



Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerinde Koyulhisar (Sivas) ve Yakın Çevresindeki Fayların Kinematik Özellikleri

Kinematics of the faults around the Koyulhisar (Sivas) region on the North Anatolian Fault Zone

Mehmet DEMİREL, Orhan TATAR, Fikret KOÇBULUT

*Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas
demirelmehmet46@gmail.com*

ÖZ

Çalışma alanı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) 'nun doğu kesiminde, Sivas ilinin kuzeyinde yer alan Koyulhisar ilçesi ve yakın çevresinde yer almaktadır. Bölge, 6-8 km. genişliğinde ve 32 km. uzunluğunda doğrultu atımlı sağ yanal bir fay kuşağıyla temsil edilir. Bölgedeki bu kuşak Toprak (1988) tarafından Kuzey Anadolu Ana Fayı, Koyulhisar Fay Takımı, Kelkit Fay Takımı, Şıhlar Fay Takımı ve Kuruçay Fay Takımı olmak üzere beş fay takımına ayrılmıştır. Bu çalışma kapsamında Koyulhisar ilçe merkezi ve çevresinde Şıhlar Fay Takımı, Çamlıyaka Fayı, Saytepe Fayı ve bölgenin kuzeyinde yer alan Dumanlıca Fayları üzerinde ayrıntılı kinematik analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan kinematik analiz çalışmaları bölgenin halen aktif olarak genel olarak KB-GD yönlü sıkışma ve KD-GB yönlü açılma etkisi altında olduğunu göstermektedir. Gerek bölgede gözlenen morfolotektonik yapılar ve gerekse mikrosismik etkinlik, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Koyulhisar kesiminin aktif ve sağ yanal doğrulu atımlı bir fay zonu olduğunu ortaya koymaktadır. Bölgede yoğun bir heyelan aktivitesi izlenmektedir. Bunların içinde en önemli olanı Koyulhisar ilçe merkezinde izlenen heyelan olup bu heyelan üzerinde bu çalışma kapsamında yapılan periyodik GPS ölçümlerinde bölgenin halen yıllık ortalama 2.5-7.4 mm/yıl arasında hızla hareket ettiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Kuzey Anadolu Fay Zonu, Koyulhisar, Fay kinematiği, heyelan, GPS

ABSTRACT

The study area is located on the eastern part of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) around the Koyulhisar (Sivas) region. The region is represented by a 6-8 km wide and 32 km long deformation belt. This belt is divided into 5 fault segments by Toprak (1988) as North Anatolian Master Fault, Koyulhisar Fault Set, Kelkit Fault Set, Şıhlar Fault Set and Kuruçay Fault Set. In this study, a detailed fault kinematic analysis were carried out along the Şıhkar, Çamlıyaka, Saytepe and Dumanlıca Fault Sets around Koyulhisar and its surroundings. The result of kinematic analysis indicates that the region is under the

effect of NW-SE compression and NE-SW extension. Morphotectonic structures and microseismic activity reveals the right lateral strike slip activity of the North Anatolian Fault Zone in this region. Intense landslide activity in the region is seen. One of the severe landslides occurred in Koyulhisar in 2000 is still affecting the region. GPS monitoring of this landslide reveals an average of 2.5-7.4 mm/year slip rate.

Keywords: North Anatolian Fault Zone, Koyulhisar, Fault kinematics, landslide, GPS

GİRİŞ

Çalışma alanı Sivas kent merkezine 180 km uzaklıkta, Koyulhisar ilçesi sınırları içindedir. Batıda Reşadiye, kuzeyde Mesudiye, doğuda Suşehri, güneyde ise Zara ve Hafik ilçeleri ile çevrilidir. Çalışma alanı 1/25000 ölçekli H39-b4 Giresun paftası sınırları içinde yaklaşık 72 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Kuzey Anadolu Ana Fayı'nın kuzeyinde yer almaktadır. Çalışma alanının konumunu gösterir harita Şekil 1'de sunulmuştur.

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), güncel sismik aktivitesi ve olağanüstü tektono-morfolojik yüzey şekilleri ile Doğu Akdeniz bölgesinin aktif sismik etkinliği nedeniyle, dünyada en iyi bilinen doğrultu atımlı faylardan birisidir (Ketin 1968, Şengör vd. 1985, Kiratzi 1993). KAFZ, Karadeniz kıyı dağlarının güney kenarına az çok paralel, doğusunda KB-GD, batısında KD-GB ve orta kısmında ise doğu-batı gidişli yaklaşık 1200 km uzunluğunda, sağ yanal ötelenmenin çok iyi gözlemlendiği, genel olarak birkaç yüz metre ile 10 km arasında değişen genişlikte bir zon şeklinde gelişmiş, yay biçimli bir doğrultu atımlı fay sistemidir. Bu fay zonu aynı zamanda, Anadolu bloğu içinde ayrılan faylar (splay faults) ve diğer ikincil faylarla da temsil edilmektedir (Bozkurt 2001).

Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca yapılan jeolojik çalışmalarda fay zonunun doğusunda 85±5 km, batısında ise yaklaşık 25±5 km arasında bir toplam atım hesaplanmıştır. KAFZ boyunca yer değiştirme doğudan batıya

doğru azalmakta ve bu azalmanın nedeni olarak, genellikle ana faydan Anadolu bloğunun içerisine doğru uzanarak ayrılan bir çok yan kolların (splay fayların) görünür ötelenmeleri olduğu kabul edilmektedir (Seymen 1975, Tatar 1978, Şengör 1979, Barka 1981, 1992, Barka ve Hancock 1984, Şengör vd. 1985, Şaroğlu 1985, 1988, Koçyiğit 1988, 1989, 1990, Toprak 1988, Yalıtırak 1996, Piper vd. 1997, Tüysüz vd. 1998, Armijo vd. 1999, Barka vd. 2000, Yalıtırak vd. 2000). Jeolojik veri analizlerinden KAFZ üzerindeki kayma oranının yaklaşık 5-10 mm/yıl (Barka 1992) veya 17±2 mm/yıl (Westaway 1994) olduğu ileri sürülürken, plaka hareketleri ve sismolojik verilerden 30-40 mm/yıl arasında değişen değerler ortaya konmuştur (Taymaz vd. 1991). Diğer yandan güncel GPS verileri, günümüzdeki kayma oranlarının 15-25 mm/yıl arasında olduğunu göstermektedir (Oral vd. 1995, Ayhan vd. 1995, Reilinger vd. 1997, McClusky vd. 2000, Tatar vd. 2012). Bilinen GPS verilerinden yola çıkılarak yapılan tahminler, Günümüz-Pliyosen aralığında 75-125 km bir toplam hareket (atım) vermektedir. Bu değer, 85±5 km olarak hesaplanan değerle yaklaşık olarak bağdaşmaktadır (Seymen 1975, Westaway 1994, Armijo vd. 1999, Barka vd. 2000).

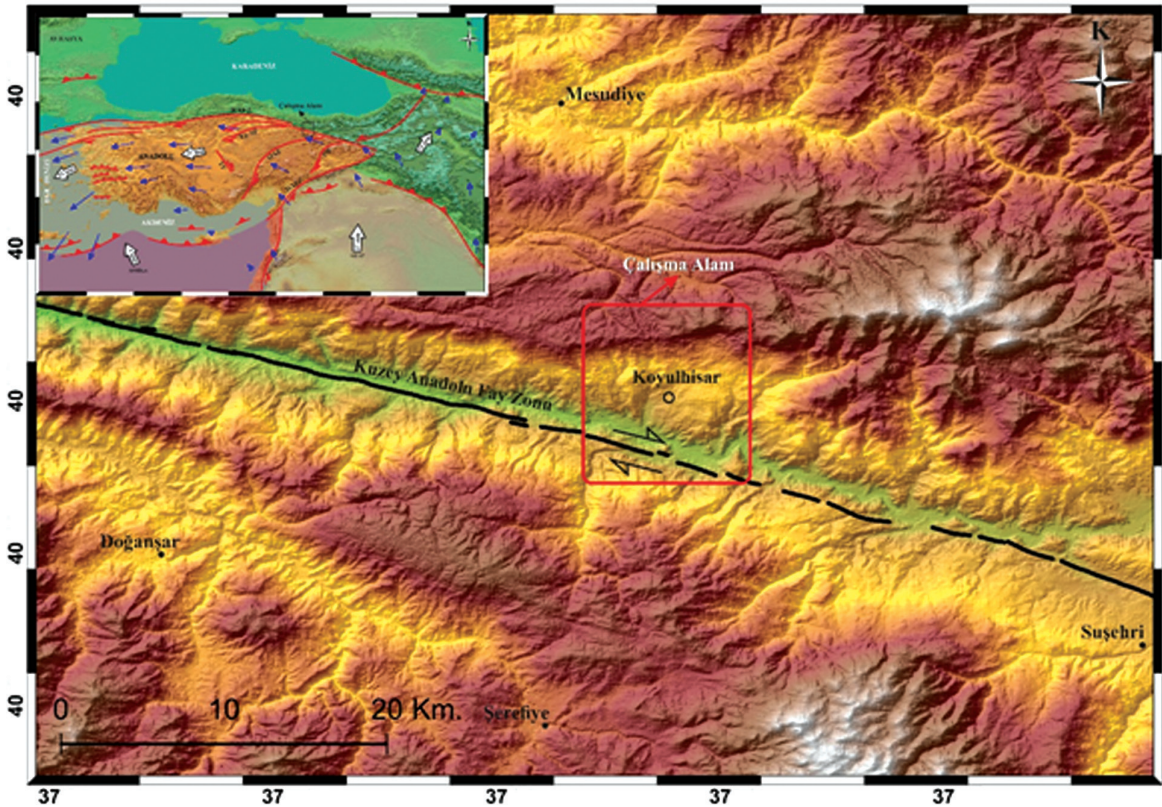
Anadolu bloğu sadece büyük fay zonları boyunca değil, aynı zamanda plaka sınırlarından uzaktaki dağılmış kabuksal deformasyon zonu boyunca da iç deformasyona uğramaktadır. Ana faylar boyunca gelişen doğrultu atım, üst kabuğu oldukça karmaşık bir şekilde parçalara ayıran "ayrılma" (splay) faylarını da oluşturmakta ve bu ayrılma fayları arasında kalan küçük bloklar

içerisinde karmaşık bir iç deformasyon gelişmekte ve saatin tersi yönünde bir rotasyonun varlığı görülmektedir (Piper vd. 1997).

Yirminci yüzyılda doğuda 1939 Erzincan depremi ile başlayan seri, batıya doğru sırası ile 1942 Niksar-Erbaa, 1943 Ladik, 1944 Gerede, 1957 Abant, 1967 Mudurnu Vadisi depremleri ile devam etmiş ve en son 1999 İzmit ve Düzce depremleri ile son bulmuştur. Bu depremler sonucu KAFZ üzerinde 1100 km'den uzun yüzey kırığı oluşurken, on binlerce insan yaşamını yitirmiştir (Barka, 1996; Akyüz vd. 2002; Barka vd. 2002; Hartleb vd. 2000; Çakır vd. 2003).

Ketin (1969) Kuzey Anadolu Fayının Kelkit çayını takip ederek Koyulhisar ve Suşehri

kenarından geçtiğini belirterek, bu fayın tek bir kayma düzlemi değil, birçok kayma düzlemi ve parçalardan oluşan bir zon şeklinde olduğunu belirtmiş ve bunların hepsinin sağ yönlü doğrultu atımlı özellik gösterdiğini saptamıştır. Arpat ve Şaroğlu (1975), Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Erzincan Ovasının doğu ucu ile Suşehri arasında kalan bölümünde yer alan aktif fayları haritalamışlardır. Aynı zamanda bu faylar üzerinde gerçekleşen yer değiştirmeler de ana çizgileriyle izlenmiştir. Arpat ve Şaroğlu (1975) yaptıkları bu çalışmada fay zonunun Suşehri Ovasındaki, Suşehri ile Erzincan Ovası arasındaki ve Erzincan Ovasındaki bölümlerini ayrı ayrı ele almışlardır.



Şekil 1. Çalışma alanının yer buldurur haritası. Sol üst köşedeki neotektonik ünitelerin genelleştirilmiş haritası Erturaç ve Tüysüz, (2012)'den alınmıştır.

Figure 1. Location map of the study area. Inset map showing the neotectonic units of Turkey taken from Erturaç and Tüysüz (2012).

Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Erzincan-Erbaa segmenti 27 Aralık 1939 Erzincan Depreminde kırılmış ve yüzey kırığı boyunca bazı doğal ve insan yapımı yapılar sağ yanal olarak ötelenmiştir. Bu atımlar güneydoğuda 1939 Erzincan depreminin merkez üssüne yakın alanlarda 7.5 metreden başlayıp, kuzeybatıda Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Erzincan-Erbaa segmentinin batı ucunda 3.7 metreye kadar değişir (Koçyiğit 1989, Barka, 1996).

1939 Yüzey kırığı zonu geometrik olarak 5 farklı parçadan oluşmaktadır: (1) 60 km uzunlukta Erzincan segmenti; (2) 65 km uzunlukta Mihar-Tümekekar segmenti; (3) 45 km uzunlukta Ortaköy-Suşehri segmenti; (4) 100 km uzunlukta Kelkit vadisi segmenti ve (5) 90 km uzunlukta Ezinepazar segmenti (Barka 1996). Koyulhisar'ın da içinde bulunduğu Kelkit vadisi segmenti boyunca kayma 4 metreye düşmekte ve daha batıda iyice azalmaktadır. Bu dağılım doğuda olan Suşehri segmenti ile Kelkit vadisi segmenti arasında kaymadaki farkın 3.5 metre olduğunu işaret etmektedir.

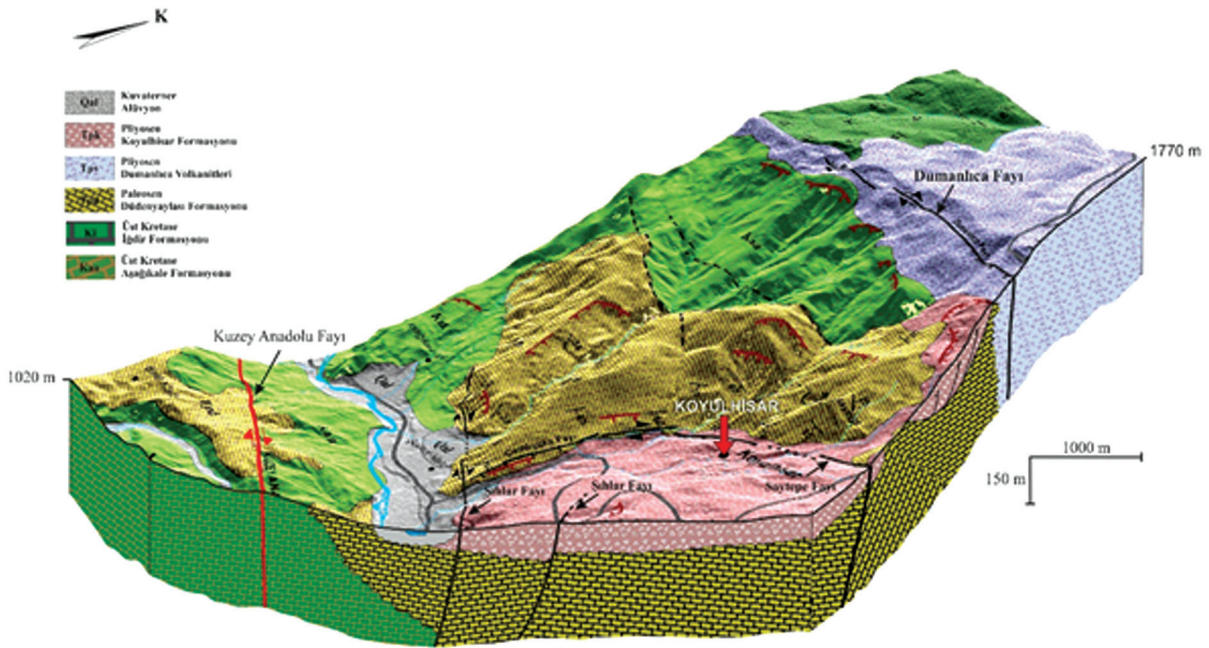
Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun oluşumundan bu yana fayın geçtiği bölgelerde çok sayıda irili ufaklı faylar oluşmuştur. İnceleme alanının bulunduğu Kuzey Anadolu Fay'ına paralel olarak oluşan Kelkit Vadisi içerisinde ve yakın çevresinde gelişmiş faylar ve süreksizlik yapıları bulunmaktadır. Bölgedeki faylar, bölgenin litolojisi de göz önüne alındığında meydana gelen heyelanları tetikler niteliktedir. Özellikle Pliyo-Kuvaterner yaşlı Koyulhisar Formasyonu içerisinde yer alan talus ve fay terası çökelleri bu aktif faylar sayesinde hareketlilik kazanmakta ve suya doyan zeminde hareketlenerek heyelanları oluşturmaktadır (Tatar vd. 2000).

İnceleme Alanının Stratigrafik Özellikleri

Saha gözlemleri ve farklı araştırmacıların yaptığı çalışmaların incelenmesi sonucu inceleme

alanında yüzeyleyen kaya birimleri yaşlıdan gence doğru, Orta-Üst Maestrihtiyen yaşlı Aşağıkale, Üst Maestrihtiyen yaşlı İğdir, Daniyen yaşlı Şihlar, Orta-Üst Paleosen yaşlı Düdenyaylası, Pliyosen yaşlı Dumanlıca (Erdembaba) ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı Koyulhisar Formasyonlarından oluşmaktadır. Aşağıkale, İğdir, Şihlar ve Düdenyaylası Formasyonları Geç Kretase-Paleosen sırasında, volkanik yay tipi bir ortamda çökelmiş, üste doğru tane boyu artan kalın bir istif oluşturmuştur. Dumanlıca ve Koyulhisar Formasyonları ise neotektonik dönemin ürünüdür (Toprak 1988).

Neotektonik dönemde oluşan Pliyosen yaşlı Dumanlıca Formasyonu ilk kez Terlemez ve Yılmaz (1980) tarafından adlandırılmıştır. Birim Terzioğlu (1986) tarafından Erdembaba Bazaltı olarak incelenmiştir. Formasyon, andezitik-bazaltik karakterli volkaniklerden oluşmaktadır. Jeokimyasal veriler bu volkanik kayaların kıtasal kabuğun anateksisi sonucunda meydana gelen kalkalkalin karakterli asidik bir magmanın ürünü olduğunu göstermektedir (Terzioğlu 1986). Dumanlıca Formasyonu, Koyulhisar ilçe merkezinin kuzeyinde bulunan Dumanlıca tepesi ve civarında yaygın olarak gözlenmektedir. Pliyo-Kuvaterner yaşlı Koyulhisar Formasyonu ise oldukça gevşek dokulu aglomera-tüf ve gri-yeşil renkli, breşik görünümlü andezitik lav akıntıları ve konglomeralardan oluşmaktadır. Koyulhisar Formasyonu olarak tanımlanan bu birim, Koyulhisar ilçe merkezi ve çevresinde yaygın şekilde yüzeylemektedir. İnceleme alanındaki en genç birimler Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Kelkit Nehri boyunca fay denetimli taraça çakılları, Kuvaterner yaşlı alüvyal yelpaze çökelleri ve alüvyon dolguları şeklinde gelişen, çakıl, kum ve siltlerden oluşmaktadır (Şekil 2, Toprak 1988, Uysal vd. 1995).



Şekil 2. Çalışma alanına ait üç boyutlu jeolojik harita ve kesit.

Figure 2. 3D geological map and cross section of the study area.

İnceleme Alanının Tektonik Özellikleri

Çalışma alanında Koyulhisar ilçe merkezi ve çevresinde Şihlar Fay Takımı, Çamlıyaka Fayı, Saytepe Fayı ve bölgenin kuzeyinde Dumanlıca Fayı bulunmaktadır. Toprak (1988) tarafından adlandırılan bu fay takımları içerisinde Koyulhisar ilçe merkezini çevreleyen faylar Şekil 2 ve 5’de gösterilmiştir.

Kuzey Anadolu Fayı Ana Kolu, bölgede Aşağıkale köyünün yaklaşık 1 km. güneyinden Kelkit Irmağının güney yatağını takip ederek, yaklaşık $K60^{\circ}-70^{\circ}B$ doğrultusunda Ağilyazı köyünün hemen güneyinden batıya doğru devam etmektedir. Şihlar fayı doğuda Ağilyazı köyünün yaklaşık 1-1.5 km. batısında ana fayın kolu olarak ayrılmıştır. Batıya doğru ana faya paralel olarak hareket etmekte ve Yukarıkale ve Aşağıkale köyleri arasında kollara ayrılmaktadır. Şihlar fayı alüvyal yelpazeleri, basamaklı fay şevleri ve fay kontrollü ırmak çökellerini ötelemiştir. Bu veriler Şihlar fayının aktif olduğunu

göstermektedir. Koyulhisar ilçe merkezinin hemen kuzeyinde bulunan Saytepe’nin yaklaşık 1-1.5 km. batısından başlayarak D-B doğrultuda doğuya doğru devam eden Saytepe fayı, Kayaören köyünün kuzeybatısında iki kola ayrılmaktadır. Fay, Şihlar, Düdenyaylası, Koyulhisar ve Iğdır Formasyonlarını kesmektedir. Çamlıyaka köyünün doğusunda yer alan Çamlıyaka fayı Koyulhisar çöküntüsünün batı kenarını oluşturmaktadır. Çamlıyaka fayı yaklaşık 4 km. uzunluğunda, kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu sağ-yanal ve normal bileşene sahip bölgedeki diğer faylara antitetik olarak gelişmiştir. Dumanlıca fayı, Koyulhisar ilçe merkezinin yaklaşık 3 km kuzeyinde olup, yaklaşık D-B yönlü ve doğrultu atımlı sağ-yanal bileşene sahiptir. Fayın bazı bölgelerinde normal bileşenlere rastlanmıştır. KAFZ içerisinde yer alan birincil faylar genelde $K60^{\circ}-70^{\circ}B$, Koyulhisar civarında ise yaklaşık D-B gidişlidir. Sintetik faylar ana fay ile $20^{\circ}-40^{\circ}$ arasında değişen açılar yapmakta, antitetik faylar

ise KKD-GGB doğrultusunda gelişmektedir. Buna göre fayların oluşumuna yol açan en büyük sıkışma yönü K20°B-G20°D doğrultusundadır (Toprak 1988).

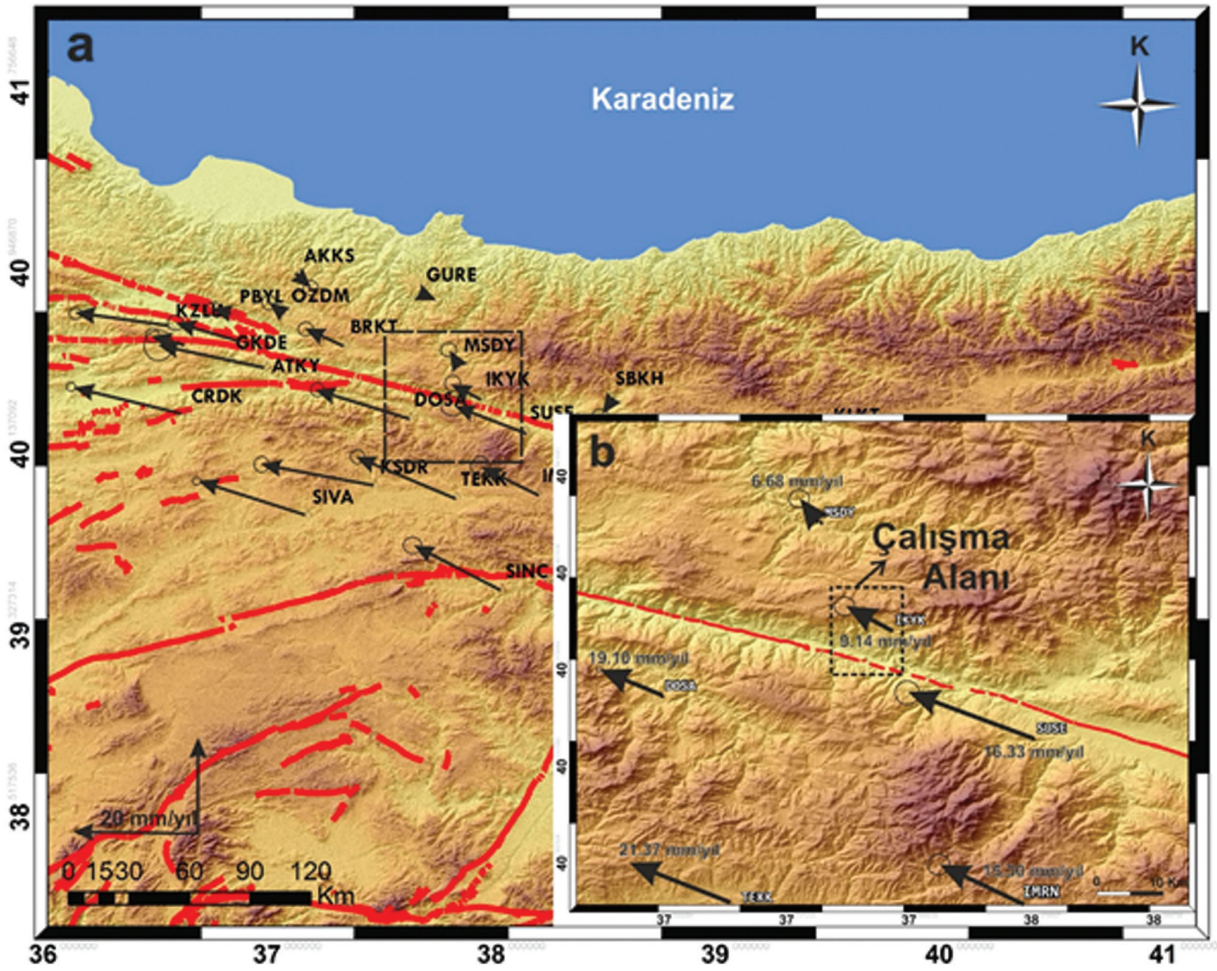
İnceleme alanını da içine alan Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun doğu bölümünde Tatar vd. (2012) tarafından yapılan GPS ölçümlerinin modellenmesi ilginç sonuçlar vermektedir. Modelleme sonuçlarına göre KAFZ'nun kayma hızı 400 km'lik bir alan içinde doğudan batıya doğru 16.3±2.3 mm/yıl'dan 24.0±2.9 mm/yıla kadar bir artış göstermektedir. Bu durum Reilinger vd. (2006)'nın Anadolu Bloğunun Geç Miyosen döneminde Arap ve Avrasya plakaları arasındaki kıtasal çarpışma sonucu (Şengör ve Yılmaz 1981), Arap plakasının itmesinden daha çok Yunan Makaslama zonu tarafından çekildiği yönündeki görüşü ile uyumluluk göstermektedir.

Benzer şekilde fay boyunca kilitlenme derinliği de batıya doğru 8.1±3.3 km'den 12.8±3.9 km'ye kadar değişmektedir. Bu çalışma kapsamında, Koyulhisar ve civarında bulunan GPS noktalarından elde edilen kayma hızı değerleri de benzer özellik göstermektedir (Şekil 3). Tatar vd. (2012) tarafından KAFZ'nun doğu bölümünde yapılan GPS çalışmalarından elde edilen sonuçlar tek bir profil üzerinde modellendiğinde, tüm bölge için ortalama 20.1±2.4 mm/yıl kayma hızı ve 12.5±3.5 km kilitlenme derinliği hesaplanmaktadır. Kilitlenme derinliğindeki 10-16 km'den 5 km'ye kadar olan değişim kaya türü, kabuğun kalınlığı, jeokimyasal bileşim ve güncel sismik aktivite gibi değişik reolojik, sismolojik parametrelere bağlı olarak gelişebilmektedir. KAFZ'nun Niksar ile Erzincan arasında kalan 120 km genişliğindeki bölümü üzerinde GPS ölçümleri ile hesaplanan yüzeydeki deformasyon kuşağı da değişkenlik göstermektedir. Benzer şekilde, KAFZ'nun Niksar-Erzincan segmentini içeren Kuzey Anadolu Makaslama Zonu da (Şengör vd. 2005) doğudan

batıya doğru genişlemektedir. Tatar vd. (2012) tarafından hesaplanan ve Erzincan ve çevresini kapsayan GPS profilinde yüzey deformasyonunun genişliği 3.1±1.6 km olarak hesaplanırken, Suşehri batısında Koyulhisar civarında 4.0±2.7 km, Niksar havzası ve Ezinepazar-Sungurlu fayını kapsayan profile ise 15.1±2.6 km hesaplanmıştır. Bu veriler Şengör vd. (2005) tarafından ortaya konulan verilerle de uyumludur.

İnceleme alanı içinde 1 adet GPS ölçüm noktası bulunmaktadır. Koyulhisar kuzeybatısında İkizyaka'da (IKYK) elde edilen yatay hız değeri 9.14 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu nokta dışında, inceleme alanı kuzeyinde Mesudiye'de (MSDY) 6.68 mm/yıl, güneyinde Doğanşar'da (DOSA) 19.16 mm/yıl, Suşehri'nde (SUSE) 16.33 mm/yıl, Teknealan'da (TEKK) 21.37 mm/yıl ve İmranlı'da (IMRN) 15.30 mm/yıl yatay hız değerleri hesaplanmıştır (Şekil 3). Bu değerler Anadolu bloğunun KAFZ güneyinde batıya kaçıışı ile uyumludur.

Çalışma alanı Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde yer alan sismik aktivitelerin yoğun olduğu bir kuşak üzerinde yer almaktadır. Çalışma alanı ve çevresinde 50 km'lik bir yarıçap içinde 1900-2014 yılları arasında meydana gelen 3 ve üzeri büyüklükteki depremler Şekil 4'te gösterilmiştir. Harita incelendiğinde depremlerin KAFZ ana sistemi üzerinde olduğu gibi, Koyulhisar kuzeyinde yer alan küçük fay segmentleri üzerinde de geliştiğini göstermektedir. Bölge, oluşabilecek orta-büyük ölçekteki depremlerle heyelan oluşturabilecek potansiyele de sahiptir. Bölgenin topografik özellikleri ve aktif fay zonu üzerinde olması nedeniyle küçük ölçekte gelişen fayların yanı sıra yoğun süreksizliklerin olması Kelkit Vadisi boyunca bölgeyi kütle hareketleri açısından olumsuz etkilemektedir.



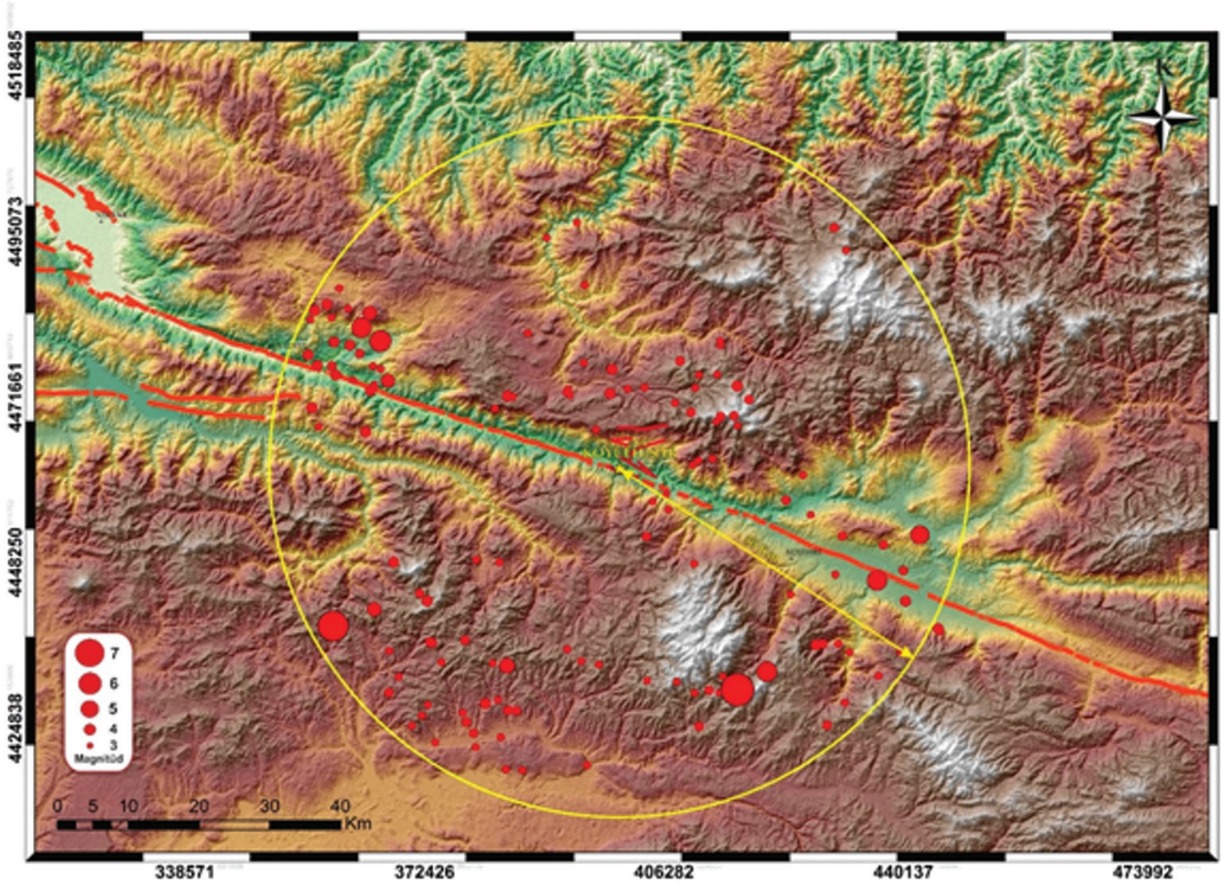
Şekil 3. Koyulhisar ilçe merkezi ve yakın çevresinde bulunan aktif faylar (a) ve GPS noktalarından elde edilen yatay hız değerleri (b). GPS hız değerleri Tatar vd. (2009, 2012) ve Poyraz (2009)'dan düzenlenmiştir.

Figure 3. Active faults in an around Koyulhisar (a) and horizontal GPS vectors (b) taken from Tatar et al. (2009, 2012) and Poyraz (2009).

Çalışma Sahasındaki Fay Topluluklarının Kinematik Analizi

Kinematik analiz çalışmaları bir bölgedeki fayları oluşturan ana kuvvetlerin ve güncel tektonik rejimin belirlenmesinde önemli veriler sağlamaktadır. Arazi çalışmaları sırasında kinematik analiz yapmak ve dolayısıyla tektonik rejim hakkından bilgi sahibi olmak amacıyla çalışma alanı içerisinde fay izlerinin yoğun olarak gözlemlendiği bölgelerden ölçülen fay

düzlemlerine ait parametreler (fayın doğrultusu, eğim miktarı, eğim yönü, yan yatım açısı (rake) değerleri) derlenmiştir. Derlenen veriler Carey (1979)'in sayısal analiz yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu yöntem; aktif fay zonları üzerinde görülen kayma vektörlerinin ölçülüp değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Farklı yaş ve litolojilerden derlenen faylardan özellikle genç döneme ait olanların günümüzde veya son tektonik rejim içerisindeki kinematik durumu belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 4. Çalışma alanı çevresinde 1900-2014 yılları arasında meydana gelen 3 ve üzeri büyüklükteki depremler. Deprem verileri Uluslararası Sismoloji Merkezinden alınmıştır <http://isc-mirror.iris.washington.edu> alınmıştır.

Figure 4. Earthquake epicenters over >3 around the study area between 1900-2014. Seismic data are from International Seismological Center.

Bu çalışmada, Koyulhisar ilçe merkezi ve çevresinde yüzeyleyen değişik yaş ve özellikteki formasyonlar içerisinde gelişen faylar yapısal olarak incelenmiş ve bölgenin deformasyon özelliklerini ortaya koymak amacıyla fay düzlemlerinden kinematik veriler elde edilmiştir. Toplanan bu veriler, Carey (1976 ve 1979)'un bilgisayar destekli sayısal analiz yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. İnceleme alanının farklı bölgelerinde yer alan 16 değişik istasyondan toplam 123 adet fay düzlemi ve kayma vektörü belirlenmiştir. Belirlenen istasyonların özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Ölçüm yapılan

istasyonların jeoloji haritası üzerinde dağılımı ve kinematik analiz sonuçları ise Şekil 5'de gösterilmektedir.

Yapılan kinematik analiz çalışmaları bölgenin halen aktif olarak KB-GD yönlü sıkışma ve KD-GB yönlü açılma etkisi altında olduğunu göstermektedir. Kinematik ölçüm yapılan noktalardan 7 tanesi neotektonik dönemde oluşmuş genç birimler içinde yer almaktadır. Bunlardan 8, 9 ve 12 nolu ölçüm istasyonları Pliyo-Kuvaterner yaşlı Koyulhisar formasyonu, 13, 14, 15 ve 16 nolu istasyonlar ise Kuvaterner yaşlı Dumanlıca

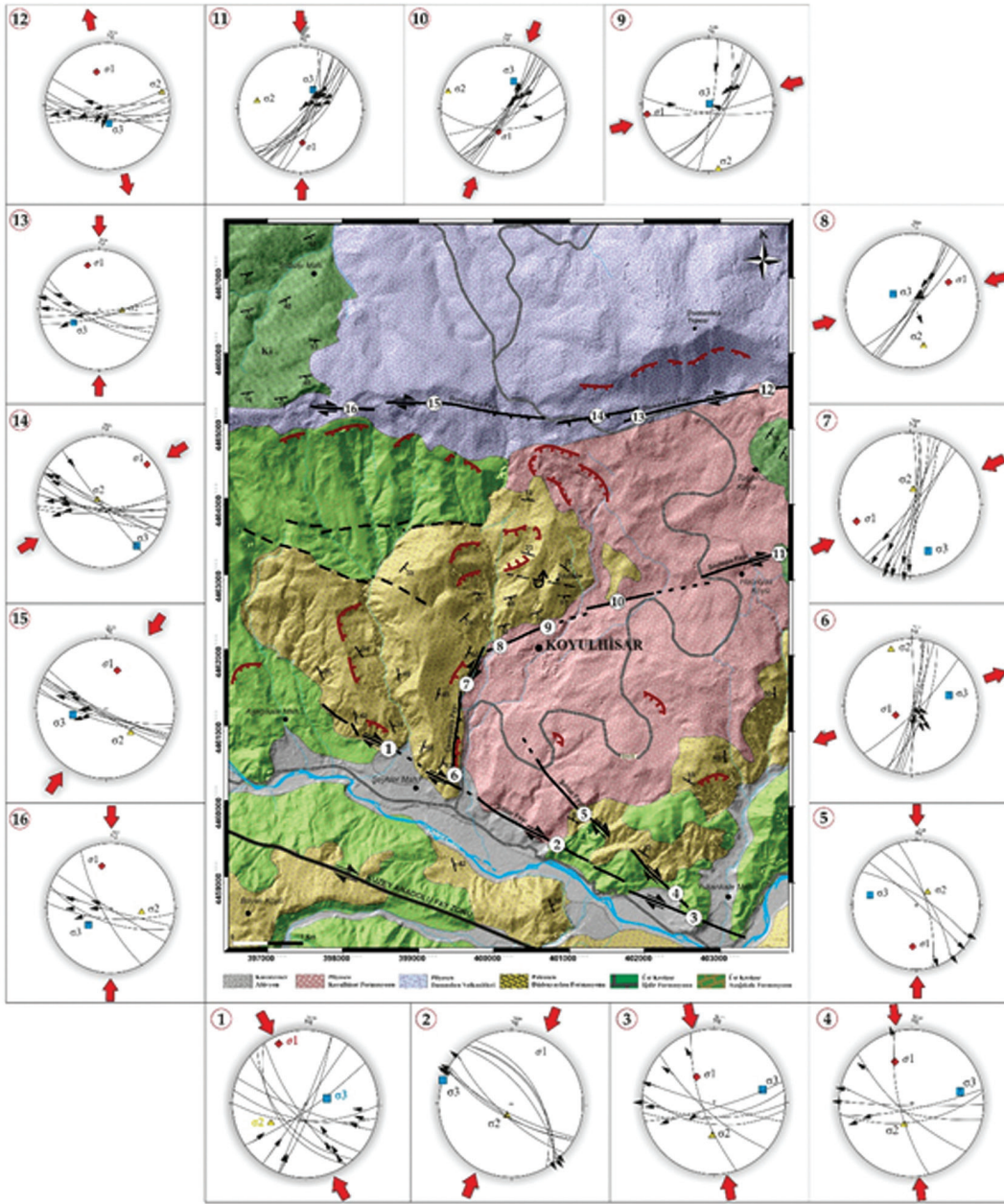
formasyonu içindedir. Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimler içinden elde edilen kinematik analiz verileri ise yersel olarak KD-GB yönlü sıkışma, KB-GD yönlü bir açılma vermektedir. Kuvaterner

yaşlı birimler içinden elde edilen kinematik analiz verileri de benzer şekilde K-G/KD-GB yönlü sıkışma, D-B/KB-GD yönlü açılmayı işaret etmektedir.

Çizelge 1. Çalışma alanında gözlenen fay düzlemlerine ait kinematik verilerin ölçüldüğü istasyonlar.

Table 1. Kinematic measurement sites of the fault planes in the study area.

İstasyon No	Enlem (K)	Boylam (D)	Ölçü Sayısı	Formasyon Adı	Formasyon Yaşı
1	40.293600°	37.801700°	11	Düdenyaylası	Orta-Üst Paleosen
2	40.284400°	37.823200°	8	Aşağıkale	Orta-Üst Maestrihtiyen
3	40.275567°	37.844317°	7	Aşağıkale	Orta-Üst Maestrihtiyen
4	40.281342°	37.842525°	6	Aşağıkale	Orta-Üst Maestrihtiyen
5	40.289705°	37.831069°	4	Düdenyaylası	Orta-Üst Paleosen
6	40.288850°	37.818267°	8	Düdenyaylası	Orta-Üst Paleosen
7	40.302150°	37.820950°	9	Düdenyaylası	Orta-Üst Paleosen
8	40.303533°	37.823550°	6	Koyulhisar	Pliyo-Kuvaterner
9	40.306667°	37.831667°	7	Koyulhisar	Pliyo-Kuvaterner
10	40.309033°	37.842250°	10	Düdenyaylası	Orta-Üst Paleosen
11	40.316983°	37.872483°	11	İğdir	Üst Maestrihtiyen
12	40.334767°	37.878900°	8	Koyulhisar	Pliyo-Kuvaterner
13	40.333750°	37.854250°	6	Dumanlıca	Pliyosen
14	40.331200°	37.835283°	10	Dumanlıca	Pliyosen
15	40.331475°	37.823707°	7	Dumanlıca	Pliyosen
16	40.331171°	37.808489°	5	Dumanlıca	Pliyosen



Şekil 5. Ölçüm yapılan istasyonların jeoloji haritası üzerinde dağılımı ve kinematik analiz sonuçları.

Figure 5. Location of fault kinematic measurements on the geological map of the study area.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışma alanındaki fay topluluklarının kinematik analizi sonucunda yersel sıkışma ve açılma yönlerinin durumları ortaya çıkarılmıştır. Bölgede gözlenen fayların, özellikle Kuzey Anadolu Fayı'nı oluşturan kuvvetlerin etkisine bağlı olarak

oluştugu anlaşılmaktadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun inceleme alanının da içinde olduğu doğu bölümü üzerinde en kapsamlı GPS çalışması Tatar vd. (2012) tarafından gerçekleştirilmiştir. Erbaa (Tokat) ile Çayırlı (Erzincan) arasında kalan yaklaşık 400 Km uzunluğundaki alanda 36

ayrı noktada, Kuzey Anadolu Fay Zonu'na dik profiller boyunca yapılan bu çalışmada bölgedeki kabuksal deformasyon ve fay zonu'nun hareket hızına yönelik önemli veriler elde edilmiştir. 3 yıllık ölçüm sonuçları, Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca hareket hızının batıya doğru 16 ± 2.3 mm/yıldan, 24.0 ± 2.9 mm/yıla arttığını, ortalama hareket hızının 20.1 ± 2.4 mm/yıl, kilitlenme derinliğinin ise 12.5 ± 3.5 Km olduğunu ortaya koymuştur. GPS çalışmaları ile elde edilen veriler, bu çalışma kapsamında elde edilen jeolojik ve kinematik verilerle uyumlu olup, bölgede belirgin bir kabuksal deformasyonun ve sismik deformasyonun birikimini ortaya koymaktadır. Bölgede yüzey kırığı yaratan en son büyük depremin 1939 yılında meydana geldiği dikkate alınrsa, aradan geçen yaklaşık 75-80 yıllık dönem içinde Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde 1.5 metre civarında bir gerilme birikiminin olduğu söylenebilir. Bu değer ise bölgede 6.0 ve üzeri büyüklükte, yüzey kırığı oluşturabilecek bir depremi meydana getirecek enerjinin biriktiğini göstermektedir.

Katkı Belirtme

Bu çalışma birinci yazarın Yüksek Lisans çalışması kapsamında gerçekleştirilmiştir. Çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından M-524 nolu proje ile desteklenmiştir.

EXTENDED SUMMARY

This study aims to investigate the kinematic characteristics of the faults around Koyulhisar on the North Anatolian Fault Zone. The study area is located on the eastern part of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) around the Koyulhisar (Sivas) region. The region is represented by a 6-8 km

wide and 32 km long deformation belt. This belt is divided into 5 fault segments by Toprak (1988) as North Anatolian Master Fault, Koyulhisar Fault Set, Kelkit Fault Set, Şihlar Fault Set and Kuruçay Fault Set. In this study, a detailed fault kinematic analysis were carried out along the Şihlar, Çamlıyaka, Saytepe and Dumanlıca Fault Sets around Koyulhisar and its surroundings. The result of kinematic analysis indicates that the region is under the effect of NW-SE compression and NE-SW extension. Morphotectonic structures and microseismic activity reveals the right lateral strike slip activity of the North Anatolian Fault Zone in this region. Intense landslide activity in the region is seen. One of the severe landslides occurred in the Koyulhisar area in 2000 is still affecting the region. GPS monitoring of this landslide reveals an average of 2.5-7.4 mm/year slip rate. GPS campaigns were also carried out on the eastern part of the North Anatolian Fault Zone including the Koyulhisar region by Tatar et al. (2012). Five GPS sites fall into the study area. GPS analyses show that the fault locking depth increases westwards from 8.1 ± 3.3 in Erzincan to 12.8 ± 3.9 km nearby Niksar. The change in locking depth from 10–16 km down to 5 km may have been caused by several rheological and seismological parameters such as thickness of the crust, rock type, geochemical composition and recent seismic activity. The wideness of deformation belt at the surface calculated by the GPS measurements on a 120 km wide belt along the Niksar–Erzincan segment of the NAFZ forming the boundary between Eurasian and the Anatolian plates varies as well (Tatar et al. 2012).

Similarly, the North Anatolian Shear Zone (NASZ, Şengör et al., 2005) including the Niksar–

Erzincan segment of the NAFZ widens from east to the west. The wideness of the surface deformation is calculated as 3.1 ± 1.6 km at profile 3 covering the Erzincan and its surroundings, 4.0 ± 2.7 km at profile located to the west of Suşehri and 15.1 ± 2.6 km at profile 1 including the Sungurlu fault zone and the Niksar basin (Tatar et al. 2012). This change is also consistent with the Şengör et al. (2005) observations that the wideness of the NASZ increases towards the west. GPS results obtained from the eastern part of the NAFZ in the study by Tatar et al. (2012) are consistent with geological and fault kinematic data which also show a significant crustal movement in the region. Furthermore, these results also indicate the accumulation of interseismic deformation.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Akyüz, H.S., Hartleb, R., Barka, A.A., Altunel, E. ve Sunal, G. (2002). Surface rupture and slip distribution of the 12 November 1999 Düzce Earthquake (M 7.1), North Anatolian Fault, Bolu, Turkey. *Bull. Seism. Soc. America*, 92, 61-66.
- Armijo, R., Meyer, B., Hubert-Ferrari A., Barka, A. (1999). Westward propagation of North Anatolian Fault into the Northern Aegean: timing and kinematics. *Geology* 27:267-70.
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F. (1975). Türkiye'deki bazı önemli genç tektonik olaylar. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 18(1), 91-101.
- Ayhan, M.E. ve Kılıçoğlu, A. (1995). Global Konumlama Sistemi (GPS) Baz vektörlerinin Benzerlik ve Afın Dönüşümü ile Üç Boyutta Sıklaştırılması, Türk Haritacılığının Yüzüncü Yılı TUJJB ve TUFUAB Kongreleri Bildiri Kitabı, s.307-320, Ankara
- Barka A. (1992). The North Anatolian Fault zone. *Annales Tectonicae*, 6:164-95
- Barka, A., Akyüz, H.S., Cohen, H.A., Watchorn, F. (2000). Tectonic evolution of the Niksar and Taşova-Erbaa pull-apart basins, North Anatolian Fault Zone: their significance for the motion of the Anatolian Block. *Tectonophysics* 322:243-64
- Barka, A. (1996). Slip distribution along the North Anatolian Fault associated with large earthquakes of the period 1939 to 1967. *Bull. Seis. Soc. Amer.* 86, 1238-1254.
- Barka, A. ve Hancock, P.L. (1984). Neotectonic deformation patterns in the convex-northwards arc of the North Anatolian fault zone. *Geological Society, London, Special Publications*, 17(1), 763-774.
- Barka, A., Akyüz, H. S., Altunel, E., Sunal, G., Çakır, Z. (2002). The surface rupture and slip distribution of the 17 August 1999 İzmit earthquake (M 7.4), North Anatolian Fault. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 92:43-60.
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey: a synthesis. *Geodinamica Acta* 14, 3-30.
- Oral, M., Reilinger, R. E., Nafi Toksöz, M., King, R. W., Aykut Barka, A., Kınık, I., ve Lenk, O. (1995). Global positioning system offers evidence of plate motions in eastern Mediterranean. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 76(2), 9-11.
- Carey, E. (1976). Analyse numérique d'un modèle mécanique élémentaire appliqué à l'étude d'une population de failles: calcul d'un tenseur moyen des contraintes à partir des stries de glissement (Doctoral dissertation).
- Carey, E. (1979). Recherche des directions principales de contraintes associées au jeu d'une population de failles, *Rev. Geol. Dynam. Geog. Phys.*, 21, 57-66
- Çakır, Z., de Chabaliér, J.B., Armijo, R., Meyer, B., Barka, A. ve Peltzer, G. (2003). Coseismic and early-post-seismic slip associated with the 1999 İzmit earthquake (Turkey) from SAR interferometry and tectonic field observations, *Geophysical Journal International*, 155, 93-110.
- Emre, Ö., Kondo, H., Duman, T.Y., Özalp, S. ve Elmacı, H. (2012). 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Giresun (NK 37-14) Paftası, Seri No: 40, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- Erturaç M. K. ve Tüysüz O. (2012). Kinematics and Basin Formation Along the Ezinepazar-Sungurlu

- Fault Zone, NE Anatolia, Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.), Vol. 21, 2012, pp. 497–520
- Hartleb, R. D., Dolan, J. F., Akyüz, H.S. ve Barka, A.A. (2000). Paleoseismologic results from the North Anatolian Fault, Çukurçimen and Ulaşlar, north-central Turkey. Eos, Transactions, American Geophysical Union, United States, Özler, 818.
- International Seismological Centre, *On-line Bulletin*, <http://www.isc.ac.uk>, ve <http://isc-mirror.iris.washington.edu>, International Seismological Center, Thatcham, United Kingdom, 2012.
- Ketin İ. (1968). Relations between general tectonic features and the main earthquake regions in Turkey. Bull. Miner. Res. Explor. Inst. Turk. 71:63–67
- Ketin, İ. (1969). Kuzey Anadolu Fayı Hakkında. Maden Tetkik ve Arama Dergisi 72, 1-27.
- Kiratzı, A.A. (1993). A study of the active crustal deformation of the North and East Anatolian fault zones. Tectonophysics, 225:191–203
- Koçyiğit, A. (1988). Basic geological characteristics and total offset of the North Anatolian Fault zone in Suşehri area, NE Turkey. METU Pure and Applied Sciences, 22, 43-68.
- Koçyiğit A. (1990). Tectonic setting of the Gölova Basin: total offset of the North Anatolian Fault Zone, E Pontide, Turkey. Ann. Tecton. Spec. issue IV: 155–70.
- Koçyiğit, A. (1989). Suşehri Basin: An Active Fault-wedge Basin on the North Anatolian Fault Zone, Turkey, Tectonophysics 167, 11–29.
- Koçyiğit, A. (1990). Tectonic setting of the Gölova basin: total offset of the North Anatolian Fault Zone, E. Pontide, Turkey. Ann. Tectonicae, 4, 155-170.
- McClusky, S, Balassanian, S, Barka, A, Demir, C, Ergintav, S., et al. (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. J. Geophys. Res. 105:5695–719
- Okay, A.İ., Satır, M., Zattın, M., Cavazza, W., Topuz, G. (2008). An Oligocene ductile strike-slip shear zone: Uludağ Massif, northwest Turkey-implications for the escape tectonics. Geological Society of America Bulletin.893 p
- Piper, J.D.A., Tatar, O., Gürsoy, H. (1997). Deformational behaviour of continental lithosphere deduced from block rotations across the North Anatolian Fault Zone in Turkey. Earth Planet. Sci. Lett. 150:191–203.
- Poyraz, F. (2009). Kuzey Anadolu Fay Zonu Doğu Kesiminde Yatay Yerkabuğu Hareketleri ve Gerilme Birikiminin Araştırılması. Doktora Tezi, 140 s. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Çakmak, R., ve Nadariya, M. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 111(B5).
- Reilinger, R.E, McClusky, S.C, Oral, M.B, King, R.W, Toksöz, M.N. (1997). Global Positioning System measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa- Eurasia plate collision zone. J. Geophys. Res. 102:9983–99
- Seymen, İ. (1975). Kelkit Vadisi Kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonunun Tektonik Özelliği: Dr. Eng., İstanbul Tek. Univ., Maden Fak., XIX+192 pp.+2 foldout maps
- Şaroğlu, F. (1985). Doğu Anadolu'nun Neotektonik Dönemde Jeolojik ve Yapısal Evrimi. Ph.D thesis. İstanbul Univ., Fen Bilim. Enst., İstanbul. 240 pp.+7 foldouts
- Şaroğlu, F. (1988). Age and offset of the North Anatolian Fault. METU J. Appl. Sci. 21:65-79
- Şengör, A. M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X. & Rangin, C. (2005). The North Anatolian Fault: A New Look. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 33, 37-112.
- Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. Tectonophysics, 75(3), 181-241.
- Şengör, A.M.C., Görür N, Şaroğlu, F. (1985). Strike slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In Strike-slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation, Soc. Econ. Paleontol. Miner. Spec. Publ. 37 (in honor of J.C. Crowell), ed. KT Biddle, N Christie-Blick, pp. 227–64

- Şengör, A.M.C. (1979). The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance. *J. Geol. Soc. London*, 136:269–82.
- Tatar O., Aykanat D., Koçbulut F., Yılmaz I., Sendir H., Kürçer A., Sağlam B. (2000). Koyulhisar İlçe Merkezi ve İlçe Emniyet Amirliği Hizmet Binası Heyelan Etüd ve Değerlendirme Raporu, Sivas.
- Tatar, O., Gürsoy, H., Altunel, E., Akyüz, H.S., Topal, T., Şahin, M., Kavak, K.Ş., Çakır, Z., Koçbulut, F., Sezen, T.F., Mesci, B.L., Dikmen, Ü., Türk, T., Poyraz, F., Hastaoğlu, K.Ö., Zabcı, C., Karabacak, V., Akın, M., Akpınar, Z., Polat, A., Gürsoy, Ö., Demir, G., Ayazlı, İ.E., Yalçın, Ç., Yavaşoğlu, H., Karaman, H. ve Erden, T. (2009). Aktif Fay Zonları ve Doğal Afetler: Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerinde Kelkit Vadisi Boyunca Yer Alan Yerleşim Alanlarının Doğal Afet Risk Analizi ve Afet Bilgi Sisteminin Oluşturulması, Cilt 1 Neotektonik, Paleosismoloji, GPS, Heyelan Duyarlılık ve Radar Interferometri), DPT Proje No 2006K-120220, 868 s.
- Tatar, O., Poyraz, F., Gürsoy, H., Çakır, Z., Ergintav, S., Akpınar, Z., Koçbulut, F., Sezen, T.F., Türk, T., Hastaoğlu, K.Ö., Polat, A., Mesci, B.L., Gürsoy, Ö., Ayazlı, İ.E., Çakmak, R., Belgen, A. ve Yavaşoğlu, H. (2012). Crustal deformation and kinematics of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) from GPS measurements. *Tectonophysics*, 518-521, p.55-62.
- Tatar, Y. (1978). Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Erzincan-Refahiye arasındaki bölümü üzerinde tektonik incelemeler. *Yerbilimleri Dergisi*, 5(3/4), 201-236.
- Taymaz, T., Jackson, J., and McKenzie, D. (1991). Active tectonics of the north and central Aegean Sea. *Geophys. J. Int.* 106:433–90.
- Terlemez, İ. ve Yılmaz, A. (1980). Ünye-Ordu-Reşadiye-Koyulhisar-Karaçayır-Hafik arasında kalan bölgesinin jeolojisi, MTA. Rapor No: 6671.
- Terzioğlu, N. (1986). Reşadiye-Gölköy ve Koyulhisar arasındaki Tersiyer-Kuvaterner yaşlı volkanitlerinin genel stratigrafik özellikleri, Cumhuriyet Üniv., Müh, Fak, Dergisi, Yerbilimleri, 3/1, 3- 13.
- Toprak, V. (1988). Neotectonic characteristics of the North Anatolian Fault Zone between Koyulhisar and Suşehri (NE Turkey). *METU J. Pure Ap. Sci.*, 21:155-66.
- Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, T. ve Tarı, U. (1998). Batı Karadeniz Bölgesinin Tektonik Birliklerinin Ayırıcı ve 1: 500.000 Ölçekli Jeoloji Haritasının Hazırlanması [Tectonic Units of Western Black Sea Region and Their Geological Mapping at 1: 500.000 Scale]. TÜBİTAK Project Report YDABÇAG-17.
- Uysal, S. (1995). Koyulhisar (Sivas) yöresinin jeolojisi, M.T.A. Rapor No: 9838.
- Westaway, R. (1994). Present-day kinematics of the Middle East and eastern Mediterranean. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 99(B6), 12071-12090.
- Yaltrak, C., Sakıncı, M., Oktay, F.Y. (2000). Westward propagation of North Anatolian Fault into the northern Aegean: Timing and kinematics. *Comment. Geology* 28:187– 89.
- Yaltrak, C. (1996). Ganos Fay Sistemi'nin tektonik tarihi. *Türk. Petrol Jeol. Derneği, Bül.* 8:137–56.

Makale Geliş Tarihi : 16 Mayıs 2016
Kabul Tarihi : 4 Ağustos 2016

Received : 16 May 2016
Accepted : 4 August 2016