

Blok rotasyonuna fluviyal tepkinin nicel analizi: Almacık Bloku örneği

Cengiz YILDIRIM*, Okan TÜYSÜZ

İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Yer Sistem Bilimi Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Doğrultu-atımlı fay sistemlerinde diri faylarla sınırlandırılmış kabuksal bloklar düşey eksenli rotasyona maruz kalırlar. Bu çalışmada fluviyal sistemlerin düşey eksenli rotasyona olan tepkileri ve bu tepkileri kullanarak rotasyonun yönü ve miktarı tanımlanmaya çalışılmıştır. Araştırma Marmara Bölgesi doğusunda yer alan Almacık Bloku üzerinde yapılmıştır. Almacık Bloku Kuzey Anadolu Fay Sistemi içinde sistemin kuzey ve güney kolları arasında yer alan tamamen doğrultu-atımlı faylarla sınırlanmış mercek şekilli tektonik bir bloktur. Çalışmada ilk olarak Almacık Bloku'nu sınırlayan diri faylar haritalanmış, bunların kinematik özellikleri, segmentasyonları ile aktivite sınıflamaları yapılarak blokun neotektonik özellikleri ortaya konmuştur. Bunu takiben blok üzerinde yer alan akarsu şebekesi ve havzaları üzerinde sayısal yükseklik modelleri ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak Asimetri Faktörü ve Vadi Yönelimi analizleri yapılmıştır. Ayrıca blokları sınırlayan fayların uzun dönem kayma miktarlarına bağlı olarak blokların rotasyon miktarının belirlenmesine yönelik yeni bir yaklaşım (tanjant yaklaşımı) geliştirilerek Almacık ve Armutlu Blokları üzerinde uygulanmıştır. Asimetri Faktörü analizleri akarsu havzalarının asimetrilerini nicel bir şekilde ifade etmeye imkan verir. Vadi Yönelimi analizi ise havzaların kaynak ve ağız kısımları arasındaki genel yönelmeyi gösterir. Ana akış yönlerini karakterize eden vadi yönelim çizgileri Almacık Bloku üzerinde yer alan tüm havzalar için çizilmiş ve bunların gül diyagramları yapılarak yönelme yoğunlukları gösterilmiştir. Yapılan Asimetri Faktörü analizleri sonucunda blokun saat yönündeki rotasyonuna akarsuların tepki gösterdikleri ve bunun akarsuların havzalarında sağ yönlü asimetriye neden olduğu görülmüştür. Vadi yönelimi analizleri ise akarsu havzalarının da blokla beraber saat yönünde rotasyona maruz kaldığını ve Almacık Bloku'nun Kuzey Anadolu Fayı'na bağlı olarak En Geç Pliyosen-Günümüz zaman aralığında 20°-25° saat yönünde döndüğünü göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kuzey Anadolu Fayı, blok rotasyonu, fluviyal tepki.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Cengiz YILDIRIM. Cengiz.Yildirim@geo.uni-potsdam.de; Tel: (+49) 331 9775783. Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü Yer Sistem Bilimi Programı'nda tamamlanmış olan "Almacık Bloku ve yakın çevresinin morfolojisi" başlıklı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 23.07.2008 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 11.09.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.09.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Quantitative analysis of fluvial response to block rotation; Almacık Block case

Extended abstract

Block rotations are common in the strike-slip fault systems. Blocks delimited by right lateral strike-slip faults display clockwise rotations and blocks delimited by left lateral strike-slip faults display anti-clockwise rotations. This deformation has been determined by using structural and paleo-magnetic properties of the rocks.

In this study, for the first time response of fluvial systems was considered to identify direction and amount of rotation. Since the fluvial systems are very sensitive against internal and external neo-tectonic deformations, they might be utilized in order to identify block rotations along with structural and paleo-magnetic data. This fluvial response approach is applied to the Almacık Block located east of the Marmara region.

Almacık Block is delimited by active faults of the northern and southern strands of the North Anatolian Fault System and consists of rocks from Paleozoic to Eocene metamorphic, volcanic and sedimentary rocks. The block is displaced, uplifted and rotated in the neo-tectonic period. It is a east to west trending spindle shaped tectonic block with 80 km length and 18 km width. The main drainage divide of the block is close to southern flank and roughly parallel to the long axis. Top surface of the block is remnants of a paleo-surface. It preserves initial direction of the parent rivers of current drainage network.

We proposed that if a drainage basin in an homogeneous and isotropic media, its response to block rotation would give rise to asymmetry on the cross-section of the main valley of drainage basin. Of course this response depends on erosional capability of the basins and rate of rotation.

Three models were proposed as 1-Erosion<Rotation; 2-Erosion=Rotation; 3-Erosion>Rotation. In order to test the models, two geomorphic indices were applied on the basins. They are Asymmetry Factor and Basin Azimuth Analysis. Asymmetry Factor is the first index that we

applied in order to test existence of fluvial response to block rotation. It is usually used to identify tilting of footwall of normal dip-slip faults. In this study, it was used to quantify asymmetry of the basins instead of tilting. Surface measurements of the main basins and right half were used to calculate asymmetry factor. We applied this index to 55 different basins of northern catchment and found 77% right asymmetry and 23% left asymmetry whereas on 24 different basins of southern catchment display 83% right asymmetry and 17% left asymmetry. Those values are consistently proved that drainage basins response to block rotation as they response to other tectonic deformations.

Basin Azimuth analysis were applied to identify amount of rotations. It is based on angular relationships between former and present fluvial systems to North Anatolian Fault System. It is generally known that former drainage system that is observed on the paleo-surfaces from south to north, roughly orthogonal to the North Anatolian Fault System. Following the initiation of the North Anatolian Fault in the area those former drainage systems were perturbed and younger drainage systems, like Mudurnu Valley, started to develop.

In this analyze whole of the drainage system was primarily evaluated. The rose diagram of it indicates orientation between 10-20°. Since some margins of the block has different surface orientation this orientation values has to be checked out on margins especially orthogonal to North Anatolian Fault. The Mudurnu valley is the best place to test it and we evaluated to southern and northern slope of the valley. The northern slope of the valley coincides the Almacık Block southern slope of the valley coincides Kapiorman Mountain. Hence, we can compare behaviour of the drainage basins on two block of the fault. Rose diagram of the northern slope (Almacık Block) clearly indicates 20°-25° clockwise rotation of the block with respect to southern slope (Kapiorman Mountain) of the valley. Both results reveal that fluvial systems are sensitive to block rotation and Almacık Block is rotated clockwise about 20-25° since the North Anatolian Fault initiated between the latest Pliocene to Present.

Keywords: North Anatolian Fault, block rotation, fluvial response.

Giriş

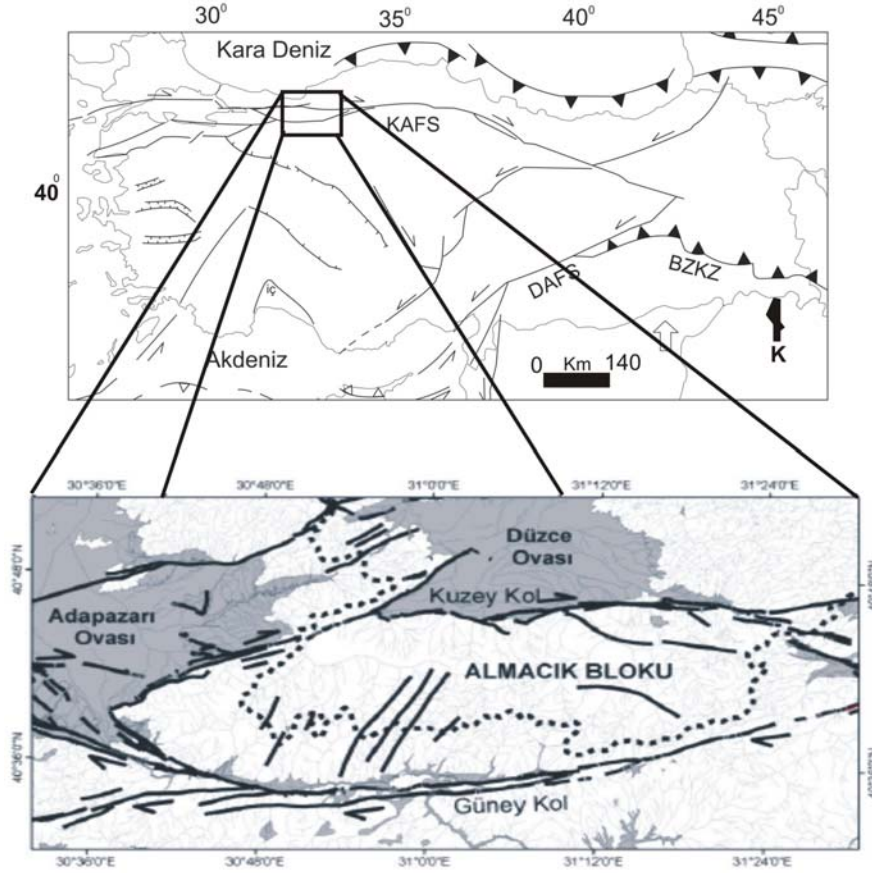
Blok rotasyonu, deformasyonun geniş bir alana yayıldığı aktif doğrultu atımlı fay zonlarında doğrultu atımlı faylarla sınırlanmış kabuksal bloklarda görülen tektonik bir deformasyondur (McKenzie ve Jackson, 1983; Şengör vd., 1985; Nicholson ve Seeber., 1989; İşseven ve Tüysüz, 2006).

Sağ yönlü doğrultu atımının egemen olduğu bir fay sistemi içinde yer alan kabuksal bloklarda saat yönünde, sol yönlü doğrultu atımının egemen olduğu bir fay sistemi içinde yer alan kabuksal bloklarda ise saat yönünün aksine düşey eksenli blok rotasyonu görülür (Ron vd., 1984; Garfunkel, 1989).

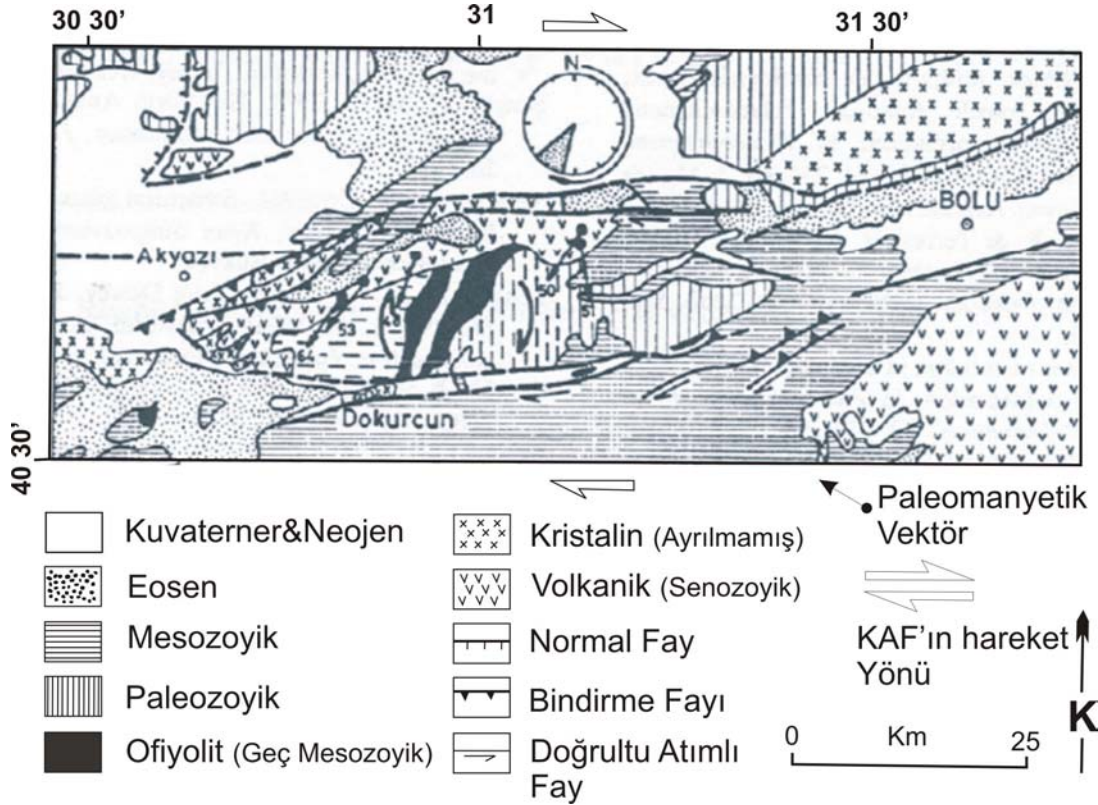
Düşey eksenli blok rotasyonunun hızını ve miktarını paleomanyetik ölçüm ve yapısal çalışmalarla belirlemek mümkündür. Bununla beraber milimetre ölçeğindeki tektonik deformasyonlara karşı hassas olan fluviyal süreçlerin de blok rotasyonuna tepkilerinin olması beklenir.

Fluviyal sistemler yükselme ya da kayma gibi neo-tektonik süreçlerin zamanını, hızını ve büyüklüğünü nicel olarak belirlemek amacıyla uzun süredir kullanılmaktadır. İlk kez bu çalışmada düşey rotasyona maruz kalmış tektonik bir bloğun uğradığı rotasyonun yönünü ve miktarını belirlemek için fluviyal tepkiler gözönüne alınmış ve değerlendirilmiştir.

Almacık Bloku Kuzey Anadolu Fay Sistemi içinde yer alır ve sistemin kuzey ve güney kolları tarafından sınırlanır (Şekil 1). Bloku sınırlayan diri fayların neredeyse tamamı geçen yüzyılda kırılmıştır. Blok jeolojik olarak Paleozoyik'ten Eosen'e kadar metamorfik, volkanik ve sedimenter kayaları bünyesinde barındırır (Şekil 2) (Abdüsselamoğlu, 1959; Yılmaz vd., 1995). Neojen ve Kuvaterner çökelleri ise blok üzerinde oldukça sınırlı olup bloğun kenar kesimlerindeki havza ve vadilerde birikmişlerdir (Yılmaz vd., 1981; Emre vd., 1998).



Şekil 1. Almacık Bloku'nun yerbuldururu (üstte) ve dirifay haritası (altta) (düz ve kalın çizgiler diri fayları, kesikli çizgiler su bölümünü göstermektedir)



Şekil 2. Almacık Bloku'nun basitleştirilmiş jeoloji haritası (MTA 1963-64) ve 212°'lik blok rotasyonu (Sarıbudak vd., 1990)

Almacık Bloku asimetrik bir morfolojiye sahiptir. Su bölümü çizgisi blokun güney kanadına çok yakındır (Şekil 1). Su bölümü çizgisinin kuzeyinde zirve düzlükleri nispeten geniş alanlar kaplar. Bu düzlükler üzerinde Kuzey Anadolu Fayı öncesi paleo-akarsu şebekesinin korunmuş yarı olgun vadileri yer alır. Su bölümü çizgisinin güneyinde ise bu zirve düzlüklerine rastlanmaz. Buradaki yüzeyler henüz olgunlaşmamış genç yüzeylerdir. Bunlar doğrudan Kuzey Anadolu Fayı'na bağlı olarak Mudurnu Vadisi'nin açılması ile oluşmuşlardır. Blok üzerindeki akarsular birbirine paralel sıralı dizilmiş konsekantlar şeklinde Kuzey Anadolu Fayı'nın aktif koluna dik açılar yaparlar.

Almacık Bloku üzerinde yapılan yapısal (Şengör vd., 1985) ve paleomanyetik çalışmalar (Şekil 2) (Sarıbudak vd., 1990; Tatar vd., 1998) blokun aktif olarak düşey eksenli rotasyona uğradığını göstermektedir. Almacık Bloku sahip olduğu jeomorfik ve tektonik özellikleri bakımından düşey rotasyona fluviyal tepkinin ölçülmesi açısından tipik bir alandır.

Materyal ve yöntem

Bu çalışmada 1: 10000 ölçekli hava fotoğrafları ile ASTER uydu görüntüleri ve 1: 25000 ölçekli topoğrafya haritalarından üretilen 25 m'ye örneklenmiş sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanılmıştır. İlk olarak bloku sınırlayan dirifaylar hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinden yararlanılarak haritalanmış, bunların segmentasyonları ve aktivite sınıflamaları yapılmıştır. Sahanın neo-tektonik çatısı oluşturulduktan sonra Almacık Bloku'nun sayısal yükseklik modeli bloku sınırlayan diri faylar baz alınarak oluşturulmuş ve ArcHydro v.2.1. eklentisi ArcGIS v.9.2 Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımı içinde kullanılarak Almacık Bloku üzerindeki akarsu ağı ve havza sınırları belirlenmiştir. Havzalar Asimetri Faktörü (AF) indisinin hesaplanması için akış yönlerinde sağ ve sol olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Vadi Yönelimi (azimuth) analizinde ise havzaların genel akış yönünü karakterize edecek şekilde havzaların kaynak ve ağız noktasını birleştiren çizgi vadi yönelimi çizgisi olarak alınmıştır. Yönelim çizgileri ErMapper v.6.4.

Lineament Analysis (www.ermapper.com) eklentisi yardımı ile gül diyagramına dönüştürülerek havzaların yönelim yoğunlukları ortaya çıkmıştır. Yukarıdaki tüm veriler CBS ortamında haritalanmış ve depolanmıştır.

Morfometrik analizler ve sonuçları

Asimetri Faktörü

Aktif tektonik çalışmalarında bloklardaki tiltlenmenin nicel olarak ölçülmesinde en yaygın olarak kullanılan indislerden biri olan asimetri faktörü, yükselmeye neden olan ana faylara paralel ya da yarı-paralel akarsu havzalarında uygulanmaktadır (Alexander ve Leeder, 1990; Cox, 1994). Bu çalışmada Asimetri Faktörü tiltlenmenin ölçülmesi yerine akarsu havzalarındaki asimetriyi nicel olarak ifade etmesi nedeniyle kullanılmıştır.

Kuramsal olarak homojen ve izotrop bir malzemedeki oluşmuş ve ilksel eğime sahip bir blok üzerinde gelişen akarsu vadilerinin simetrik olması beklenir. Yine aynı malzeme özelliklerine sahip blok sağ yönlü bir basit makaslama sistemi içinde saat yönünde rotasyona maruz bırakıldığında akarsular, aşınımın ve tektoniğin (rotasyon) hızlarına bağlı olarak farklı davranışlar sergileyebilir (Şekil 3).

Buna bağlı olarak 3 farklı model ileri sürülmüştür:

1- Aşınım < Rotasyon

2- Aşınım = Rotasyon;

3- Aşınım > Rotasyon

Doğal olarak aşındırma hızı blok rotasyonundan düşük olan bir akarsuyun vadisi rotasyona maruz kaldığında simetrisini koruyacak ancak vadi yönelimi (azimutu) rotasyon miktarınca saat yönünde değişecektir (Şekil 4). Eğer akarsuyun aşındırma hızı rotasyon hızından yüksek ise o zaman akarsu rotasyona tepki olarak, rotasyonun tersi istikametindeki vadi yamacına doğru kayacak ve onu aşındırarak sağa asimetric bir vadi gelişmesine neden olacaktır. Benzer fakat

tersi biçimde sol yönlü basit makaslama sistemi içinde saatin aksi yönündeki rotasyonlar da gözlenebilir (Şekil 4).

Her kuramsal model gibi bu modelin de bloğun homojen ve izotrop olmayışı ve akarsuların ilksel kuruluş geometrilerinin farklılıklar gösterebilmesi gibi belirsizlik ve sınırlamaları vardır. Ancak Almacık Bloku gibi ilerleyici deformasyona maruz kalmış aktif tektonik bir yapı üzerindeki akarsuların davranışı modelimizin test edilmesi için uygun bir imkan sağlamaktadır.

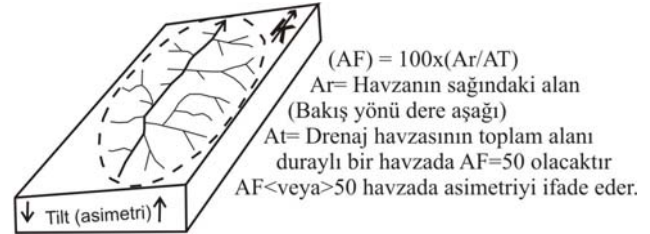
Asimetri Faktörü aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$AF=100(Ar/At)$$

Ar=Havzanın akış yönüne göre sağ yamacının alanı

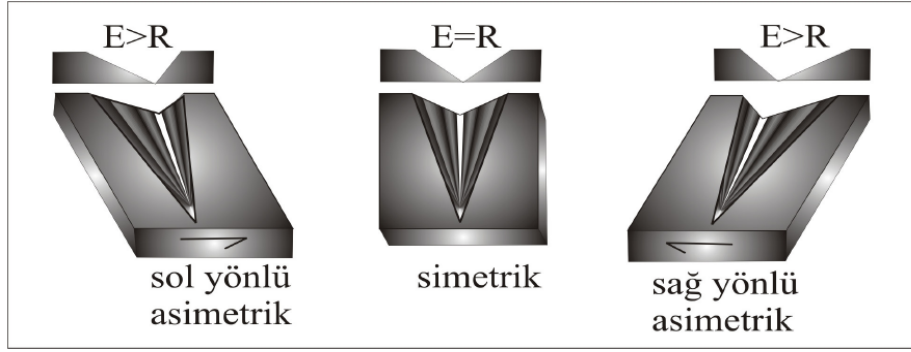
At= Havzanın tamamının alanı

Asimetri Faktörü değerleri 50'den düşük ise akarsuyun akış yönünde sağa doğru bir tiltlenmeyi ifade ederken 50'den yüksek değerler havzanın akış yönüne göre sola doğru tiltlenmesini (asimetrisi) ifade eder (Keller ve Pinter, 2002).

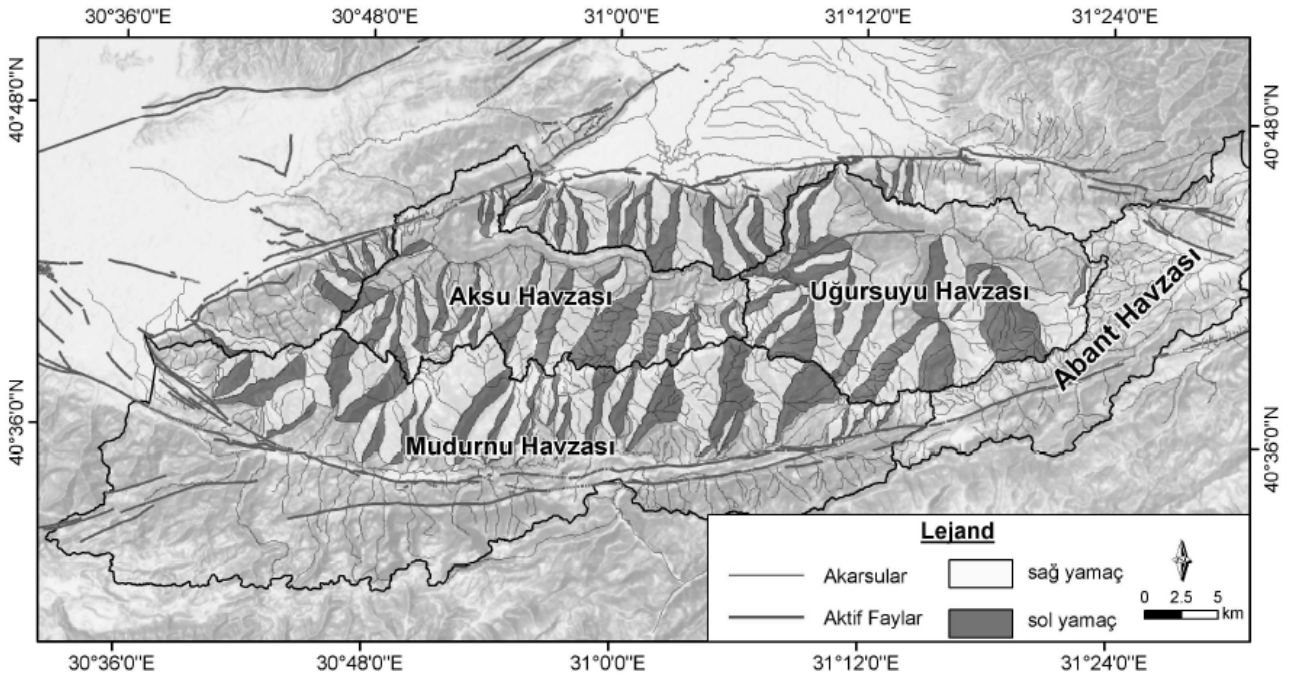


Şekil 3. Asimetri Faktörünün formülü ve uygulaması (Keller ve Pinter, 2002)

Asimetri Faktörü analizlerinde bloğun uğradığı deformasyonun jeomorfolojik karşılığı olabileceği ve bu tür deformasyonlara en hızlı cevap veren jeomorfolojik elemanların akarsu havzaları olmaları nedeni ile Almacık Bloku üzerinde kütle hareketleri ya da akarsu kapması gibi jeomorfik süreçlerden etkilenmemiş ve tabakalanma ya da litolojik kontaklara yerleşmemiş 79 akarsu havzasında AF indisi uygulanmıştır (Şekil 5). Yapılan analizlerde havzalar Almacık Blokunun ana su bölümü kullanılarak kuzey ve



Şekil 4. Akarsu vadilerinin blok rotasyonuna kuramsal tepkisi

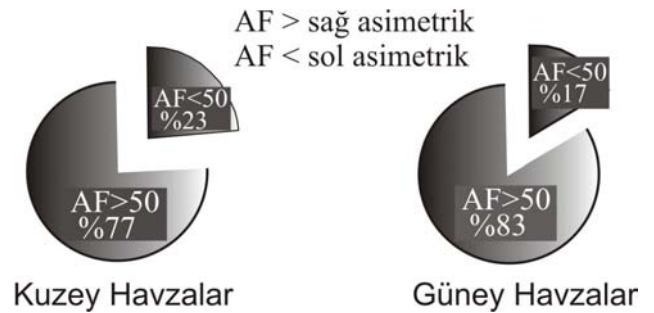


Şekil 5. Almacık Bloku üzerinde AF indisi analizi yapılan havzalar

güney olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Su bölümünün kuzeyinde yer alan 55 havza içinden %23'ü (13 adet) sol yönlü asimetric gösterirken %77 gibi (42 adet) büyük çoğunluğu sağ yönlü asimetric göstermektedir. Su bölümünün güneyinde yer alan 24 adet havzadan ise %17'si (4 adet) sol yönlü asimetric gösterirken, %83 gibi (20 adet) yüksek bir oran sağ yönlü asimetric göstermektedir (Şekil 6).

Güney ve kuzeydeki havzaların akış yönlerinin birbirine zıt olmasına rağmen aynı yönlü asimetric göstermeleri tüm havzaların benzer deformasyona uğradıklarını ve blok rotasyonuna tepki göstererek asimetric vadi kesitleri oluştur-

duklarını göstermektedir. Ancak bu tepki rotasyon ve aşınım hızına bağlı olarak değişik varyasyonlara sahip olabilir.



Şekil 6. Kuzey ve güney su bölümlerinde yer alan havzaların AF değeri oranları

Vadi yönelimi

Bu analizde akarsu vadilerinin yönelimi blok rotasyonunun miktarını belirlemek amacı ile kullanılmıştır. Almacık Bloku ve yakın çevresinde yaptığımız jeomorfolojik çalışmalar Kuzey Anadolu Fayı (KAF) faaliyete başlamadan önce bölgenin bir peneplenleşme alanı olduğu ve güneyden kuzeye, Karadeniz'e akışlı akarsu sistemleri ile akaçlandığını göstermektedir.

Akarsu sistemlerinin kalıntılarını Almacık Bloğu ve yakın çevresindeki morfolojik ünitelerin zirve düzeylerinde görmek mümkündür. Bu akarsu sistemleri KAF ile dik ve dike yakın açılar yapmaktadır.

Bunun yanında KAF'nın bölgede faaliyetine başlamasına bağlı olarak bu güney-kuzey yönlü akarsu şebekesini bozan kabaca doğu batı doğrultulu akarsu vadileri de oluşmuştur. Mudurnu Vadisi bunlara örnektir (Şekil 7). Özellikle Mudurnu Vadisi içinde gelişen akarsu sistemleri doğrudan KAF'a bağlı olarak oluşmuş vadi sistemleridir. Dolayısıyla Almacık Bloku üzerinde yer alan akarsu vadileri de blokun maruz kaldığı rotasyona maruz kalmış olmalıdırlar. Bunu denetlemek amacı ile AF analizi yaptığımız vadilerin yönelimleri incelenmiştir. İlk olarak blok üzerindeki tüm havzaların yönelimleri alınmış ancak daha sonra tamamen KAF'ın faaliyetine bağlı olarak gelişmiş olmasına bağlı olarak Mudurnu Vadisinin Almacık Bloğu'na karşılık gelen kuzey yamacı ve karşılaştırmak amacı ile blok üzerinde yer almayan güney yamacındaki akarsuların vadi yönelimleri dik-kate alınmıştır.

Bu analizde havzaları akaçlayan vadilerin genel yönelimleri topolojik olarak vektörel çizgi formatında haritalanmış (Şekil 7) ve bunların azimut dağılımları gül diyagramı olarak gösterilmiştir (Şekil 8).

Blok üzerindeki tüm havzaların yönelimlerinin gül diyagramı farklı yönlerde farklı yoğunluklar göstermektedir (Şekil 8). Ancak ağırlıklı olarak KKD doğrultusunda yoğunlaşmaları dikkat çekicidir. Özellikle 10-20° arasında bu

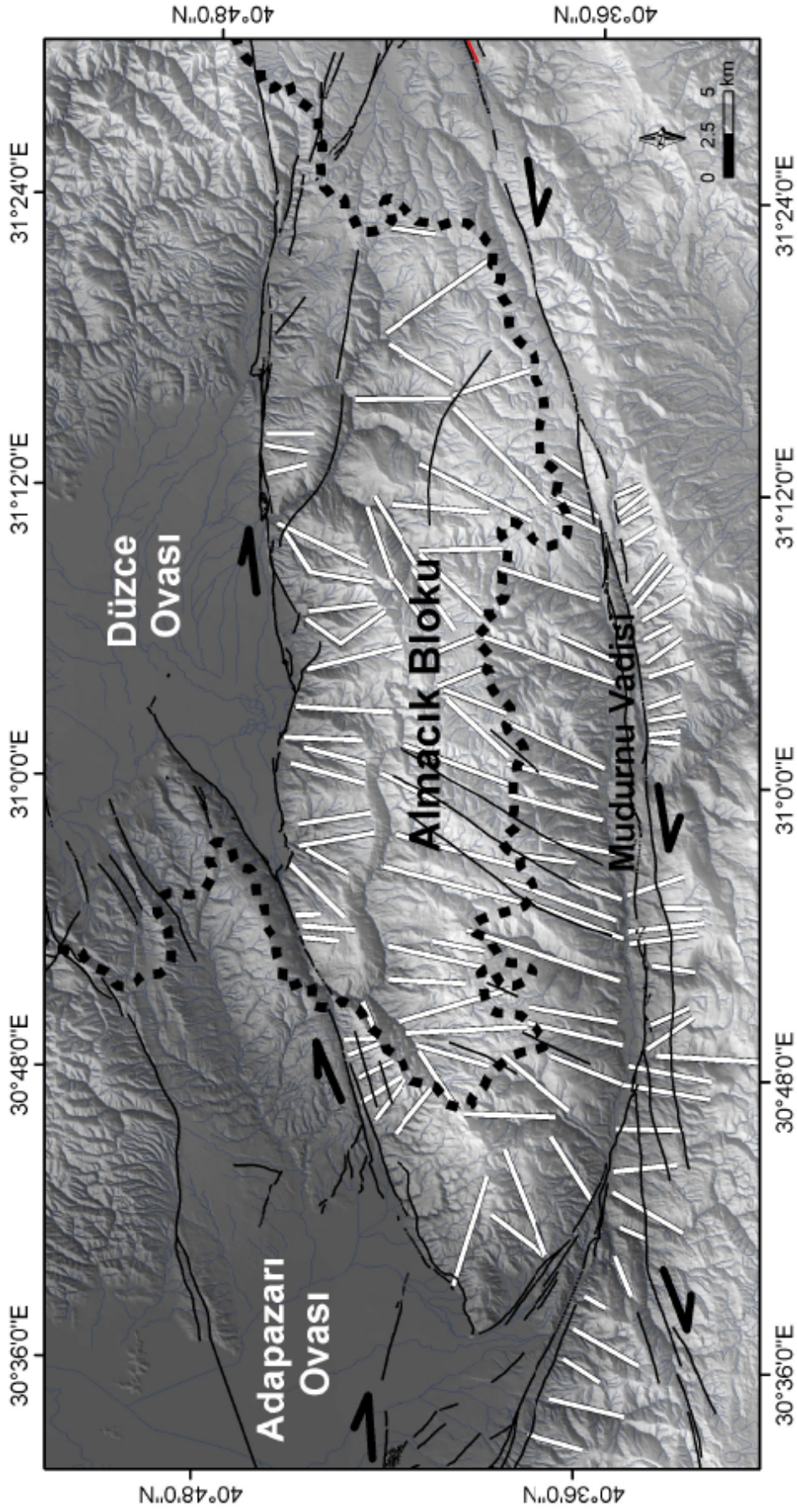
yoğunluk en yüksek değerine ulaşır. Bununla beraber, tamamen KAF'ın faaliyetine bağlı olarak gelişmiş olan Mudurnu vadisinin kuzey ve güney yamaçları üzerindeki akarsu vadilerinin gül diyagramları belirgin farklılıklar göstermektedir. Almacık Bloğu'na tekabül eden vadinin kuzey yamacındaki akarsu vadilerinin gül diyagramları (Şekil 9) belirgin olarak KD ya doğru yönelimlidir ve 17-25° arasında en yüksek yoğunluğa ulaşırlar (Şekil 9).

Ancak vadinin güney yamacındaki akarsu vadilerinin gül diyagramına bakıldığında (Şekil 9) yönelimlerin KB ve KD ya doğru olduğu, ancak en yüksek yoğunluğun 3-4° KB ya doğru olduğu görülmektedir. Kuzey yamaçtaki akarsuların yönelimleri blokun maruz kaldığı saat yönündeki rotasyon ile uyumludur.

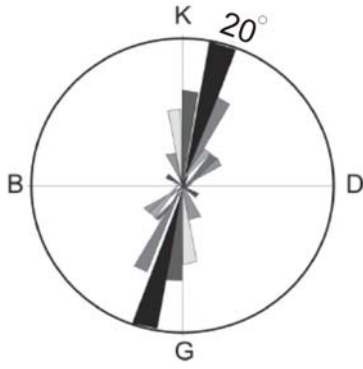
Tanjant yaklaşımı

Bu yaklaşım Almacık Bloku'nun sahip olduğu geometrik özelliklerine ve bloku sınırlayan fayların uzun dönemli kayma hızı ve miktarlarına bağlı olarak blokun olası rotasyon miktarını tahmin etmeye ve gerek tarafımızdan gerekse önceki çalışmalarda ileri sürülen rotasyon miktarlarının sağlamlasını yapmak amacı ile geliştirilmiş bir yaklaşımdır. Yukarıda fluviyal süreçlerin tepkilerine değindiğimiz blok rotasyonu blokları sınırlayan fayların birbirleri ile olan geometrik ilişkileri ve kayma hızları ile miktarlarının bir fonksiyonudur. Özellikle Kuzey Anadolu Fay Sistemi gibi deformasyonun geniş alanlara yayıldığı alanlarda sistemin kolları arasında yamulma paylaşımı gerçekleşmektedir. Bu yamulma paylaşımına bağlı olarak kabuksal blokları sınırlayan faylar kendi aralarında farklı kayma hızı ve miktarlarına sahip olmaktadır.

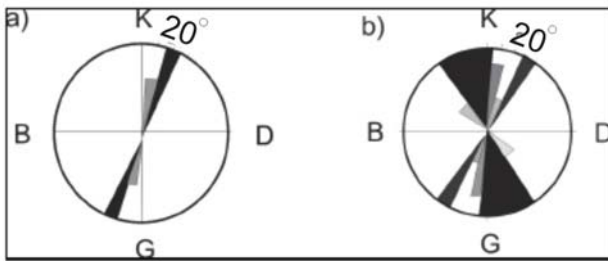
Almacık Bloğu üzerinde yapılan yapısal, paleomanyetik ve aeromanyetik çalışmalardan farklı miktar ve yönlerde rotasyonlar önerilmiştir. Orkan (1972) blok üzerinde yer alan Geç Kretase ve Eosen andezitlerinde yaptığı paleomanyetizma çalışmalarında 35° ile 305° arasında değişen rotasyon miktarları bulmuştur. Şengör ve diğerleri (1985) Almacık Bloku'nun Kuzey Anadolu Fayı'nın faaliyetine bağlı olarak saat yönünde 112° rotasyona uğradığını ileri sürmüştür.



Şekil 7 . Almacık Bloku ve Mudurnu Vadisi'nin güney yamaçlarında yer alan akarsu vadi yönelim çizgileri (ince siyah çizgiler aktif fayları, oklar hareket yönünü, kalın kesikli çizgiler su bölümünü, beyaz çizgiler vadi yönelim çizgilerini gösterir).



Şekil 8. Almacık Bloku üzerindeki tüm havza yöneliminin gül diyagramı



Şekil 9. a) Mudurnu Vadisi kuzey yamacındaki (Almacık Bloku) akarsuların yönelimlerinin gül diyagramı b) Mudurnu Vadisi güney yamacındaki akarsuların yönelimlerinin gül diyagramı

Sarıbudak ve diğerleri (1990) blok üzerinde Eosen volkano-sedimanter kayaçlarında yaptığı paleomanyetizma çalışmalarında blokun 212° saat yönündeki rotasyona maruz kaldığını ileri sürmüştür (Şekil 2). Tatar ve diğerleri (1998) blok üzerindeki aynı birimlerde yaptıkları çalışmalarda blokun 175° - 185° saat yönünde rotasyona uğradığını belirtmiştir. Michel (1994) Almacık Bloku ve Pamukova Havzası arasında paleomanyetik çalışmalar yapmış ve Almacık Bloğu'nun'da içinde bulunduğu doğu Marmara Bölgesi'nin saat yönünün aksine 355° rotasyona uğradığını ileri sürmüştür. Ayrıca Beyhan (2004) bölgesel gravite ve aeromanyetik anomalilerden yararlanarak Almacık Bloku'nun 45° saat yönünde rotasyona maruz kaldığını belirtmiştir.

Görüldüğü gibi gerek önerilen rotasyon yönleri gerekse rotasyon miktarları büyük farklılıklar göstermektedir. Bununla beraber tek bir noktadan alınan paleomanyetik örneklerle blokun ta-

mamına yönelik rotasyon miktarları ileri sürmek Kuzey Anadolu Fay Sistemi gibi birincil ve ikincil bir çok makaslama yapısından oluşan bir alanda sağlıklı sonuçlar vermeyebilir.

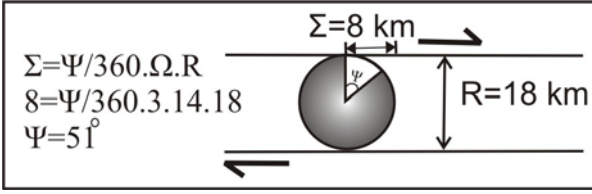
Tarafımızdan yapılan morfometrik analizlerde Almacık Bloku üzerinde özellikle Mudurnu Vadisindeki akarsu vadilerinin saat yönünde belirgin olarak 20 - 25° 'lik bir yönelme gösterdikleri görülmektedir (Şekil 7, 8, 9). Bu yönelim sahadaki genel kısalma yönüne uygundur. Ayrıca bu değer Ayhan ve diğerleri (2002) tarafından sahadaki intersismik GPS çalışmaları sonucu hesaplanan 10° /milyon yıl (Ayhan vd., 2002) ile de uyumludur. KAFS'nin bölgede faaliyetini başladığını ileri sürdüğümüz En Geç Pliyosen-Kuvaterner'den günümüze kadar geçen yaklaşık 3 ± 0.5 milyon yıllık süre göz önüne aldığımızda bu süre içinde yaklaşık 25 - 35° 'lik bir rotasyon miktarı eder ki bu değer havza yönelimleri ile elde edilen rotasyon miktarı ile oldukça yakındır.

Bununla beraber Mc Kenzie ve Jackson (1983) tarafından blokların oldukça yüksek viskoz bir akışkan üzerinde yüzdüğü izole ve rijid nesnelere olarak modellendiği ve blokların boyutlarının makaslama zonunun genişliğinden daha küçük olduğu yüzen blok modeli için $D=2a\Phi$ denklemini ileri sürmüştür. D = makaslama zonu boyunca toplam yer değiştirme, a = makaslama zonunun genişliği ve Φ = rotasyon açısıdır (radyan). $1 \text{ Radyan} = 180^\circ/\pi = 57.28^\circ$ dir.

Sarıbudak ve diğerleri (1990) aynı formülü Almacık Bloku için uygulamış 212° 'lik saat yönündeki bir rotasyon için 148 km 'lik doğrultu atıma ihtiyaç duyulduğunu, bunun KAF için önerilen $85\pm 5 \text{ km}$ 'lik (Seymen, 1975; Ferrari vd., 2002; Yalıtırak, 2002) atımla tutarsız olduğunu, dolayısıyla McKenzie ve Jackson (1983) tarafından ileri sürülen modelin Almacık Bloku için uygun olmadığını ileri sürmüşlerdir.

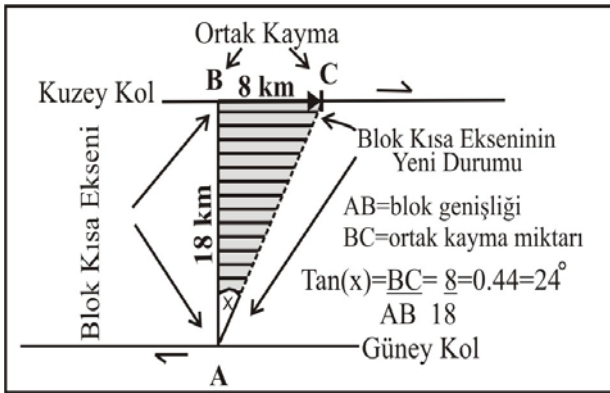
Blok rotasyonunun açısal olarak belirlenmesine yönelik bir diğer yaklaşım Tatar ve diğerleri (1995) tarafından kullanılmıştır (Şekil 10). Fay zonu genişliğinin ve dairesel bir blokun dönüşü arasındaki ilişkiye dayalı bu yaklaşımda deformasyon zonunun genişliği dairenin çapı olarak

ele alınmış ve kayma miktarına bağlı olarak dairenin merkezine göre meydana gelecek açısız rotasyon hesaplanmıştır.



Şekil 10. Serbestçe dönen dairesel bir blokun rotasyonu ile fay zonu genişliği arasındaki ilişki (Tatar vd., 1995'ten değiştirilerek)

Bu çalışmada McKenzie ve Jackson (1983) ve Tatar ve diğerleri (1995)'ten farklı olarak yeni bir yaklaşım ve formül geliştirilmiştir. Tanjant yaklaşımı olarak adlandırabileceğimiz bu yaklaşımda rotasyonun hesaplanmasında deformasyon zonundaki toplam kaymanın (**D**) (McKenzie ve Jackson, 1983) yerine bloku sınırlayan fayların ayrı ayrı kayma miktarlarının belirlenmesi ve az olan **ortak kayma miktarı** olarak kullanılmasıdır (Şekil 11).



Şekil 11. Atım ve blok genişliği kullanılarak rotasyon miktarının belirlenmesine yönelik Tanjant yaklaşımı

Bu çalışmada geliştirilen bu yaklaşım ile Almacık Bloku üzerinde uygulanmış olması gereken rotasyon miktarı 24° olarak hesaplanmıştır (Şekil 11). Bu değer tarafımızdan morfolojik olarak bulunan 20-25° değeri ile ve Ayhan vd., (2002) tarafından saha için jeodezik olarak ileri sürülen 10°/milyon yıl değeri ile de oldukça tutarlıdır. Bununla beraber aynı formül sağlama yapmak amacı ile Armutlu Bloku'nda da uygulanmış ve

27° olarak bulunmuştur, bu değer Armutlu Bloku üzerinde yapılan paleomanyetik çalışmanın sonucu olan 26° ile oldukça uyumludur (Turgay İşseven sözlü görüşme).

Sonuçlar

- Fluvial sistemler diğer tektonik deformasyonlara karşı duyarlı oldukları gibi blok rotasyonuna da duyarlıdır.
- Kabuksal bloklar neo-tektonik süreçlerle rotasyona uğrarken üzerlerinde gelişmiş akarsu sistemleri de rotasyona maruz kalır.
- Aşınım hızının rotasyon hızından yüksek olduğu akarsu havzalarında asimetrik vadi profilleri gelişir.
- Sağ yönlü doğrultu-atım fay sistemlerinde bu asimetri sağ yönlü sol yönlü doğrultu atım sistemlerinde sol yönlüdür.
- Almacık Bloku üzerinde yer alan fluvial sistemlerin asimetri özellikleri bloğun saat yönünde rotasyona maruz kaldığını göstermektedir.
- Akarsuların vadi yönelimleri Almacık Bloku'nun Kuzey Anadolu Fayı'nın sahada olduğu En Geç Pliyosen-Günümüz aralığında 20°-25° rotasyona maruz kaldığını göstermektedir.
- Uygun olan alanlarda paleo-manyetik ve yapısal çalışmaların yanında akarsuların ve havzaların özellikleri de blokların bütününe ait rotasyonun belirlenmesinde göz önüne alınmalıdır.
- Rotasyon miktarının geometrik olarak hesaplanmasında bütün fay zonuna ait toplam kayma miktarı yerine bloku sınırlayan fayların uzun dönemli kayma miktarları belirlenmeli ve bunların ortak kayma miktarları göz önüne alınmalıdır.

Kaynaklar

- Abdüsselamoğlu, M. Ş., (1959). Almacık Dağı ile Mudurnu-Göynük civarının jeolojisi, *İ.Ü. Fen Fakültesi Monografileri*, **14**.
- Alexander, J. ve Leeder, M.R., (1990). Geomorphology and surface tilting in an active extensional basin, SW Montana, USA: *Journal of Geological Society of London*, **147**, 461-467.
- Ayhan, M. A., Demir, C., Lenk, O., Kilicoglu, A., Altiner, Y., Barka, A.A., Ergintav, S., Özener,

- H., (2002). Interseismic strain accumulation in the Marmara Sea region, *BSSA*, **92**, 216-230.
- Beyhan, M., (2004). 12.Kasım.1999 Düzce-Kaynaşlı Depremi birleşik odak mekanizması çözümü ve bölgenin sismotektoniği, *Basılmamış Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi.
- Cox, R.T., (1994). Analysis of drainage basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Missipi EmGulfment, *Geological Society of America Bulletin*, **106**, 571-581.
- Emre, Ö., Erkal, T., Tchepalyga, A., Kazancı, N., Keçer, M. ve Ünay, E., (1998), Doğu Marmara bölgesinin Neojen-Kuaternerdeki evrimi, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, **120**, 289-314
- Garfunkel, Z., (1989). *Regional deformation by block translation and rotation*, in *Paleomagnetic Rotations and Continental Deformation*, **254**, 181-204, eds. Kissel, C.&Laj, C, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.
- Ferrari, H.A., Armijo, R., King, G.C.P., Meyer, B. ve Barka, A., (2002). Morphology, displacement, and slip rates along the North Anatolian Fault, Turkey, *Journal of Geophysical Research*, **107**, doi: 10.1029/2001JB000393.
- İşseven, T. ve Tüysüz, O., (2006). Paleomagnetically defined rotations of fault-bounded continental blocks in the North Anatolian Shear Zone, Central Anatolia. *Journal of Asian Earth Sciences* **XX**, 1-11.
- İşseven, T., (2007). Kişisel görüşme
- Keller, E.A. ve Pinter, N., (2002). *Active Tectonics-Earthquakes, Uplift and Landscape* (Prentice Hall), New Jersey.
- McKenzie, D.P. ve Jackson, J.A., (1983). The relationship between strain rates, crustal thickening, paleomagnetism, finite strain and fault movements within a deforming zone, *Earth and Planetary Science. Letters*, **65**, 182-202.
- Michel, G.W. (1994). Neo-Kinematic along the North Anatolian Fault (Turkey), *Tubinger Geowissenschaftliche Arbeiten, Reihe A, Band 16*.
- Nicholson, C. ve Seeber, L., (1989). *Evidence for contemporary block rotation in strike-slip environments: examples from the San Andreas Fault System, Southern California*, **254**, 247-280,
- eds. Kissel, C.&Laj, C, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.
- Orbay, N., (1976).Kuzey Anadolu Fay Zonunun paleomagnetizması, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi.
- Ron, H., Freund, R., Garfunkel, Z. ve Nur, A., (1984). Block rotation by strike slip faulting: Structural and paleomagnetic evidence, *Journal of Geophysical Research*, **89**, B7, 6256-6270.,
- Sarıbudak, M., Sanver, M., Şengör, A.M.C. ve Görür, N. (1990). Paleomagnetic evidence for substantial rotation of the Almacık flake within the North Anatolian Fault zone, NW Turkey, *Geophysical Journal International*, **102**, 563-568.
- Seymen, İ., (1975). Kelkit Vadisi Kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonunun Tektonik Özelliği: *Doktora Tezi.*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, İstanbul.
- Şengör, A. M. C., Görür, N. ve Şaroğlu, F., (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study: in Biddle, K.T. and Christie-Blick, N., editors, *Strike-slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 37 (in honor of J.C. Crowell), 227-264.
- Tatar, O., Piper, J.D.A., Park, R.G., Gürsoy, H., (1995). Paleomagnetic study of block rotations in the Nıksar overlap region of the north Anatolian fault zone, central Turkey, *Tectonophysics*, **244**, 251-266.
- Tatar, V., Ponat, E., Işıkkara, A.M.,(1998). Armutlu Yarımadası ve Almacık Dağı'ndaki volkanik kayaların paleomanyetizması, *Jeofizik*, **9, 10**, 219-228.
- Yalıtırak, C., (2002). Tectonic evolution of the Marmara Sea and its surroundings, *Marine Geology*, **190**, 493-529.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Yiğitbaş, E., Bozcu, M., Yılmaz, K., (1995). Geological evolution of the late Mesozoic continental margin of the Northwestern Anatolia, *Tectonophysics*, **243**, 155-171.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Gözübol, A. M. ve Yiğitbaş, E., (1981). Abant (Bolu)-Dokurcun (Sakarya) arasındaki Kuzey Anadolu Fay Zonunun kuzey ve güneyinde kalan tektonik birliklerin jeolojik evrimi, *İstanbul Yerbilimleri*, **2/3-4**, 239-261.