Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi
Cilt: 7, No: 1, 2015 (7-16)

Electronic Journal of Map Technologies
Vol: 7, No: 1, 2015 (7-16)

TEKNOLOJİK ARAŞTIRMALAR

www.teknolojikarastirmalar.com
www.hartek.makalesistemi.com
e-ISSN:1309-3983
doi: 10.15659/hartek.15.01.60

Makale
(Article)

Sultandağı Fayı Batı Kısmı Fay Aktivitelerinin Multidisipliner Çalışmalarla Belirlenmesi

İbrahim TİRYAKİOĞLU[*], Tamer BAYBURA[*], Çağlar ÖZKAYMAK[**], Hasan SÖZBİLİR[***], Ayla SANDIKCIOĞLU[****], Saffet ERDOĞAN[*], İbrahim YILMAZ[*], Murat UYSAL[*], Mustafa YILMAZ[*], Ahmet YILDIZ[**] Mehmet Ali DERELİ[*], Mustafa YALÇIN[*], İbrahim DUMLUPINAR[**], Hüseyin Ali YALIM[****], Oğuz ERTUĞRUL[*****]

*Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fak. Harita Müh. Böl., 03200 Afyonkarahisar/TÜRKİYE
**Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fak. Jeoloji Müh. Böl., 03200 Afyonkarahisar/TÜRKİYE
***Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fak. Jeoloi Müh. Böl., 03200 İzmir/TÜRKİYE
****Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fak. Fizik. Böl., 03200 Afyonkarahisar/TÜRKİYE
*****Anadolu Üniversitesi Fen Fak. Fizik. Böl., Eskişehir//TÜRKİYE
itiryakioglu@aku.edu.tr

Özet

Afyonkarahisar-Sultandağı bölgesi Batı Anadolu'nun sismik açıdan en aktif bölgelerinden birisidir. Tarihsel ve aletsel dönemlerde çok sayıda yıkıcı depremden etkilenen bölge, son olarak 03.02.2002 tarihinde dışmerkezleri Eber Gölü güneyi ve Çay batısı olan 6.5 ve 6.2 büyüklüklerinde iki depremle sarsılmıştır. Sultandağı Fayı'nın batı bölümünde, Çay ve çevresinde yüzey kırığı oluşturan bu depremler, 1921 yılında Argıtanlı-Akşehir depremi ile başlayan, 1946 ve 2000 yıllarında Akşehir ve Sultandağı'nda etkili olarak Sultandağı Fayı üzerinde kuzeybatıya doğru ilerleyen deprem göçünün bir parçasıdır. Bu deprem göçünün batıya doğru devam etme olasılığı, Afyonkarahisar ve çevresinde haritalanan diri faylar ve bu alanda varolan sismik boşluk, gelecekte Afyonkarahisar ili civarında meydana gelebilecek yıkıcı bir deprem olasılığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle Afyon Kocatepe Üniversitesi Harita Mühendisliği, Jeoloji Mühendisliği ve Fizik bölümünden araştırmacılarla Sultandağı'nın batı kısmının tektonik özelliklerini incelemek için multidisipliner çalışmalar başlatılmıştır.

Bu çalışmalarda Sultandağı Fayının batısına 18 adet GNSS ölçü noktaları tesis edilmiştir. Bu noktalarda 2012-2013 yılları 2 kampanya GNSS ölçüsü yapılmış ve ilk hız alanı bulunmuştur. Hız alanının güvenirliğini arttırmak için 2014-2015 yıllarında 2 kampanya daha ölçü yapılacaktır. Bununla beraber 2013 yılında Paleostress analizleri için arazi çalışmaları başlamış ve hala devam etmektedir. Ayrıca Sultandağı Fayı boyunca yer altı sularında radon gazı konsantrasyonlarındaki değişimler sistematik olarak ölçülmektedir. İncelemelerle eş zamanlı olarak bölgede meydana gelen sismik hareketlere bağlı olarak radon konsantrasyonlarının değişimi incelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sultandağı Fayı, Kabuk Deformasyonu, GNSS, Radon

Determination of the Fault Activities in Western Part of Sultandagi Fault by Multidisciplinary Studies

Abstract

Afyonkarahisar-Sultandagi region is one of the seismically most active regions in western Anatolia. The region suffered destructive earthquakes that occurred in both historical and instrumental periods. The last two destructive earthquakes in the region occurred on 03.02.2002 near western part of Çay and south of Lake Eber, with magnitudes of 6.5 and 6.2. These earthquakes that caused surface ruptures in Maltepe and Çay settlements and nearby areas in the western parts of the Sultandağı Fault, are the final members of the earthquake migration from southeast to northwest, which began in southeastern part of the Sultandağı Fault in 1921, and progressed northwestward in 1946 and 2000. The probability of continuing westward earthquake migration along the Afyon-

Bu makaleye atıf yapmak için
Tiryakioğlu I., Baybura T., Özkaymak Ç., vd. " Sultandağı Fayı Batı Kısmı Fay Aktivitelerinin Multidisipliner Çalışmalarla Belirlenmesi" Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 2015, 7(1) 7-16, doi: 10.15659/hartek.15.01.60

How to cite this article
Tiryakioğlu I., Baybura T., Özkaymak Ç.,et al. "Determination of the Fault Activities in Western Part of Sultandagi Fault by Multidisciplinary Studies" Electronic Journal of Map Technologies, 2015, 7(1) 7-16, doi: 10.15659/hartek.15.01.60

Akşehir Graben, active faults mapping in Afyonkarahisar vicinity and existing seismic gap within the western part of the Afyon-Akşehir Graben indicate the possibility of destructive earthquakes in future in Afyonkarahisar and nearby area. Therefore, multidisciplinary studies have been initiated by the researchers from Geomatics Engineering, Geology Engineering and Physics Departments of Afyon Kocatepe University.

In these studies, 18 GNSS points have been constructed at the western parts of the Sultandagi Fault. The two campaigns of GNSS measurements carried out at these points in the years 2012-2013 and the primary velocity field has been determined. Two additional measurement campaigns will be conducted in the years 2014-2015 to improve the reliability of the velocity field. Therewithal, the fieldwork for Paleostress analysis began in 2013 and still continues. In addition, the changes of groundwater radon gas concentration are being measured systematically on the fault line. Simultaneously with the measurements, the relationship between the variations of radon concentration and the seismic movements on the considered fault line is searched.

Keywords: Sultandagi Fault, Crustral Deformation, GNSS, Radon

1. GİRİŞ

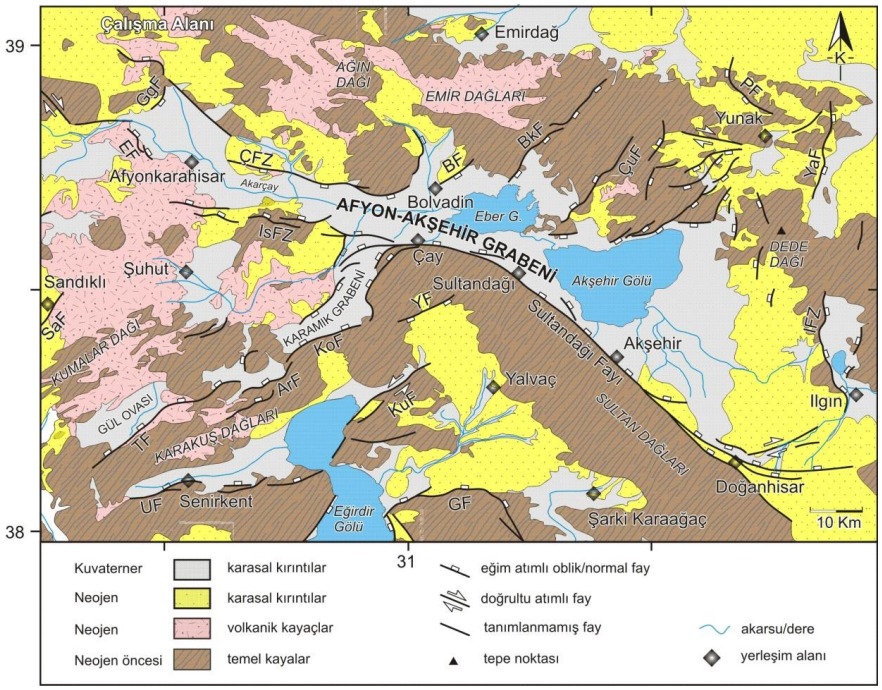
Batı Anadolu Genişleme Bölgesi içerisinde tanımlanan ana neotektonik yapılardan bir tanesi olan Afyon-Akşehir Grabeni (AAG), Afyonkarahisar ile Akşehir arasında, KB-GD doğrultusu boyunca uzanan yaklaşık 150 km uzunluğunda bir çöküntü alanıdır (Şekil 1). AAG içerisinde yeralan ve grabenin güney kenar faylarından bir tanesi olan Sultandağı Fayı yaklaşık 90 km uzunluğunda eğim atımlı normal faydır. Batıda Çay ile doğuda Doğanhisar arasında morfolojik olarak belirgin sarplıklar boyunca takip edilebilir. Fayın yükselen bloğunda genel olarak Metamorfik temel kayaçları ve Neojen yaşlı karasal kırıntılar yer alırken, graben olarak nitelenen düşen blok üzerinde yer yer gölsel, genel olarak alüvyal, flüvyal ve kolüvyal çökeller birbirlerine girik olarak gözlenir. Bazı yayınlarda Akşehir Fayı [1, 2] olarak bilinen fay , [3, 4] tarafından Sultandağı bindirmesi adı altında sıkışmalı bir yapı olarak tanımlanmıştır. Son yıllarda bölgede meydana gelen depremlerin odak mekanizma çözümleri ile de desteklenen ve kabul gören diğer görüş ise [1, 2, 5], bu görüşün tersine Isparta açısı olarak bilinen yapının kuzeydoğu sınırını oluşturan Sultandağı Fayı'nın erken Messinien yaşlı sıkışmalı deformasyon fazından sonra genişlemeli neotektonik rejim etkisi altında, eğim atımlı normal fay karakterinde çalıştığı şeklindedir. Sultandağı Fayı, ilk defa [6] tarafından hazırlanan, son olarak ise 2012 yılında güncellenen Türkiye Diri Fay Haritasında [7] "Sultandağı Fayı" adı altında, diri fay olarak haritalanmıştır.

Graben boyunca tarihsel dönemden günümüze değin çok sayıda yıkıcı deprem kayıt altına alınmıştır [8-12]. Graben içerisinde tanımlanan, şiddetleri VI ile X arasında değişen ve ilki M.S. 94 yılında kayıt altına alınan tarihsel dönem deprem verileri, bu depremlerin baskın olarak Afyon-Akşehir Grabeni'nin batı bölümünde yer alan Afyonkarahisar ve daha güneydeki Şuhut'da meydana geldiğine işaret etmektedir. Ancak aletsel dönemde meydana gelen orta büyüklükteki depremler baskın olarak AAG'nin doğu ve orta bölümlerinde yer alan Sultandağı Fayı üzerinde yoğunlaşmıştır. AAG içerisinde meydana gelen orta büyüklükteki aletsel dönem depremlerin zaman ve dışmerkez dağılımları, Sultandağı Fayı üzerinde güneydoğudan kuzeybatıya doğru bir deprem göçünün varlığını ortaya çıkarmıştır (Şekil 2) [13, 14]. Sultandağı Fayı'nın doğusunda, 1921 'de Argıtanlı-Akşehir depremi ile başlayan, 1946'da Argıtanlı, 2000 yılında ise Sultandağı güneydoğusunda etkili olan sismik hareketlilik son olarak 3 Şubat 2002'de Sultandağı ve Çay bölgelerinde yüzey kırığı oluşturmuştur. 3 Şubat 2002 tarihinde meydana gelen Çay depremleri ise Çay ile Sultandağı arasında ve Çay batısında 30 cm'e varan düşey yerdeğiştirmeye sahip yaklaşık 20 km uzunluğunda yüzey kırığı oluşturmuştur, ilk deprem (Mw: 6.5) Eber gölü güneyinde saat 09:11'de, ikinci deprem ise 11:26'da Çay batısında meydana gelmiştir (Mw: 6.2) [2, 13-16]. Şekil 1 de EF: Erkmen Fayı, GgF: Gazlıgöl Fayı, ÇFZ: Çobanlar Fay Zonu, IsFZ: Işıklar Fay Zonu, BF: Bolvadin Fayı, BkF: Büyük Karabağ Fayı, ÇuF: Çukurcak Fayı, YaF: Yavaşlı Fayı, PF: Piribeyli Fayı, IFZ: Ilgın Fay Zonu, GF: Gelendost Fayı, KuF: Kumdanlı Fayı, UF: Uluborlu Fayı, TF: Tatarlı Fayı, ArF: Arızlı Fayı, KoF: Koçbeyli Fayı, SaF: Sandıklı Fayını göstermektedir.

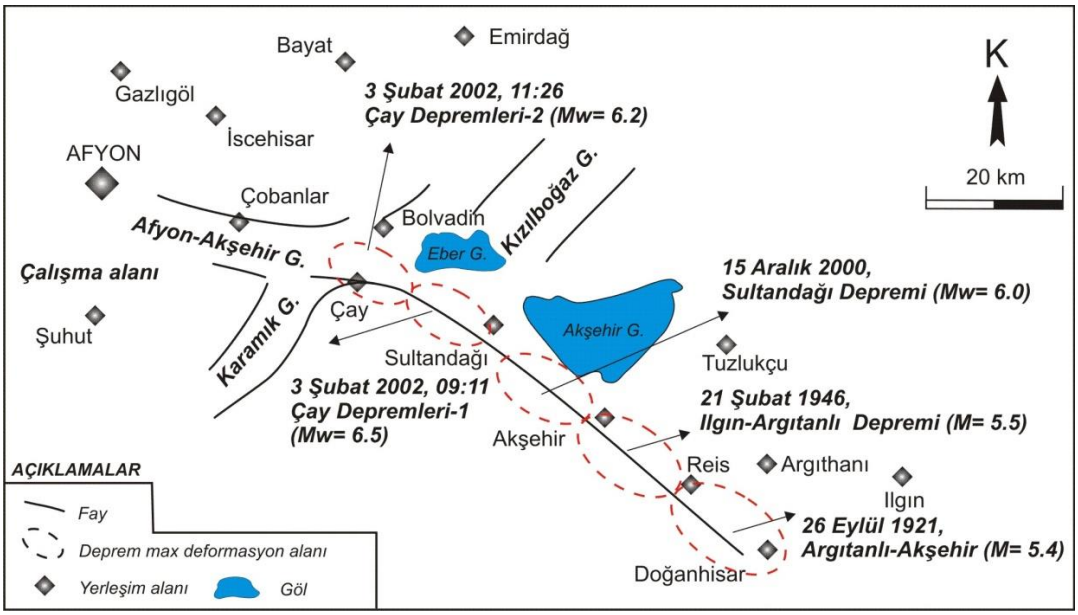
Son depremlerden sonra, bu deprem göçünün KB'ya doğru mu devam edeceği yoksa Sultandağı fayı ile sınırlı mı kalacağı? Yada farklı bir doğrultuda mı devam edeceği? soruları bir çok araştırmacı tarafından

tartışılmıştır ve yakın gelecekte fayın Çay'ın batısında kalan parçasında yüksek sismik riske dikkat çekmişlerdir [2, 13-16].

Bu çalışmada Afyon Kocatepe Üniversitesi Harita Mühendisliği, Jeoloji Mühendisliği ve Fizik bölümünden araştırmacılarla Sultandağı'nın batı kısmının tektonik yapısını incelemek için yapılan multidisipliner çalışmalar anlatılmaktadır.



Şekil 1. Afyon-Akşehir Grabeni ve çevresinin jeoloji haritası ([7] ve [17]' den düzenlenmiştir)



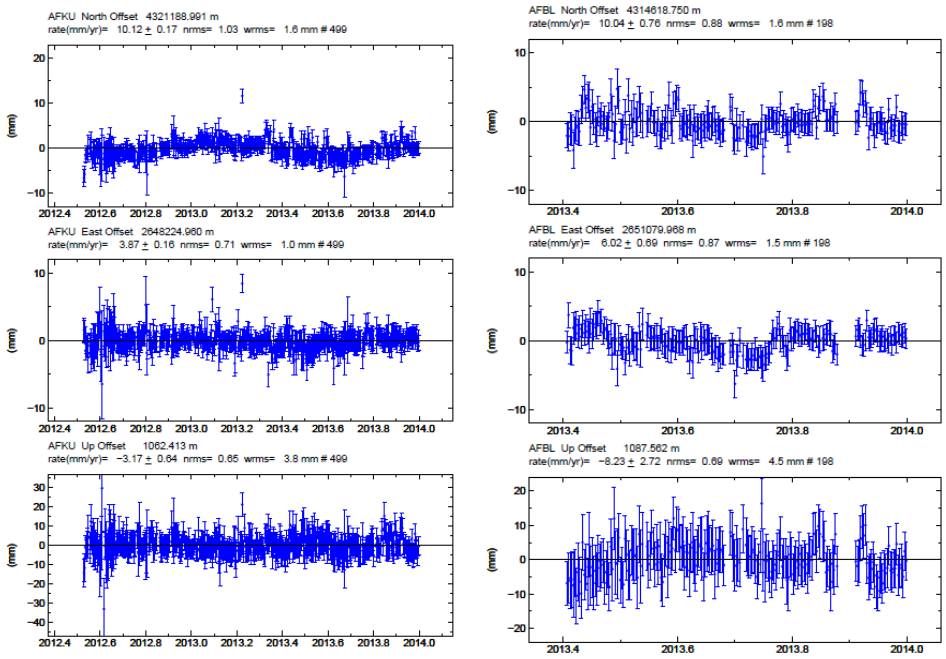
Şekil 2. Sultandağı Fayı boyunca son yüzyılda (1900-2014) meydana gelen yıkıcı depremlerin güneydoğudan kuzeybatıya doğru zaman içerisindeki göçünü gösteren harita [13]'den değiştirilmiştir

2. YÖNTEM

Bölgenin tektonik yapısını incelemek amacı ile Jeodezi, Yapısal Jeoloji ve Radon Konsantrasyonu Ölçümleri çalışma grubu olmak üzere 3 farklı çalışma gurubu oluşturulmuştur. Bu guruplarının çalışmaları aşağıda sırayla anlatılmıştır.

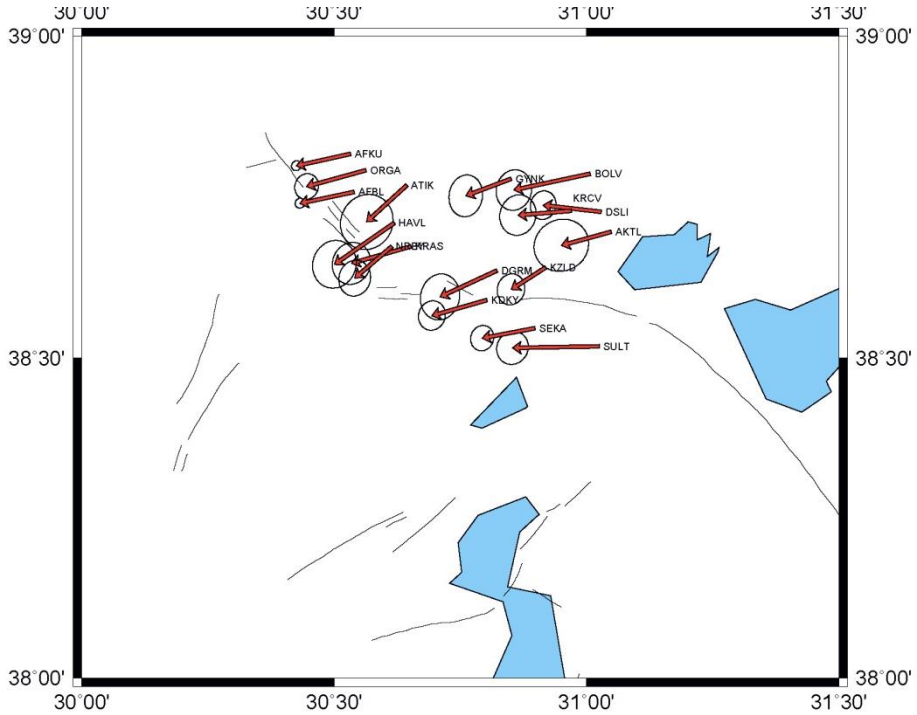
2.1 Jeodezik Çalışmalar

Jeodezi çalışma gurubu, Sultandağı fayının batı kısmına 18 kampanya tipi ölçü noktasından oluşan bir jeodezik ağ kurmuştur. Ayrıca bu ağa çalışma bölgesinde bulunan Afyon Kocatepe Üniversitesi (AFKU), Afyonkarahisar Belediyesi (AFBL), TUSAGA-Aktif (AFYN, EMIR) ağına ait 2, Harita Genel Komutanlığına ait TUSAGA-Pasif ağından (SHUT) 1 adet sürekli gözlem yapan referans istasyonları dahil edilerek toplam 23 noktaya ulaşmıştır. Bu noktalarda 2012 ve 2013 yılları ekim aylarında 2 kampanya GNSS ölçüsü yapılmıştır. Her noktada 2 gün 8 saat ölçüsü yapılarak toplanan ölçüler GAMIT/GLOBK yazılım takımıyla değerlendirilmiştir [18]. AFKU ve AFBL sabit GNSS istasyonları verileri de günlük olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3. AFKU ve AFBL sabit GNSS istasyonlarının günlük zaman serisi

Hız kestirimi için gerekli olan stabilizasyon işlemi için Anadolu plakası merkez olacak şekilde yaklaşık 1000 km çapında bulunan 19 IGS istasyonundan zaman serileri istikrarlı olan (yatay konum için wrms değeri 1-2 mm, nrms değeri 1 mm) 12 istasyonun kullanılmıştır. GLOBK stabilizasyon sonrası Avrasya plakasına göre elde edilen hızları şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Bölgenin Avrasya sabit hız alanı

2.2 Jeolojik Çalışmalar

Çalışma bölgesinde yer alan faylar üzerinde yapılması planlanan paleostres analizleri için veri üretmek amacı ile, Sultandağı Fayı'nın batı kısmında yer alan bu bölgede jeolojik arazi çalışmaları başlatılmıştır. Arazi ağırlıklı jeolojik çalışmalarla, bölgede yer alan fayların kinematik özellikleri ve bölgede etkin gerilme kuvvetleri hakkında ayrıntılı bilgilerin elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Yapılan jeolojik çalışmalar, arazi çalışmaları sırasında saptanan faylara ait fay düzlemleri üzerinde belirlenen kinematik göstergelerin tanımlanması, ölçülmesi ve elde edilen sayısal verilerin paleostress analiz yöntemi ile yorumlanmasını amaçlamaktadır. Bu kapsamda, (1) fay yüzeylerinin doğrultlu-eğiminin ve fay yüzeyindeki rake (yatım açısı, pitch açısı) açılarının ölçümü, (2) fay yüzeylerindeki deformasyon yapılarının ayrıntılı incelenmesi, (3) diri faylanmayı belgeleyen jeolojik-jeomorfolojik parametrelerin tanımlanması ve elde edilen veriler bölgesel ölçekte Batı Anadolu tektoniği ile karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Fay yüzeyi üzerindeki hareketin yönü ve fayın aktivasyonu, fay olukları (corrugations), ridel makaslamaları, fay çizikleri ve fay kertikleri gibi fay yüzeylerindeki kinematik göstergeler kullanılarak tespit edilmiştir. Farklı fay setlerinin bağıl yaşları, birbirini kesen-kesilen yapı ilişkisine göre yapılmıştır. Fay yüzeyi verileri, Angelier'in gerilme terslenme yöntemi [19, 20, 21, 22] tarafından geliştirilen program kullanılarak incelenmiştir.

Fay düzlemi ölçümlerinden dört bileşenli gerilim tensörü elde edilmektedir. Bunlar, üç asal gerilim ekseninin doğrultuları ($\sigma1>\sigma2>\sigma3$) ve asal gerilme eksenleri için eksenel oran (ϕ) ile açıklanan göreceli büyüklüklerdir; $\phi = (\sigma2- \sigma1)/(\sigma3- \sigma1)$ ve $0< \phi <1$'dir [19]. Gerilme rejimi, bunlardan hangisinin düşey düzlemde olduğuna göre yapılmaktadır. En büyük asal gerilme ekseni ($\sigma1$) düşey düzlemdeyken genişlemeli, ortaç asal gerilme ekseni ($\sigma2$) düşey düzlemdeyken doğrultu atımlı ve en küçük asal gerilme ekseni ($\sigma3$) düşey düzlemdeyken sıkışmalı tektonik rejimden bahsedilmektedir.

Proje çalışmaları kapsamında yapılan arazi çalışmaları, Sultandağı Fayı'nın Sultandağı ile Çay arasında kalan bölgesinde Neojen öncesi temel kayalar ile Kuvaterner yaşlı genç çökeller arasındaki tektonik dokanağı temsil ettiğini; düzlemler üzerinde yapılan ölçümler ise fayın bu alanda K70-80ºB doğrultusunda uzandığını göstermektedir (Şekil 1). Bu alanda iyi korunmuş kayma yüzeyleri üzerinde yapılan kinematik ölçümler fayın eğim atımlı normal karakterde olduğuna işaret etmektedir. Grabenin

kuzey kenar faylarından bir tanesi olan Bolvadin Fayı (BF), KD-GB uzanımlı ve güneydoğuya eğimlidir, Kuvaterner yaşlı genç çökeller ile Neojen yaşlı karasal kırıntılar ve volkanik çökeller arasındaki yapısal dokanağı temsil eder (Şekil 1). Bolvadin Fayı'na ait kayma düzlemleri üzerinde yapılan kinematik ölçümler, bu fayın eğim atımlı normal bir fay olduğuna işaret etmektedir. Proje kapsamında, Afyon Akşehir Grabeninin batı bölümünde yer alan Çobanlar ve Işıklar yerleşim alanları ve çevresinde de jeolojik çalışmalar yapılmıştır. Bu alanda grabeni güneyden sınırlayan Işıklar Fay Zonu (IsFZ) ve grabeni kuzeyden sınırlayan Çobanlar Fay Zonu (ÇFZ) üzerinde kinematik veri toplama çalışmaları yapılmıştır (Şekil 1). Işıklar Fay Zonu, Çay batısında, Işıklar güneyinde yer alır, yaklaşık 20 km uzunluğunda birbirine paralel/yarıparalel fay segmentlerinden oluşur. Işıklar Fay Zonu'nun taban bloğu Zirvesi 1713 metre olan Kızıldağ yükseltisi ile temsil edilir. Arazi çalışmaları bu alanda yeralan fayların grabene doğru basamaklı bir morfoloji oluşturduğunu göstermektedir. Zon içerisindeki fay düzlemlerinde ölçümler yapılmıştır. Morfolojik veriler, kinematik veriler ve eğim yönünde ötelenen litolojik birimler Işıklar Fay Zonunda faylanmanın eğim atımlı normal karakterde olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 5. Işıklar Fay Zonu içerisinde genişlemeli tektonizmaya işaret eden eğim atımlı normal faylar

2.3 Radon Konsantrasyonu Ölçümleri

Doğal radyoaktif serilerden birisi olan uranyum (^{238}U) serisi ürünlerinden olan radyum (^{226}Ra) izotopunun alfa bozunması sonucu oluşan radon (^{222}Rn), renksiz, tatsız, kokusuz bir radyoaktif asal gaz olup 3,82 günlük yarı ömre sahiptir. Zengin uranyum içerikli topraktan çıkan yer altı suları ve derin jeolojik zonlardan yeryüzüne çıkan sular, yüksek miktarda radon ve radyum konsantrasyonuna sahiptir [22]. Radonun gaz olması onu, toprak içinde bulunan uranyum ve radyumdan daha fazla hareketli kılar [23]. Gaz olması nedeniyle, radon toprak taneleri arasındaki gözeneklerden, kaya içindeki açıklıklardan, çatlak ve kırıklardan kaçarak toprak ve kayaları kolaylıkla terk edebilir. Gözenekler içinde serbest hareket edebilme yeteneğine sahip olması, uzun mesafeler boyunca hareket edebilmesini sağlar. Toprak içindeki radonun hızı, gözeneklerde yer alan su ile kontrol edilir [24]. Radonun geri saçılma mesafesi ($3x10^{-8}$ m) çok kısa olduğundan, sadece kaya yüzeyinde oluşan radon atomları suya karışır. Kaya içindeki radon yüzeye kaçamaz [23].

Yerkabuğundan atmosfere yayınlanan radon miktarı genellikle küçüktür, ancak fay hatlarında, jeotermal kaynaklarda, uranyum depozitlerinde, volkanik hareketler sırasında ve depremlerin oluşumundan önce ölçülen radon miktarlarında anomaliler gözlenmektedir [25 ,26]. Radon sızıntısının, aktif faylar üzerinde daha fazla olduğu, atmosferik koşullara ve sismik faaliyetlere bağlı değişiklikler gösterdiği bilinmektedir [27, 28]. Suda kolaylıkla çözünen radon, asal bir gaz olduğundan bileşik yapmaz ve yer altı sularındaki konsantrasyonu, genel hidrolojik karakteristiklerden (suyun kompozisyonu, mineralizasyonu v.b) etkilenmez. Bu nedenle, radonun yeraltı sularındaki konsantrasyonlarındaki dalgalanmanın büyük ölçüde tektonik hareketlere bağlı olduğu öne sürülmektedir [29, 30]. Yapılan çok sayıdaki araştırmada yeraltı sularındaki ve toprak gazındaki radon değişimlerinin, birçok depremin önceden tahminine yönelik bir

işaret olduğu ve radon anomalilerinin sismik olaylar için faydalı bir izleyici olduğu rapor edilmiştir [28, 31-34].

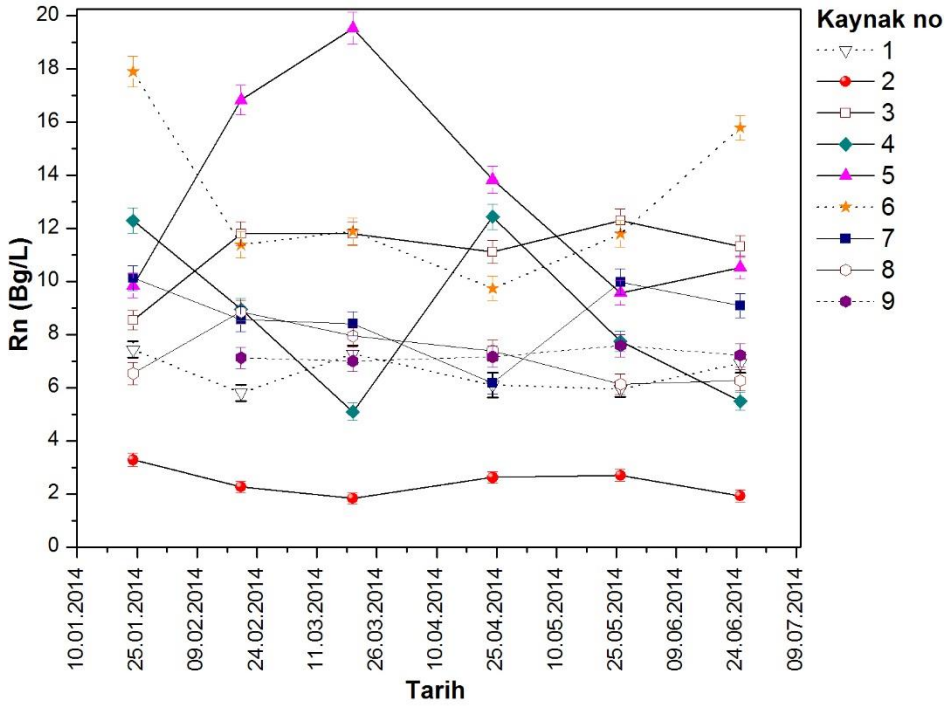
Bu çalışmada deprem üretme potansiyeli olan faylar ve oluşmuş ya da oluşacak muhtemel kırıklar ile bölgedeki radon gazı konsantrasyonu sonuçları arasındaki ilişkinin araştırılması hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında, fayın geçtiği konumlara yakın ve derin su kaynağı bulunabilecek noktalar belirlenmiş ve 9 kaynaktan aylık periyotlarla su numunesi alınmıştır. Bu kaynaklara ait enlem, boylam ve kuyu derinlik bilgileri Çizelge 1'de verilmiştir.

Kaynaklardan numune alımı için 250 ml'lik cam şişeler kullanılmıştır. Bu cam şişeler, kapak kısmında dışarıya gaz çıkışını engelleyen aparatı bulunan sızdırmaz kapaklı cam şişelerdir. Alınan örnekler Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik araştırma laboratuvarına getirilmiş ve sayımlar AlphaGUARD PQ2000 PRO Radon Görüntüleme Sisteminde gerçekleştirilmiştir [35- 37].

Çizelge 1. Su numunelerin alındığı kaynakların; enlem, boylam ve derinlik bilgileri

Kaynakların Bulundukları Bölgeler	Enlem	Boylam	Derinlik (m)
Total Benzin İstasyonu	38.7110°	30.6055°	130
Maltepe	38.6070°	30.9098°	-
Kadıköy Ziftli Mevki	38.6759°	30.7372°	100
Kadıköy Başel Mahallesi	38.6458°	30.8342°	120
Opet Benzin İstasyonu	38.6070°	30.9098°	180
Ali Kaleli Mahallesi	38.5979°	30.9882°	120
Çayırpınar	38.5900°	31.0951°	100
Yakasenek Oğuz Mahallesi	38.6093°	31.1623°	80
Alara Meyva Bahçesi	38.5799°	31.2251°	200

Proje kapsamında derin su kaynaklarında, 24.01.2014 tarihinde başlanan radon konsantrasyonu ölçümlerinden her bir kaynağa ait ortalama radon konsantrasyonu ve standart hata değerleri belirlenmiştir. Kaynaklara ait bu değerler kullanılarak ölçüm tarihlerine göre elde edilen radon seviyesi değişimleri ilk altı aylık çalışma dönemi için Şekil 6'da gösterilmiştir. Çalışma periyodu sürecince Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nden alınan deprem verilerine göre, Afyonkarahisar ve çevresinde 1,6 M ile 2,8 M aralığında değişen 25 adet deprem meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 6. Kaynakların radon seviyesi değişimi

3. SONUÇLAR

Çalışmaya ilişkin sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Çalışma bölgesinde yapılan GNSS ölçüleri bölgenin hız alanı elde edilmiştir. Ancak hız alanının anlamlı olması için 2014-2015 Ekim aylarında 2 kampanya daha ölçü yapılacaktır. Bölgede Sürekli izleme için Sabit GNSS istasyonları sayısının artırılması planlanmaktadır. Yeni yapılacak ölçülerle elde edilen hız alanlarından yamulma analizleri ile bölgenin tektoniği hakkında bilgiler elde edilecektir.
- Çalışma alanında yapılan jeolojik arazi çalışmaları ile bölgenin jeomorfolojik yapısı analiz edilmiş ve bölgede haritalanan faylar üzerinde kinematik veri toplanmıştır. Elde edilen ön bulgular, grabenin orta bölümünde yeralan fayların güncel morfolojiyi denetlediğini göstermektedir. Eğim/oblik atımlı karakterde çalışan faylar yer yer havzaya doğru basamaklı bir yapı sunarlar. Fayların düşen blokları üzerinde biriken genç alüvyal ve kolüvyal çökeller havzaya doğru geniş bir yayılım sunarlar. Fay düzlemleri üzerinde yapılan kinematik analizler ve jeomorfolojik gözlemler, çalışma alanında yeralan fayların genişleme kuvvetleri etkisi altında çalıştığına işaret etmektedir. Yeni yapılacak ölçümlerle, bölgede yeralan fayların paleostress analizleri oluşturulacaktır. Bu analizler, Batı Anadolu aktif tektonik yapısı içerisinde, bölgede yapılan GNSS ölçüleri ile karşılaştırılarak yorumlanacaktır.
- Deprem sırasında, kayaçların hareket etmesi, çökmesi ya da yükselmesi ile toprak altında biriken radon gazı çıkışında artış ya da azalış olur. Bu çalışmada da çalışma süresi boyunca elde edilen verilerle sularda radon gazı konsantrasyon artışları ve değişimleri gözlenmiştir. Bu kaynaklardan özellikle 4, 5 ve 7 nolu kaynaklarda bir depremden önce radon konsantrasyonlarında değişimi gösteren bulgular elde edilmiştir. Literatürde radon konsantrasyonlarındaki değişimlerin, 1M ile 2M arasındaki küçük şiddetteki depremlerden önce ilişkili olduğu belirtilmiş olsa da çalışmamızda 1,6 M'den küçük depremler dikkate alınmamıştır [33]. Radon gazının izlenmesi, bir depremin yeri ve zamanının tahmininde tek başına yeterli olmayabilir. Çünkü her radon konsantrasyon değişiklikleri deprem habercisi olmayacağı bir gerçektir. Fakat deprem tahmini ile ilgili yürütülen çalışmalara çok önemli katkılar sağlayabilecek, dikkate alınması gereken bir parametre olduğu sonucu açıkça görülmektedir. Ayrıca hem derin su kaynaklarında hem de toprak gazında radon konsantrasyonlarındaki değişimlerin izlenmesi ile birlikte; toprağın ve suyun fiziksel ve kimyasal

özelliklerinin de takip edilmesi bu parametrelerin daha iyi anlaşılabilmesi açısından yararlı olacaktır. Multidisipliner çalışmalarla elde edilecek sonuçlar ileri dönemlerde birbirine entegre edilecektir. Mikro ölçekte yeni çalışmaların başlaması planlanmaktadır (B parametre, coulomb stress dağılımı vb.)

NOT

Bu çalışma, AKU BAP koordinatörlüğü tarafından desteklenmektedir (Proje No:12.TEMATIK.02). Hitit Üniversitesinde 15-17 Ekim 2014 tarihleri arasında gerçekleştirilen 7. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumununda sunulan "Multidisipliner Çalışmalarla Fay Aktivitelerinin Belirlenmesinde Sultandağı Fayı Örneği: İlk Sonuçlar" başlıklı çalışmanın revize edilmiş ve genişletilmiş halidir.

4. KAYNAKLAR

1. Koçyiğit, A., 1984. Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim [A new intracontinental tectonic regime in southwest Turkey and its close vicinity]. Bulletin of the Geological Society of Turkey 27, 1 – 16 [In Turkish with English abstract]

2. Koçyigit, A. ve Özacar, A., 2003. Extensional Neotectonic Regime through the NE Edge of the Outer Isparta Angle, SW Turkey: New field and seismic Data. Turkish Journal of Earth Sciences 12, 67 – 90.

3. Barka, A.A., Reılınger, R.E., Şaroğlu, F. & Şengör, A.M.C., 1995. Isparta Angle: Its importance in the noetectonics of the Eastern Mediterranean Region. In: Pişkin, D., Ergün, M., Savaşçın, M.Y. ve Tarcan, G. (eds.), International Earth Science Colloquium on the Aegean Region, Proceedings 3–18.

4. Boray, A., Şaroğlu, F. ve Emre, Ö., 1985. Isparta Büklümünün kuzey kesiminde D–B daralma için bazı veriler [Evidence for E–W shortening in the north of the Isparta Angle]. Bulletin of Chamber of Geological Engineers 23, 9 ─ 20 [In Turkish with English abstract].

5. Glover, C. & Robertson, A. 1998. Neotectonic intersection of the Aegean and Cyprus tectonic arcs: extensional and strike-slip faulting in the Isparta Angle, SW Turkey. Tectonophysics 298, 103-132.

6. Şaroğlu, F., Emre, Ö., ve BORAY, A., 1987. Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremselliği [Seismicity and Active Faults of Turkey]. General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) Report No. 8174 [in Turkish, unpublished].

7. 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.

8. Ergin, K., Güçlü, U. ve Uz, Z., 1967. Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (MS. 11-1964). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü yayınları, No 28.

9. Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D. ve Altınok, Y. (1981). Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (2100 B.C.–1900 A.D.). TÜBİTAK raporu, No. TBAG-341.

10. Guidoboni, E., Comastri, A. ve Triana, G. (1994). Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the10th Century. Italy: Istituto Nazionale di Geofisica.

11. Ambraseys, N.N. ve Finkel, C.F. (1995). The seismicity of Turkey ve adjacent Areas: A historical review, 1500–1800. İstanbul: Eren publishing ve booktrade.

12. Tan, O., Tapırdamaz, M.C. ve Yörük, A. (2008). The Earthquakes Catalogues for Turkey. Turkish Journal of Earth Science, 17, 405–418.

13. Demirtaş, R., Iravul, Y., ve Yaman M. 2002. 3 Şubat 2002 Eber ve Çay depremleri ön raporu [Preliminary report of 2002.02.03 Eber and Çay earthquakes]. Jeoloji Mühendisliği Haber Bülteni, 2002/1 ─ 2, 58 ─ 63.

14. Emre, Ö., Duman, T. Y., Doğan, A., Özalp, S., Tokay, F. ve Kuşçu, İ. 2003. Surface faulting associated with the Sultandağı earthquake (Mw = 6.5) of 3 February 2002, southwestern Turkey. Seismological Research Letters, 74, 382-392.

15. Özden, S., Kavak, K. Ş., Koçbulut, F., Över, S. ve Temiz, H. 2002. 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) depremleri [2002.02.03 Çay (Afyon) earthquakes]. Geological Bulletin of Turkey 45, 49- 56.

16. Akyüz, H. S., Uçarkuş, G., Şatır, D., Dikbaş, A. ve Kozacı, Ö. 2006. 3 Şubat 2002 Çay depreminde meydana gelen Yüzey kırığı üzerinde paleoseismolojik araştırmalar [Paleoseismological investigations on surface rupture from the 3 February 2002 Çay Earthquake]. Havettepe Univ., Yerbilimleri 27, 41-52 [In Turkish with English abstract].
17. Turan, N., 2002.Geological map of Turkey in 1:500.000 scale: Ankara sheet.Publication of Mineral Research and Explaniton Direction of Turkey (MTA), Ankara.
18. Herring, T.A., King, R.W. ve McClusky, S.C., GAMIT reference manual, Release 10.4. Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Mass. Inst. Of Technol. (2009)
19. Angelier, J. (1984). Tectonic analysis of fault slip data sets. Journal of Geophysical Research, 80, 5835−48.
20. Angelier, J. (1991). Inversion of field data in fault tectonics to obtain regional stress. III: A new rapid direct inversion method by analytical means. Geophysical Journal International, 103, 363−76.
21. Angelier, J. (1994). Fault slip analysis ve paleostress reconstruction. In P.L. Hancock, (Ed). Continental Deformation (53−100). Pergamon Press, Oxford.
22. Horvat, A., Bohus, L. O., Urbani, F., Marx, G., Piroth, A., Greaves, E. D. (2000), "Radon concentrations in hot spring waters in northern Venezuela," Journal of enviromental radioactivity, 47, 127-133.
23. Çelebi, N. (1995), "Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi," Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
24. Günaydı, T. (2004), İzmir-Dikili jeotermal sahalarına yakın yerleşim alanlarında radon konsantrasyonlarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
25. Khan, H. A. ve Qureshi, A. A. (1994), "Solid State Nuclear Track Detection: A Useful Geological / Geophysical Tool," Nucl. Geophys., 8, 1-37.
26. King, C.Y. (1978), "Radon Emanation on San Andreas Fault," Nature Vol., 271, 516-519.
27. Planinic, J., Radolic, V., Lazanin, Z. (2001), "Temporal Variation of Radon in Soil Related to Earthquakes," Appl. Radiat. Isot., 55, 267-272.
28. Amponsah, P., Banoeng-Yakubo, B., Andam, A., Asiedu, D. (2008), "Soil radon concentration along fault systems in parts of south eastern Ghana," Journal of African Earth Sciences, 51, 39-48.
29. Teng, T.L. (1980), "Some Recent Studies on Groundwater Radon Content as an Earthquake," J. Geophys. Res., 85, 3089-3099.
30. Virk, H.S. ve Singh, B. (1993), "Radon Anomalies in Soil-gas and Groundwater as Earthquake Precursor Phenomena," Tectonophysics, 227, 215-224.
31. İnan, S., Akgül, T., Seyis, C., Saatçılar, R., Baykut, S., Ergintav, S., Baş, M. (2008), "Geochemical monitoring in the Marmara region (NW Turkey): A search for precursors of seismic activity," Journal of Geophysical Research, 113, B03401, doi:10.1029/2007JB005206.
32. Utkin, V. I. ve Yurkov, A. K. (2010), "Radon as a tracer of tectonic movements,"Russian Geology and Geophysics, 51, 220–227.
33. Yalım, H. A., Sandıkcıoğlu, A., Ertuğrul, O., Yıldız, A. (2012), "Determination of the relationship between radon anomalies and earthquakes in well waters on the Akşehir-Simav Fault System in Afyonkarahisar province, Turkey," Journal of Environmental Radioactivity,110, 7-12.
34. Tsunomori, F. ve Tanaka, H. (2014), "Anomalous change of groundwater radon concentration monitored at Nakaizu well in 2011," Radiation Measurements, 60, 35-41.
35. Saphymo GmbH, *AlphaGUARD User Manual Portable Radon Monitor*, Heerstrasse 149 D-60488 Frankfurt, Germany, 1998.
36. Saphymo GmbH, *AlphaPUMP Technical Description*, Heerstrasse 149 D–60488 Frankfurt, Germany, 2001.
37. Genitron Instruments, *AquaKIT User Manual*, Heerstrasse 149 D-60488 Frankfurt, Germany, 2008.