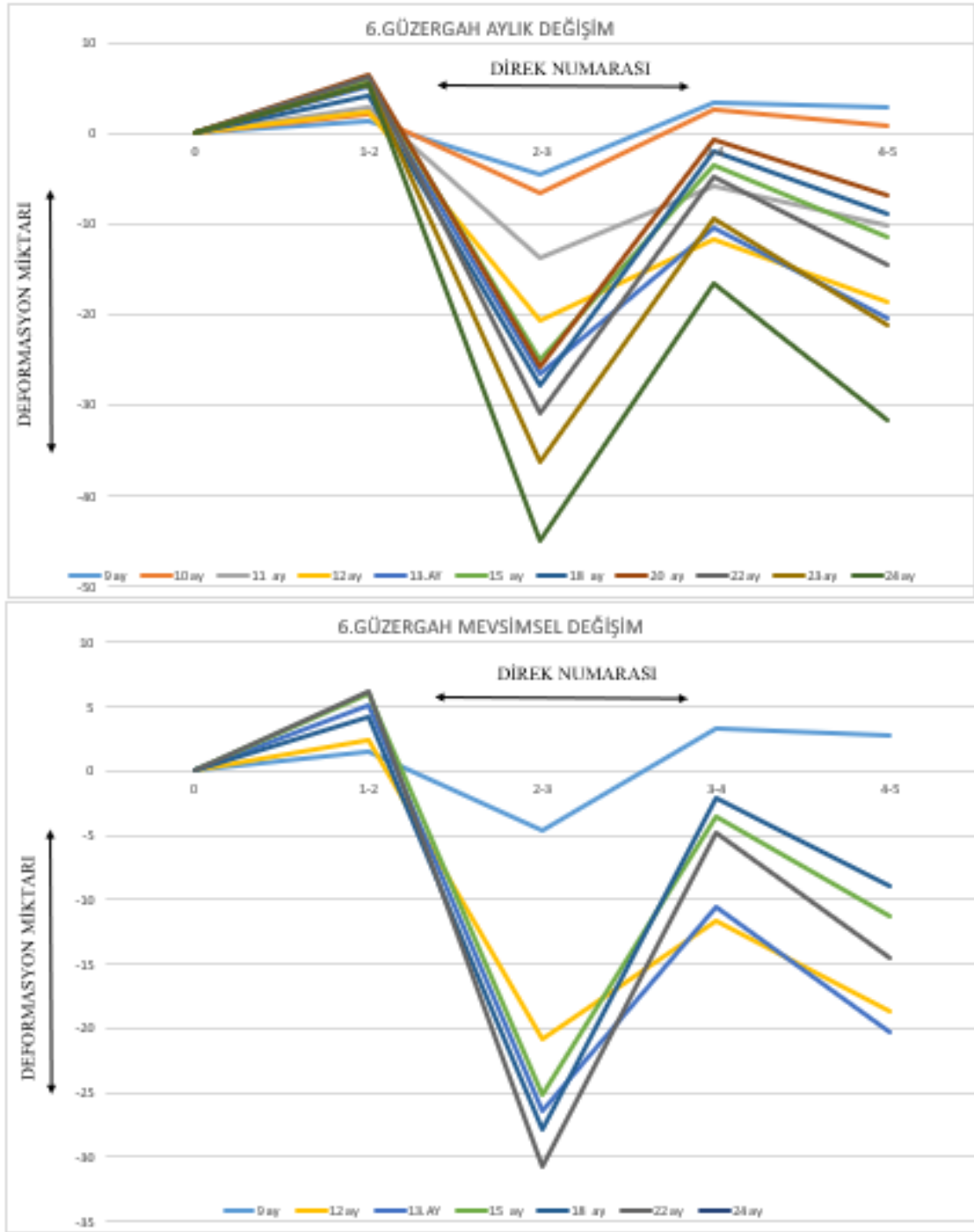
Şekil 6.10 İkinci ve üçüncü güzergahlar.

Onikinci ayın sonunda deformasyon miktarı -40 mm iken 24. ayın sonunda -99 mm olduğu görülmektedir. Deformasyonların özellikle yaz aylarında doğru oldukça arttığı görülmüştür. Benzer sonuçlar 6-7-8-9 nolu güzergahlarda da bulunmaktadır. Üçüncü güzergahta 2 no'lu direklerden itibaren deformasyon gözlemlenmektedir. Birinci yılın sonunda deformasyon miktarı -37 mm iken 2.yılın sonunda -98mm mm olduğu görülmektedir. Altıncı güzergahta 2 no'lu direklerden itibaren deformasyon gözlemlenmektedir. Birinci yılın sonunda deformasyon miktarı -18 mm iken 2.yılın sonunda -31 mm olduğu görülmektedir. yedinci güzergahta 3 no'lu direklerden itibaren deformasyon gözlemlenmektedir. Birinci yılın sonunda deformasyon miktarı -31 mm iken 2.yılın sonunda -74 mm olduğu görülmektedir. Deformasyonlar sekizinci Güzergahta 3 no'lu Direklerden itibaren deformasyon gözlemlenmektedir. Birinci Yılın Sonunda Deformasyon Miktarı -34 mm iken 2.yılın sonunda -81 mm olduğu

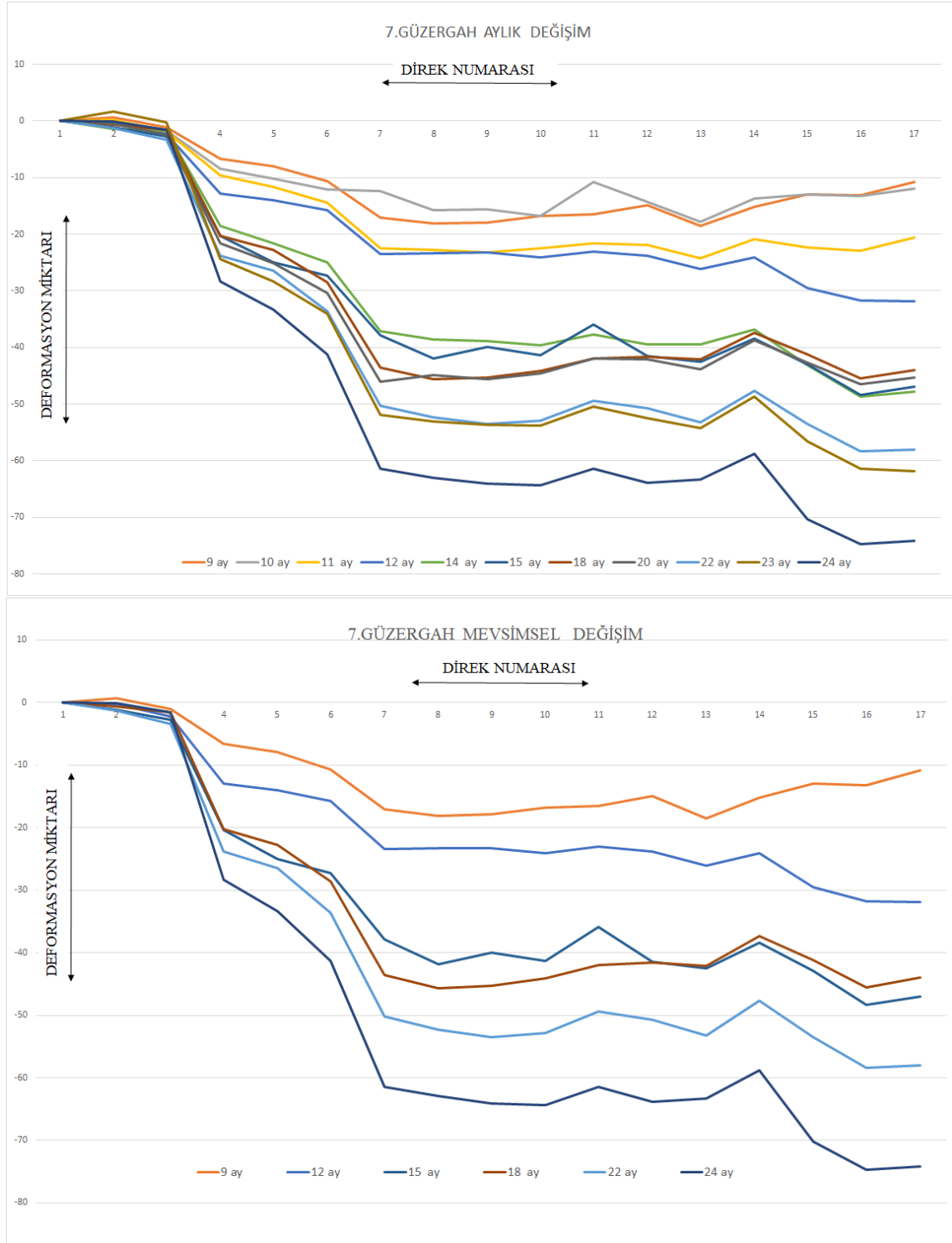
görülmektedir. Dokuzuncu güzergahta 3 no'lu direklerden itibaren deformasyon gözlemlenmektedir. Birinci yılın sonunda deformasyon miktarı -18 mm iken 2.yılın sonunda -27 mm olduğu görülmektedir.



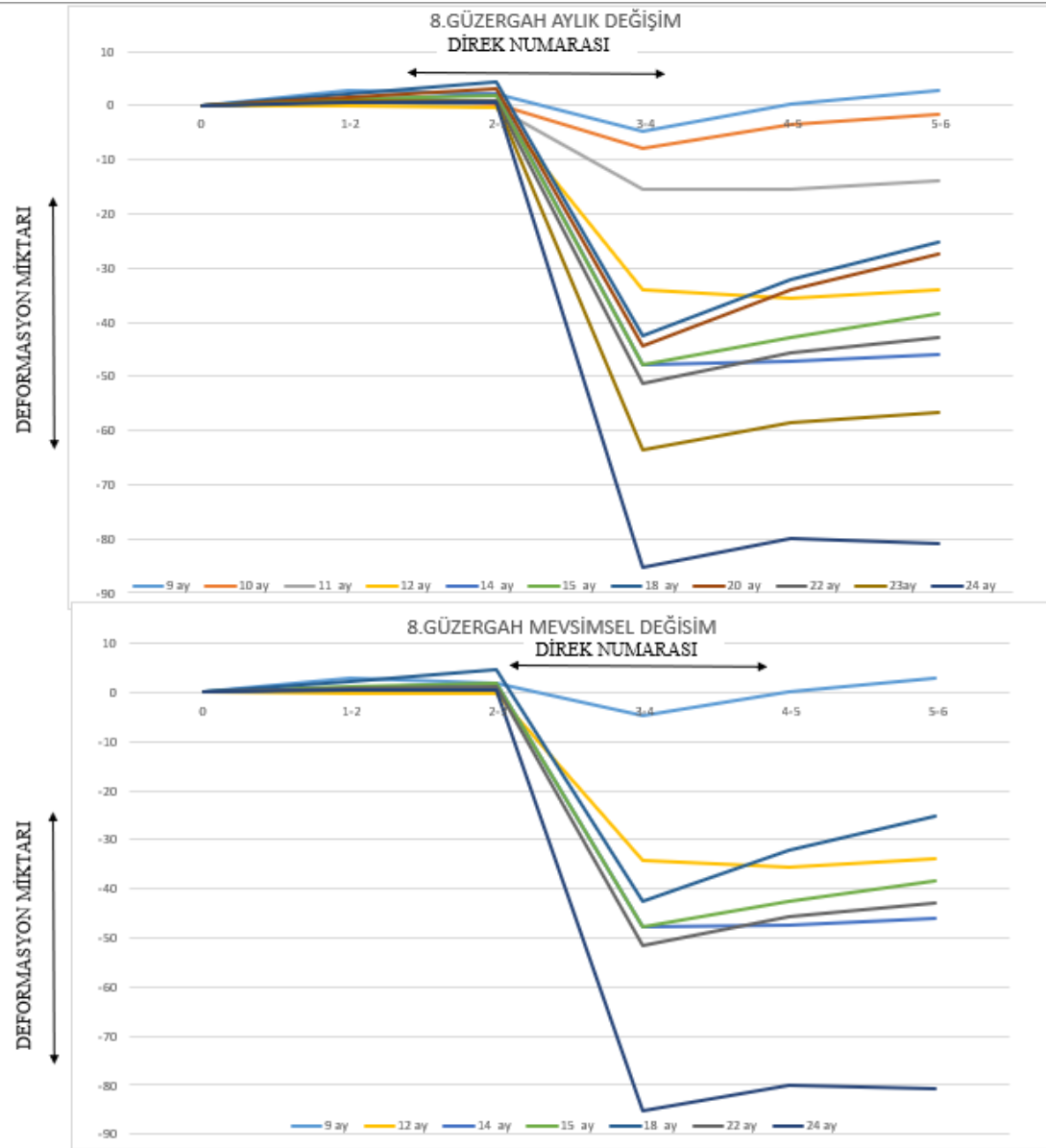
Şekil 6.11 Üçüncü güzergah aylık ve mevsimlik deformasyonlar.



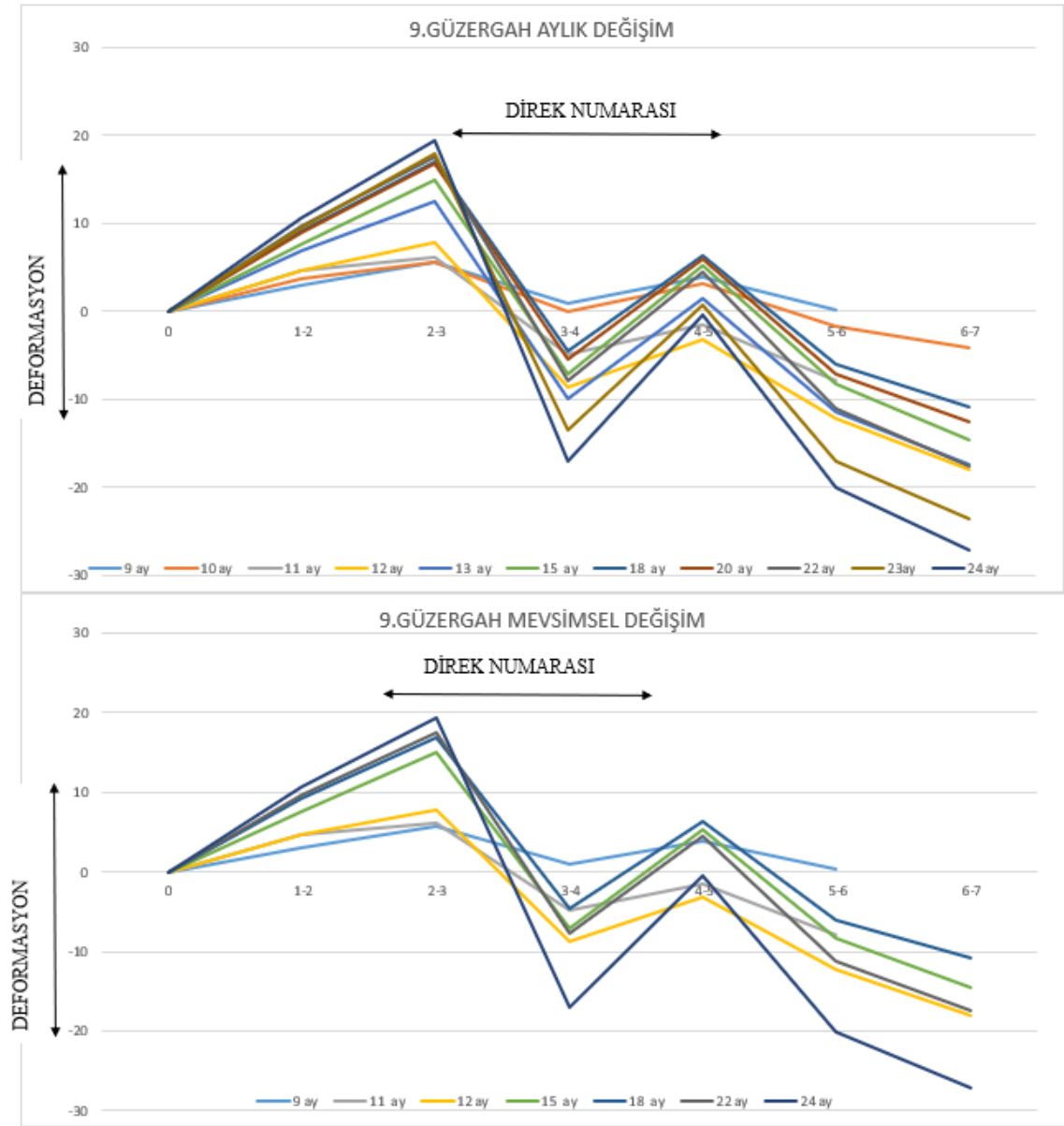
Şekil 6.12 Altıncı güzergah aylık ve mevsimlik deformasyonlar.



Şekil 6.13 Yedinci güzergah aylık ve mevsimlik deformasyonlar.

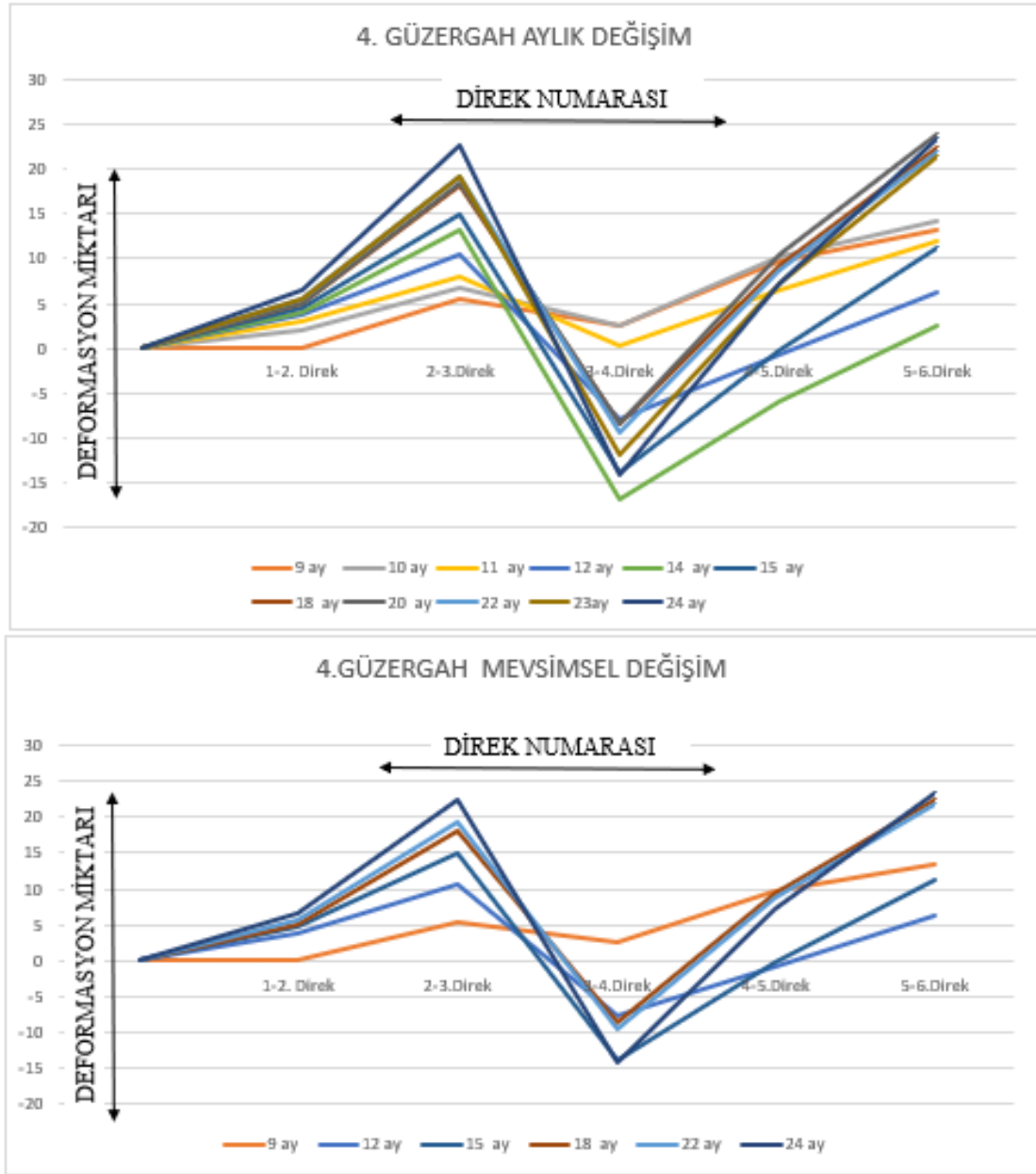


Şekil 6.14 Sekizinci güzergah aylık ve mevsimlik deformasyonlar.

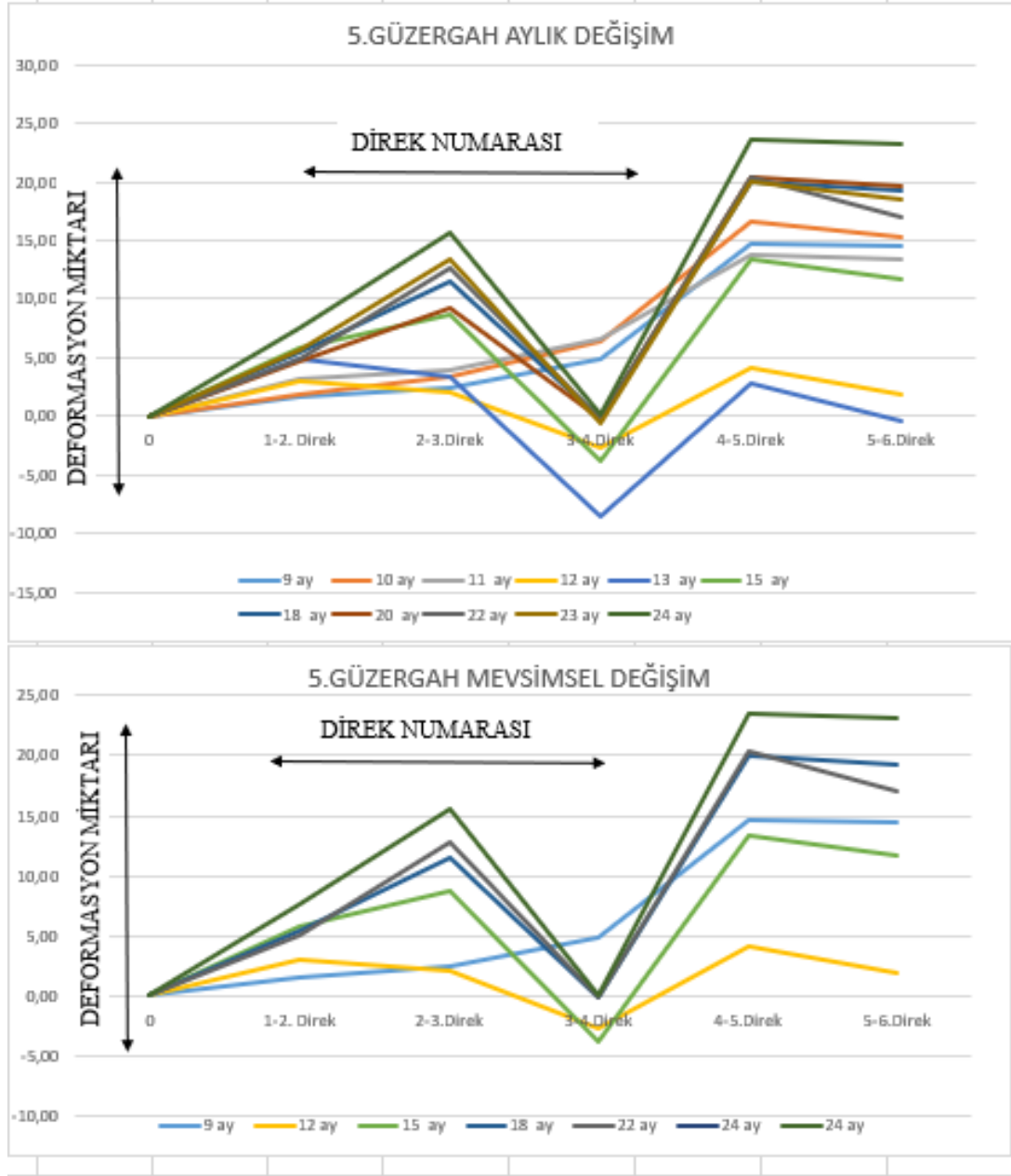


Şekil 6.15 Dokuzuncu güzergah aylık ve mevsimlik deformasyonlar .

Ancak 4 ve 5. güzergahlarda bunlar dışında hareketler görülmüştür.



Şekil 6.16 Dördüncü güzergah aylık ve mevsimlik deformasyonlar.



Şekil 6.17 Beşinci güzergah aylık ve mevsimlik.

Şekiller incelendiğinde tüm güzergahlarda her ölçüde deformasyonların devam ettiği görülmüştür. Mevsimsel olarak deformasyonu özellikle yaz aylarında (12. ve 24. Aylar) arttığı görülmüştür. Özellikle yaz aylarında deformasyon miktarlarının artması deformasyonun yeraltı suları ile ilişkili olacağı düşüncesini vermiştir. Bölgede yaz aylarında yoğun tarımsal sulama nedeni ile yeraltı su seviyesinin düştüğü bilinmektedir.

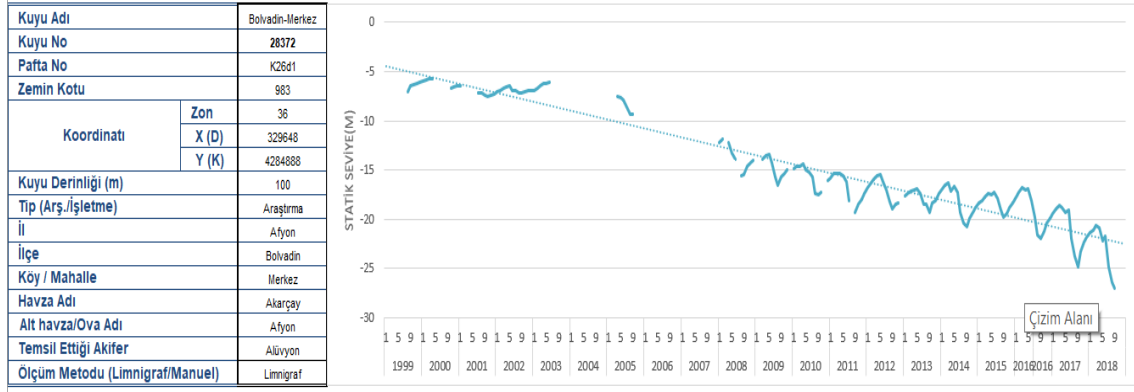
6.4 Yeraltı Su Seviyelerinin İncelenmesi

Bolvadin ilçesi Akarçay havzasında yer almaktadır. Yüzey deformasyonları ile yeraltı suları arasındaki bağlantıyı bulmak için bölgede bulunan beş adet yer altı suyu gözlem kuyularının verileri Devlet Su İşleri (DSİ) 18. Bölge müdürlüğünden temin edilmiştir. Gözlem kuyularının konumlarından çalışma alanı içinde kalan Bolvadin Merkez (28372) kuyusunun 1999-2018 yılları arasındaki verileri çalışmada kullanılmıştır. Bu kuyuların 2016 yılı Ağustos ayı ile 2018 yılı ağustos arası verileri nivelman çalışmalarından elde edilen yükseklik farkları ile ilişkilendirilmiştir (Şekil 6.18).



Şekil 6.18 Bolvadin bölgesinde bulunan yeraltı suyu gözlem kuyuları.

28372 nolu kuyunun su seviyesi 1999-2018 yılına kadar 21.5 metrelerde 26.5 metrelere düştüğü görülmüştür. Su seviyelerinde mevsimsel olarak dalgalanmalarında meydana geldiği görülmüştür. Özellikle yaz yazlarında düşmeye başlayan su seviyesi kasım aralık aylarında yeniden yükseldiği görülmektedir. Bu değişimlerin temel sebebinin bölgede yoğun tarımsal sulamaların olduğu düşünülmektedir. Nivelman çalışmaları 2016 yılı ağustos ayından başladığı için gözlem kuyularında da ağustos 2016 dan itibaren güncel kuyu değerleri alınmıştır (Çizelge 6.4).



Şekil 6.19 Bolvadin merkez yeraltı suyu gözlem kuyusu.

Çizelge 6.4 Bolvadin merkez (28372) yeraltı suyu gözlem kuyusu su seviyeleri

2016	8	Ağustos	-21,58
	9	Eylül	-22,00
	10	Ekim	-21,22
	11	Kasım	-20,41
	12	Aralık	-19,89
2017	1	Ocak	-19,40
	2	Şubat	-18,95
	3	Mart	-18,58
	4	Nisan	-18,80
	5	Mayıs	-19,30
	6	Haziran	-19,11
	7	Temmuz	-21,96
	8	Ağustos	-23,78
	9	Eylül	-24,8
	10	Ekim	-23,25
	11	Kasım	-22,29
	12	Aralık	-21,80
2018	1	Ocak	-21,36
	2	Şubat	-21,06
	3	Mart	-20,63
	4	Nisan	-20,82
	5	Mayıs	-22,25
	6	Haziran	-21,66
	7	Temmuz	-24,89
	8	Ağustos	-26,42

6.5 Nivelman Sonuçları ile Yer Altı Su Seviyelerinin İlişkisinin Araştırılması

28372 nolu yeraltı suyu gözlem kuyusana ait 2 yıllık sonuç değerleri yeraltı suyu seviyeleri ile bölgede meydana gelen yüzey deformasyonlarının ilişkisi araştırılmıştır. Bu amaçla 2016-2018 yılları arasında yapılan nivelman deformasyon ölçülerinde ki sonuçlar ile yeraltı su seviyelerindeki değişimler arasındaki ilişki incelenmiştir. Karşılaştırmada Pearson, Spearman-Rank, Kendall-Tau, korelasyon katsayısı hesaplanarak bu iki değişken arasındaki ilişki ortaya konmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmada Bolvadin ilçesinin merkezinde bulunan Devlet Su İşleri'ne ait 28372 numaralı gözlem kuyusunun uzun süreli değişimini ve bölgede meydana gelen yüzey deformasyonları arasında oluşan korelasyonu Pearson, Spearman-Rank, Kendall-Tau, korelasyon katsayısı hesaplanarak incelenmiştir.

Toplam 3 adet korelasyon fonksiyonu incelenmiştir. Her bir güzergah için elde edilen Kendal, Sperman ve Pearson korelasyon katsayıları ve anlamlılık değerleri hesaplanmış ve çizelgelerde verilmiştir (Çizelge 6.5). Her güzergah için hesaplanan 3 korelasyon katsayısından bir tanesinde anlamlı ise veriler arasında korelasyon var kabul edilmiştir. P katsayısı (olasılık değeri) 0 ile 0.05 arasında ise en az %95 olasılıkla anlamlılık vardır. Ayrıca korelasyon katsayısına büyüklüğüne göre korelasyonun gücü hakkında bilgiler elde edilmiştir. Çizelge 6.5 arası incelendiğinde 4. ve 5. Güzergahlar için yeraltı suları ile deformasyon ilişkisinin olmadığı görülmektedir. Diğer tüm güzergahlarda uygulanan korelasyon yöntemlerinden en az bir tanesi anlamlı çıkmıştır.

Çizelge 6.5 Korelasyon katsayıları

Birinci Güzergah Korelasyon Uyumluluk Test Sonucu			
Korelasyon Tipi	Korelasyon Katsayısı	P Değeri	Anlamlılık
Kendall Rank	0.0672	0.3517	Hayır
Spearman's Rank-Order	0.0911	0.3776	Hayır
Pearson Product-Moment	0.2071	0.0429	Evet
İkinci Güzergah Korelasyon Uyumluluk Test Sonucu			
Korelasyon Tipi	Korelasyon Katsayısı	P Değeri	Anlamlılık
Kendall Rank	0.2501	0.0000	Evet
Spearman's Rank-Order	0.3543	0.0000	Evet
Pearson Product-Moment	0.4240	0.0000	Evet
Üç'üncü Güzergah Korelasyon Uyumluluk Test Sonucu			
Korelasyon Tipi	Korelasyon Katsayısı	P Değeri	Anlamlılık
Kendall Rank	0.2470	0.0000	Evet
Spearman's Rank-Order	0.3594	0.0000	Evet
Pearson Product-Moment	0.4096	0.0000	Evet
Dördüncü Güzergah Korelasyon Uyumluluk Test Sonucu			
Korelasyon Tipi	Korelasyon Katsayısı	P Değeri	Anlamlılık
Kendall Rank	0.0335	0.7198	Hayır
Spearman's Rank-Order	0.0358	0.7858	Hayır
Pearson Product-Moment	0.0194	0.8830	Hayır
Beşinci Güzergah Korelasyon Uyumluluk Test Sonucu			
Korelasyon Tipi	Korelasyon Katsayısı	P Değeri	Anlamlılık
Kendall Rank	0.0246	0.7928	Hayır
Spearman's Rank-Order	0.0195	0.8823	Hayır
Pearson Product-Moment	0.0586	0.6566	Hayır
Altıncı Güzergah Korelasyon Uyumluluk Test Sonucu			
Korelasyon Tipi	Korelasyon Katsayısı	P Değeri	Anlamlılık
Kendall Rank	0.2866	0.0055	Evet
Spearman's Rank-Order	0.3782	0.0080	Evet
Pearson Product-Moment	0.4571	0.0011	Evet
Yedinci Güzergah Korelasyon Uyumluluk Test Sonucu			
Korelasyon Tipi	Korelasyon Katsayısı	P Değeri	Anlamlılık
Kendall Rank	0.2859	0.0000	Evet
Spearman's Rank-Order	0.3999	0.0000	Evet
Pearson Product-Moment	0.4527	0.0000	Evet
Sekizinci Güzergah Korelasyon Uyumluluk Test Sonucu			
Korelasyon Tipi	Korelasyon Katsayısı	P Değeri	Anlamlılık
Kendall Rank	0.2788	0.0024	Evet
Spearman's Rank-Order	0.3773	0.0030	Evet
Pearson Product-Moment	0.4812	0.0001	Evet
Dokuzuncu Güzergah Korelasyon Uyumluluk Test Sonucu			
Korelasyon Tipi	Korelasyon Katsayısı	P Değeri	Anlamlılık
Kendall Rank	0.1437	0.0857	Hayır
Spearman's Rank-Order	0.1920	0.1061	Hayır
Pearson Product-Moment	0.2329	0.0490	Evet

7. SONUÇ

Bolvadin ilçe merkezinde son 10 yılda meydana gelen asismik yüzey deformasyonları gözlenmektedir. Yapılan araştırmalarda bu yüzey deformasyonlarının Bolvadin fayının devamı olduğu görülmüştür. Bu çizgisel yüzey deformasyonları sola sıçramalı bir geometride devam etmektedir. Aynı zamanda birbirine paralel olarak 3 kol ile Bolvadin yerleşim yerinin içinden yaklaşık 300 binanın da üzerinden geçtiği görülmüştür. Meydana gelen yüzey deformasyonlarının büyüklüklerini araştırmak için bölgeye 9 adet nivelman güzergahı tesis edilmiştir. Bu güzergahlar profil şeklinde yüzey deformasyonlarına dik olacak şekilde oluşturulmuştur. 2016-2018 yılları arasında 12 kampanya nivelman ölçüsü yapılmıştır. Tüm nivelman ölçüleri Geri-İleri-İleri-Geri (GIIG) yöntemine göre dijital ve invar barkodlu miralar kullanılarak yapılmıştır. Daha DSİ 18. Bölge müdürlüğünden ilçe merkezinde bulunan 28372 nolu sondaj kuyuları yeraltı su seviyesi alınmıştır. Nivelman ölçüleri ile ölçü yapılan tarihlerdeki yeraltı su seviyeleri arasında ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Elde edilen verilere göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir

Yüzeyde meydana gelen düşey yöndeki deformasyonların zaman geçtikçe arttığı görülmektedir (6.8-6.17). Deformasyon miktarları iki yılda toplamda 40-100 mm arasında değişmektedir. 1. güzergah yüzey deformasyon hattının en kuzey batısında bulunmaktadır. Bu güzergah sadece bir adet yüzey deformasyonunu kesmekte olup ilk kampanya ile son kampanya arasında -72 mm deformasyon tespit edilmiştir. Bu deformasyonun 2016-2017 yılları ağustos ayları arasında -29 mm iken 2017-2018 ağustos ayları arasında -43 mm ye ulaştığı gözlenmiştir (Şekil 6.8). 2. , 3. ve 7. güzergahlar ise 2 adet yüzey kırığını kesmektedir (Şekil 6.10). Bu güzergahlarda ise ikinci yılın sonunda deformasyon miktarları sırasıyla -100, -100, -75 mm ye ulaşmıştır. Burada iki yüzey kırığı nedeniyle birinci güzergaha göre daha fazla deformasyon meydana gelmiştir. Bu deformasyonlar 2. ve 3. güzergahlarda ilk yıl yaklaşık -40 mm iken ikinci yıl -60 mm ye çıkmaktadır. Deformasyonları bölgenin GB ucunda herbir kırıkta yaklaşık 10 mm arttığı görülmektedir.

6. güzergahta ilk yıl -18 mm iken 2.yılın sonunda -31 mm 7. güzergahta ilk yıl -31 mm iken 2. yılın sonunda -74 mm, 8. güzergahta ilk yıl -34 mm iken 2.yılın sonunda -81

mm, 9. güzergahta -18 mm iken 2.yılın sonunda -27 mm ye ulaştığı görülmektedir. 2-3 ve 7 nolu güzergahlarda iki kırktan sonra güzergahlarda bir miktar yükselmeler ve deformasyon miktarlarında azalmalar görülmektedir.

Deformasyon grafikleri incelendiğinde özellikle yaz aylarında (12. ve 24. aylar) deformasyonların arttığı görülmüştür. Özellikle yaz aylarında deformasyon miktarlarının artması deformasyonun yeraltı suları ile ilişkili olacağı düşüncesini vermiştir. Kuyu verileri incelendiğinde yeraltı suyu 2 yılda yaklaşık 3-5 metre düştüğü gözlenmiştir. Bu nedenle DSİ den alınan yeraltı su seviyeleri verileri ile deformasyon miktarları arasındaki korelasyon incelenmiştir. Korelasyon yöntemi olarak Kendal, Sperman ve Pearson korelasyon yöntemleri kullanılmış ve çizelgelerde verilmiştir (Çizelge 6.5). Her güzergah için hesaplanan 3 korelasyon katsayısından bir tanesinde anlamlı ise veriler arasında korelasyon var kabul edilmiştir. Bu sonuçlara göre 4. ve 5. Güzergahlar için yeraltı suları ile deformasyon ilişkisinin olmadığı görülmektedir.

Bununla birlikte hesaplanan korelasyon katsayılarına bakıldığında 1. ve 9. güzergahlarda düşük düzeyde anlamlılık 2.,3.,6.,7. ve 8. güzergahlarda orta düzeyde anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir. 4. ve 5. güzergahlarda ilişki olmadığı korelasyonla ve hesaplanan p katsayısı ile kanıtlanmıştır. Bununda yeraltı su seviyeleri ile deformasyonlar arasında istatistiksel olarak orta seviyede ilişki olduğu görülmektedir.

Bütün sonuçlar incelendiğinde Bolvadin bölgesinde gelişmekte olan asismik yüzey deformasyonlarının tektonizmanın bir rolü olup olmadığının anlaşılması için jeoloji ve jeofiziksel çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bolvadin düzlüğünde son 2 yıl içerisinde yeraltı su seviyesinin yaklaşık 3-5 m. arası düşmesi zeminin konsolide olması nedeniyle kırıkların oluşmasına büyük katkı sağlamaktadır. Ancak bölgede son yıllarda yüzey kırığı oluşturan depremlerin varlığı Bolvadin Fayının diri bir fay olması ve bu deformasyonların bu fay üzerinde devam etmesi sebebiyle yüzey deformasyonlarının bir kısmının tektonik olabileceği öngörülmektedir.

8. KAYNAKLAR

- Kouchak A.A. (2017). Multivariate Copula Analysis Toolbox (MvCAT): Describing dependence and underlying uncertainty using a Bayesian framework
- Aktuğ, B., Kaypak, B., Çelik, R.N. (2010). "Source parameters of 03 February 2002 Çay Earthquake, Mw6.6 and aftershocks from GPS Data, Southwestern Turkey", *Journal of Seismology*, **14**: 445-456.
- 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.
- 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.
- Dewey, J. F. ve Şengör, A. M. C., (1979). "Aegean And Surrounding Regions. Complex Multiplate and continuum Tectonics in a Convergent Zone", *Geol. Soc. Of America Bull.*, **90**:84-92.
- 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.
- 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.
- Erdoğan B., (2006). Statik deformasyon analizinin güvenilirliğinin yatay kontrol ağlarında araştırılması , Investigation of reliability of static deformation analysis for horizontal control networks.
- Gens, R. ve van Genderen, J.L. (1996). SAR interferometry: Issues, Techniques, Applications, *International Journal of Remote Sensing*, **17**:1803–1835.
- 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.

- Hanssen, R.F. (2001). Radar Interferometry Data Interpretation and Error Analysis. The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- Hernández-Madrigal, V. M., Muñiz-Jauregui, J. A., Garduño-Monroy, V. H, Flores-Lázaro, N. ve Figueroa-Miranda, S., (2014). Depreciation factor equation to evaluate the economic losses from ground failure due to subsidence related to groundwater withdrawal. *Natural Science*, **6**:108-113.
- Herring, T. A., King, R. W. ve McClusky, S.C. (2009). GAMIT Reference Manual, Release 10.4. Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Mass. Inst. Of Technol.
- Holzer, T.L. ve Galloway, D.L., (2005). Impacts of land subsidence caused by withdrawal of underground fluids in the United States. Geological Society of America, *Reviews in Engineering Geology*, **16**:87-99.
- Holzer, T.L., (1984). Ground failure induced by groundwater withdrawal from unconsolidated sediment. In: Holzer Holzer, T.H., Ed., Man-Induced Land Subsidence, VI, Geological Society of America. *Reviews in Engineering Geology*, Colorado, 67-105.
- Karagöz B.Ç. (2008). Dinar Fayı Tektonik Hareketlerinin Presizyonlu Nivelman Yöntemiyle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar
- 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.
- Koçyiğit, A., (1984). Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, **27**:1- 15
- 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, 19 s
- 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.

- Koçyiğit, A., (2006) Çukurören-Çobanlar (Afyon) Arasındaki Deprem Kaynaklarının (Aktif Fayların) Belirlenmesi, TÜBİTAK, ÇAYDAG, 106 Y 2094 No'lu Proje Kesin Raporu
- Koçyiğit, A. ve 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.
- Köklü, N., Büyüköztürk Ş. & Bökeoğlu, Ö.Ç. (2006). Sosyal bilimler için istatistik. Ankara: Pegem-A Yayıncılık.
- Köse Z. (2018). Obruk Barajındaki Düşey Deformasyonun Hassas Nivelman İle İzlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar
- Kurtuluş Serdar Görmüş (2011). Kuzey Anadolu Fayı İsmetpaşa Segmentindeki Krip Hızı Değişiminin İzlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak
- Massonnet, D. ve Feigl, K. L. (1998). Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface, *Reviews of Geophysics*, **36**:441-500.
- McClusky S, Balassanian S, Barka A, Demir C, Ergintav S, Georgiev I, Gurkan O, Hamburger M, HurstK, Kahle H, Kastens K, Kekelidze G, King R, Kotzev V, Lenk O, Mahmoud S, Mishin A, Nadriya M, Ouzounis A, Paradissis D, Peter Y, Prilepin M, Reilinger R, Sanli I, Seeger H, Tealeb A, Toksoz MN, Veis G (2000) Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, *Journal of Geophysical Research*, **105**:5695–5719.
- McKenzie, D.P., (1978). Active Tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and Surrounding Regions. *Geophysical Journal Royal AstroSocail*, **55**:217-254
- Öncel, A., Koral, H. & Alptekin, Ö. *Pure Applied. Geophysical*. (1998). 152: 91. <https://doi.org/10.1007/s000240050143>

- 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.
- Özkaymak Ç., Sözbilir, H., Tiryakioğlu, İ. ve Baybura, T., (2017). Bolvadin’de (Afyon-Akşehir Grabeni, Afyon) Gözlenen Yüzey Deformasyonlarının Jeolojik, *Jeomorfolojik ve Jeodezik Analizi. Türkiye Jeoloji Bülteni* **60**:169-188
- 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 Bildiri Özleri Kitabı, s. 464-465, 06-10 Nisan 2015, Ankara.
- Pacheco-Martínez, J., Hernandez-Marín M., Burbey., T. J., González-Cervantes, N., Ortíz-Lozano, J.Á., Zermeño-De-Leon, M.E. ve Solís-Pinto, A., (2013). Land subsidence and ground failure associated to groundwater exploitation in the Aguascalientes Valley, México. *Engineering Geology* **164**:172–186.
- Pewe, (1990). Land subsidence and earth-fissure formation caused by groundwater withdrawal in Arizona; A review. *Groundwater Geomorphology The role of subsurface water in Earth-surface processes and Landforms*, edited by Charles G. Higgins, Donald Robert Coates, Geological Society of America pub. p.252.
- Reilinger R, McClusky S, Vernant P, Lawrence S, Ergintav S, Çakmak R, Özener H, Kadirov F, Guliev I, Stepanyan R, Nadariya M, Hahubia G, Mahmoud S, Sakr K, ArRajehi A, Paradissis D, Al-Aydrus A, Prilepin M, Guseva T, Evren E, Dmitrova A, Filikov SV, Gomez F, Al-Ghazzi R, Karam G (2006) GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions *Journal of Geophysical Research* **111**:B05411
- Şengör, A. M. C., ve Yılmaz, Y., (1981). Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach, *Tectonophysics*, **75**:181-241.
- Tanır, K., Yavuzdoğan (2018). Meteorolojik Parametreler ve Deniz Seviyesi Değişimi Arasındaki İlişkinin Kapula Fonksiyonları ile Analizi, 6. Uluslararası GAP

Mühendislik Kongresi 8-10 Kasım 2018 Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Şanlıurfa

Tiryakioğlu, I., Floyd, M., Erdoğan, S., Gülal, E., Ergintav, S., McClusky, S., Reilinger, R., (2013). GPS Constraints on Active Deformation in the Isparta Angle Region of SW Turkey. *Geophysical. Journal International*. **195**:1455–1463, 2013.

Tiryakioğlu, İ., Özkaymak, Ç., Yaçın, M., Baybura, T., Yılmaz, M., Uğur, M.A., Yiğit C.O., Dindar, A.A., Poyraz, F., Uysal, M., Sözbilir, H., Gülal, E., (2017). Akşehir Simav Fay Sistemindeki Güncel Tektonik Hareketlerinin İzlenmesi: Nivelman Çalışmaları, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir/ Türkiye.

Tiryakioğlu, İ., Özkaymak, Ç., Baybura, T., Sözbilir, H., Uysal, M., (2018a). Comparison of Palaeostress Analysis, Geodetic Strain Rates and Seismic Data in the Western Part of The Sultandağı Fault in Turkey. *Annals of Geophysics*, 61, 3, GD335. Doi: 10.4401/ag-7591

Tiryakioğlu, İ., Yiğit C.O., Yalçın, M., Bozkuş, H.B., Özkaymak, Ç., Yılmaz, M., Uğur, M.A., Baybura, T., Dindar, A.A., Poyraz, F., Sözbilir, H., Gülal, E., (2018b) Jeodezik Yöntemlerle Güncel Yüzey Deformasyonlarının Belirlenmesi; Afyon-Akşehir Grabeni'nden Örnekler, Sismojeodezik Çalışmalar, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK), 1-2 Kasım 2018, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

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

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), *Geodynamica Acta* **16**:83-87

İnternet Kaynakları

- 1) https://web.itu.edu.tr/~coskun/contents/lessons/topo/topografya_bolum_7.pdf
Coşkun, Z. M ders notları. Erişim 05.03.2019

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hasan Basri Bozkuş
Doğum Yeri ve Tarihi : Akçadağ/Malatya –28.09.1993
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0530 930 19 23- basribozkus06@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Malatya Gazi Anadolu Lisesi,
(2007-2011)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği
Bölümü, (2012-2016)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı,
(2016-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Kutluyol Asfalt A.Ş.
(2016 – Devam Ediyor.)