

Kuzey Bozkuş Fay Zonunun (KB İran) Jeolojisi ve Tektonik Önemi

Geology of the North Bozghush Fault Zone and Its Tectonic Significance, NW Iran

REZA SABER^{1*}, VEYSEL IŞIK¹, AYŞE ÇAĞLAYAN¹

¹Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tektonik Araştırma Grubu, 06100 Tandoğan, Ankara

Geliş (received) : 12 Şubat (February) 2013

Kabul (accepted) : 15 Ağustos (August) 2013

ÖZ

İnceleme alanının yer aldığı KB İran, kuzeyde Kafkaslar güneyde Zagros Bindirme Kuşağı arasında yer alan sismik bölgelerden biridir. Bölgede Elborz-Azerbaycan Zonu olarak adlanan alan içerisinde aktivitesini sürdüren önemli fay zonları bulunmaktadır. Meydana gelen büyük tarihsel depremler ($M_s > 7$) yanında 1997 Erdebil (Mw 6.1) ve 2012 Eher-Verzegani (Mw 6.4) depremleri bölgenin sismik aktivitesini ortaya koymaktadır. Bölge içerisinde yer alan Kuzey Bozkuş Fay Zonu onlarca kilometre uzunluğa ve yüzlerce metre genişliğe sahiptir. Zon, içerisinde oluşmuş tarihsel büyük depremler kayıtlarda yer almaktadır.

Bu çalışmada Kuzey Bozkuş Fay Zonu 5 farklı alanda (Şerbiyan, Danbaran, Anakız, Damencan ve Abgerm bölgeleri) incelenmiştir. Kuzey Bozkuş Fay Zonu Senozoyik yaşlı litolojileri etkilemiş olup fay boyunca Eosen yaşlı birimler Miyosen ve/veya Pliyo-Kuvaterner çökel kayalar üzerine itilmiştir. Zon içerisindeki faylar egemen olarak ters bileşenli doğrultu atımlı ve ters faylar ile temsil olur. Ters faylar $K55^{\circ}-85^{\circ}D$, $40^{\circ}-50^{\circ}GB$ durumludur. Doğrultu atımlı faylar ise $K50^{\circ}-85^{\circ}B$ ve $K60^{\circ}-80^{\circ}D$ doğrultularında ve sağ yanal karakterdedir.

Yapısal verilerin analizi Kuzey Bozkuş Fay Zonunun KB-GD σ_1 (sıkışma) ve KD-GB σ_3 (genişleme/gerilme) ana stres doğrultularına sahip olduğunu ortaya koyar. σ_2 ana stres eksenini düşey konumda ve R değeri 0.12 dir. Bu sonuçlar KBFZ'de etkin tektonik rejimin yanal sıkışmalı olduğuna işaret eder. Fay kayma analiz sonuçları KB İran için önerilen stres yönelimi ve GPS çalışmalarından elde edilen sonuçlarla uyumludur. Bozkuş Dağları'nın batı kısmı Tebriz Fay Zonu ile sınırlanır. Arazi gözlemleri Tebriz Fay Zonu'nun bu çalışmaya konu olan Kuzey Bozkuş Fay Zonu ile kökensel ilişkili olduğunu ortaya koyar.

Anahtar Kelimeler: Yapısal analiz, Kuzey Bozkuş Fay Zonu, Tebriz Fay Zonu, KB İran

ABSTRACT

NW Iran, including the study area is one of the seismically active regions between Zagros Thrust Belt at the south and Caucasus at the north. In this region, an area known as Alborz-Azerbaijan zone includes many significant active fault zones. Not only large magnitude historical earthquakes ($M_s > 7$), but also 1997 Ardebil (Mw 6.1) and 2012 Ahar-Varzagan (Mw 6.4) earthquakes reveal that the region is seismically active. The North Bozghush Fault Zone in this region has tens of kilometers in length and hundreds of meters in width. The zone has produced some large and destructive earthquakes.

In this study five different study domains have been chosen along the North Bozghush Fault Zone. These are Sherbian, Danbaran, Anakiz, Damencan and Abgerm regions, respectively. The North Bozghush Fault Zone affects the Cenozoic units. Along this zone Eocene units thrust over Miocene and/or Plio-Quaternary sedimentary units. The zone is mainly characterized by strike-slip faults with reverse component and reverse faults. Reverse faults

striking N55°-85°E and dip of 40°-50° to the SW while strike-slip faults show right lateral slip with N50°-85°W and N60°-80°E directions.

Our structural data analysis indicates that the North Bozgush Fault Zone shows σ_1 principal stress (compression) with NW-SE direction and σ_3 principal stress (extension) with NE-SW direction. The axis direction of σ_2 principal stress is vertical and the stress ratio (R) is 0.12. These results suggest that the tectonic regime along the North Bozgush Fault Zone is transpressive. Fault slip analysis results are compatible with stress directions and GPS velocity results for NW Iran. Western part of the Bozgush Mountains is bounded with the Tabriz Fault Zone. Our field studies suggest that there is a genetic relationship between the North Bozgush Fault Zone and the Tabriz Fault Zone.

Keywords: Structural analysis, North Bozgush Fault Zone, Tabriz Fault Zone, NW Iran

GİRİŞ

Türkiye gibi İran da, Alp-Himalaya orojenez kuşağında anahtar alanlar içerir. İran'ın bugünkü morfo-tektoniği aktif ve aktif olmayan çok sayıda faylarla kontrol edilir. Sismik olarak aktif faylar, İran içerisinde büyüklüğü 7 ve üzeri pek çok deprem oluşumuna sebebiyet vermiştir (Berberian and King, 1981; Ambraseys and Melville, 1982; Moradi et al., 2011).

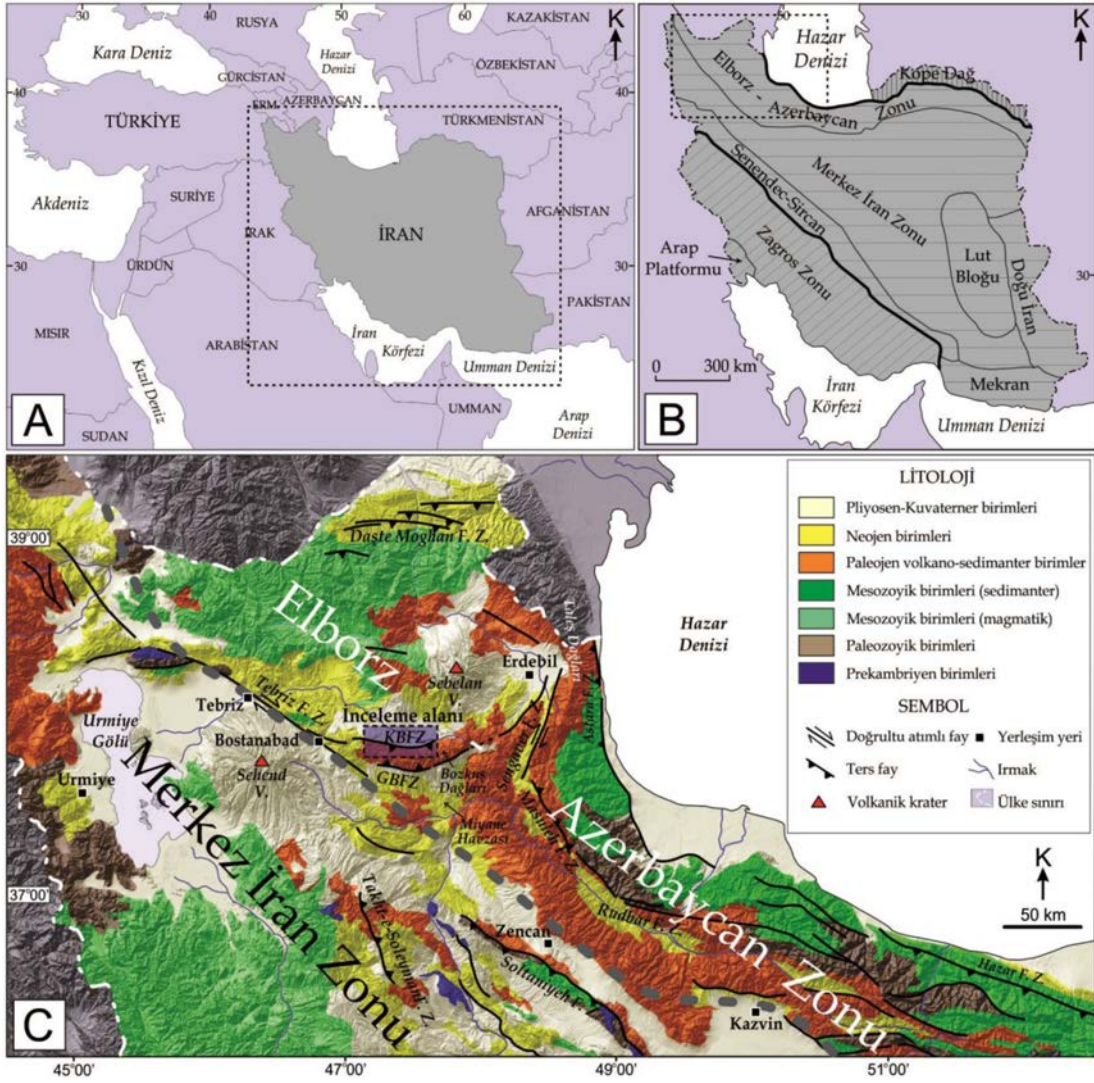
Bu çalışma İran'ın kuzeybatı kesiminde gerçekleştirilmiştir. Bölgede sismik olarak aktif en önemli yapılardan biri Tebriz Fay Zonu (TFZ) dur (Şekil 1C). Zon yüzlerce kilometre uzanımlı olarak öngörülür (Eftekharijad, 1976). Literatürde TFZ'nin karakteri Berberian and Arshadi (1976) tarafından sağ yönlü doğrultu atımlı fay olarak tanımlanmasına karşın Alavi (1994) tarafından ise yüksek açılı ters fay olarak belirtilir. Bir kısım çalışmalarda TFZ, Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Türkiye'nin doğusunda yer alan bazı fayların devamı olarak yorumlanır (Jackson, 1992; Westaway, 1990 and 1994; Hessami et al., 2003).

TFZ'ye vev konumlu gelişen Kuzey Bozkuş Fay Zonu (KBFZ) ve Güney Bozkuş Fay Zonu (GBFZ) dikkat çekicidir. Bu fay zonları gerçekte yaklaşık doğu-batı uzanımlı Bozkuş Dağlarını sınırlamaktadır. Her iki fay zonu ile ilgili jeolojik çalışmalar sınırlıdır. Abdollahi et al. (2012)'ne göre KBFZ güneye eğimli, GBFZ ise kuzeye eğimli ters faylardır. Bölgenin yaygın litolojisini Eosen yaşlı volkanitler oluşturmaktadır. Öncel haritalarda bu birimler, Miyosen ve Kuvaterner yaşlı birimler üzerinde itilmiş olarak gösterilir (Emami et al., 1993).

Çalışma KBFZ olarak tanımladığımız zon içerisinde gerçekleştirilmiştir. Böylesi bir çalışmayı şu sebepler önemli kılmaktadır: (1) Bozkuş Dağları ile genç havza çökelleri arasındaki yükselti farkı (yaklaşık 1600 m) yükselminin çok hızlı olduğunu ve faylanmanın önemini ortaya koyar. (2) Öncel çalışmalarda fay karakterleri konusunda farklı yorumların bulunması yanında bölgedeki çoğu faylar sadece çizgisellik olarak gösterilmiştir. Fayların karakteri ve kinematiklerini ortaya koymak bölge jeolojisi açısından önem taşımaktadır. (3) Bölgedeki fayların aktif veya pasif ya da hangisi aktif hangisi pasif olduğu yönünde yeterli bilgi bulunmamaktadır. Tarihsel ve güncel depremler bölgenin sismik olarak aktif olduğunu ortaya koyar. (4) KBFZ'nin TFZ ile kökensel bir ilişkisinin olup olmadığının belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışma bu sorunlara açıklık getirmeyi amaçlamaktadır.

YÖNTEM

Çalışma KBFZ boyunca Şerbiyan, Danbaran, Anakız, Damencan ve Abgerm olarak tanımlanan beş bölgeyi içine almaktadır. Bu alanlarda arazi gözlemleri gerçekleştirilmiş elde edilen bulgular laboratuvar çalışmalarıyla değerlendirilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında çalışma amacına yönelik fay yüzeyi ölçümleri yapılarak 42 adet kayma yüzeyi ve kayma çizikleri kayıt altına alınmıştır. Bu yapısal veriler iki bilgisayar programında işlenmiştir. Web ortamında ulaşılabilen bu bilgisayar programları FaultKin versiyon 6.5.0 (Allmendinger, 2013) ve Win-Tensor versiyon 4.0.4 (Delvaux, 2012) dür. Buradan elde edilen verilerin sonuçlarına grafik ve yazım olarak makalede yer verilmiştir.



Şekil 1. A) İran'ın yer bulduru haritası, B) İran'ın ana yapısal zonlarını gösteren harita. Kalın siyah çizgiler Kuzey ve Güney Neotetis Okyanuslarını temsil eden kenet izlerini göstermektedir (Stocklin, 1968, Stocklin and Nabavi, 1973; Nabavi, 1976; Alavi, 1991'den uyarlanmıştır.) C) KB İran'ın DEM (Digital Elevation Model) görüntüsü üzerine yerleştirilmiş kaya birimlerinin yayılımı ve bazı önemli fayların görüldüğü jeolojik harita (Hessami et al., 2003; Solaymani Azad et al., 2011'den uyarlanmıştır). Kalın kesik çizgi bölgedeki ana zonları ayırt etmektedir.

Figure 1. A) Location map of Iran, B) Map showing structural zones of Iran. The solid black lines indicate suture zones implying North and South Neo-Tetyan oceans (modified from Stocklin, 1968, Stocklin and Nabavi, 1973; Nabavi, 1976; Alavi, 1991). C) Geological map of distribution of rock units and some main structures with relief map in NW Iran (geologic units modified from Hessami et al., 2003; Solaymani Azad et al., 2011). Solid dashed lines separate main zones in the region.

JEOLOJİ

Tektonik Çerçeve

İran, Alp-Himalaya kuşağının bir parçası olup farklı tektonik zonlardan oluşan karmaşık bir alandır (Şekil 1). Güncel depremler ve yarı aktif

volkanlar İran'ın jeodinamik açıdan aktif olduğunu göstermektedir. İran'ın jeolojisini kuzeyden güneye doğru 3 ana levha oluşturur. Bunlardan ilki Kuzey levha olarak tanımlanmakta olup Turan levhasının (Avrasya Levhası) güney kenarını temsil eder. İkincisi Orta levha olup Neo-Tetis'in kuzey ve güney kolları ile sınırlı Gondvana

levhasının kuzey kenarını oluşturur. Üçüncü levha, Güney levha olarak tanımlanmakta ve Arap levhasının bir parçasıdır. İran'daki bu üç levha pek çok zon ile karakterize olur. Buna göre Kuzey levha Kope Dağ ile Güney Hazar havzasını kapsar. Orta levha ise kuzeyden güneye Elborz-Azerbaycan zonu, Merkez İran zonu, Senendec-Sircan zonu, Lut Bloğu, Doğu İran zonu ve Mekran zonundan oluşur. Güney levha ise Zagros zonu ve Arap Platformu ile temsil olur (Stocklin, 1968; Nabavi and Seyed-Emami, 1977; Stämpfli, 1978; Berberian and King, 1981; Alavi, 1991; Aghanabati, 2004) (Şekil 1B).

Kope Dağ aktif bir bölge olup (Priestley et al., 1994; Jackson et al., 1995) İran'ın KD kesiminde 700 km uzunlukta, KB uzanımlı kıvrım ve bindirme kuşağıdır (Roustamovich, 1967; Trifonov, 1978). Altta Paleozoyik yaşlı temel kayalar ile bunları açısız uyumsuzlukla üzerleyen Jura-Miyosen yaşlı havza çökellerinden oluşur (Berberian and King, 1981). Kuşak bölgesel sıkışmaya bağlı güncel aktivitesini sürdürmektedir (Volvovsky et al., 1966; Trifonov, 1978; Lyberis and Manby, 1999).

Elborz zonu kavisli bir geometride kuzeyde Güney Hazar Havzası ve güneyde ise Merkez İran Bloğu ile sınırlanır. Doğuda Afganistan'daki Parapamisus Dağlarına kadar devam eder (Alavi, 1991). Zonun güney sınırı tartışmalı olup bu sınır Atari fayı (Alavi, 1972), Semnan fayı (Nabavi, 1976), Tebriz fayı (Alavi, 1991) ve Garmsar fayı (Berberian, 1997) olarak yorumlanır. Zon, Paleotetis kenet zonunun meta-ofiyolitleri ve derin deniz çökelleri ile karakterize olur. Zonun doğu kesiminde ise bu birimleri Orta Jura-Günümüz yaşlı karbonat, molas türü sin-orojenik kumtaşı, şeyl ve konglomera birimleri örter (Afshar-Harb, 1970; Alavi, 1977 and 1991; Madani, 1977; Zonenshain and LePichon, 1986).

Merkez İran Zonu, İran platosunun ana bileşenini oluşturur. Zon içerisinde Prekambriyen'den günümüze kadar sedimanter, metamorfik ve magmatik kayaların farklı ve geniş fasiyelerini temsil eden litolojiler yer alır. Stocklin (1968)'e göre Merkez İran zonundaki kıvrımlanmalar Alpin orojenezi ile ilişkilidir. Zonun Triyas'dan günümüze kadar saat yönü tersine döndüğü öngörülür (Schmidt and Soffel, 1983; Şengör, 1990). Zon

boyunca bulunan volkanik oluşumlar Urmiya-Dokhtar kuşağı olarak adlanır. Kuşağın uzunluğu 1700 km ve genişliği ise 100 km olup Zagros bindirme zonuna paralel yayılım gösterir. Kuşak boyunca volkanik aktivite Kretase'den başlamış ve Eosen'de en şiddetli dönemini yaşamıştır.

Diğer bir zon olan Senendec-Sircan zonu 1200 km uzunlukta, kuzeydoğuda Merkez İran ve güneybatıdaki Zagros zonları arasında yer alır. Zon, Geç Kretase'de Neotetis'in kapanması ve Arap ve İran levhalarının çarpışması sonucu oluşmuştur (Mohajjel, 1997). Senendec-Sircan zonu Paleozoyik yaşlı birimler egemen olmak üzere Mesozoyik yaşlı kalın magmatik istiflerden oluşur. Taban kesiminde Prekambriyen yaşlı metamorfik kayalar yer alır. Permiyen sonrası litoloji özellikleri Merkez İran zonunun birimleri ile deneştirilir.

Lut Bloğu, Merkez İran zonunun doğu kesiminde yer alır. Blok yapısal açıdan Merkez İran zonuna benzer özelliktedir. Geç Kimmeriyen orojenezinin (Triyas) etkileri belirgin olarak gözlenir (Stocklin and Nabavi, 1973).

Yığışım kaması olan Mekran zonu dünyanın en geniş yığışım karmaşıklarından biridir. Zon, Arap ve Avrasya levhalarının yaklaşan kenarlarında Senozoyik süresince gelişmiştir. Doğrultusu boyunca 1000 km uzanımına sahiptir. Bu zonun gelişimi Himalaya orojenezi ile yaşıttır (Harms et al., 1984; Kopp et al., 2000). Zonun ilk gelişim evresi Geç Oligosen-Orta Miyosen yaşlı türbidit çökelleri ile temsil olur (Harms et al., 1984; Garzanti et al., 1996). Geç Miyosen-Orta Pleyistosen'de bu çökeller İran levhası altına sürüklenmiştir (Platt et al., 1985). Orta Pleyistosen'den bu yana Mekran zonunda, sahil kesimi yükselme ve normal faylanma etkisindedir. Buna karşın deniz kesiminde yığışım hala sürmektedir (Harms et al., 1984).

İran'ın en doğu kesiminde yer alan Doğu İran zonu, 800 km uzunluğa ve 200 km genişliğe sahiptir. Zonun taban litolojisini ofiyolitik kayalar oluşturur. Üzerinde ise filiş çökelleri yer alır (Samani and Ashtari, 1992). Bölge yaygın bindirme ve kıvrımlara sahiptir. Doğu İran zonu, İran'ın diğer kesimlerinden farklı olarak Hint levhasının kuzey ve kuzeybatıya hareketi sonucu gelişmiştir (Darvishzadeh, 1991).

Zagros zonu karmaşık deformasyon işlevlerinin ürünü olup, gelişimine Geç Kretase'den itibaren başlamıştır (Darvishzadeh, 1991). Deformasyon yapılarının oluşumu Arap levhasının İran levhasıyla çarpışması sonucudur. Kızıl Deniz'in açılması ile de Pliyosen döneminde deformasyon oranı artış gösterir (Sattarzadeh et al., 2002). Zagros zonu iki ana yapısal birimden oluşur. Bunlar, Kıvrımlanmış Zagros ve Yüksek Zagros dur. Kıvrımlanmış Zagros kesimi genel olarak binlerce metre kalınlıkta denizel çökellerden oluşmuştur. Bu çökeller Üst Miyosen-Alt Pliyosen ve Pleyistosen zamanlarında kıvrımlanmaya ve yükselmeye başlar ve Zagros kıvrım kuşağını meydana getirir (Allen et al., 2004). Zagros zonunun Yüksek Zagros kesimi özellikle literatürde Zagros çarpışma zonu veya Zagros bindirme zonu olarak da tanımlanır (Stocklin, 1968). Zonun genişliği 10 km ile 65 km arasında değişmektedir. Yaygın sedimentasyon ve magma gelişimi söz konusudur. Zon boyunca çarpışma ve bindirme-kıvrımlanma süreçleri İran levhasının hızla yükselmesine ve Urmiya-Dokhter magmatik kuşağı boyunca magmatik-volkanik etkinliklerin oluşumuna sebep olmuştur (Stocklin, 1968; Alavi, 1994). Arap Platformu veya Huzestan Ovası tamamen tortul kayalardan oluşmuştur. Bölgede yaşlı birimlerin bu tortul birimler tarafından örtülmesinin yanısıra petrol sondaj verileri ve jeofizik çalışmalar alanda Paleozoyik-Günümüz birimlerinin olduğunu ortaya koyar. Huzestan Ovası yapısal açıdan sade olup K-G eksen yönelimli kıvrımlanma gösterir. Bölgenin Zagros zonu ile olan sınırı belirgin değildir (Darvishzadeh, 1991).

İnceleme Alanı ve Çevresinin Jeolojisi

İnceleme alanının da içinde bulunduğu Batı Elborz-Azerbaycan bölgesi İran'ın diğer kesimlerine göre daha karmaşık jeolojik özelliklere sahiptir (Şekil 1C). Özellikle Kretase ve sonrası dönemlerde bölge genişlemeli ve sıkışmalı tektonik evrelerin etkisinde kalmıştır. Bu evrelerin her birisi yaygın volkanizmalarla temsil olur. Bölgedeki yaygın ve şiddetli volkanizma gelişimi Eosen dönemindedir. Volkanizma, bölgenin genişleme/gerilme rejimi ile ilişkilidir (Emami et al., 1993). Alt Oligosen, Miyo-Pliyosen ve Pliyo-Pleyistosen dönemleri intrüzif kayaların yerleşmesi ve bölgenin karasallaştığı dönemleridir.

Bozkuş Dağları, bölgenin önemli morfolojik kuşağıdır (Şekil 1C). İnceleme alanı Bozkuş Dağları'nın kuzey kesiminde yer alır. Bozkuş Dağları'nın en yaşlı litolojisini Kambriyen birimleri oluşturur. İran jeolojisi içerisinde Kambriyen yaşlı bu birimler Barut formasyonu (şeyl, koyu renkli kumtaşı ve sarı, gri renkli çörtlü dolomit) ve Lalun formasyonu (kumtaşı) olarak adlanır. Formasyonlar bölgede Permiyen yaşlı birimlerce uyumsuz olarak örtülür. Birim alt kesimlerde konglomera, kumtaşlarından oluşur. Üstte Sakmariyen (Erken Permiyen) yaşlı koyu renkli bol fosilli kireçtaşları yer alır (Ruteh formasyonu) (Emami et al., 1993). Bu kireçtaşları üstte Orta-Geç Permiyen yaşlı dolomitlere geçer. Bozkuş Dağlarının orta kesimlerinde Permiyen yaşlı kireçtaşlarına volkanik kayalar (tüfit, diyabaz lavlar, andezit) da eşlik eder. Bölgede Permiyen yaşlı birimler, Geç Kretase yaşlı birimlerce uyumsuz olarak örtülür. Bu birimler altta kireçtaşı, şeyl, kumlu kireçtaşı, dolomitli kireçtaşı ve kumtaşları ile üst kesimlerde ise marnlı kireçtaşı ve kireçtaşları ile temsil olur (Emami et al., 1993). Üst kesimlerde ise Bozkuş Dağları'nın egemen litolojisini oluşturan Eosen yaşlı birimler uyumsuz olarak yer alır.

İnceleme alanının en yaşlı litolojisini oluşturan Eosen yaşlı birimler altta marn ve kumtaşlarıyla başlar. İnceleme alanı dışında Kretase yaşlı birimler ile yaptığı açısal uyumsuz dokanağı belirgindir. Bu açısal uyumsuzluğa neden olan tektonik rejim, İran'ın genelinde Laramid orojenezine atfedilir. Laramid orojenezisi bölgede sıkışmalı rejim ve kayaların kıvrımlanması ile temsil olur. Ardından gelişen gerilmeli/genişlemeli evre bölgede yaygın kırılanmalar, yaygın magma sokuşumu ve volkanizma gelişimine sebep olmuştur. Alkalen karakterdeki volkanizma genelde denizel ortamda meydana gelmiş ve andezit, bazaltik andezit, traki-andezit, latit, asidik tüf, ignimbirit, riyolit, tüfit ve kumlu tüfit türü kayaları oluşturmuştur. Bölgede volkanizma faaliyetleri Erken Miyosen dönemine kadar devam etmiştir. Eosen ve Oligosen dönemindeki magma sokuşumu ise granitik ve siyenitik kütleler ile temsil olur (Emami et al., 1993).

Sonraki dönem de genelde karasal ortam koşulları egemen olmuştur. Sedimentasyon önemli ölçekte karasal ortamda meydana gelmiş ve

sedimanter havzaların denizlerle irtibatı sınırlanmıştır. Bölgede Oligo-Miyosen sedimantasyonu konglomera, marn, şeyl, kumtaşı ve kireçtaşı bileşenli olarak farklı kalınlıklarda birbirinden ayrı havzalarda çökelmişlerdir. Bu birimler arazide açısız uyumsuzlukla Eosen ve Oligosen yaşlı birimlerin üzerinde yer alır. Bozkuş Dağları'nın yükselmesi muhtemelen Miyo-Pliyosen dönemindedir. Bölgedeki havza çökelleri Miyosen ve Pliyo-Pleyistosen dönemlerinde kıvrımlanmıştır. Kuvaterner yaşlı çökeller önceki birimleri uyumsuzlukla örter.

KUZAY BOZKUŞ FAY ZONU

KBFZ, TFZ'nin güneydoğusunda yer alan ve Bozkuş Dağları'nın kuzeyini sınırlayan fay zonedir. Zon yaklaşık D-B doğrultulu ve onlarca km uzanımına sahiptir. Fay zonu batı kesimde Paleojen yaşlı birimlerin Miyosen yaşlı birimler üzerine ve doğu kesimde ise Paleojen yaşlı birimlerin Kuvaterner yaşlı birimlerin üzerine itilmesi sonucu morfo-tektonik yapıların gelişimi ile temsil olur (Şekil 2, 3). İnceleme alanı içerisinde zonun en yaşlı birimini Eosen yaşlı volkanitler, fosilli marn ve kumtaşları oluşturur. Oligosen yaşlı magmatik kayalar ile Miyosen yaşlı sedimanter kayalar (şeyl, kumtaşı ve konglomera) diğer litolojilerdir. Bölgedeki kayaların en gencini ise Pliyosen yaşlı konglomera, marn, kumtaşı ve Kuvaterner yaşlı alüvyal çökeller oluşturur (Şekil 2C).

KBFZ literatürde ters fay olarak tanımlanır (Karami and Rajaei, 2005; Abdollahi et al., 2012). Ancak arazi gözlemlerimiz, zonun tek bir faylanma ile gelişmediğini ortaya koyar. Zon birbirine paralel veya verrev pek çok faylanmayı kapsar. Bu kapsamda zon içerisinde faylanmanın tipik olduğu beş bölge inceleme alanı seçilerek haritalanmıştır. (Şekil 2). Bu bölgeler batıdan doğuya doğru Şerbiyan bölgesi, Danbaran bölgesi, Anakız bölgesi, Damencan bölgesi ve Abgerm bölgesidir (Şekil 2).

Şerbiyan Bölgesi

Bu kesimdeki fay zonu yaklaşık 6 km uzunluğa ve 2 km genişliğe sahiptir (Şekil 3A). Zonu temsil eden ana fay K75°D/40°GD durumlu olarak ölçülmüştür. Alanda yer alan en yaşlı kayalar

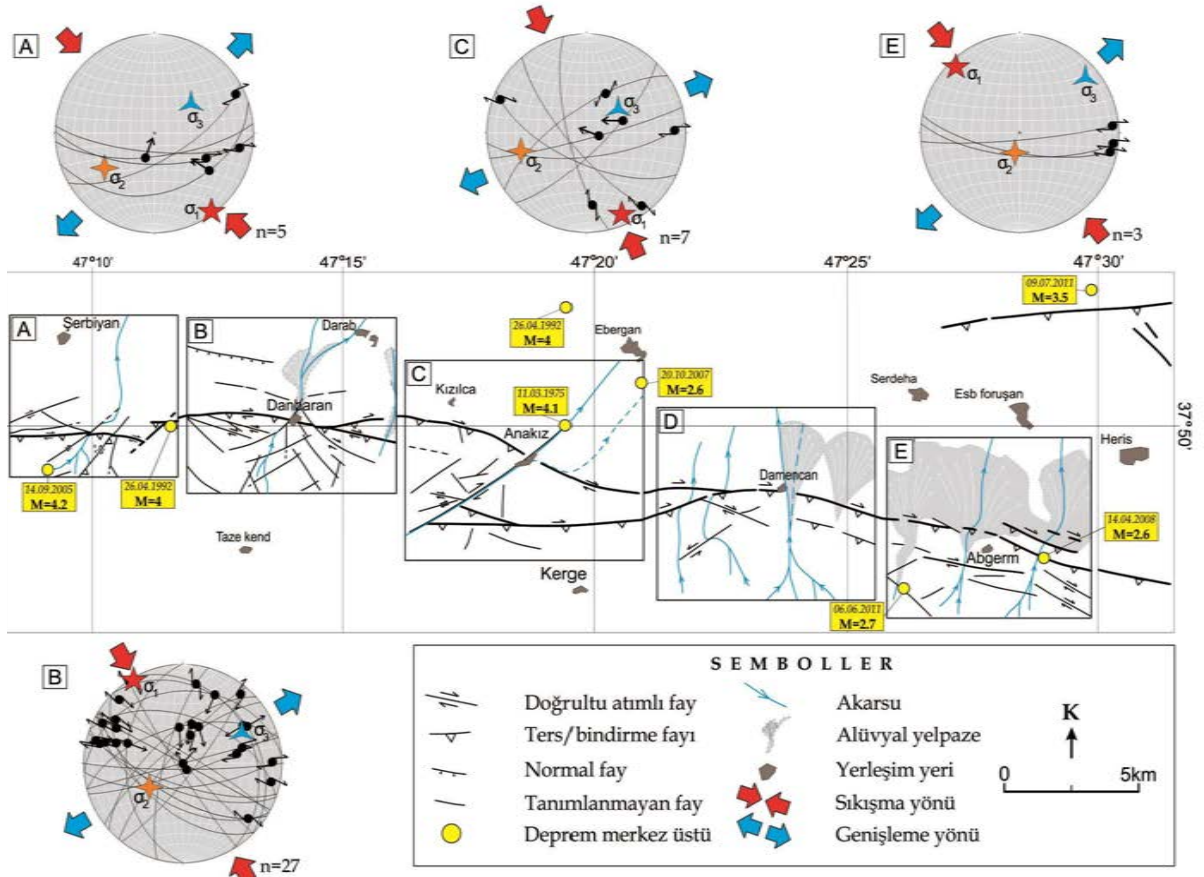
Orta Eosen yaşlı tüfit, bazaltik andezit ve fosilli kireçtaşlarıdır. Yaygın yüzeylemeleri bölgenin doğusunda gözlenir. Oligosen yaşlı kırmızı renkli konglomera ve marnlar bu birimleri örter. Miyosen yaşlı kireçtaşı, konglomera, kumtaşı ve asidik tüfler ile Kuvaterner yaşlı alüvyal çökeller bölgenin diğer litolojisidir (Şekil 2).

Bu kesimdeki fay zonu arazide tipik morfolojik ve yapısal özellikler sunar. Eosen yaşlı volkanik kayaların Miyosen yaşlı kırıntılı birimler üzerinde yer alması belirgin olup fay izi olarak yüzlerce metre takip edilmektedir (Şekil 3A, 4A). Faylanma genelde ters/oblik ters fay karakterindedir (Şekil 2B). Dere içlerinde faylanmayı temsil eden izin "V" şekilleri faylanmanın 60°-80° eğimlerde olduğunu ortaya koyar. Bu kesimdeki volkanik kayalarda fay yüzeyi gelişimi sınırlıdır; ancak faylanma boyunca yoğun kırıklanma ve ezilmeler belirgindir. Mezoskopik gözlemler zon içerisinde ters faylanmanın yanında doğrultu atımlı faylanmaların da gelişimini ortaya koyar. Zon içerisindeki fayların taban bloğunu temsil eden Miyosen yaşlı özellikle konglomera ve kumtaşı tabakaları yüksek açılar kazanmış ve kıvrımlanmıştır (Şekil 4A). Kıvrımlanma inceleme alanının kuzeyine doğru gidildikçe kaybolmakta ve tabakalar çok düşük eğim ve/veya yatay tabakalanma konumu sunarlar. Bu kesimdeki kıvrımlanma KD-GB gidişli olup bu durum zonun gelişimi ile uyumludur. Yakın zamandaki sismik veriler bölgede büyüklüleri 4 ve üzeri olan depremlerin varlığını ortaya koyar (Şekil 3).

Bu kesimde ölçülen fayların fay kayma analizi, ana stres eksenlerini σ_1 : 143°/04°, σ_2 : 236°/40°, σ_3 : 49°/50° olarak verir. Stres oranı (R) ise 0.43 olarak elde edilmiştir (Şekil 3A). Ana eksen durumları ve R değeri bu kesimde saf sıkışmalı rejimin varlığını ortaya koyar.

Danbaran Bölgesi

KBFZ bölge içerisinde yaklaşık D-B doğrultudadır (Şekil 3B). Fay zonunun bu kesimi Eosen yaşlı kayaların (fosilli kumtaşı, volkanit), Miyosen (şeyl, kumtaşı, konglomera) ve yersel Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimler üzerine itilmesi ile temsil olur (Şekil 2).



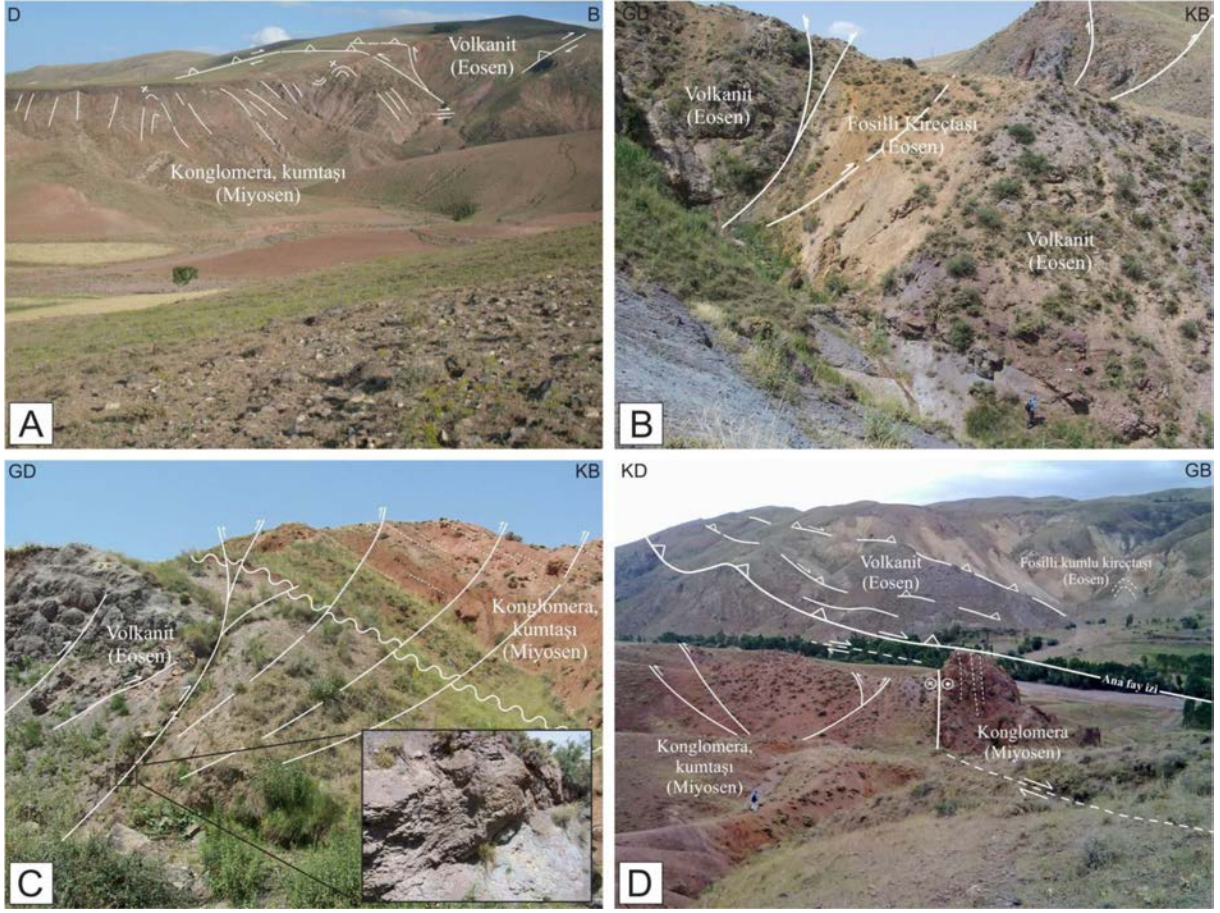
Şekil 3. KBFZ boyunca inceleme bölgelerinin morfo-tektonik haritası ve kayma düzlemi ölçüm ve yorumları. Deprem verileri yıldız ile belirtilmiştir; tespit edilen depremlere ait tarih ve büyüklük bilgileri ayrıca ilave edilmiştir. Eş-alan neti üzerindeki büyük daireler fay düzlemini, siyah renkli nokta ve oklar ise kayma çizgisini temsil etmektedir. σ_1 en büyük, σ_2 orta ve σ_3 en küçük ana stres eksenini belirtir. Kayma verileri faylar boyunca vev ters kaymayı temsil etmektedir. Büyük oklar ana sıkışma ve genişleme yönünü göstermektedir.

Figure 3. Morpho-tectonic map of study domains and slip-plane measurements and their orientations along the NBFZ. Stars indicate recorded earthquake data; some information about these earthquakes is also presented within the boxes. Great circles within the equal-area projection represent fault planes. Small points and arrows correspond to fault lineations. σ_1 , σ_2 and σ_3 indicate maximum, intermediate and minimum principal stresses, respectively. Striation data that indicate and oblique reverse slip along the faults. The large arrows are inferred direction of compression and extension.

Kırmızımsı renkli bu birimler kuzeye doğru bej renkli orta-ince tabakalı kumtaşı, konglomeratik kumtaşı, kumlu kireçtaşı birimlerine geçer. Miyosen birimleri daha kuzeyde daha gevşek dokulu Pliyo-Kuvaterner çökellere geçer. Bu çökellerin bir kısmı alüvyal yelpaze karakterindedir.

Danbaran bölgesi KBFZ'nin tipik alanlarından biridir. Eosen birimleri ile Miyosen birimleri arasındaki ana fay belirgin litoloji farklılığı nedeni ile kolayca takip edilmektedir. Ana fay bir fay

izi olarak takip edilmesine karşın fayın tavan ve taban bloğu faylanmaya bağlı karmaşık bir yapı sergiler (Şekil 2B, 4B, 4D). Bu yapılar değişen boyutlarda faylar, kırıklar, yüksek açılı tabakalar ve kıvrımlardır. Ana fay izine göre tavan bloğu oluşturan Eosen yaşlı birimlerde yaygın kıvrımlanma ve ters fay faylar görülmektedir (Şekil 3); bazı kesimlerde fay düzlemi dönerek geriye yatık bir konum alır (Şekil 4B). Faylanmanın Miyosen birimleri ile olan dokanaklarında



Şekil 4. İnceleme bölgelerinde KBFZ'nin arazi görünüşleri. A) Şerbiyan bölgesinde Eosen yaşlı birimlerin Miyosen yaşlı birimler üzerine itilmesi sonucu oluşan yapılar. B) Danbaran bölgesinde Eosen yaşlı birimlerde gelişen faylanma. C) Danbaran bölgesinde Eosen ve Miyosen yaşlı birimler arasındaki depolanmalı dokanak (uyumsuz) ilişkisi ve bunu kesen faylanmalar. Küçük resim buradaki faylanmadan yakın görünümü göstermektedir. D) Danbaran bölgesinde arazide ters ve doğrultu atımlı fayların genel görünümü.

Figure 4. Field photos of NBFZ A) Structures formed by thrusting Eocene units over Miocene units in the Şerbiyan region. B) Faulting within Eocene units in the Danbaran region. C) Depositional contacts (non-conformity) between Eocene and Miocene units and faulting. Inset figure displays close-up of fault. D) General field view of reverse and strike-slip faults in the Danbaran region.

konglomera/kumtaşı tabakaları, yüksek açılarda dikleşmiş tabaka ve devrik tabaka konumu sunar. Bu kesimlerde Miyosen birimlerinde de küçük ters bileşenli faylar olağandır. Faylar kısa mesafelerde ana fay izine vev sönümlenebildiği gibi ana fay izine paralel uzanımlarda sunabilmektedir (Şekil 4D). Arazide ters faylar ile doğrultu atımlı fayların ilişkileri pek çok yerde izlenebilmektedir (Şekil 4B, 4D).

Danbaran bölgesinde Eosen ve Miyosen birimlerinde gelişmiş çok sayıda (27 adet) kayma düzlemi ve kayma çizdiği ölçülmüştür. Hesaplamalar faylanmanın σ_1 : 332°/03°, σ_2 : 240°/56°,

σ_3 : 33°/62° ana stres yönelimleri ile geliştiğini ortaya koyar. Belirlenen R değeri 0.22 dir (Şekil 3B). Bu veriler Danbaran bölgesinde yanal sıkışmalı (transpresif) rejimden saf makaslama rejime doğru tektonik gelişimi ortaya koyar.

Anakız Bölgesi

KBFZ'nin iyi izlendiği diğer kesim Anakız köyü civarıdır. Zon yaklaşık 6 km uzunlukta 3 km genişliğe sahiptir (Şekil 2). K84°D/70°GD durumlu ana fay Eosen yaşlı birimler ile Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökel kayalar arasında yer alır. İnceleme alanında Eosen yaşlı birimlerin yaygın litolojisini

volkanik kayalar oluşturur. Yersel fosilli kireçtaşı mostrası da gözlenir. Değişen renk ve dokusal özellikteki andezitler bölgenin egemen volkanik kayasıdır. Trakiandezit, diyabaz, bazalt ve tüfit bölgedeki diğer volkanik kaya türleridir.

İnceleme alanının diğer litolojisini oluşturan Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökeller Anakız köyünün kuzey ve doğu kesiminde bulunur ve egemen olarak gevşek sedimanlar ile temsil olurlar.

Zon boyunca Eosen yaşlı birimlerin Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimler üzerine ters/oblik eğim atımlı ters faylarla itilmesi ve bunların doğrultu atımlı faylar ile ilişkileri morfolojik olarak belirlenmiştir (Şekil 3C, 5B). Ters faylar yaklaşık D-B doğrultuludur. Volkanik kayalar içerisinde yersel ters/oblik eğim atımlı ters faylar ve kayma düzlemleri gözlenir. Volkanitler içerisinde bu faylara bağlı KD ve KB doğrultulu yaygın sistematik kırıklar gözlenir. Bölgedeki zon içerisinde önemli yapısal unsurlardan biri de yaygın damar gelişimleridir. Kalsit dolgulu bu damarlar KB-GD ve D-B doğrultulara sahiptirler. Sismik kayıtlar bu faylara bağlı son 30 yıl içinde küçük ölçekli de olsa depremlerin gelişimini belirtir (Şekil 3C).

Anakız bölgesinde Eosen ve Kuvaterner yaşlı birimleri etkileyen yedi kayma düzlemi ve kayma çizimi ölçümlerinde ana stres eksen durumları σ_1 : 156°/11°, σ_2 : 254°/32°, σ_3 : 55°/49° ve 0.4 R değeri elde edilmiştir (Şekil 3C). Bu sonuçlar Anakız bölgesinde saf sıkışmalı rejime işaret eder.

Damencan Bölgesi

Zonun gelişiminin iyi izlendiği yerlerden biri de Damencan köyü civarıdır (Şekil 2, 3D). BKB-DGD doğrultusu ile yay geometrisi sunan zon yaklaşık 6 km uzunluğa ve 2 km genişliğe sahiptir. Bu kesimin jeolojisini Eosen yaşlı volkanitler ile Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökel kayalar oluşturur. Ayrıca Oligosen yaşlı küçük intrüfiz kütleler ile lokal Miyosen yaşlı kumtaşı, konglomera birimleri de yer alır. Volkanik kayalar andezit, bazaltik andezit ve bazalt türündedir. Kuvaterner yaşlı çökeller alüvyon ve alüvyal yelpaze çökelleri ile temsil olurlar. Zon alanı içerisinde iki büyük alüvyal yelpaze gelişimi tipik morfolojisi ile belirgindir (Şekil 3D).

KBFZ, bölgede Eosen yaşlı volkanitlerin Pliyo-Kuvaterner yaşlı gevşek çökellerin üzerine itilmesi ile temsil olur. Volkanik kayalarda yoğun kırıklanma ve gevrek makaslama zonları gözlenir. İnceleme alanı içerisinde faylanmaya ilişkin en dikkat çekici durum Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimlerde gelişen yapısal özelliklerdir. Şekil 5C'de görüleceği üzere Damencan köyü doğusunda göreceli olarak daha yaşlı çökeller oldukça genç gevşek çökeller üzerine itilmesi ile gevşek sedimanları örseleyip kıvrımlandırmıştır. Bu kesimdeki fay düzlemi K78°D/70°GD konumlu olarak ölçülmüştür. Faylanma etkilerinin Kuvaterner yaşlı birimlerde görülmesi bölgedeki fayların aktif olduğunu ortaya koyar. Geniş alanlarda alüvyal yelpaze gelişimi ve dere yataklarının sağ yanal ötelenmesi belirgindir (Şekil 3D). Dahası oldukça genç olan alüvyon yelpazeler bölgede en son meydana gelen faylanmaların izlerini taşımaktadır. Bu durum bu kesimdeki faylanmaların bir kısmının alüvyal yelpaze çökeliminden sonrada geliştiğini ortaya koyar. Damencan bölgesinde fay yüzeyleri korunamadığı için fay kinematiğine yönelik analiz yapılamamıştır.

Abgerm Bölgesi

KBFZ üzerindeki son inceleme alanımız Abgerm bölgesidir. Bu zonu BKB ve DGD doğrultulu faylar oluşturur; yaklaşık 6 km uzunluğa sahiptir. Bölgenin litolojisini Eosen yaşlı volkanik birimler, Oligosen yaşlı intrüfiz kayalar ve Kuvaterner yaşlı çökeller oluşturur. Volkanik kayalar andezitler ile temsil olur. İntrüfiz kayalar genellikle granitoid türünde olup inceleme alanın yaygın kayasıdır. Dokusal ve mineralojik belirgin farklılıklar oluşturan mostralalar halindedir. Kesme-kesilme ilişkili olmaları göreceli olarak farklı fazlarda geliştiğini ortaya koyar. Kuvaterner yaşlı birimler alüvyal yelpaze çökelleri ve alüvyon ile temsil olur. Bölgenin morfoloji özelliği geniş alüvyal yelpaze oluşumu hızlı bir yükselimin varlığına işaret etmektedir. Yelpaze çökelleri blok boyutundan kum boyutuna kadar değişmektedir. Yersel pekişmiş özelliktedir. Fayın kestiği kesimlerde sıcak su çıkışları ve traverten oluşumları bulunur.

Morfolojik belirteçler (alüvyon yelpaze gelişimleri, sıcak su çıkışları ve traverten oluşumları, dere yataklarının ötelenmesi) dışında

granitoidlerdeki yaygın kırıklanmalar (Şekil 5D), gevrek makaslama zonlarının gelişimi ve yersel kayma yüzey gelişimleri gibi jeolojik belirteçler bölgede gözlenen tipik özelliklerdir (Şekil 3E). Ölçülebilen kayma yüzeylerinin doğrultusu D-B bazı alanlarda ise BKB ve DKD doğrultulardadır. Bazı fay zonlarında tipik fay kayaları (breşler, gauç) izlenir. Zon içerisindeki aktif faylar diğer bölgelerde olduğu gibi deprem üretme potansiyeli taşırlar (Şekil 2E, 3).

Abgerm bölgesinde Oligosen ve Kuvaterner yaşlı birimleri etkileyen üç tipik kayma yüzeyindeki veriler kullanılmıştır. Veriler KBFZ'nin bu kesiminde ana stres eksenlerinin yönelimini σ_1 : 317°/09°, σ_2 : 74°/191°, σ_3 : 49°/13° olarak ortaya koymaktadır (Şekil 3E). R değerinin 0.5 olduğu bu kesimde saf makaslama tektonik rejim etkindir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

KB İran'ın Sismik Etkinliği

İran'ın kuzey batısı, Türkiye'nin doğusu ve Kafkaslar, Arap-Avrasya levhalarının çarpışmasının en ilgi çekici alanlarıdır (Şekil 6). Kıta-kıta çarpışma ve kıta içi deformasyon alanını temsil eden bu bölge batı Asya'nın en yüksek kesimidir. Türk-İran platosu olarak da adlandırılan bölge ortalama 2 km yüksekliğe sahiptir.

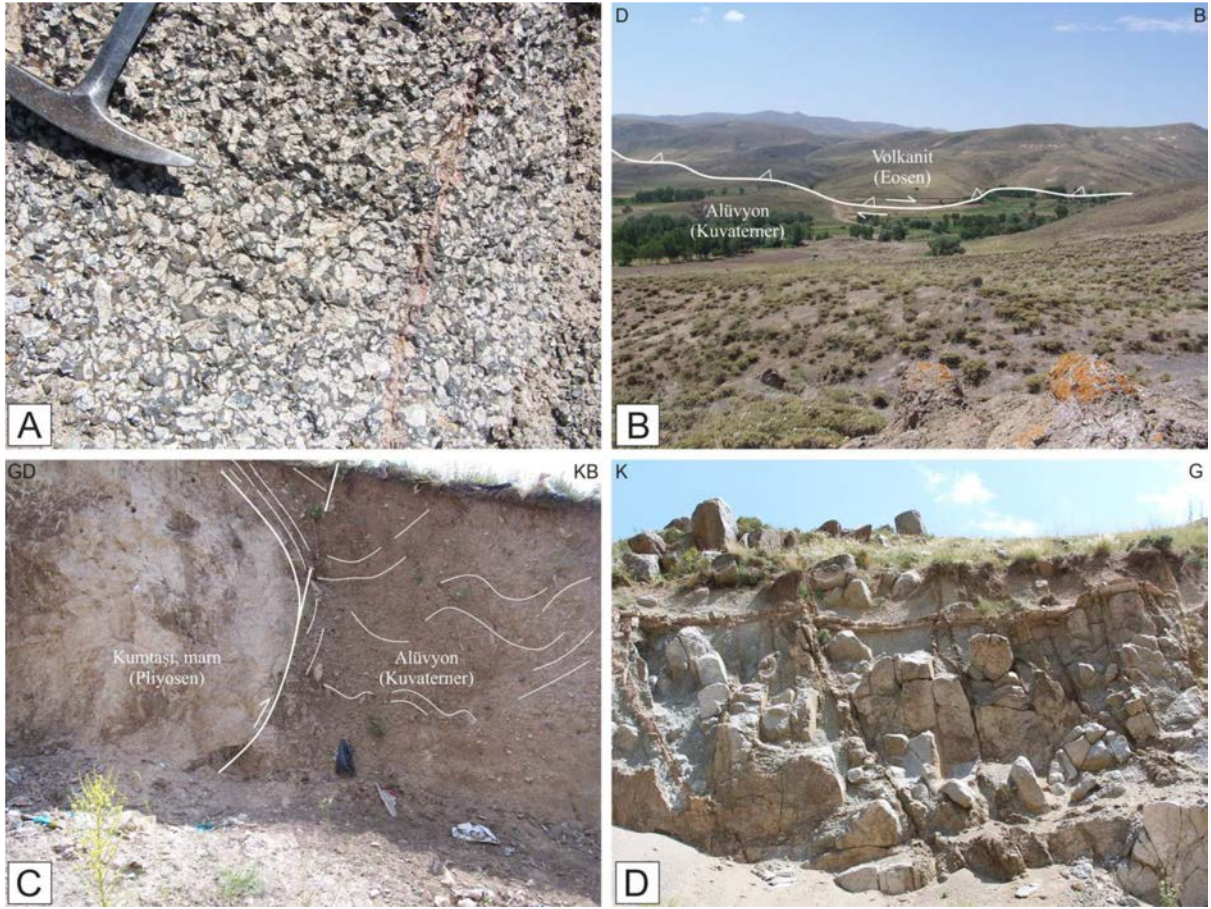
Bu yükselim Geç Kretase - Erken Tersiyer döneminde kıta parçalarının Avrasya'nın güney sınırlarıyla birleşmesi sonucunda meydana gelmiştir (Şengör, 1990). Tartışmalı olmakla birlikte kıta içi tektonik gelişimin başlangıç yaşı olarak yaklaşık 12 My öngörülür (McQuarrie et al., 2003). Bölgenin volkanizma aktivitesi 8-6 My'dan beri devam etmektedir (Innocenti et al., 1976; Pearce et al., 1990). Bölgede Arap-Avrasya levhalarının yakınsama yönü kuzeye doğrudur. Günümüz GPS verileri bu yaklaşma oranını yaklaşık 17 mm/yıl olarak belirtir (Reilinger et al., 2006). McQuarrie et al. (2003)'e göre ise bu oran 11 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Sismik aktivite bölgedeki ana faylar üzerinde yer alır. Bölge birbirine yarı paralel ters/bindirme fayları ve doğrultu atımlı faylar ile karakterize olmaktadır (Şekil 6). Kafkaslardaki KB-GD yönelimli ters/bindirme fayları KD-GB yönelimli σ_1 stresi,

Türk-İran platosunda yer alan doğrultu atımlı fay zonları (örn. TFZ, Çaldıran Fayı) ise KB-GD yönelimli σ_1 stresi ile ilişkilendirilir (Djamur et al., 2011). Sayısal modelleme çalışmaları bölgedeki gerilmenin/genişlemenin sadece Arap-Avrasya levhalarının çarpışması sonucu olmadığı yönündedir. Hazar Denizi'nin de içinde bulunduğu levhanın İran'ın kuzeybatısı altına dalması bölgenin sismik aktivitesini etkilemektedir (Djamur et al., 2011).

GPS çalışmaları bölgedeki önemli fay zonlarından TFZ'nin yaklaşık 8 mm/yıl sağ yanal hareket ettiğini göstermektedir (Nilforushan et al., 2003; Vernant et al., 2004; Masson et al., 2006; Masson et al., 2007). Bu hız bölgedeki tarihsel sismik aktivite ile uyumludur (Berberian and Yeats, 1999). TFZ'nin KD-GB yönelimli genişleme hareketine karşı Kafkaslarda bu doğrultuda yılda 10 mm'lik bir sıkışma mevcuttur (Masson et al., 2006). Buna karşın Copley and Jackson (2006) ise Türk-İran platosu ve Merkez İran bloğu arasında D-B yönelimli bir gerilme/genişleme önerir.

Güney Hazar havzasının sismik olarak duran olması beklenirken sismik olarak en aktif kesimler arasındadır (Priestley et al., 1994). Deprem odak mekanizması çözümlerine göre bölge kuzey kesiminde Merkez Hazar boyunca, batı kesiminde ise Taleş Bloğunun altına dalmaktadır (Jackson et al., 2002).

İran'ın kuzeybatısında yer alan doğrultu atımlı faylar ile Türkiye'nin doğusundaki başta Kuzey Anadolu Fayı olmak üzere diğer fayların birbirlerinin devamı olduğu tartışma konusudur (Westaway, 1990, 1994; Jackson, 1992). Türkiye'nin doğusundaki ve İran'ın kuzey batısındaki sağ yanal doğrultu atımlı faylanmalar arasında belirgin bir devamlılık gözlenmemekle birlikte kökensele ilişkili olabileceği yorumu yapılır. Sismik olarak aktif bu faylar yıkıcı hasarlara neden olan tarihsel depremlere ev sahipliği yapmıştır. Örneğin 1780 (Tebriz depremi, $M_s=7.4$), 1930 (Selmas Depremi, $M_s=7.2$) ve 1976 (Çaldıran Depremi, $M_s=7.3$) depremleri bu faylar ile ilişkili olmuştur (Mckenzie, 1972; Jackson and Mckenzie, 1984; Westaway, 1990; Jackson, 1992). TFZ son 200 yıl içerisinde büyük deprem üretmemekle birlikte tarihsel çok sayıda yıkıcı depreme neden olmuştur (Örn. 858, 1042,



Şekil 5. KBFZ'nin arazi görünüşleri. A) Anakız bölgesinde andezit porfir kayasının yakın arazi görünüşü. Porfirik dokuyu beyaz renkli plajiyoklas mineralleri oluşturmaktadır. B) Anakız bölgesinde Eosen yaşlı volkanik kayaların Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimler ile faylı ilişkisinin genel görünüşü. C) Demancan bölgesinde Pliyosen yaşlı birimler ile Kuvaterner çökeller arasındaki faylı ilişkinin yakın görünüşü. D) Abgerm bölgesinde yüzeyleyen granitoid ve bu granitoidlerdeki makaslama kırıklarının yakın görünüşü.

Figure 5. Field photos of NBFZ. A) Close-up view of andesite porphyry in the Anakiz region. Note that porphyritic structure is characterized by white plagioclase minerals B) General view of fault contact between Eocene volcanic rocks and Plio-Quaternary units in the Anakiz region. C) Close-up view of fault contact between Pliocene and Quaternary units in Damencan region. D) Close-up view of fractures in granitoids in the Abgerm region.

1273, 1304, 1550, 1641, 1717, 1721, 1780 ve 1786 depremleri) (Ambraseys and Melville, 1982; Berberian and Yeats, 1999). Bunlardan 1721 ve 1780 depremleri 50-60 km yüzey kırığı oluşturmuştur (Ambraseys and Melville, 1982). 1976 Çaldıran depreminin oluşturduğu yüzey kırığı ile TFZ'nin aynı sistem içerisinde geliştiği düşünülür.

Bozkuş Fay Zonunun Sismik Aktivitesi

Tarihsel kayıtlara göre görüşler Bozkuş Fay Zonlarının en az üç büyük deprem oluşturduğu

yönündedir. Bu depremlerden iki tanesi (1883: $M_s=6.2$, 1593: $M_s=6.1$) inceleme alanı olan KBFZ'de meydana gelmiştir. 1879 ($M_s=6.7$) depremi ise GBFZ üzerindedir (Berberian and Yeats, 1999) (Şekil 6). 1996'den günümüze kadar meydana gelen $M>2$ deprem verileri Bozkuş Dağları'nda çok sayıda depremin meydana geldiğini ortaya koyar. Bu depremler genel olarak Bozkuş Dağları'nın kuzey ve kuzeybatı kesimlerinde yoğunlaşma gösterir. Danbaran ve Şerbiyan bölgeleri depremlerin yoğunlaştığı alanlardır. Danbaran köyü sakinleri ile yapılan

sözlü görüşmeler muhtemelen 1593 depremiyle yıkılan köyün tekrar inşa edildiği ve her yıl deprem sarsıntılarını hissettikleri yönündedir.

Bozkuş Fay Zonunun Tebriz Fay Zonu ile İlişkisi

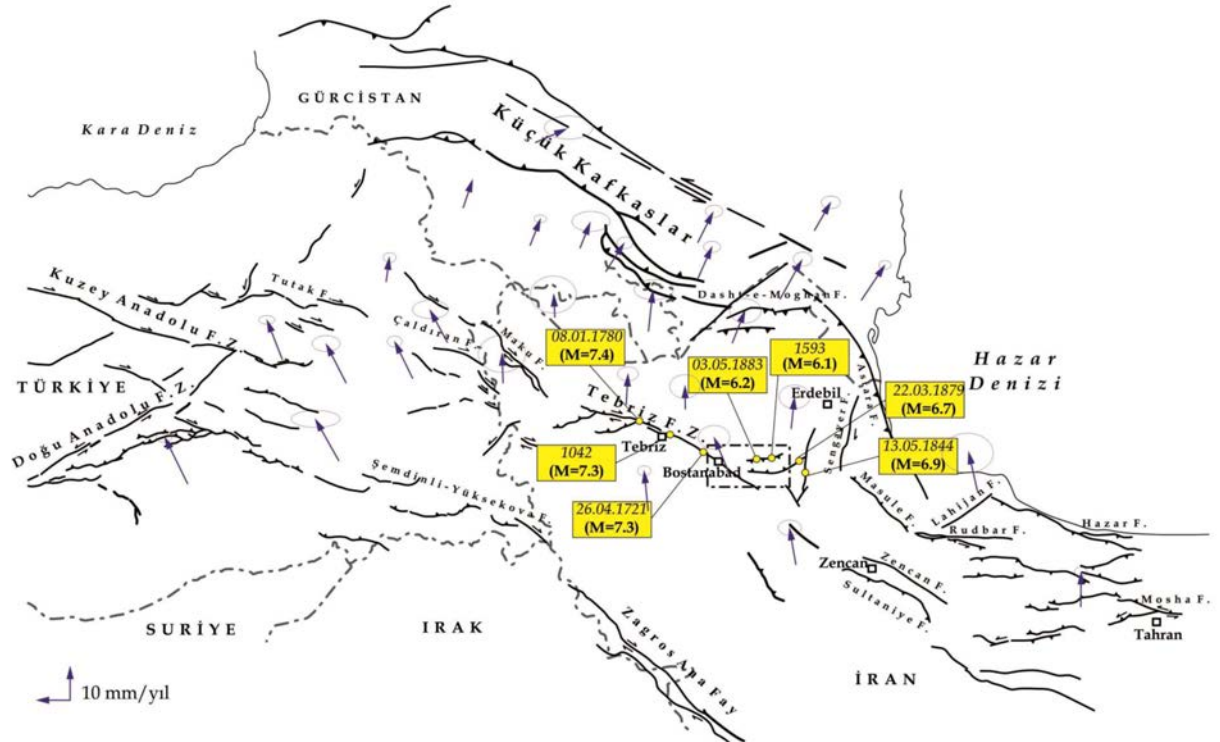
KBFZ, TFZ'nin güney doğusunda yer almaktadır. TFZ'nin güneydeki devamı için üç farklı görüş öne sürülür. Buna göre Tebriz Fayı, 1) Bozkuş Dağlarının güneyinde yer alan Miyane havzasından geçmektedir, 2) Bozkuş Dağlarının güney eteğinde yer alan GBFZ ile birleşerek devam etmektedir ve 3) Bozkuş Dağlarının kuzey kesiminde yer alan KBFZ ile birleşerek devam etmektedir (Djamur et al., 2011) (Şekil 1).

TFZ ile KBFZ arasındaki olası ilişkiyi anlamak için Bostanabad şehri civarlarında bazı gözlemler

gerçekleştirilmiştir (Şekil 1C). Bu kesim KB-GD yönelimli sağ yanal doğrultu atımlı fay karakterindeki TFZ ile yaklaşık D-B doğrultulu KBFZ'nin birleştiği kesimdir (Şekil 1C). Arazi çalışmaları ve uydu görüntülerinden elde edilen morfolojik veriler KBFZ ile TFZ arasında kökensel bir ilişkinin varlığına işaret etmektedir. Uydu görüntülerinde sırtların genç litolojilerde morfo-tektonik etkileri (faylanmalar, kıvrımlanmalar, basınç sırtları, çöküntü gölleri) ve fay zonundaki sismik devamlılık TFZ ile Bozkuş Fay Zonları'nın aynı sistem içerisinde yer aldığını ortaya koymaktadır (Işık et al., 2012; Işık vd., 2013).

Bozkuş Fay Zonunun Bölgesel Önemi

KBFZ onlarca kilometre uzunluğa ve kilometrelerce genişliğe sahiptir. Zon, GBFZ ile birlikte



Şekil 6. Doğu Türkiye, Kafkaslar ve KB İran'da gelişmiş bazı ana fayları belirten yapısal harita (Şaroğlu vd., 1992; Hessami et al., 2003). Oklar Avrasya kıtası sabit kabul edilerek elde edilmiş GPS hız ve yön verisini temsil etmektedir. TFZ ve Bozkuş Fay Zonlarındaki tarihsel bazı deprem yerleri ve bilgileri harita üzerine işlenmiştir (Berberian and Yeats 1999; Hessami et al., 2003; Djamour et al., 2011).

Figure 6. Simplified structural map showing some main faults in East Turkey, Caucasus and NW Iran (Şaroğlu et al., 1992; Hessami et al., 2003). Arrows indicate GPS data that Eurasia plate is stable with respect to Arabian plate. Some historical earthquakes along the TFZ and Bozkuş Fault Zones is plotted (Berberian and Yeats 1999; Hessami et al., 2003; Djamour et al., 2011).

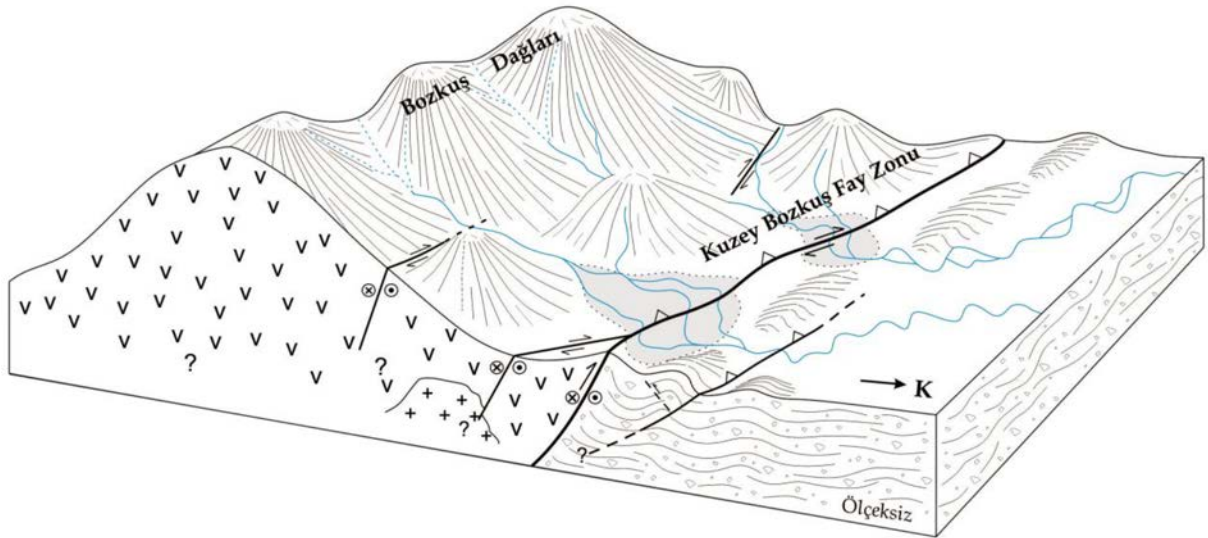
Bozkuş Dağlarının yükselmesini kontrol etmektedir. Bölgedeki geniş alüvyal yelpaze oluşumları bugünkü güncel hızlı yükselme için iyi bir göstergedir (Şekil 3,7). Bu çerçevede KBFZ ve GBFZ boyunca hızlı yükselimler ve hızlı aşınma oranları havza çökellerinin kalın istiflere sahip olmasına neden olmuştur. KBFZ ve GBFZ sismik olarak aktif olup tarihsel kayıtlar özellikle KBFZ üzerinde yıkıcı depremlerin meydana geldiğini ve bu depremlerin belirgin hasarlara neden olduğunu ortaya koyar.

Bu çalışma kapsamında elde edilen veriler şu sonuçları ortaya koymaktadır:

1. KBFZ ters/oblik eğim atımlı ters ve doğrultu atımlı faylanmalar ile temsil olan tipik bir fay zonudur.
2. Bozkuş Dağları'nın kuzey kesimini sınırlayan zon, Eosen birimlerinin Miyosen ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimler üzerine itilmesi ile temsil olur. Zon içerisinde yaygın kırılanmalar, kayma yüzeyi gelişimleri ve kıvrım oluşumları söz konusudur.
3. Jeolojik ve morfo-tektonik veriler, KBFZ'nin Bozkuş Dağları'nın yükselmesini kontrol ettiğini ortaya koyar. Zonu temsil eden bazı fayların aktif olduğunu bölgedeki güncel ve tarihsel deprem kayıtları ortaya koymaktadır.
4. Zonun yapısal analizi, inceleme alanının KB-GD asal sıkıştırma (σ_1) ve KD-GB yönelimli asal gerilme/genişleme (σ_3) etkisinde kaldığını ortaya koyar. Zondaki tüm faylanmaların fay kayma yüzeyi analizi ana stres yönelimlerinin σ_1 : 144°/04°, σ_2 : 239°/58°, σ_3 : 51°/31° olduğunu ortaya koyar. Bu yönelimler ve R değeri (0.12) zonun yanal sıkışmalı rejim ile geliştiğine işaret etmektedir.
5. KBFZ'nin batı sınırını TFZ oluşturur. Gözlemlerimiz iki fay zonunun kökensel ilişkili olduğunu ortaya koyar.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezinden yararlanılarak hazırlanmıştır. Tezin olgunlaşmasında Kadir DİRİK (Hacettepe Üniversitesi) ve Gürol SEYİTOĞLU (Ankara Üniversitesi)'nun değerli katkıları olmuştur. Yazarlar bu çalışmaya yapıcı katkılarından dolayı hakemlere ve dergi editörlerine teşekkür eder.



Şekil 7. KBFZ'nin morfolojisini temsil eden blok diyagram. Zon içerisindeki bazı fayların konumu şematik olarak gösterilmiştir.
Figure 7. Block diagram representing the morphology of the NBFZ. Some faults within the zone are shown as representative.

KAYNAKLAR

- Abdollahi, S., Mohajjel, M., Salagi, A., and Taghipour, K., 2012. Compressional termination of North Tabriz Fault in Bozkush mountains, 30th GSI congress, Iran, 7.
- Afshar-Harb, A., 1970. Geology of Sarakhs area and Khangiran gas field. Bulletin of the Iranian Petroleum Institute, 37, 86-96.
- Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran. Geological Survey of Iran Pub., 707 p.
- Alavi, M., 1972. Etude géologique de la région de Djam. Geological Survey of Iran, Reports, 23, 1-288.
- Alavi, M., 1977. Geology and petrology in the ophiolite range NW of Sabzevar (Khorassan, Iran). Geol. Soc. of Iran, No. 43, 147.
- Alavi, M., 1991a. Tectonic map of the Middle East. Geological Survey of Iran, Tehran.
- Alavi, M., 1991b. Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. Geological Society of American Bulletin, 103, 983-992.
- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations. Tectonophysics, 229, 211-238.
- Allen, M., Jackson, J., and Walker, R., 2004. Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates. Tectonics, 23, no. 2, TC2008, doi: 10.1029/2003TC001530.
- Ambraseys, N.N., and Melville, C.P., 1982. A History of Persian Earthquakes, Cambridge University Press, New York, 240.
- Berberian, M., 1997. Seismic sources of the Transcaucasian historical earthquakes, Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus, D. Giardini and S. Balassanian (Editors), NATO ASI Series 2. Environment, Kluwer Academic Press, the Netherlands, 28, 233-311.
- Berberian, M., and Arshadi, S., 1976. On the Evidence of the Youngest Activity of the North Tabriz Fault and the Seismicity of Tabriz City. In: Contribution to the Seismotectonics of Iran, Part II (ed. M. Berberian). Geol. Surv. Iran, 39, 397-418.
- Berberian, M., and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran: Canadian Journal of Earth Science, 18, 210-265.
- Berberian, M., and Yeats, R.S., 1999. Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau. Bull. Seismol. Soc. Am., 89, 120-139.
- Copley, A., and Jackson, J., 2006. Active tectonics of the Turkish-Iranian Plateau. Tectonics 25, TC 6006.
- Darvishzadeh, A., 1991. Geology of Iran. Danesh-Emruz Pub., Tehran, 901p.
- Djamour, Y. Vernant, P., Nankali, H., and Tavakoli, F., 2011. NW Iran-eastern Turkey present-day kinematics: Results from the Iranian permanent GPS network. Earth and Planetary Science Letters, 307, 27-34.
- Eftekharnajad, J., 1976. Report of Geological map of Tabriz-Poldasht. 1:100,000 series. Geological Survey of Iran.
- Emami, M.H., Asadian, O., Amini-Fazl, A., and Khodabandeh, A., 1993. Geological Map of Qarachaman Quadrant. Geological Survey of Iran.
- Garzanti, E., Critelli, S., and Ingersoll, R.V., 1996. Paleogeographic and paleotectonic evolution of the Himalayan Range as reflected by detrital modes of Tertiary sandstones and modern sands (Indus transect, India and Pakistan). GSA Bull. 108/6, 631-642.
- Harms, J.C., Cappel, H.N., and Francis, D.C., 1984. The Makran coast of Pakistan: its stratigraphy and hydrocarbon potential. In: Haq, B. U., Milliman, J. D. (Eds.), Marine Geology and Oceanography of Arabian Sea and Coastal Pakistan, 3-26.
- Hessami, K., Pantosti, D., Tabassi, H., Shabnian, E., Abbassi, M.R., Fegghi, K. and Solaymani, S., 2003. Paleoearthquakes and slip rates of the North Tabriz Fault, NW Iran: preliminary results, Annals of Geophysics, 46, 5. 903-915

- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati di Brozolo, F., and Villari, L., 1976. Evolution of volcanism in the area of interaction between the Arabian, Anatolian and Iranian plates (Lake Van, Eastern Turkey). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 1, 103–112.
- Isik, V., Saber, R. and Caglayan, A. 2012. Is There Any Relationship Between Active Tabriz Fault Zone And Bozkush Fault Zone, NW Iran? AGU Fall Meeting, 3-7 December, San Francisco, USA, T33A-2640.
- Işık, V., Saber, R. ve Çağlayan, A. 2013. Tebriz Fay Zonu ve Bozkuş Fay Zonlarının İlişkisi, KB İran. 66. TJK bildiri özleri kitabı, 92 .
- Jackson, J., 1992. Partitioning of strike-slip and convergent motion between Eurasia and Arabia in eastern Turkey and Caucasus. *J. Geophys. Res.*, 97, 12471–12479.
- Jackson, J., and McKenzie, D.P., 1984. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between western Turkey and Pakistan. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, 77, 185–264.
- Jackson, J., Haines, J., and Holt, W., 1995. The Accommodation of Arabia-Eurasia plate convergence in Iran: *Journal of Geophysical Research*, 100, B8, 15205–15219.
- Jackson, J., Priestley, K., Allen, M., and Berberian, M., 2002. Active tectonics of the South Caspian Basin. *Geophys. J. Int.*, 148, 214–245.
- Karami, F., and Rajaei, H., 2005. The Role of Tectonics on Morphological Evolution of the Northern Piedmonts of Bozghosh Mountains, *Geosciences Scientific Quarterly Journal*, 51-52, 68-77.
- Kopp, C., Fruehn, J., Flueh, E.R., Reichert, C., Kukowski, N., Bialas, J., and Klaeschen, D., 2000. Structure of the Makran subduction zone from wide-angle and reflection seismic data. *Tectonophysics*, 329, 171-191.
- Lyberis, N., and Manby, G., 1999. Oblique to Orthogonal Convergence Across the Turan Block in the PostMiocene: *AAPG Bulletin*, 83, 7, 135-160.
- Madani, M., 1977. A study of the sedimentology, stratigraphy and regional geology of the Jurassic rocks of eastern Kopet Dagh (NE Iran). Unpublished Ph.D. thesis, Royal School of Mines, Imperial College, London, 246.
- Masson, F., Djamour, Y., Van Gorp, S., Chery, J., Tatar, M., Tavakoli, F., Nankali, H., and Vernant, P., 2006. Extension in NW Iran driven by the motion of the south Caspian basin. *Earth Planetary Science Letters*, 252, 180–188.
- Masson, F., Anvari, M., Djamour, Y., Walpersdorf, A., Tavakoli, F., Daignieres, M., Nankali, H., and Van Gorp, S., 2007. Large-scale velocity field and strain tensor in Iran inferred from GPS measurements: new insight for the present-day deformation pattern within NE Iran. *Geophysical J. International*, 170, 436–440.
- Mckenzie, D.P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 30, 109-185.
- McQuarrie, N., Stock, J.M., Verdel, C., and Wernicke, B.P., 2003. Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions. *Geophys. Res. Lett.*, 30, 20, 2036.
- Mohajjel, M., 1997. Structure and tectonic evolution of Paleozoic-Mesozoic rocks, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran, Unpublished Ph.D. Thesis, University of Wollongong, Australia.
- Moradi, A., Hatzfeld, D., and Tatar, M. 2011. Microseismicity and seismotectonics of the North Tabriz fault, Iran. *Tectonophysics*, 506, 22–30.
- Nabavi, M.H., 1976. An introduction to the Geology of Iran, Geological Survey of Iran, Report No. 38, In Farsi.
- Nabavi, M.H., and Seyed-Emami, K., 1977. Siemurian ammonites from the Shems-hak Group of North Iran (Semnan area, Alborz). *Neues Jahrbuch für Geologie*

- und Paläontologie, Abhandlungen, 153, 70–85.
- Pearce, J.A., Bender, J.F., Delong, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Guner, Y., Saroglu, F., Yilmaz, Y., Moorbath, S., and Mitchell, J.G., 1990. Genesis of collision volcanism in eastern Anatolia, Turkey. *J. Volcanology Geothermal Research*, 44, 189–229.
- Platt, J.P., Leggett, J.K., Young, J., Raza, H., and Alam, S., 1985. Large-scale sediment underplating in the Makran accretionary prism, southwest Pakistan. *Geology*, 13, 507–511.
- Priestley, K., Baker, C., and Jackson, J., 1994. Implications of earthquake focal mechanism data for the active tectonics of the south Caspian Basin and surrounding regions: *Geophysical Journal International*, 118, 111–141.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, 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, S. V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., and Karam, G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa–Arabia–Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *J. Geophysical Research Solid Earth*, 111, B5, 26.
- Roustanovich, D.N., 1967. Seismology of the Turkmenistan territory and Ashgabat 1948 earthquake. *Moscow, Nauka*, 12, 95.
- Samani, B., and Ashtari, S., 1992. Evaluation of Volcano Plutonic Arc in Central Iran, Formed by Subduction of Mesozoic Tethys Oceanic Crust, *Geosciences, Geological Survey of Iran*, 1, 4.
- Sattarzadeh, Y., Cosgrove, J.W., and Vita-Finzi, C., 2002. The geometry of structures in the Zagros cover rocks and its neotectonic implications. In: P.D. Clift, D. Kron, C. Gaedicke and J. Craig (Editors), *The tectonic and climatic evolution of the Arabian Sea Region. Special Publications of the Geological Society, London*, 195, 205–218.
- Schmidt, K., and Soffel, H.C., 1983. Mesozoic–Cenozoic geological events in Central East Iran and their relation to palaeomagnetic results, Technical Report 51, *Geol. Survey of Iran*, 27–35.
- Stampfli, G.M., 1978. Etude géologique générale de l'Elburz oriental au S de Gonbad-e Qabus (Iran, N-E): These, *Faculté des Sciences, Université de Genève*: 315 pp.; Genève.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran, A review. *AAPG Bulletin*, 52, 7, 1229–1258.
- Stocklin, J., and Nabavi, M.H., 1973. Tectonic map of Iran (1/2,500,000). *Ministry of Mines and Metals, Geological Survey of Iran*.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşçu, İ., 1992. Türkiye Diri Fay Haritası. *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi*.
- Şengör, A.M.C., 1990. A new model for the late Paleozoic–Mesozoic tectonic evolution of Iran and implications for Oman. *The Geology and Tectonics of the Oman region. Geol. Soc. Spec. Publ. London*, 797–831.
- Trifonov, V.G., 1978. Late Quaternary movements of western and central Asia: *Geological Society of America Bulletin*, 89, 1059–1072.
- Volvovsky, I.S., Garetzy, R.G., Shlezinger, A. E., and Shreibman, V.I., 1966. Tectonics of the Turan plate. *Geologicheskii Institut Akademi Nauk, U.S.S.R.*, 165–287
- Westaway, R., 1990. Block rotation in western Turkey, 1, *Observational evidence. Journal of Geophysical Research*, 95, 19, 857–884.
- Westaway, R., 1994. Evidence for dynamic coupling of surface processes with isostatic compensation in the lower crust during active extension of western Turkey. *Journal of Geophysical Research.*, 99, B10, 20203 - 20223.

Zonenshain, L.P., and LePichon, X., 1986. Deep basins of the Black sea and Caspian Sea as remnants of Mesozoic back-arc basins. *Tectonophysics*, 123, 181-211.