



Bolvadin Asismik Yüzeysel Deformasyonlarının Yerleşim Alanlarına Etkilerinin İncelenmesi





*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 19.10.2023

Kabul/Accepted: 17.01.2024

Yayımlandı/Published: 27.02.2024

Investigation of the Effects of Bolvadin Aseismic Surface Deformations on Residential Areas

Çağlar ÖZKAYMAK^{1,5} , İbrahim TIRYAKIOĞLU^{2,5} , Veli BAŞARAN^{3*} , Mehmet BULDAN⁴ 

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

³ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

⁴ İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Afyonkarahisar, Türkiye

⁵ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Deprem Uygulama ve Araştırma Merkezi (DUAM) Müdürlüğü, Afyonkarahisar, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

Öz

Batı Anadolu Genişleme Bölgesi (BAGB) içerisinde kenarları diri faylar ile kontrol edilen grabenlerin kenarlarında, son zamanlarda yıkıcı deprem olmaksızın bazı yüzey deformasyonları meydana gelmektedir. Bu deformasyonlardan biri de Afyon-Akşehir Grabeni (AAG) içerisinde yer alan Afyonkarahisar Bolvadin ilçe merkezinde gerçekleşmektedir. Bolvadin ilçesi ve yakın çevresinde yer alan Bolvadin Fayı üzerinde 03 Şubat 2002 Çay Depremleri (Mw:6.0 ve 6.3) sonrasında meydana gelen ve gelişmekte olan Asismik Yüzeysel Deformasyonları (AYD), üzerlerinde yer alan kentsel mühendislik yapılarına ve altyapı sistemlerine belirgin zararlar vermekte, yapıları afetlere karşı zayıflatmakta ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu çalışmada, Bolvadin yerleşim alanının altından geçen Bolvadin Fayı'na ait kollar "yüzeysel faylanma tehlikesi kuşağı oluşturma kriterleri" açısından değerlendirilmiştir. Bunun için üzerinde daha önce hendek tabanlı paleosismoloji çalışmaları gerçekleştirilmiş olan fay üzerindeki deformasyon zonunun geometrisi, uzunluğu ve genişliği imar planlarına esas olacak ölçekte (1/5000, 1/2000 ve 1/1000) haritalanmıştır. Yapılan saha çalışmalarına göre günümüzde 8 parça halinde imara esas ölçekte haritalanan deformasyonların Bolvadin yerleşim alanı içerisindeki toplam uzunluğu yaklaşık 7 km'dir. Deformasyon kolları üzerinde kalan ve bir kısmı ağır bir kısmı hafif hasarlı olarak bu deformasyonlardan doğrudan etkilenen yaklaşık 100 yapı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asismik yüzeysel deformasyonları, Yüzeysel faylanma tehlike kuşağı, Yatay konum belirsizliği, Güvenlik mesafesi, Fay sakinim bandı

Abstract

Recently, some surface deformations without destructive earthquakes have been occurring along the grabens in the West Anatolian Extensional Province (WAEP). One of these deformations occurs in the Afyonkarahisar Bolvadin district center, located within the Afyon-Akşehir Graben (AAG). Asismic Surface Deformations (ASD) occurring and developing on the Bolvadin Fault in the Bolvadin district and its vicinity after the February 3, 2002 Çay Earthquakes (Mw: 6.0 and 6.3) cause serious damage to urban buildings and infrastructures, weaken them against natural disasters and considerable economic impact. In this study, the splays of Bolvadin Fault cutting the Bolvadin urban area are evaluated in terms of the surface faulting hazard overlay criteria. To do this, geometry, length and width zone of the active faults on which trench-based paleoseismological studies have been carried out before, have been mapped in scale of 1/5000, 1/2.000 and 1/1.000. According to the field studies, the total length of the surface deformations mapped in 8 parts on the Bolvadin settlement area is approximately 7 km. Approximately 100 structures have been directly affected by these deformations, with some experiencing severe damage while others have suffered minor damage along the deformation splays.

Keywords: Asismic surface deformations, Surface fault hazard zone, Horizontal position uncertainty, Safety distance, Fault avoidance band

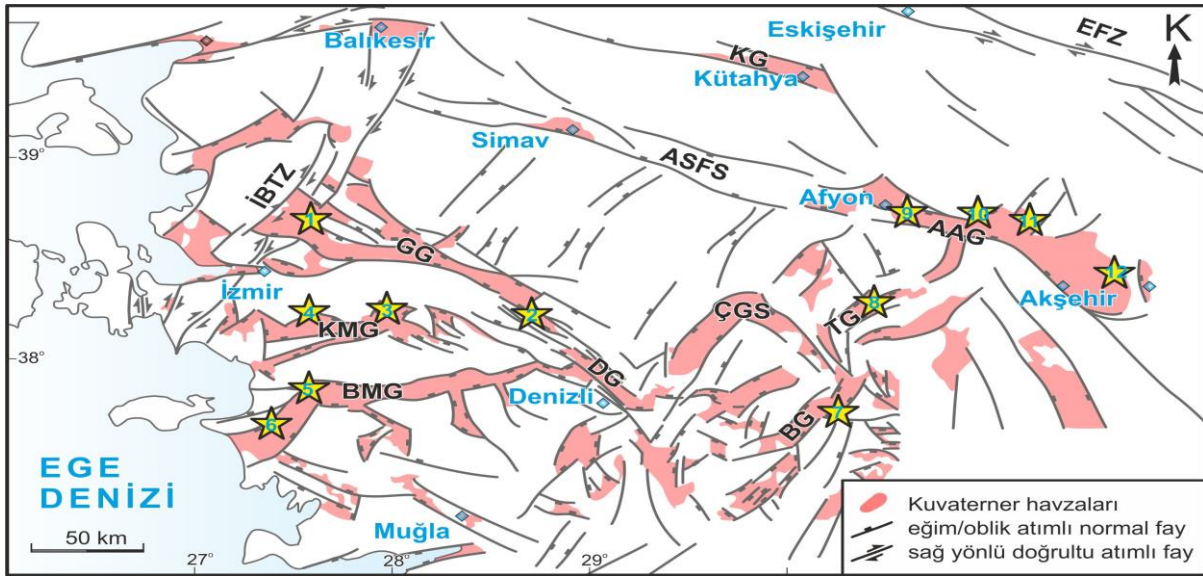
1. Giriş

Asismik yüzeysel deformasyonları (AYD), yüzey altındaki konsolide olmayan sedimanların sıkışmasına bağlı olarak gelişen oturma ilişkili deformasyonlar şeklinde tanımlanır (Holzer, 1984; Pewe, 1990; Koca vd., 2011; Hernández-

Madrigal et al., 2014; Özkaymak vd., 2017). Bu deformasyonların nedeni genellikle yeraltı su seviyelerinin zamana bağlı olarak düşmesi olarak belirtilmektedir. Genelde yüzey yarıkları ve/veya yüzey faylanması şeklinde gelişmektedir. Deformasyonlar

nedeniyle yerleşim alanlarında bulunan insan yapısı yer altında bulunan (su/doğalgaz, kanalizasyon vb.) sistemler ile binalar, karayolu, demiryolu vb. yüzeyde bulunan tesislerde hasarlar oluşmaktadır. Deformasyonlar nedeniyle meydana gelen yüzey yarıkları gerilme ilişkili olup genellikle yarık düzlemine dik yönlü gelişmektedir. Yüzey faylanmaları ise, o bölgede daha önceden var olan faylar boyunca meydana gelirler (Van Siclen, 1967; Holzer, 1980, Özkaymak vd. 2017). AYD meydana gelen bölgelerde yapılan bazı hidrojeolojik çalışmalar, bölgede yer alan fayların yeraltı suları için bir bariyer niteliğinde olduğu; özellikle normal fayların her iki bloğundaki su seviyelerinin fayın ayırdığı bloklarda değişiklik gösterdiği saptanmıştır (Holzer, 1978, Pankratz ve diğ., 1978; Koca ve diğ., 2011, Özkaymak vd. 2017). Benzer şekilde genellikle fayların her iki bloğundaki oturmaları denetleyen kayaç litolojisi aynı değildir ve bu alanlarda farklı yaşa/dayanıma sahip kayaç topluluklarının tektonik olarak yan yana gelmesi beklenir. Aktif grabenlerin yoğun olarak görüldüğü Batı Anadolu Genişleme

Bölgesinde (BAGB) konsolide olmamış, genç alüvyal, fluvial, gölsel çökellerin ve bu çökelleri denetleyen diri normal faylar baskındır. Bu nedenle AYD gelişimi bakımından uygun alanlarından birisidir. BAGB içerisinde bulunan, Karaağaçlı-Yeniköy (1), Sarıgöl-Manisa (2), Gediz Grabeni; Ödemiş (3), Bayındır (4), Küçük Menderes Grabeni; Germencik (5), Söke (6), Büyük Menderes Grabeni; Yassıgüme (7), Burdur Grabeni; Doğanlı (8), Tatarlı Grabeni; Askeri Havaalanı (9), Bolvadin (10), Yeni Karabağ (11) ve Tuzlukçu (12), Afyon-Akşehir Grabeni bölgelerinde AYD varlığı birçok çalışmada gösterilmiştir (Gürsoy vd., 1997; Demirtaş vd., 2008; Koca vd., 2011; Özkaymak vd., 2014, 2015, 2017 ve 2023). Parantez içerisindeki numaralar Şekil 1 de AYD konumlarını göstermektedir. Bu alanlardan birisi olan Sarıgöl (Manisa) yerleşim alanı, 1969 depreminin (M:6.8) yüzey kırığı oluşturduğu Gediz Grabeni'nin güneydoğu ucunda, grabenin güney kenar faylarından birisi olan Sarıgöl Fayı üzerinde yer alır (Şekil 1).



Şekil 1. Batı Anadolu Genişleme Bölgesi'nin (BAGB) ana neotektonik yapılarını ve aktif havzalarını gösteren basitleştirilmiş harita (Emre vd., 2011; Özkaymak, 2015 ve Özkaymak vd., 2017'den düzenlenmiştir). Sarı dolgu yıldızlar, AYD lokasyonlarını göstermektedir. Kısaltmalar, İBTZ: İzmir Balıkesir Transfer Zonu, ASFS: Akşehir Simav Fay Sistemi, EFZ: Eskişehir Fay Zonu, GG: Gediz Grabeni, KMG: Küçük Menderes Grabeni, BMG: Büyük Menderes Grabeni, DG: Denizli Grabeni, ÇGS : Çivril Graben Sistemi, BG: Burdur Grabeni, TG: tatarlı Grabeni, AAG: Afyon Akşehir Grabeni, KG: Kütahya Grabeni.

Çalışma alanı olan Akşehir-Simav Fay Sistemi'nin (ASFS) güneydoğu devamında yer alan Afyon-Akşehir Grabeni (AAG) içerisinde 4 farklı lokasyonda AYD gelişimi gözlenmektedir. Bolvadin yerleşim alanı (Afyonkarahisar) içerisinde 03 Şubat 2002 Çay Depremleri (Mw:6.0 ve 6.3) sonrasında gelişmeye başlayan asismik yüzey deformasyonları üzerinde gerçekleştirilen paleosismolojik hendek çalışmaları bu asismik yüzey deformasyonlarının, Bolvadin fayının önceki yüzey kırıkları üzerinde geliştiğine işaret etmektedir (Özkaymak

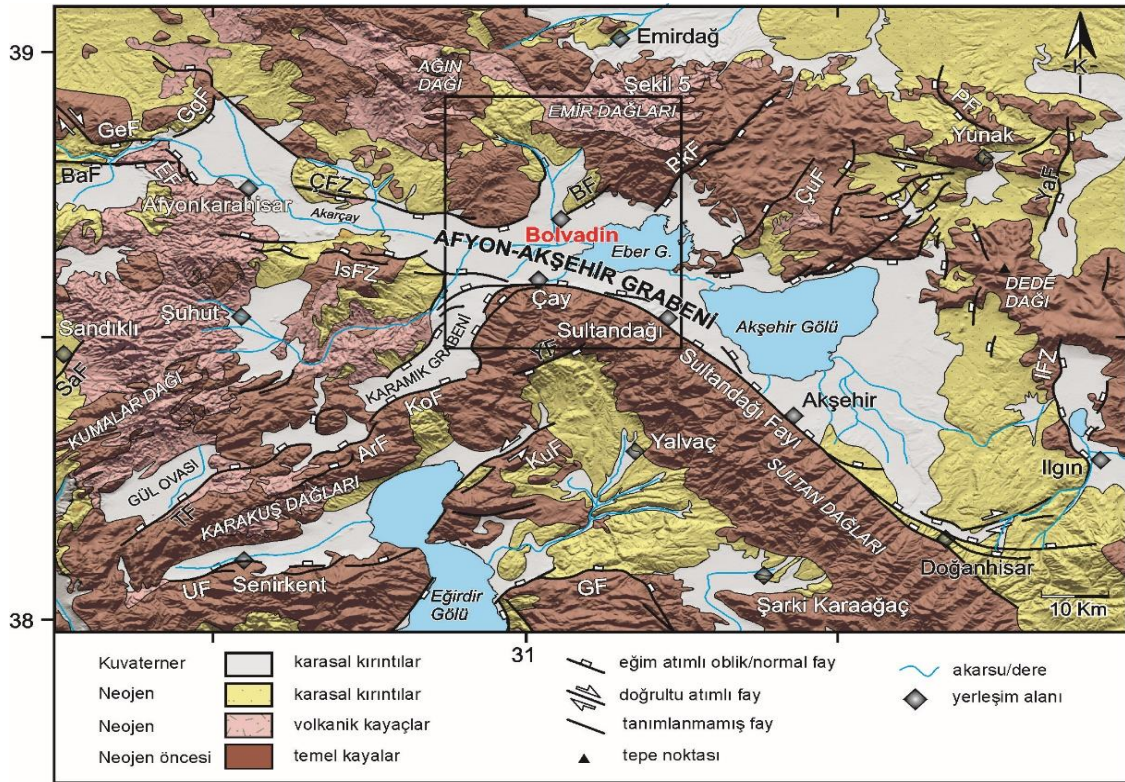
vd., 2019; Elmacı vd., 2022). Bu çalışmada, Bolvadin (Afyonkarahisar) Yerleşim Alanı ve Yakın Çevresinde Yer alan Bolvadin Fayı üzerinde 03 Şubat 2002 Çay Depremleri (Mw:6.0 ve 6.3) sonrasında gelişmeye başlayan ve halen gelişmekte olan Asismik Yüzey Deformasyonları (AYD) jeolojik, jeomorfolojik ve jeodezik yöntemler kullanılarak "yüzey faylanması tehlikesi kuşağı oluşturma kriterleri" açısından değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, yüzey deformasyonlarının üzerinde kalan yapı stoğu incelenmiştir.

2. Bölgenin Tektonik Yapısı ve Depremselliği

Batı Anadolu Genişleme Bölgesi içerisinde yer alan ve bu bölgedeki en önemli sismojenik kuşaklardan birisi olan çerisinde KB-GD gidişli çok sayıda aktif fay zonları bulunmaktadır. ASFS, doğuda Ilgın, batıda ise Bigadiç ile sınırlandırılan yaklaşık 400 km uzunluğunda, KB-GD uzanımlı neotektonik bir yapıdır (Koçyigit, 1984; Koçyigit and Özacar 2003; Koçyigit and Deveci 2007; Emre vd., 2011; Gürboğa, 2013; Özkaymak vd., 2017; 2019; 2020). Sistemin batısı Simav Fay Sistemi (SFS), doğusu ise AAG olarak isimlendirilmektedir. SFS, Batı Anadolu Graben Sistemi ile Kuzeybatı Anadolu Geçiş Zonu arasındaki tektonik blok sınırını temsil etmektedir. AAG ise, iç Isparta Açısı ile Dış Isparta Açısı blokları arasındaki tektonik blok sınırını oluşturmaktadır. 2011 yılında güncellenen Türkiye Diri Fay Haritası'na göre SFS 205 km uzunluğundadır (Emre vd., 2011; 2018; Duman vd., 2018). ASFS'nin güneydoğu kesiminde yer alan Afyon

doğusunda, grabenin kuzey kenarında, Çobanlar Fay Zonu (ÇFZ), Bolvadin Fayı (BF), Büyük Karabağ Fayı(BkF), Çukurcak Fayı(ÇuF), Yunak Fay Zonu (YFZ) ile grabenin güney kenarını oluşturan Sultandağı Fayı ve Işıklar Fay Zonu yer almaktadır (Şekil 2). Bununla birlikte bölgede Balmahmut Fayı (BaF), Gazlıgöl Fayı (GgF), Erkmen Fayı (EF), Işıklar Fay Zonu (IsFZ), Piribeyli Fayı (PF), Yavaşlı Fayı (YaF), Ilgın Fay Zonu (IFZ), Yarıkkaya Fayı (YF), Kumdanlı Fayı (KuF), Gecek Fayı (GeF), Gelendost Fayı (GF), Koçbeyli Fayı (KoF), Arızlı Fayı (ArF), Uluborlu Fayı (UF), Tatarlı Fayı (TF), Sandıklı Fayı (SaF) yer almaktadır (Şekil 2-3).

Bölgede son olarak 3 Şubat 2002 tarihinde yüze kırığı oluşturan yıkıcı depremler meydana gelmiştir. Bu depremler Çay'ın batısında 30 cm'e varan düşey yer değiştirmeye sahip yaklaşık 26 km uzunluğunda yüze kırığı oluşturmuştur (Emre vd., 2003; Özden vd., 2002; Akyüz vd., 2006; Yürür vd., 2003).



Şekil 2. Afyon-Akşehir Grabeni ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Emre vd., 2011, Turan, 2002 ve Özkaymak vd., 2017'den düzenlenmiştir)

3. Materyal ve Metot

3.1 Yüze deformasyonların geometrik özelliklerinin belirlenmesi

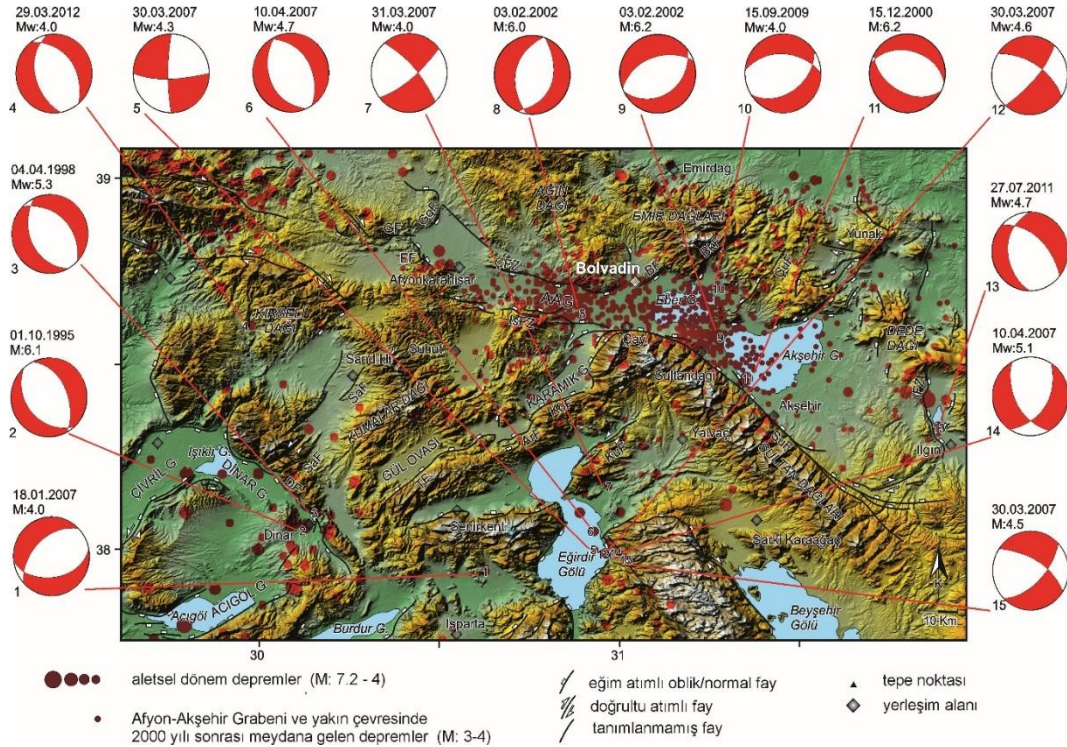
Bolvadin ilçe merkezindeki asismik yüze deformasyonlarının incelenmesi ve takibi için yüze deformasyonlarının izlenmesi amacıyla nivelman ve GNSS çalışmaları gerçekleştirilmiştir. 115Y296 nolu

TÜBİTAK Projesi kapsamında ilk olarak gözle görülen yüze deformasyonları haritalanmış ve bölgeyi kapsayan 1 sabit GNSS istasyonu ve nivelman ağı kurulmuştur. Ayrıca AKU BAPK 20.FEN.BİL.22 nolu proje kapsamında 2 adet daha Sabit GNSS istasyonu kurulmuştur. Nivelman çalışmaları için 2016 yılında nivelman hatlarının tesisi gerçekleştirilmiş. İlk ölçü 2016 yılında olmak üzere 2020 yılına kadar 5 kampanya daha nivelman ölçüsü

gerçekleştirilmiş ve ön sonuçlar Tiryakioğlu vd. (2017, 2019 ve 2022) tarafından sunulmuştur.

Bölgede meydana gelen deformasyonların izlenmesi amacıyla 2017-2021 yılları arasında BLV1, BMET ve BBEL isimli 3 adet sabit GNSS istasyonu da kurulmuş ve sonuçları Gürlek (2023) tarafından yayınlanmıştır. Bu çalışma kapsamında daha önce 2016 yılında haritalanan

yüze deformasyonlarında meydana gelen değişimlerin incelenmesi ve yeni oluşan yüze deformasyonlarının haritalanması amaçlanmıştır. Bu amaçla 15.04.2023-15.05.2023 tarihleri arasında yüze deformasyonlarının 1/1000 ölçeğinde haritalanması amacıyla Bolvadin ilçe merkezinde jeodezik GNSS cihazıyla kinematik ölçüler gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 3. Afyon Akşehir Grabeni ve yakın çevresinin sismotektonik haritası (Özkaymak vd., 2017, Faylar Emre vd., 2011'den; Odak Mekanizma Çözümleri, EMSC, ve KANDİLLİ internet sitelerinden alınmıştır).



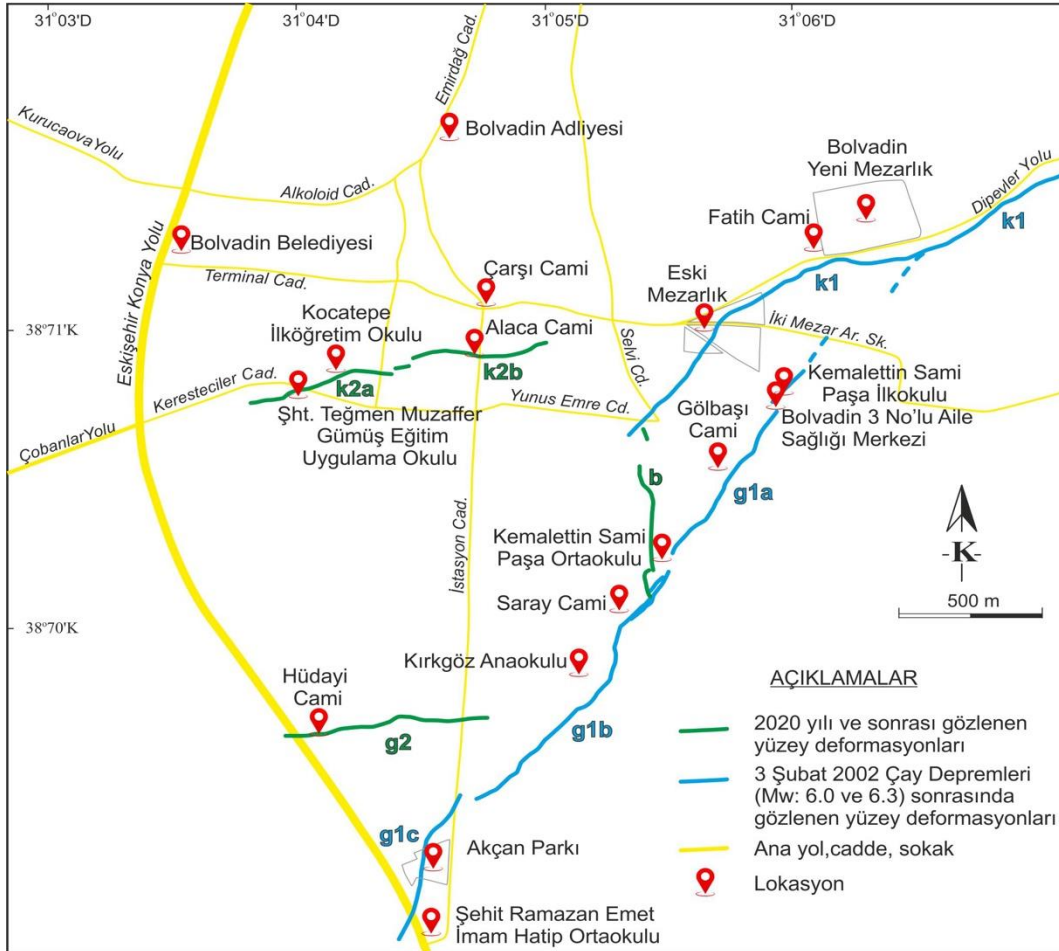
Şekil 4. Yüze deformasyonları belirlemek için gerçekleştirilen kinematik GNSS ölçüsü alınma yönelik saha fotoğrafları

Kinematik GNSS ölçüleri yüze deformasyonlarının en belirgin olduğu insan yapısı ve doğal zemini üzerinde yapılmıştır. Yüze deformasyonlarının imar planı üzerine işlenmesi için 276 Adet nokta ITRF96 koordinat sisteminde 2005.0 epoğunda gerçekleştirilmiştir. Elde edilen koordinatlar her bir yüze deformasyonun tanımlamaları yapılmıştır (Şekil 5). Bolvadin yerleşim

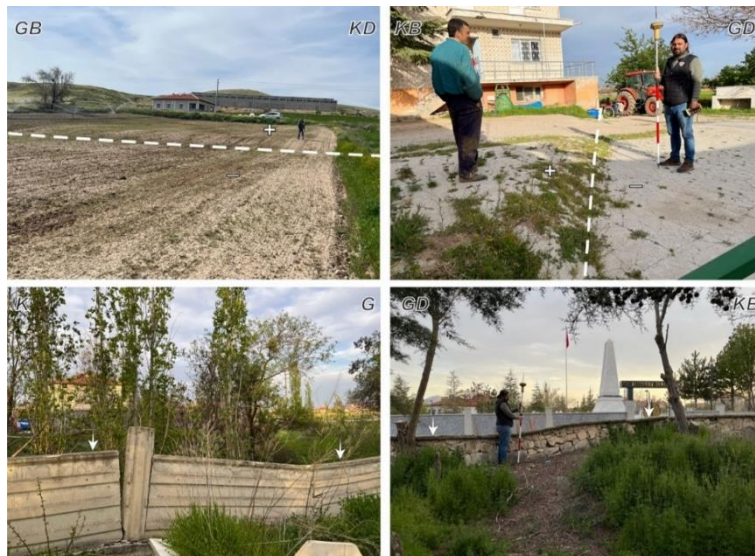
alanı içerisinde gözlenen yüze deformasyonları, Kuzey 1 (k1), Kuzey 2 (k2a ve k2b), Güney 1 (g1a, g1b, g1c), Güney 2 (g2) şeklinde adlandırılan 4 ana kol ile kuzey ve güney kolları birbirlerine bağlayan 1 adet bağlantı kolu (b) olmak üzere uzunlukları toplamda yaklaşık 7 km olan çok sayıda parçadan oluşmaktadır (Şekil 5). Çizgisel gidişli ve yanıl devamlılığa sahip bu kollar, Bolvadin yerleşim

alanında yaklaşık KD-GB doğrultusu boyunca belirgin izler oluşturmuştur. Bu izler, Bolvadin yerleşim alanında kuzeydoğuda Bolvadin yeni mezarlığı ile batıda Çobanlar yolu, güneybatıda ise Akçan Parkı arasında, yüzeyde çizgisel gidişli yarık ve çatlaklar, çökmeler, dairesel çukurlar, düşey yönde yer değiştirmeler, binalarda çatlak ve yarıklar şeklinde takip edilebilmektedir. Proje

kapsamında haritalanan bu deformasyon kollarının doğrultuları, geometrik yapıları, deformasyon tipleri ve miktarlarına yönelik saha ölçümleri yapılmıştır (Şekil 6-8). Çizelge 1’de imara esas ölçekte haritalanan bu asismik yüzey deformasyonlarının saha gözlemleri ile tanımlamaları ve geometrik özellikleri sunulmuştur.



Şekil 5. Bolvadin yerleşim alanı içerisinde haritalanan yüzey deformasyonlarının yüzey geometrileri ve konumlarını gösteren harita.



Şekil 6. K1 kolunun yüzeyde oluşturduğu deformasyonlara ait saha fotoğrafları.



Şekil 7. K2 deformasyon koluna ait saha fotoğrafları.



Şekil 8. G1 deformasyon koluna ait saha fotoğrafları.

Çizelge 1. Bolvadin yerleşim alanında haritalanan yüzeY deformasyonlarının geometrik özellikleri.

Deformasyon kolu ismi	Uzunluk	Genel Doğrultu	Düşey yer değıştirme		AYD tipi
			Düşen blok		
k	1	1978 m	K40-60°D	güneydoğu	YüzeY faylanması
	2a	518 m	K70-80°D	güneydoğu	YüzeY faylanması
	2b	540 m	K70-80°D	güneydoğu	YüzeY faylanması
b	-	512 m	KG	doğu	YüzeY faylanması
g	1a	965 m	K35°D	güneydoğu	YüzeY faylanması
	1b	1095 m	K35-45°D	güneydoğu	YüzeY faylanması
	1c	557 m	K25°D	güneydoğu	YüzeY faylanması
	2	705 m	K85°D	güneydoğu	YüzeY faylanması
Toplam		6870 m			

3.2 Deformasyonların yüzeY faylanması tehlikesi kuşaağı oluşturma kriterleri açısından değeriendirilmesi

YüzeY deformasyonlarının tanımlanması ve geometrik özellikleri, YüzeY Faylanma Tehlike Kuşaağı (YFTK) ve Fay Sakınım Bandının (FSB) oluşturulması ve yüzeY deformasyonlarının üzerinde yer alan yapı stoğı belirlemek yapılan GNSS ölçüleri Bolvadin Belediyesi imar müdürlüğünden temin edilen imar planları üzerine işlenmiştir (Şekil 9).

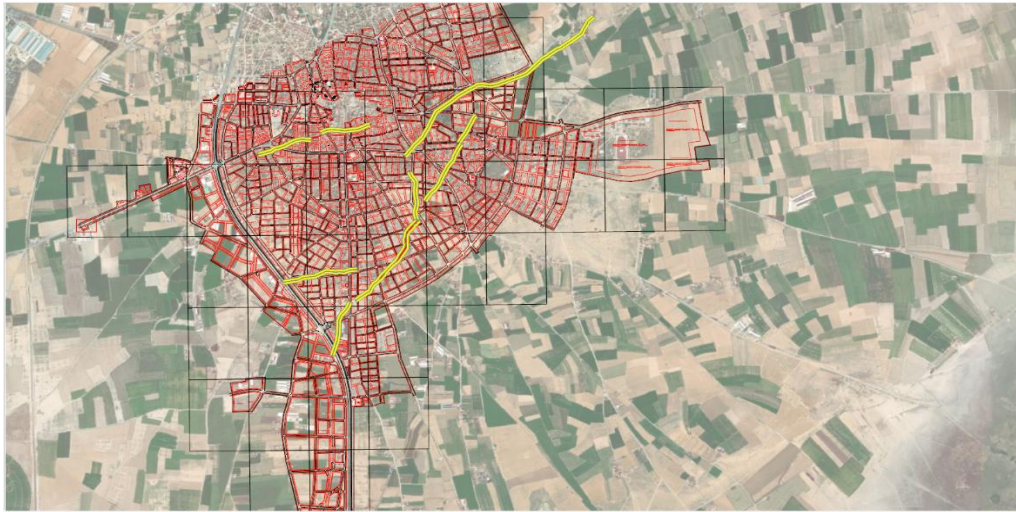
NETCAD ortamına aktarılan yüzeY deformasyonları üzerinde daha sonra YFTK ve FSB oluşturma işlemlerine geçilmiştir. YFTK ve FSB için ulusal mevzuata yansımamış, yasal kurallar henüz oluşturulmamıştır. Dolayısı ile bu çalışmada YFTK ve FSB oluşturma kriterleri, Türkiye Mühendis ve Mimarlar Odası Birliğı

Jeoloji Mühendisleri Odası tarafından 2017 yılında yayınlanan “Planlama ve Yapılaşma Açısından YüzeY Faylanması Tehlikesinin Değeriendirilmesi Kılavuzu” (Nurlu, 2017) ile Sözbilir vd. (2018) tarafından yayınlanan “Criteria for Surface Rupture Microzonation of Active Faults for Earthquake Hazards in Urban Areas” başlıklı kılavuzlar kullanılarak oluşturulmuştur. YFTK, bir diri fay üzerinde yüzeY kırığı oluşturan deprem meydana geldiğinde, yüzeYdeki kırılmaya bağılı olarak yapılarda (alt-üst yapılarda) gelişen hasarı azaltmak için oluşturulur. Bu kuşak sınırları içerisinde planlama ve yapılaşma açısından bazı kısıtlamalar konulması ve/veya önlemler alınması gerektiğini belirtmek için oluşturulur (Nurlu, 2017). Fayın türüne bağılı olarak gelişen deformasyon zonu “YüzeY Faylanması Tehlike Kuşaağını” ifade eder. YüzeY faylanması deformasyon kuşaağının

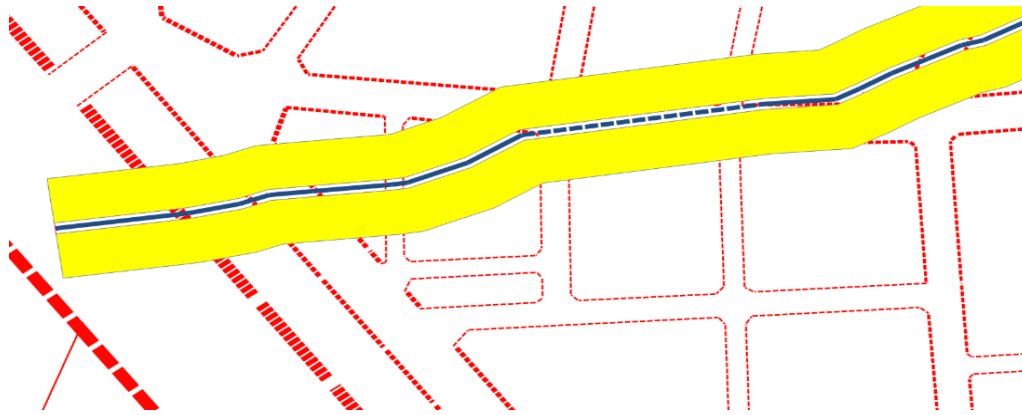
genişliği aynı fay boyunca farklı lokasyonlarda değişkenlik gösterebilir. Doğal olarak iyi tanımlanmış faylar civarında daha dar, saçılmış fay izleri civarında daha geniş ve kesin olmayan fayların civarında ise çok daha geniş tehlike kuşakları oluşturulmaktadır.

Bu çalışmada oluşturulan YFTK, İmara esas ölçekte haritalanan Deformasyon Zonunun kendisidir. Bolvadin’de yüze deformasyonu morfolojik olarak belirgin izler sunduğundan dolayı, deformasyon zonu iyi tanımlanmış ve genel olarak dar bir zonu temsil etmektedir. Bu zon çizgisel tek gidiş sunduğu alanlarda minimum 5 metre genişlikte yüze deformasyonu sunmaktadır. Bazı alanlarda birden fazla kola

ayrılan/çatallanan/saçaklanan yüze deformasyon alanının genişliği GNSS ile hassas bir şekilde belirlenmiş ve haritaya yansıtılmıştır. Yapılan ölçümler, YFTK’nın maksimum genişlik sunduğu alanda 20 metre olarak ölçülmüştür. FSB, YFTK’nın her iki tarafında bırakılması gereken Yatay (Yersel) Konum Belirsizliği (YKB) ve Güvenlik Mesafesi (GM)’nden oluşmaktadır. Bu çalışmada yüze deformasyonlarının lokasyonları net olarak belirlendiği ve haritalandığından dolayı YKB dikkate alınmamıştır. Güvenlik mesafesi ise standartlara uygun şekilde 20 metre olarak kabul edilmiştir (Kerr vd., 2003, Nurlu, 2017, Sözbilir vd., 2018) (Şekil 10).



Şekil 9. 1/1000 İmar Planına işlenmiş yüze deformasyonları.



Şekil 10. YFTK ve FSB gösterimi. Mavi düz çizgiler yüze deformasyonlarını göstermektedir.

3.3 Yüze deformasyonlarının üzerinde kalan yapı stoğu

Yapılarda, sismik aktiviteler ana hasar nedeni olmakla birlikte zemine bağlı parametreler (temel oturması vb.) ve yapısal kusurlar da (uygulama hataları, malzeme vb.) yapının kullanım ömrü boyunca hasara sebep olan başlıca faktörlerdir. Betonarme ve yığma yapılarda hasarlar taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda meydana gelebilir. Yığma yapılar gevrek taşıyıcı elemanlardan oluşmaktadır ve dayanımları betonarme

yapılara nazaran daha düşüktür. Bu sebeple yığma yapılarda yüze deformasyonları nedeniyle oluşan hasarların gözlem ile tespiti betonarme yapılara göre daha kolaydır.

Bolvadin yerleşim alanı içerisinde kalan yapı stoğu ağırlıklı olarak; betonarme binalar, tuğla yığma binalar, taş yığma binalar ve kerpiç yığma binalardan oluşmaktadır. Yapı türlerinin dağılımı mahallelere göre değişiklik göstermektedir. Yüze deformasyon zonu

içerisinde kalan hasar almış/almamış tüm binalar yerinde gözlem ile tespit edilmiş ve haritalanmıştır. Hasar almış binalarda hasar sebebinin yüze deformasyonları nedeniyle oluştuğunun belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu sebeple, bina çevre duvarlarındaki bölgesel kırılmaların, yol, kaldırım, tretuvar veya bahçede meydana gelen kırılmaların yapı içinde çizgisel olarak devam ediyor olması yüze deformasyonların yapıdaki çatlakların temel sebebi olduğunu desteklemektedir. Bu çatlaklar sıva ve duvar çatlağı şeklinde kendini göstermektedir. Özellikle yığma yapılarda duvarların taşıyıcı elemanlar olması nedeniyle bu elemanlarda oluşan çatlaklar yığma yapılarda kapasite azalışına sebep olmaktadır. Betonarme yapılarda ise yüze deformasyonları ile uyumlu olarak genelde cephe duvarlarında ve iç duvarlarda çatlama tespit edilmiştir. İlerleyen süreçlerde bu çatlaklar taşıyıcı elemanlarda da oluşabilir. Ancak, taşıyıcı elemanlarında hasar olan betonarme yapılar da mevcuttur.

Zamana bağlı olarak devam eden bu deformasyon neticesinde bazı yapıların onarım geçirdiği görülmüştür. Yapı sahipleri ile yapılan görüşmelerde genel olarak bu binalarda onarımın sürekli tekrarlandığı ifade edilmiştir.

Yapıların yanı sıra bina çevre duvarlarında, yollarda, kaldırımlarda ve tretuvarlarda hasarlar mevcuttur. Bununla birlikte, Bolvadin Belediyesi ve Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından deformasyon zonu üzerinde kalan asfalt yolların tamiratları da sürekli yapılmaktadır. Deformasyon zonu içerisinde deprem sonrası kullanımı gereken kamu binaları da yer almaktadır. Kamu binaları; okullar, sağlık ocağı, camiler, trafo binası, parklar olarak sayılabilir. Yüzeysel deformasyondan doğrudan etkilenen yaklaşık yapı sayıları Çizelge 2’de, yüze deformasyonlarının meydana getirdiği hasarlar ise Şekil 11’de verilmiştir.

Çizelge 2. Yüzeysel deformasyondan doğrudan etkilenen yaklaşık yapı sayıları

Yüze Deformasyonları	Yaklaşık Bina Sayısı
k1	25
k2a	12
k2b	19
g1a	21
g1b	6
g1c	3
g2	9
b	5
Toplam	100



Şekil 11. Asismik yüze deformasyonlarının meydana getirdiği hasarlar, a) Betonarme yapı hasarları, b) Yığma yapı hasarları, c) Çevre duvarı hasarları, d) Yol hasarları, e) Kamusal yapı hasarları, f) Bahçe hasarları

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Bolvadin (Afyonkarahisar) Yerleşim Alanı ve Yakın Çevresinde Yer alan Bolvadin Fayı üzerinde 03 Şubat 2002 Çay Depremleri (Mw:6.0 ve 6.3) sonrasında gelişen ve gelişmekte olan Asismik Yüzeysel Deformasyonları İmara esas (1/5.000, 1/2.000 ve 1/1.000) ölçekte haritalanmış, deformasyon zonunun geometrisi, uzunluğu ve genişliğinin belirlenmiş, Deformasyonların yüzeysel faylanması tehlikesi kuşağı oluşturma kriterleri açısından değerlendirilmesi yapılmış, FSB içerisinde hasar almış/almamış tüm binalar yerinde gözlem ile tespit edilmiştir. Yüzeysel deformasyonlarının imar planı üzerine işlenmesi için 276 Adet nokta ITRF96 koordinat sisteminde 2005.0 epöğünde gerçekleştirilmiştir. NETCAD ortamına aktarılan veriler ile YFTK ve FSB haritaları imara esas olarak dijital olarak oluşturulmuştur. Deformasyonlar, Bolvadin yerleşim alanında, kuzeydoğuda Bolvadin yeni mezarlığı ile batıda Çobanlar yolu, güneybatıda ise Akçan Parkı arasında, yüzeyde çizgisel gidişli yarık ve çatlaklar, çökmeler, dairesel çukurlar, düşey yönde yer değiştirmeler, binalarda çatlak ve yarıklar şeklinde belirgindir ve yüzeyde takip edilebilmektedir.

Haritalama çalışmaları, deformasyonların Bolvadin yerleşim alanı içerisinde uzunlukları 512 metre ile 1978 metre arasında değişen 4 ana kol (7 parçalı) (k1, k2, g1, g2 kolları) ile kuzey ve güney kolları birbirlerine bağlayan 1 adet bağlantı kolundan oluştuğuna işaret etmektedir. Yapılan çalışmalar, Bolvadin yerleşim alanı içerisinde bugüne kadar varlığı bilinmeyen, olasılıkla 2020 yılı sonrasında yüzey izi belirgin hale gelen 3 yeni deformasyon kolunun varlığını ortaya çıkarmıştır. Bolvadin yerleşim alanı dışarısındaki deformasyonlar ile beraber bölgedeki toplam AYD uzunluğu yaklaşık 13 km civarındadır.

Bolvadin yerleşim alanı içerisinde deformasyon zonu (Yüzeysel Faylanması Tehlike Kuşağı) üzerinde kalan ve bir kısmı ağır bir kısmı hafif hasarlı olarak bu deformasyonlardan doğrudan etkilenen yaklaşık 100 yapı gözlenmiştir. Zon içerisinde, bazıları deprem sonrası kullanımı gereken okullar, sağlık ocağı, camiler, trafo binası gibi kamu binaları da yer almaktadır. Gelecek yıllarda Afyonkarahisar ve yakın civarda meydana gelebilecek olası yıkıcı bir depremin Bolvadin Yerleşim Merkezindeki olası risklerini minimuma indirilebilmesi için, bu çalışma kapsamında imara esas ölçekte hazırlanan haritada kırmızı ile gösterilen Yüzeysel Faylanması Tehlike Kuşağı alanının Afete Maruz Bölge ilan edilmesi, bu alanın yapılaşmaya kapatılması ve bu

kuşak içerisinde yer alarak deformasyona maruz kalan tüm yapıların afet riski olmayan alanlara taşınması konusunda çalışmalar yürütülmesi gerekmektedir. Bununla beraber güvenlik mesafesi (fay sakınım bandı) içerisindeki hasar almamış olan binaların her yıl düzenli olarak takiplerinin sağlanması gerekmektedir.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

Çağlar Özkaymak: Kaynaklar, araştırma, çalışma, yorumlama, yazma/inceleme ve düzenleme, görselleştirme.

İbrahim Tiryakioğlu: Kaynaklar, araştırma, çalışma, yorumlama, yazma/orijinal taslak, görselleştirme.

Veli Başaran: Araştırma, çalışma, yorumlama, yazma/inceleme ve düzenleme, görselleştirme.

Mehmet Buldan: Stratejik destek.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

Teşekkür

Bu araştırma Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 16.KARİYER.167, 14.MUH.01 ve 12.TEMATİK.02 numaralı projeler kapsamında desteklenmiştir.

5. Kaynaklar

- 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**(1): 41-52.
- Demirtaş, R., Ercan, S., Demir, B. ve Aktan, M., 2008. Ege Çöküntü Bölgesi'nde Alüvyal Havzalarda Son 20 Yılda Oluşmuş Yüzeysel Deformasyonlarının Oluşum Mekanizması. *ATAG 12 Bildiri Özleri Kitabı*, 42-44.
- Duman, T.Y., Çan, T., Emre, Ö., Kadrioğlu, F.T., Başarır Baştürk, N., et al, (2018). Seismotectonic database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **16** (8): 3277-3316.
<https://doi.org/10.1007/s10518-016-9965-9>
- Elmacı, H., Özaksoy, V., Ozan Avcı, H., Kara, M., Özmen, S., 2022. Afyon-Akşehir Grabeninin Sisteminin Kuzey Kenarını Sınırlayan Fayların Paleosismolojik Özellikleri (Çobanlar ve Bolvadin Fayları), *GB Türkiye. ATAG-25. Çalıştay Bildiri Özleri Kitabı*, s.56.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Doğan, A., Özalp, S., Tokay, F. and Kuşcu, İ., 2003. Surface Faulting Associated with the Sultandağı Earthquake (Mw 6.5) of 3 February 2002, Southwestern Turkey. *Seismological Research Letters*, **74** (4), 382-392.

- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Olgun, Ş and Elmacı, H., 2011a. Active Fault Map of Turkey (Scale 1:250,000), General Directorate of Mineral Research and Exploration Special Publication Series, Afyon (NJ 36-5) Quadrangle, serial number: 16. Ankara, Turkey: MTA.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Olgun, Ş. and Elmacı, H., 2011b. Active Fault Map of Turkey (Scale 1:250,000), General Directorate of Mineral Research and Exploration Special Publication Series, Iğın (NJ 36-6) Quadrangle, serial number: 21. Ankara, Turkey: MTA.
- Emre, Ö., Özalp, S. and Duman, T.Y., 2011c. Active Fault Map of Turkey (Scale 1:250,000), General Directorate of Mineral Research and Exploration Special Publication Series, Uşak (NJ 35-8) Quadrangle, serial number: 11. Ankara, Turkey: MTA.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş. vd. (2018). Active fault database of Turkey. Bulletin of Earthquake Engineering, **16** (8): 3229-3275. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0041-2>
- Gürboğa, Ş., 2013. 28 March 1970 Gediz earthquake fault, western Turkey: palaeoseismology and tectonic significance. International Geology Review, **55**/10, 1191–1201. <https://doi.org/10.1080/00206814.2013.771420>
- Gürlek, E., 2023. Farklı jeodezik yöntemlerle Bolvadin'deki yüzey deformasyonlarının izlenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 142s.
- 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, İzmir, Turkey. pp 14 (in Turkish).
- Hernández-Madrigal, V. M., Muñoz-Jauregui, J. A., Garduño-Monroy, V. H, Flores-Lázaro, N. and 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** (3), 108-113. <https://doi.org/10.4236/ns.2014.63015>
- Holzer, T.L., 1978. Results and Interpretation of Exploratory Drilling Near the Picacho Fault, South-Central Arizona: U.S. Geological Survey Open- File Report 78-1016, 17 p.
- Holzer, T.L., 1980. Faulting Caused by Ground-Water Level Declines, San Joaquin Valley, California. Water Resources Research, **16** (6), 1065- 1070.
- 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.
- Kerr, J., Nathan, S., Van Dissen, R., Webb, P., Brunson, D., & King, A., 2003. Planning for development of land on or close to active faults. Wellington: Ministry for the Environment.
- Koca, M. Y., Sözbilir, H. ve Uzel, B., 2011. Sarıgöl Fay Zonu Boyunca Meydana Gelen Deformasyonların Nedenleri Üzerine bir araştırma. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, **35** (2), 151-173.
- Koçyiğit, A., 1984. Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, **27**, 1, 1- 15.
- 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. 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**, p.391-416.
- Nurlu, M., 2017. Planlama ve Yapılaşma Açısından Yüzey Faylanması Tehlikesinin Değerlendirilmesi Kılavuzu, TMMOB JMO yayını, yayın no: 134. 105s.
- Özden, S., Kavak, K.Ş., Koçbulut, F., Över, S. and Temiz, H., 2002. 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) depremleri. Türkiye Jeoloji Bülteni, **45**, 49-56.
- Özkaymak, Ç., 2015. Tectonic analysis of the Honaz Fault (western Anatolia) using geomorphic indices and the regional implications. Geodinamica Acta, **27** (2-3), 110-129. <https://doi.org/10.1080/09853111.2014.957504>
- Özkaymak, Ç., Yıldız, A., Sarıkaya, H., Başaran, C. ve Dumlupınar, İ., et al, 2014. Bolvadin Fayı boyunca meydana gelen yüzey deformasyonları, Batı Anadolu-Türkiye. 18th Meeting of Active Tectonic Research Group; Muğla, Turkey. pp. 52.
- 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., Geçievi, M.O. and Tiryakioğlu, İ., 2019. Late Holocene coseismic rupture and aseismic creep on the Bolvadin Fault, Afyon Akşehir Graben, Western Anatolia. Turkish Journal of Earth Science, **28**, 787-804. <https://doi.org/10.3906/yer-1906-13>
- Özkaymak, Ç. and Sözbilir, H., 2020. Structural Evidence For Extensional Domain-Type Geothermal Play In Western Anatolia: A Case Study From Afyon-Akşehir Graben. Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering, **20** (4), 693-702.

- <https://doi.org/10.35414/akufemubid.704433>
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Tiryakiođlu, İ., 2023. Batı Anadolu'da Günümüzde Gelişen Asismik Yüzeý Deformasyonlarının Özellikleri ve Kökeni. Cumhuriyetimizin 100. Yılında Yerbilimleri Kolokiyumu "Batı Anadolu", 26-28 Ekim, İZTO Ana Toplantı Salonu, İzmir.
- Pankratz, L. W., Ackermann, H. D., and Jachens, R. C., 1978. Results and Interpretation of Geophysical Studies Near the Picacho Fault, South-Central Arizona: U.S. Geological Survey Open-File Report, **78-1106**, 17 p.
- 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.
- Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Uzel, B., Sümer, Ö., 2018. Criteria for Surface Rupture Microzonation of Active Faults for Earthquake Hazards in Urban Areas, In: Ceryan, N., (ed), Handbook of Research on Trends and Digital Advances in Engineering Geology, IGI Global book series Advances in Civil and Industrial Engineering (ACIE), USA, p 187-230.
- Tiryakioğlu, İ., Özkaymak, Ç., Yaçın, M., Baybura, T., Yılmaz, M., Uđur, M.A., Yiđit 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, 11-13 Ekim, Eskişehir, Türkiye.
- Tiryakioğlu, İ., Yiđit C.O., Özkaymak, Ç., Baybura, T., Yılmaz, M., Uđur, M.A., Yalçın. M.A., Poyraz, F., Sözbilir, H., Gülal, E., 2019. Active Surface Deformations Detected By Precise Levelling Surveys In The Afyon-Akşehir Graben, Western Anatolia, Turkey. *Geofizika*, **36**, 1, 33–52.
<https://doi.org/10.15233/gfz.2019.36.4>
- Tiryakioğlu, İ., Çalışkan, K., Yiđit, C.O. Hastaođlu, K.O., Poyraz, F., Baybura, T., Gürlek, E., Özkaymak, Ç., 2022. The velocity of aseismic surface deformations between 2016-2020 detected by precise leveling surveys of the Akşehir Simav Fault System in the Bolvadin district, western Anatolia, *Annal Of Geophysics*, **65**.
<https://doi.org/10.4401/ag-8784>
- Turan, N., 2002. Geological map of Turkey in 1:500.000 scale: Ankara sheet. Publication of Mineral Research and Explantion Direction of Turkey (MTA), Ankara.
- Van Siclen, D. C., 1967. The Houston Fault Problem, in Proceedings, American Institute of Professional Geologists, Texas Section, Annual Meeting, 3rd, Dallas, p. 9-31.
- Yürür, T., Köse, O., Demirbađ, H., Özkaymak, Ç. and Selçuk, L., 2003. Could the coseismic fractures of a lake ice reflect the earthquake mechanism? (Afyon Earthquakes of 02.03.2002. Central Anatolia, Turkey). *Geodynamica Acta*, **16**, 83-87.