

Karacasu Fayı'nın (GB Türkiye) Göreceli Tektonik Aktivitesinin Jeomorfik İndislerle İncelenmesi

Investigation of the relative tectonic activity of the Karacasu Fault (SW Turkey) by geomorphic indices

Savaş TOPAL*

Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kınıklı Yerleşkesi, 20017, Denizli

• Geliş tarihi / Received: 26.03.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 21.05.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 09.06.2018

Öz

Ege genişleme sistemindeki KB gidişli havzalardan birisi olan Karacasu Havzası, Büyük Menderes Grabeni'ni eğik olarak kesmektedir. Karacasu Havzası yaklaşık 30 km uzunluğa ve 10 km genişliğe sahip bir yarı graben şeklinde gelişmiştir. Grabeni GB'dan sınırlayan fay, Karacasu Fayı olarak adlandırılmaktadır. Neojen öncesi temel Menderes Masifi'nin gnays ve şistlerinden oluşur. Bu metamorfik temel üzerine havza kenarları boyunca çakıltaşı ve kumtaşları, havza merkezinde ise çamurtaşları ve kireçtaşları ile temsil edilen Miyo-Pliyosen yaşlı havza dolgusu uyumsuz olarak gelir. Üstte en genç olan birim Karacasu Formasyonu'nun Kuvaterner yaşlı kaba kırıntıları yer alır. Karacasu Fayı'nın gidişi, devamlılığı ve geometrisi dikkate alınarak, Çamköy ve Yazır olmak üzere iki ayrı segmente ayrılır. KB gidişli Karacasu Fayı'nın denetlediği dağ önleri ve drenaj alanlarında dağ önü sinüslülük oranı (Smf), vadi tabanı genişliği-yüksekliği oranı (Vf), akarsu uzunluk-gradyan indisi (SL), havza asimetri faktörü (AF), hipsometrik eğri ve integral (Hi) ve drenaj havzası şekli (Bs) indisleri, 12.5 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu indislerin ortalaması kullanılarak göreceli tektonik aktivite (Iat) indisi elde edilmiştir. Elde edilen Iat indisi verileri, Çamköy ve Yazır segmentlerinin KB uçlarında çok yüksek, diğer bölümlerinde ise yüksek tektonik aktivite durumuna işaret etmektedir. Segmentlerin uzunluğu ve bölgedeki eski depremler, Karacasu Fayı'nın yakın gelecekte M6 veya üzeri büyüklükte deprem üretme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Göreceli tektonik aktivite, Jeomorfik analiz, Karacasu Fayı, Tektonik jeomorfoloji

Abstract

The NW-SE trending Karacasu basin in the Aegean Extensional System cuts obliquely the Büyük Menderes graben. The Karacasu Basin was developed in the form of a half-graben with about 30 km long and about 10 km a width. This fault is called Karacasu Fault. The Pre-Neogene basement consists of schists and gneisses of the Menderes Massif. The Mio-Pliocene basin fill are represented by the conglomerates and sandstones along the basin margins, and mudstones and limestones at the basin center. This basin fill rest unconformably on the metamorphic basement, which is represented by the conglomerates and sandstones along the basin margins and mudstones and limestones at the basin center. The youngest unit is Quaternary units consists of coarse clastics. Based on direction, continuity and geometry of the Karacasu Fault is divided into two sub-segments as Çamköy and Yazır. Mountain front sinuosity (Smf), the ratio of valley floor width to valley height (Vf), stream length-gradient index (SL), asymmetry factor (AF), hypsometric integral (Hi) basin shape indices in the drainage areas and mountain fronts were calculated using DEM (12.5 m resolution) to determine the relative tectonic activity of the Karacasu Basin. By using the average of these calculated indices, the relative tectonic activity (Iat) index data point to was obtained. The relative tectonic activity of the segments with the obtained Iat index is divided into two classes. Iat index suggests very high relative tectonic activities for the NW tips of the both segments, while high tectonic activities was determined for the other parts of these segments. Based on findings on this study, the length of the segments and the ancient earthquakes in the region indicate the Karacasu Fault has a potential to produce earthquakes with M6 and or higher magnitudes earthquakes in the near future.

Keywords: Relative tectonic activity, Geomorphic analysis, Karacasu Fault, Tectonic geomorphology

* Savaş TOPAL; savastopal@pau.edu.tr; Tel: (0507) 245 61 28; orcid.org/0000-0001-7451-6606

1. Giriş

GB Anadolu gibi açılmanın halen devam ettiği bölgelerde yapılacak topografya analizleri ve drenaj ağları ile ilgili çalışmalar, özellikle mevcut tektonik süreçler ve bunların faaliyetleri hakkında bilgi vermektedir. Bu bilgilere ulaşmak için on yıllardır devam eden çeşitli nicel çalışmalar yapılmaktadır (Bull ve McFadden, 1977; Rockwell vd., 1985; Merritts ve Vincent, 1989; Burbank, 1992; Burbank ve Anderson, 2001; Keller ve Pinter, 2002; Kirby ve Whipple, 2012; Özkaymak, 2014; Topal vd., 2016; Topal, 2018; Topal ve Özkul, 2018). Yirminci yüzyılın başından itibaren, mevcut tektonik süreçlerin kapsamını tahmin etmeye yönelik çeşitli jeomorfik indisler öne sürülmüştür. Coğrafi bilgi sistemleri tekniklerinin hızlı gelişimi ve sayısal yükseklik modeli (SYM) kalitesinde ve erişimindeki sürekli ilerleme, çeşitli ortamlarda ve ölçeklerde jeomorfik indisleri hesaplamak ve analiz etmek için güçlü ve verimli araçlar sağlamaktadır.

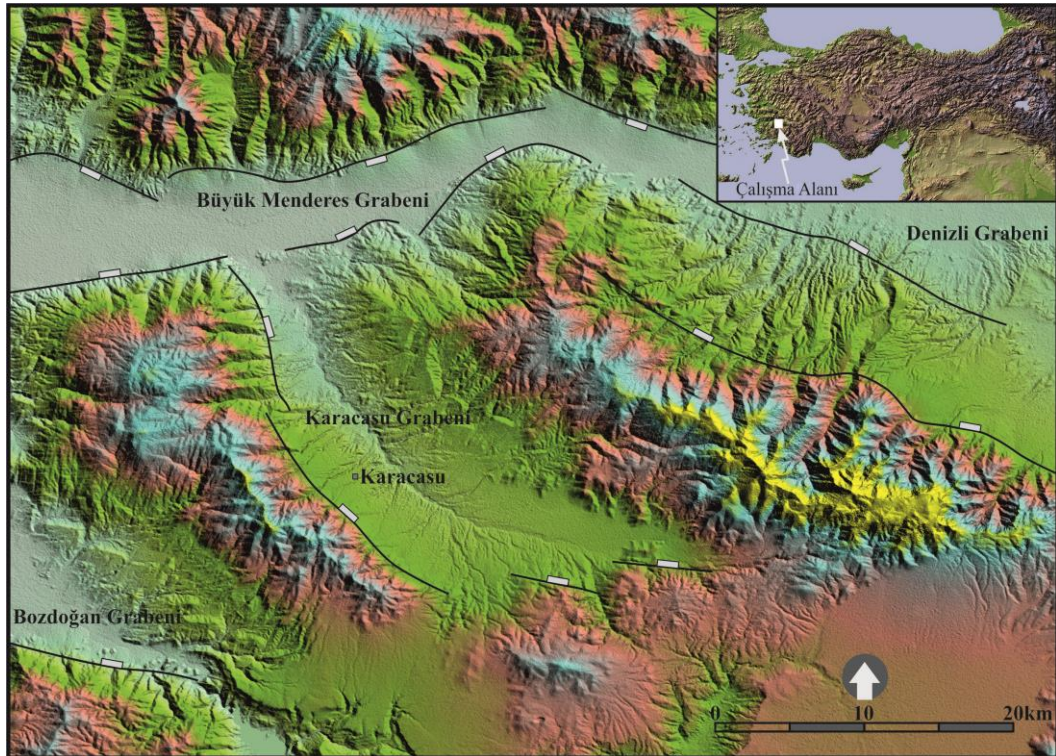
Jeomorfik indisler, deformasyon süreçlerine yönelik topografik tepkileri tespit edebildiklerinden aktif tektonizmayı araştırmak için yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada, Karacasu Fayı'nın tektonik deformasyonu hakkında bilgiler elde etmek için fayın üzerinde ve sınırlandığı drenaj alanlarındaki morfo-

metrik özellikler analiz edilmiştir. Tektonik sinyalleri ortaya çıkarmak için, litoloji ve aktif fay özellikleri yanı sıra, ana nehirlerin uzunlamasına profillerinden jeomorfik indisler kullanılmıştır. Bu çalışma sırasında elde edilen bulgular, benzer tektonik yapıya sahip aktif fayların tanımlanması için bir göstere olarak kullanılabilir.

Karacasu havzasının paleocoğrafyası, paleoklimatolojisi, sedimantolojisi ve tektono-sedimanter evrimi hakkında çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Açıkalm, 2005; Alççek ve Jimenez-Moreno, 2013; Ocakoğlu vd., 2014). Ancak bu havzanın paleosismolojisi ve havzayı batıdan sınırlayan Karacasu Fayı'nın tektonik aktivitesi hakkında henüz yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Bu araştırma ile Karacasu Fayı'nın sınırlandığı drenaj alanları ve dağ önleri boyunca jeomorfik indisler kullanılarak, çalışma alanının göreceli tektonik aktivitesinin tahmin edilmesi amaçlanmaktadır.

2. Çalışma Alanının Jeolojisi

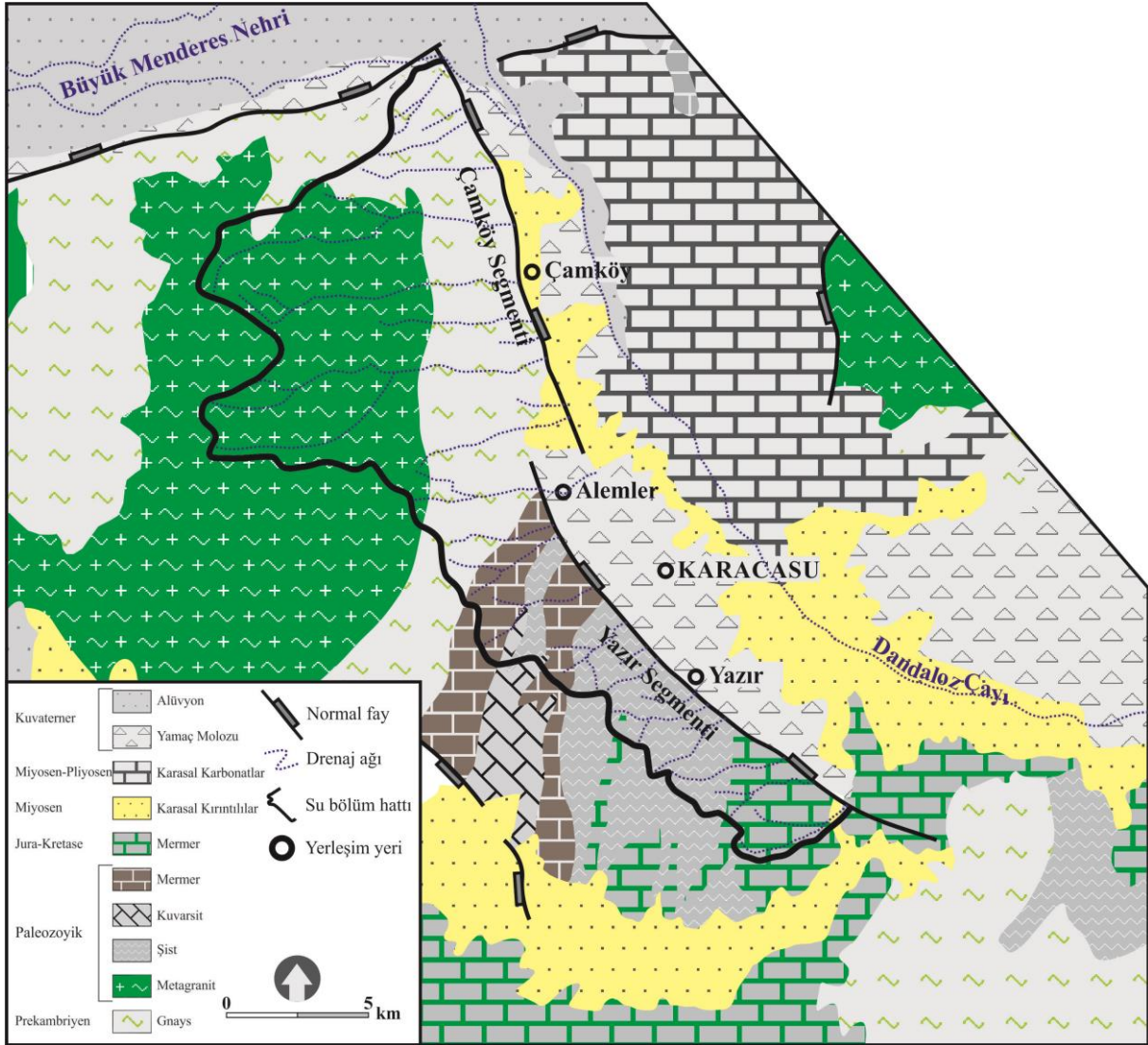
Ege genişleme sisteminde yer alan Karacasu havzası, KB-GD gidişlidir ve Büyük Menderes grabenini verev bir şekilde keser. Batısı normal faylarla sınırlı Karacasu Havzası yarı graben şeklinde gelişmiş, yaklaşık 30 km uzunluğa ve 10 km genişliğe sahip bir havzadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası ve komşu grabenlerle ilişkisi.

Karacasu Havzası'ndaki taban kayaları, Mendere masifini oluşturan çekirdek ve örtü metamorfizmaları ile bunları tektonik olarak örten ofiyolitlerden meydana gelmektedir. Metamorfik temel, birbirlerine yanal ve düşey geçişler gösteren gnays, şist, kuvarsit ve mermerler ile birlikte, çalışma alanının güneyinde ve doğusunda metasedimanter kayalardan oluşur (Şimşek ve Yılmaz, 1977). Gnayslar genellikle iki mikalı ve bazı kesimlerde gözlü gnays olarak tanımlanmaktadır (Nebert, 1955; Kastelli, 1971). Çalışma alanında en yaygın olarak görülen kaya grubu şistlerdir. Yer yer granat içerdikleri de gözlenen bu şistler, çoğunlukla mikaşist karakterindedir. Diğer bir metamorfik kayaç grubu olan kuvarsitler ise gnays ve şistler kadar yaygın olmayıp, mikaşistler ve gnayslar içinde ara bantlar halinde görülürler (Kastelli, 1971; Şimşek ve Yılmaz, 1977). Mikaşistler arasında yaygın

olarak bulunan ve çoğunlukla mika içeren mermerler bazı yerlerde kalkışist görünümündedir (Kastelli, 1971). Karacasu Grabeni'nin güneydoğu kenarında ve doğu ucunda Neojen birimlerine temel oluşturan kayalar genellikle metasediment karakterindedir (Açıklın, 2005, Ocakoğlu vd., 2014). Konak ve Göktaş (2004) tarafından hazırlanan 1/100000 ölçekli jeoloji haritasında Erken Triyas'dan Geç Kretase'ye kadar değişen yaşlara sahip zayıf metamorfik çört, çörtlü kireçtaşı, çakıltası, kumtaşı, kireçtaşı ve dolomitlerin yayılımları gösterilmektedir. Çalışma alanında sınırlı bir yayılıma sahip olan ofiyolitik kayalar, oldukça altere ve bazı kesimleri neredeyse tamamen serpantinleşmiş ultramafitlerden oluşmaktadır (Açıklın, 2005). Karbonat yoğun seviyelere de sahip olan bu kaya topluluğu, Konak ve Göktaş (2004) tarafından Kretase yaşlı peridotitler olarak haritalanmıştır.



Şekil 2. Karacasu havzasının jeoloji haritası (Konak ve Göktaş, 2004; Açıklın, 2005; Alçiçek ve Jimenez-Moreno, 2013; Ocakoğlu vd., 2014).

Yaklaşık 30 km uzunluğa sahip Karacasu Fayı, KB'da Büyük Menderes Grabeninden başlayarak Alemler Köyü'ne kadar K20°B doğrultusunda devam etmektedir. Alemler Köyü yakınlarında batıya doğru 500 m sıçrama yapan fay, buradan itibaren GD'ya doğru K40°B doğrultusunda devam eder. Bu sıçrama nedeniyle fay 2 farklı segment şeklinde gelişmiştir. Bu çalışmada, Alemler Köyü'nün kuzeyinde kalan segment Çamköy segmenti, güneyinde kalan segment ise Yazır segmenti olarak ele alınmaktadır. Çamköy segmentinin uzunluğu yaklaşık 12 km, Yazır segmentinin uzunluğu ise yaklaşık 18 km'dir. Jeomorfik indis hesaplamalarında Çamköy segmentinin sınırladığı 7 adet ve Yazır segmentinin sınırladığı 10 adet drenaj alanı kullanılmıştır.

3. Metod

Jeomorfik indisler, aktif bir yapı boyunca farklı yapısal bölümlerin belirlenmesinde ve potansiyel olarak en aktif segmentin tahmin edilmesinde yardımcı olabilir (Azor vd., 2002). Aktif tektonik çalışmalarında en yararlı jeomorfik indisler; dağ önü sinüslülük oranı (Smf), vadi tabanı genişliği-yüksekliği oranı (Vf), Akarsu uzunluk-gradyan indisi (SL), havza asimetri faktörü (AF), hipsometrik eğri ve integral (Hi) ve drenaj havzası şekli (Bs) olarak önceki çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da kullanılmıştır. Hesaplanan bu indislerin sonuçlarından göreceli tektonik aktivite indisi (Iat) elde edilmiştir. Karacasu Fayı boyunca, SYM kullanılarak 17 adet drenaj alanı oluşturulmuştur. Oluşturulan drenaj alanlarında jeomorfik indis uygulamaları sonucu elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

3.1. Dağ Önü Sinüslülük Oranı (Smf)

Dağ önü sinüslülük oranı, önceki çalışmalarda tektonik olarak aktif dağ önlerini, yaşları dikkate alınarak aktif olmayan dağ önlerinden ayırmak için kullanılmaktadır (Bull ve McFadden, 1977; Keller ve Pinter, 2002).

$$Smf = Lmf / Ls \quad (1)$$

Bull (1977) tarafından önerilen formülde: dağ önünün düz çizgi uzunluğu Ls, dağın eteği boyunca dağ önü uzunluğu ise Lmf'dir. (Keller ve Pinter, 2002). Aktif faylar tarafından sınırlanan dağ önleri düşük Smf değerleri gösterirken (Smf < 1.4), yüksek Smf değerleri (Smf > 3.0) tektonik olmayan dağ önlerini işaret eder ve burada aşınma

daha baskındır (Keller ve Pinter, 2002; Silva vd., 2003; Bull, 2007; Pérez-Peña vd., 2010).

3.2. Vadi Tabanı Genişliği-Yüksekliği Oranı (Vf)

Yükselmenin tektonik etkisini anlamakta kullanılan önemli indislerden birisi Vf'dir. Vf indisi ile bir drenaj alanının şekli belirlenebilir (Bull ve McFadden, 1977; Keller ve Pinter, 2002).

Vf indisi aşağıdaki formülle ifade edilir;

$$Vf = 2Vfw / (Eld - Esc) + (Erd - Esc) \quad (2)$$

Formülde, Vfw, vadi tabanının genişliği, Erd ve Eld, vadinin sağ ve sol kenarının yüksekliği ve Esc vadi tabanının ortalama yüksekliğidir (Bull, 1977; Bull ve McFadden, 1977).

Vf değerlerinin yüksek veya düşük olması tamamen vadinin şekline bağlıdır. "V" şekilli bir vadinin Vf değeri düşük, yükselme oranı yüksektir. (Bull ve McFadden, 1977; Rockwell vd., 1985; Silva vd., 2003; El Hamdouni vd., 2008). Bu makaledeki Vf değerleri, dağ önlerinden 350 m vadi yukarı kesimlerde hesaplanmıştır.

3.3. Akarsu Uzunluk-Gradyan İndisi (SL)

Vadi kanalı boyunca olası tektonik aktivite, kaya direnci ve topoğrafya arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi amacıyla SL indeksi kullanılmaktadır (Hack, 1973; Keller ve Pinter, 2002).

Akarsu uzunluk-gradyan indisi değeri;

$$SL = (\Delta H / \Delta L) L \quad (3)$$

formülü kullanılarak hesaplanır. Bu formüle göre,

ΔH : Akarsu kanalının yükseklik değişimini (maksimum yükseklik / minimum yükseklik),

ΔL : Akarsu segmentinin uzunluğunu,

L: indis hesaplama noktasından, vadinin en yüksek noktasına kadar olan mesafenin metre olarak değerini ifade etmektedir (Hack, 1973; Keller ve Pinter, 2002).

Akarsu uzunluk-gradyan indisi akarsuyun akış gücüyle ilişkili olup, zirve noktasında nehrin ulaşabildiği güç önemli bir hidrolojik değişkendir ve doğrudan yatağını aşındırması ve sediman taşıması özelliklerini belirler. Bu indis kanal

eğiminin değişimine çok duyarlıdır. Kanal eğimi ise olası tektonik etkinlik, kayaçların dayanımı ve topoğrafya ile ilişkilidir. SL indisi sert kayaların üzerinden geçerken artar. Buna karşılık, seyl-silttaş-bazı kumtaşları ve karbonat kayaçlardan geçerken düşer. Düşük SL değerine sahip kayaçların içinden geçerken aniden yüksek SL değerlerine sahip bir bölgenin varlığını yakalamak olası bir fayı işaret edebilir. Ayrıca çok düşük değerlerde (özellikle çizgisel bir hat boyunca) benzer şekilde yorumlanabilir.

3.4. Havza Asimetri Faktörü (AF)

AF'nin hesaplanması, topografyanın eğimini (tiltlenme miktarını) belirlemek için niceliksel olarak hızlı bir yöntemdir (Hare ve Gardner, 1985, Cox, 1994, Keller ve Pinter, 2002). Havza asimetri faktörü, drenaj alanındaki akışın hangi kenara yakın olduğunu belirleyerek, topoğrafyanın tiltlendiği yönü tespit etmek için geliştirilmiştir.

Havza asimetri faktörü;

$$AF = 100 (A_r / A_t) \quad (4)$$

formülü ile hesaplanır. Formülde, A_r , drenaj havzasındaki akışın sağında kalan bölgenin alanı, A_t ise drenaj alanının toplam alanını ifade eder. 50'ye yakın AF değerleri, eğilmenin az veya hiç olmadığını gösterirken, daha yüksek veya daha düşük değerler, aktif tektoniğin neden olduğu havzalardaki tiltlenmeyi gösterir.

3.5. Hipsometrik Eğri ve İntegral (H_i)

Hipsometrik eğri ve integral bir drenaj havzasının evrimi hakkında bilgi verir. Strahler (1952), hipsometrik eğrinin şekillerine dayanılarak, drenaj alanlarının diseksiyonunun (aşınım) tipik aşamalarını, (i) genç evre, (ii) olgun evre ve (iii) eski evre olmak üzere üç tip olarak sınıflandırmıştır. Konkav şekilli eğriler, havzanın genç evresiyle ilişkilidir ve bu da bölgenin az aşındırıldığını ve bozulmadığını gösterir. "S" şekilli eğriler, drenaj alanının orta-olgun evrede olduğunu ve orta derecede bir aşınmaya uğradığını gösterir. Konveks olan eğriler ise olgun evredeki drenaj alanlarını, bu alanların oldukça aşınmış ve bozulmuş olduğunu gösterir. Hipsometrik integral aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$H_i = (h_{mean} - h_{min}) / (h_{max} - h_{min}) \quad (5)$$

Hipsometrik integral, havza geometrisi, rölyef ve drenaj havzası alanına bağlıdır (Lifton ve Chase, 1992; Hurtrez vd., 1999; Chen vd., 2003). Havzaların gelişimi ve erozyonunun jeolojik evreleri hipsometrik integral ile hesaplanabilir. Hipsometrik integralin yüksek değeri, drenaj alanının nispeten daha az erozyona maruz kaldığını ve genç evrede olduğunu gösterir.

3.6. Drenaj Havzası Şekli (B_s)

Drenaj havzası şekli indeksi tektonik jeomorfolojide tamamlayıcı bir metot olarak kullanılmıştır. B_s bir havzada iki uzak nokta arasındaki planimetrik ölçüdür (Ramirez-Herrera, 1998). Aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$B_s = B_l / B_w \quad (6)$$

Formülde;

B_l : Havzanın uzunluğu,

B_w : Havzanın genişliğidir.

B_s 'nin yüksek değeri uzamış havzaları, düşük değeri ise daha dairesel havzaları ifade eder. Uzamış şekilli havzalar tektonik açıdan aktif alanları karakterize eder. Bu metot, Mojave Çölü (California) (Bull ve McFadden, 1977) ve Acambay Grabeni (Meksika) (Ramirez-Herrera, 1998) gibi tektonik açıdan aktif olduğu düşünülen dağ önlerine yakın drenaj havzalarına uygulanmıştır.

3.7. Göreceli Tektonik Aktivite İndisi (I_{at})

Hesaplanan bütün jeomorfik indislerin ortalaması kullanılarak göreceli tektonik aktivite indisi oluşturulur (El Hamdouni vd., 2008). Bu indis eski çalışmalarda bir bölgenin göreceli tektonik aktivitesinin belirlenmesi için yaygın bir şekilde kullanılan en önemli indislerden birisidir. Çalışılan bölgedeki jeomorfik indislerin bir özetini ve ortalamasını temsil eder:

$$I_{at} = S / N \quad (7)$$

S, indis sonuçlarının toplamı ve N, seçilen indislerin sayısıdır (El Hamdouni vd., 2008). Bu indisin sonuçları, aktif tektoniğin derecesini tanımlamak amacıyla dört sınıfa ayrılmıştır: 1-çok yüksek ($1.0 \leq I_{at} < 1.5$); 2-yüksek ($1.5 \leq I_{at} < 2.0$); 3-orta ($2.0 \leq I_{at} < 2.5$); ve 4 düşük ($2.5 \leq I_{at}$) (El Hamdouni vd., 2008).

4. Jeomorfik İndis Sonuçları ve Tartışma

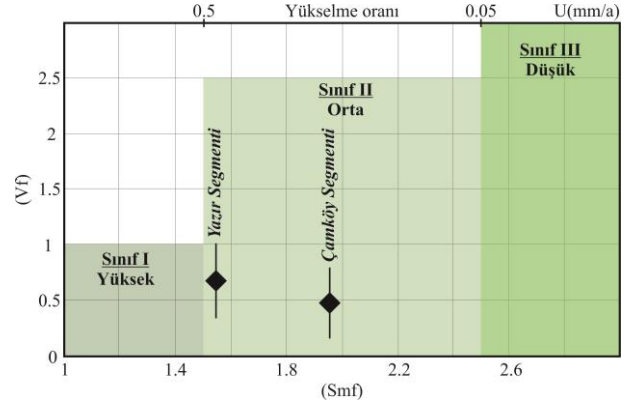
Jeomorfik indis sonuçlarını tartışmadan önce indislerin hesaplandığı kayaç türlerinin aşınmaya karşı dayanımlarını araştırmakta fayda vardır. Drenaj alanlarının üzerinde geliştiği kayaç türlerinin aşınma karşı direnci, hesaplanan indislerde değişimlere yol açmaktadır. Selby (1980) tarafından tanımlanmış kaya direnci sınıflandırması kullanılarak inceleme alanındaki litolojilerin dayanıklılığı tespit edilmiştir. Buna göre kayaçlar; düşük dayanımlı (alüvyon, yamaç molozu), orta dayanımlı (karasal kırıntılılar ve karasal karbonatlar) ve yüksek dayanımlı (metagranit, kuvarsit, gnays, şist ve mermerler) olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır. Karacasu fayının sınırladığı drenaj alanlarının tamamı Menderes masifine ait kayaçlar üzerinde gelişmiştir (Şekil 2). Menderes masifine ait aşınma dayanıklı kayaçlar (metagranit, kuvarsit, gnays, şist ve mermerler) üzerinde gelişen bu drenaj alanlarında tektonik yükselme genellikle aşınımından daha baskındır (Şekil 2).

Bu çalışmada SYM kullanılarak elde edilen jeomorfik indis sonuçları, Karacasu Fayı'nı oluşturan segmentlere göre aşağıda verilmektedir (Şekil 6) (Tablo 1).

4.1. Çamköy Segmenti

Karacasu havzasını batıdan sınırlandıran Karacasu Fayı boyunca uzanan dağ önleri için Smf değerleri hesaplanmıştır (Şekil 6) (Tablo 1). Çamköy segmenti için 1.52 ile 2.51 arasında değişen bu değerler ortalaması 1.91 olarak elde edilmiştir. Smf indisi önceki çalışmalarda göreceli tektonik aktiviteye göre (sınıf 1: $Smf > 1.1$; sınıf 2: $1.1 \leq Smf < 1.5$ ve sınıf 3: $Smf \geq 1.5$) 3 sınıfa ayrılmıştır (El Hamdouni vd., 2008). Çamköy segmentinin 1.5'ten büyük Smf değerleri, göreceli tektonik aktivite bakımından 3. sınıfa dahil olduğunu göstermektedir. Smf değerinin 3. Sınıf tektonik aktiviteye karşılık gelmesi fay önünde gelişen yamaç molozları ve alüvyal yelpazelerin dağ önündeki düzlüğü bozmasıyla açıklanabilir. Çamköy segmentinin sınırladığı drenaj alanlarında hesaplanan Vf değerleri 0.21-0.65 arasında değişmektedir. Ortalaması ise 0.43 olarak hesaplanmıştır. El Hamdouni vd. (2008), tarafından yapılan çalışmada Vf indisi değerlerine göre drenaj alanları göreceli tektonik aktivite açısından 3 farklı sınıfa (sınıf 1: $Vf \leq 0.5$; sınıf 2 ($0.5 \leq Vf < 1.0$ ve sınıf 3: $Vf \geq 1$) ayrılmıştır. Bu sınıflamaya göre Vf indisinin ortalama değeri göreceli tektonik aktivitenin 1. sınıfına karşılık gelmektedir. Önceki çalışmalarda Smf ve Vf

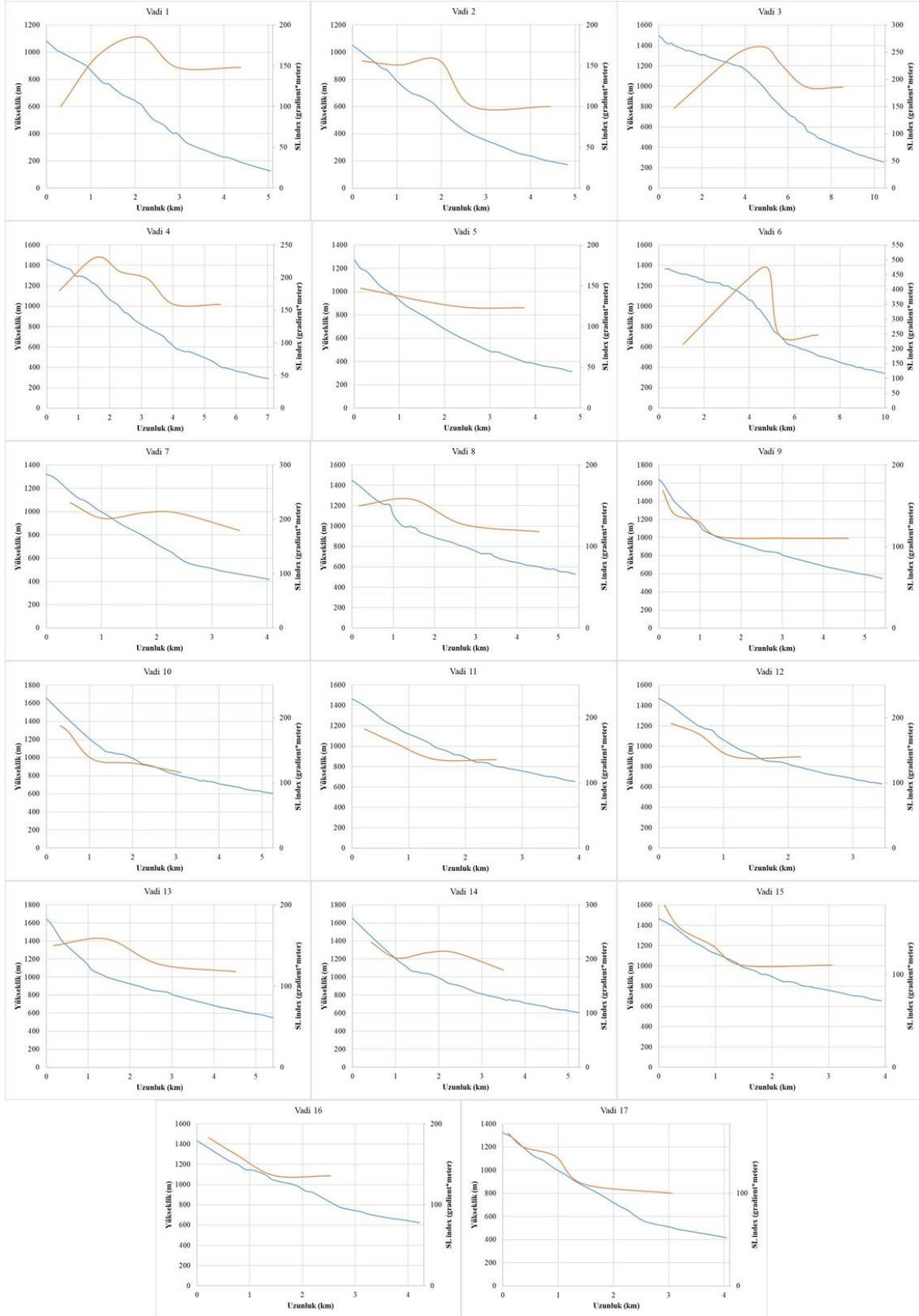
indisleri beraber analiz edilmiş ve bu iki indisin analizi, hem o bölgedeki tektonik aktivitenin belirlenmesine, hem de yükselme oranının belirlenmesi hakkında bilgi vermektedir (Rockwell vd., 1984). Smf ve Vf indislerinin analizi sonucunda Çamköy segmentinin göreceli tektonik aktivitesi orta sınıf olarak belirlenmiştir. Yükselme oranı da 0.05-0.5 mm/yıl olarak hesaplanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Karacasu Fayı'nı oluşturan dağ önlerinde hesaplanan dağ önü sinüslülük oranı (Smf) ve vadi tabanı genişliği-yüksekliği oranı (Vf) değerlerinin grafiği ve Rockwell vd., (1984) tarafından ileri sürülen yükselme oranları.

Çamköy segmentinin sınırladığı drenaj alanlarında, her 200 m yükseklik boyunca SL indisi hesaplanmıştır (Şekil 4 ve 6). Hesaplanan SL indisinin en düşük değeri 100 (2 nolu drenaj alanı), en yüksek değeri de 460 (6 nolu drenaj alanı) olarak elde edilmiştir (Şekil 4) (Tablo 1). Önceki çalışmalarda SL indisi 3 farklı tektonik sınıfa (sınıf 1: $SL \geq 120$; sınıf 2: $80 \geq SL \leq 119$ ve sınıf 3: $SL \leq 79$) ayrılmıştır (El Hamdouni vd., 2008). Çamköy segmenti için ortalama SL indisi değeri 198 olup, göreceli tektonik aktivite 1. sınıf olarak belirlenmiştir.

Çamköy segmentinin sınırladığı drenaj alanlarında AF indisi hesaplanmıştır. Hesaplanan indis değerlerinin en düşüğü 4 nolu (AF=45) ve en yüksek değeri de 7 nolu (AF=74) drenaj alanında hesaplanmıştır (Tablo 1). AF'nin 50'den büyük olduğu drenaj alanları KB'ya doğru tiltlenmeyi gösterirken, 50'den düşük AF değerleri GD'ya doğru eğime işaret etmektedir (Şekil 6) (Tablo 1). El Hamdouni vd. (2008), tarafından yapılan çalışmada AF indisi 3 farklı tektonik sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflamaya göre: 1. sınıf: $AF > 65$ veya $AF < 35$; 2. sınıf: $36 < AF < 43$ veya $57 < AF < 65$; 3. sınıf: $44 < AF < 57$ şeklindedir. Hesaplanan AF indis değerleri (45-74), Çamköy segmentinin 1. derecede tektonik aktiviteye sahip olduğunu öngörmektedir (Tablo 1).



Şekil 4. İnceleme alanındaki 17 adet drenaj alanı için boyuna nehir profilleri ve ölçülen SL değerleri.

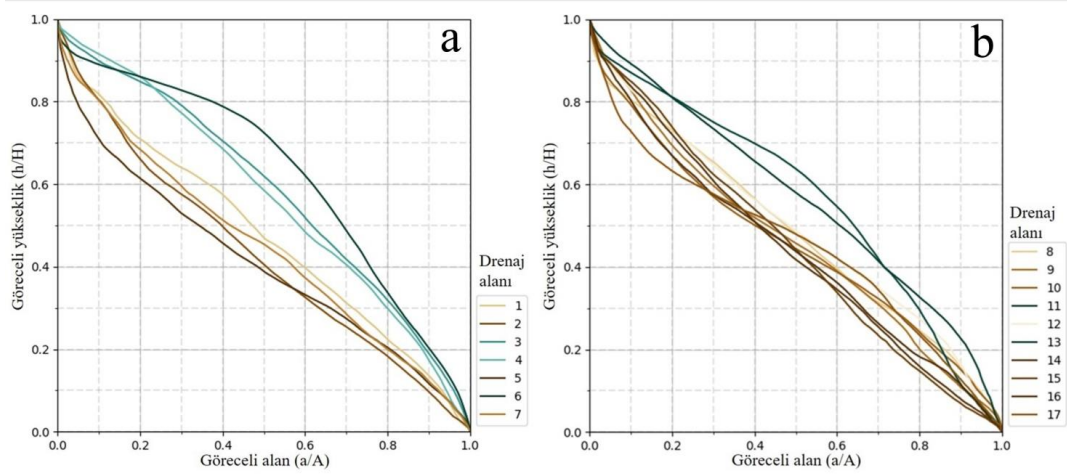
Çamköy segmentinin sınırladığı drenaj alanları (1-7 nolu drenaj alanları) boyunca hesaplanan hipsometrik integral (Hi) değerleri 0.36-0.57 arasında değişmektedir (Tablo 1). En düşük Hi

değeri 2 nolu, en yüksek değer ise 4 nolu drenaj alanında hesaplanmıştır. Elde edilen hipsometrik eğrilerin görünümlerine bakıldığında, drenaj alanlarının orta-geç evre safhasında olduğu

anlaşılmaktadır. Bu eğrilerin genellikle S şekilli veya dış bükey olduğu, özellikle 6 nolu drenaj alanında elde edilen dış bükey profilden bu drenaj alanının net olarak genç evreyi işaret ettiği anlaşılmaktadır (Şekil 5). H_i değerlerinin tektonik sınıflaması: 1. sınıf: $H_i > 5$; 2. sınıf: $5 > H_i > 4$; 3. sınıf: $H_i < 4$ şeklindedir (El Hamdouni vd., 2008). Bu sınıflamaya göre 4 ve 7 nolu drenaj alanları 1. sınıf, 1, 3, 5 ve 6 nolu drenaj alanları 2. sınıf ve 2 nolu drenaj alanı da 3. sınıf tektonik aktiviteye karşılık gelmektedir.

Drenaj havzası şekli (B_s) indisi hesaplamalarından elde edilen değerler 3.25-7.92

arasında değişmektedir (Tablo 1). B_s 'nin en düşük değeri 6 nolu, en yüksek değeri ise 1 nolu alanda hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler, Çanköy segmentinin sınırladığı bu drenaj alanlarının uzamış havzalar olduğunu, başka bir deyişle tektonizmadan oldukça etkilendiğini göstermektedir. B_s değerlerinin göreceli tektonik aktivitesi eski çalışmalara göre 3 sınıfa ayrılmıştır. El Hamdouni vd. (2008)'in yaptığı sınıflama: 1. sınıf: ($B_s \geq 4$); 2. sınıf ($3 \leq B_s < 4$) ve 3. sınıf ($B_s \leq 3$) şeklindedir. Bu sınıflamaya göre Çanköy segmentinin sınırladığı drenaj alanlarından 6 nolu alan 2. sınıf, diğerleri ise 1. sınıf tektonik aktiviteye karşılık gelmektedir (Tablo 1).



Şekil 5. (a) Çanköy segmentinin sınırladığı, (b) Yazır segmentinin sınırladığı drenaj alanlarında elde edilen hipsometrik eğriler.

Tablo 1. Çalışma alanının göreceli tektonik aktivitesini belirlemek için kullanılan jeomorfik indis değerleri.

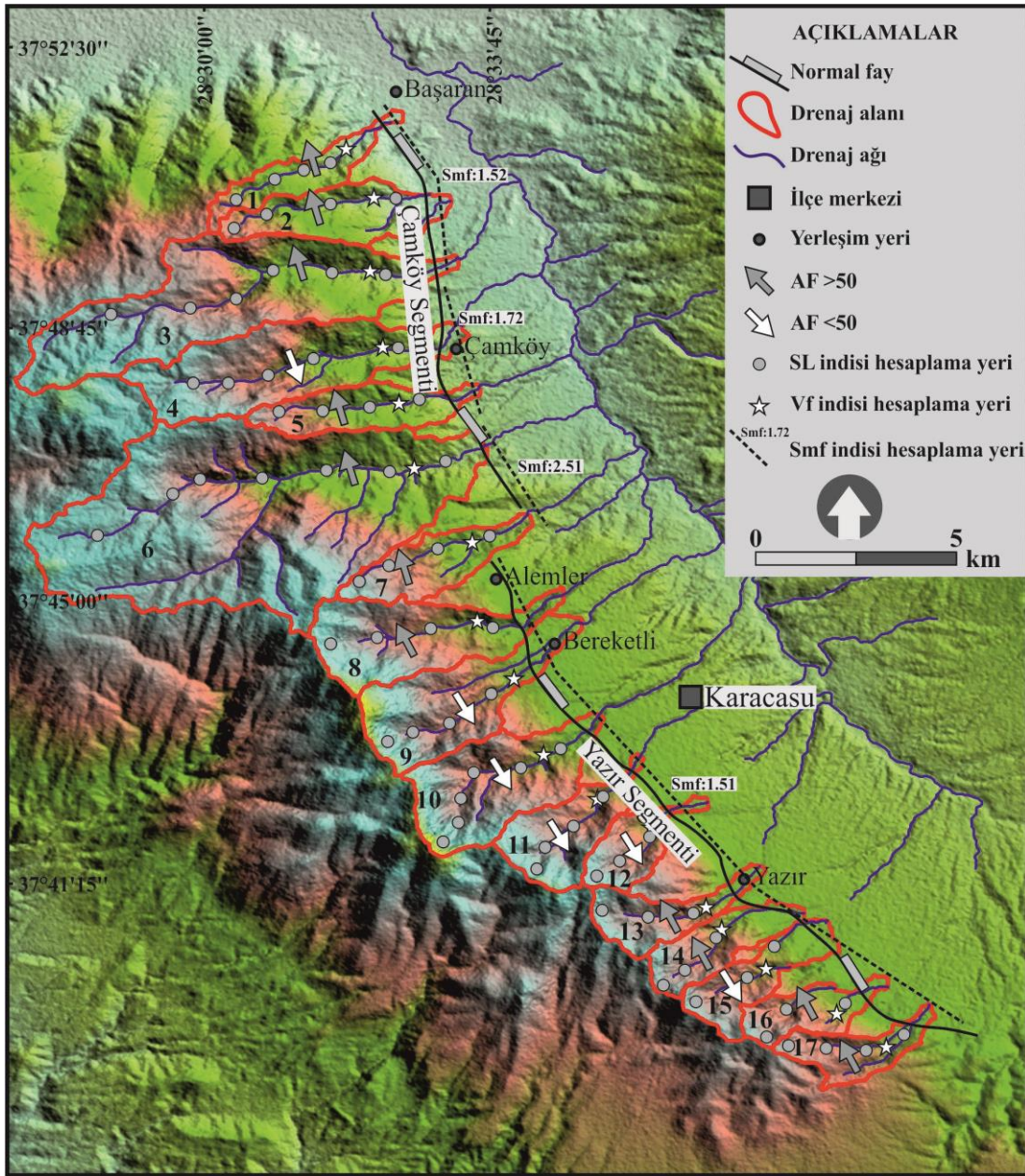
Drenaj alanı	Toplam alan	Smf			Vf	SL	H_i	AF		Bs			
		Lmf (km)	Ls (km)	Smf				At (km ²)	Ar (km ²)	AF	B (km)	Bw (km)	Bs
1	2.76				0.38	149	0.44	2.76	1.66	60	4.75	0.60	7.92
2	4.55	5.79	3.81	1.52	0.65	141	0.36	4.55	3.23	71	4.58	1.09	4.20
3	15.06				0.48	213	0.42	15.06	8.72	58	9.10	1.38	6.59
4	9.50				0.34	195	0.57	9.50	4.25	45	6.86	1.55	4.43
5	3.80	6.65	3.87	1.72	0.41	135	0.46	3.80	2.23	59	4.60	0.98	4.69
6	29.57				0.21	339	0.48	29.57	19.82	67	9.16	2.82	3.25
7	3.70	8.70	3.46	2.51	0.53	214	0.55	3.70	2.74	74	4.27	0.92	4.64
8	6.99				0.69	138	0.51	6.99	3.95	57	5.09	1.33	3.83
9	6.88				0.82	141	0.63	6.88	2.60	38	5.15	1.09	4.72
10	7.30				0.51	150	0.49	7.30	3.57	49	4.68	1.64	2.85
11	4.08				0.61	160	0.47	4.08	1.97	48	3.61	1.04	3.47
12	2.41				0.94	123	0.55	2.41	1.10	46	3.18	0.90	3.53
13	2.99	23.67	15.65	1.51	0.37	138	0.39	2.99	1.64	55	3.57	0.64	5.58
14	3.25				0.47	214	0.41	3.25	1.77	54	3.50	0.99	3.54
15	3.32				0.61	135	0.45	3.32	1.52	46	3.54	0.77	4.60
16	2.55				0.81	160	0.33	2.55	1.55	61	3.12	1.08	2.89
17	2.58				1.07	141	0.37	2.58	1.97	76	3.26	0.73	4.47

4.2. Yazır Segmenti

Karacasu Fayı'nı oluşturan segmentlerden birisi olan Yazır segmenti boyunca uzanan dağ önleri için Smf değeri 1.51 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6) (Tablo 1). El Hamdouni vd. (2008), tarafından yapılan sınıflamaya göre Yazır segmentinin göreceli tektonik aktivitesi 3. sınıf olarak belirlenmiştir. Yazır segmentinin sınırladığı drenaj alanlarında hesaplanan Vf değerleri 0.37-1.07 arasında değişmektedir. Hesaplanan Vf değerlerinin ortalaması 0.69'dur. El Hamdouni vd. (2008), tarafından yapılan sınıflamaya göre Vf indisinin ortalama değeri göreceli tektonik aktivitenin 1. sınıfına karşılık gelmektedir. Smf ve

Vf indislerinin birlikte analizi sonucunda Yazır segmentinin göreceli tektonik aktivitesi orta sınıftır. Yükselme oranı da 0.05-0.5 mm/yıl olarak hesaplanmıştır (Rockwell vd., 1984) (Şekil 3).

Yazır segmentinin sınırladığı 10 adet drenaj alanında 200 m yükseklik aralığında hesaplanan SL indisinin en düşük değeri 123 (12 nolu drenaj alanı), en yüksek değeri de 214 (14 nolu drenaj alanı) olarak elde edilmiştir (Şekil 4 ve 6) (Tablo 1). Yazır segmenti için SL'nin ortalama değeri 150 olup, önceki çalışmalarda SL indisi için yapılan sınıflamaya göre göreceli tektonik aktivitesi 1. sınıf olarak belirlenmiştir (El Hamdouni vd., 2008).



Şekil 6. Karacasu Fayı'nı oluşturan segmentlerin sınırladığı drenaj alanlarında ve dağ önleri boyunca hesaplanan jeomorfik indislerin yerleri.

Yazır segmentinin sınırladığı 10 adet drenaj alanında AF indisi hesaplanmıştır. En düşük AF değeri 9 nolu (AF=38) ve en yüksek AF değeri de 17 nolu (AF=76) drenaj alanında hesaplanmıştır (Tablo 1). 50'den yüksek AF değeri drenaj alanlarında KB'ya doğru olan tiltlenmeyi, 50'den düşük AF değerleri de GD'ya doğru olan vadi eğimini göstermektedir (Şekil 6) (Tablo 1). El Hamdouni vd. (2008), tarafından yapılan sınıflamaya göre AF indis değerleri, Yazır segmentinin 1. derecede tektonik aktiviteye sahip olduğunu göstermektedir (Tablo 1).

Yazır segmentinin sınırladığı drenaj alanlarında (8-17 nolu drenaj alanları) hesaplanan Hi değerleri 0.33-0.63 arasında değişmektedir (Tablo 1). En düşük Hi değeri 16 nolu, en yüksek değer ise 17 nolu alandan elde edilmiştir. Bu değerlerden çizilen hipsometrik eğrilerin görünümüne bakıldığında, drenaj alanlarının orta-genç evrede olduğu ve eğrilerin genellikle S şekilli veya dış bükey olduğu belirlenmiştir (Şekil 5). El Hamdouni vd. (2008), tarafından yapılan sınıflamaya aktarıldığında, 8, 9, 12 nolu drenaj alanları 1. sınıf, 10, 11, 14, 15 nolu alanlar 2. sınıf ve 16, 17 nolu drenaj alanları da 3. sınıf tektonik aktiviteye karşılık gelmektedir.

Yazır segmenti boyunca 10 adet drenaj alanında Bs indisi hesaplanmıştır. Hesaplamalardan elde edilen değerler 2.85-5.58 arasında değişmektedir. Bs'nin en düşük değeri 10 nolu, en yüksek değeri ise 13 nolu drenaj alanından elde edilmiştir (Tablo 1). Bu değerler, Yazır segmentinin sınırladığı drenaj alanlarının uzamış havzalar olduğunu ve tektonizmadan oldukça etkilendiğini ortaya koymaktadır. El Hamdouni vd. (2008)'in yaptığı sınıflamaya göre Yazır segmentinin sınırladığı drenaj alanlarından 9, 13, 15, 17 nolu alan 1. sınıf, 8, 11, 12, 14 2. sınıf ve 10, 16 nolu alanlar da 3. sınıf tektonik aktiviteye karşılık gelmektedir (Tablo 1).

Iat indisi değerlerine göre yapılan sınıflamada;

- Çok yüksek göreceli tektonik aktivite: 1, 8 ve 9 nolu drenaj alanlarında,
- Yüksek göreceli tektonik aktivite: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 17 nolu drenaj alanlarında
- Orta göreceli tektonik aktivite: 10 ve 16 nolu drenaj alanlarında belirlenmiştir.

Iat indis değerleri dikkate alındığında, Çamköy ve Yazır segmentlerinin KB uçları çok yüksek göreceli tektonik aktiviteyi gösterse de fayın geneline bakıldığında, Karacasu Fayı yüksek

göreceli tektonik aktiviteye sahip olduğu söylenebilir.

5. Sonuçlar

Sayısal yükseklik modeli kullanılarak yapılan morfometrik çalışmalar, bir bölgenin göreceli tektonik aktivitesini belirlemede kullanılabilir. Karacasu Fayı'nın göreceli tektonik aktivitesini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada, dağ önleri için; dağ önü sinüslülük oranı (Smf), vadi tabanı genişliği-yüksekliği oranı (Vf), fayın sınırladığı drenaj alanları için; akarsu uzunluk-gradyan indisi (SL), havza asimetri faktörü (AF), hipsometrik eğri ve integral (Hi) ve drenaj havzası şekli (Bs) indisleri kullanılmıştır. Hesaplanan jeomorfik indisler için, eski çalışmalar kullanılarak üç farklı tektonik sınıf belirlenmiştir. Bu tektonik sınıflandırmaların ortalaması alınarak her bir drenaj alanı için göreceli tektonik aktivite indisi Iat hesaplanmıştır. Iat indisine göre, Çamköy ve Yazır segmentlerinin KB uçları çok yüksek derecede göreceli tektonik aktiviteye sahiptir. Segmentlerin diğer bölümlerinde hesaplanan Iat değerleri de yüksek derecede tektonik aktiviteyi işaret etmektedir. Elde edilen veriler, segmentlerin uzunluğu ve bölgede meydana gelen eski depremler dikkate alındığında, Karacasu Fayı'nın M6 veya üstü büyüklüğe sahip deprem üretme potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- Açıkalın, S., 2005. Sedimentary evolution of the Karacasu cross-graben (Aydın, West Anatolia). MSc, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Turkey.
- Alçıçek, H. ve Jiménez-Moreno, G., 2013. Late Miocene to Pliocene fluvio-lacustrine system in Karacasu Basin (SW Anatolia, Turkey): depositional, palaeogeographic and palaeoclimatic implications. *Sedimentary Geology*, 291, 62–83.
- Azor, A., Keller, E.A. ve Yeats, R.S., 2002. Geomorphic indicators of active fold growth; South Mountain-Oak Ridge Anticline, Ventura Basin, Southern California. *Geological Society of America Bulletin*, 114, 745–753.
- Bull, B. W., 1977. Tectonic geomorphology of the Mojave Desert, U.S. Geological Survey Contact Report 14-08-001-G-394.

- Bull, W.B. ve McFadden, L.D., 1977. Tectonic geomorphology North and south of the Garlock fault, California, Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium, in: Geomorphology in Arid Regions, Doehring, D. O., (Ed), State University of New York, Binghamton, 115–138.
- Burbank, D.W. ve Anderson, R.S., 2001. Tectonic Geomorphology. Blackwell Science.
- Burbank, D.W., 1992. Causes of recent Himalayan uplift deduced from deposited patterns in the Ganges basin. *Nature*, 357, 680–683.
- Chen, Y.C., Sung, Q. ve Cheng, K.Y., 2003. Along-strike variations of morphotectonic features in the Western Foothills of Taiwan: Tectonic implications based on stream-gradient and hypsometric analysis. *Geomorphology*, 56, 109-137.
- 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 Mississippi Embayment. *Geological Society American Bulletin*, 106, 571-581.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J. ve Keller, E.A., 2008. Assessment of relatiand actiand tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96.
- Hack, J.T., 1973. Stream profile analysis and stream gradient index. *Journal of Research of the United States Geological Survey*, 1 (4), 421–429.
- Hare, P.W. ve Gardner, T.W., 1985. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica, Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium, in: Tectonic Geomorphology, Morisawa, M. and Hack, J.T., (Eds), Allen and Unwin, Boston, 123–134.
- Hurtrez, J.E., Lucazeau, F., Lavé, J. ve Avouac, J.P., 1999. Investigation of the relationships between basin morphology, tectonic uplift, and denudation from the study of an active fold belt in the Siwalik Hills, central Nepal. *Journal of Geophysical Research*, 104, 12779-12796.
- Kastelli, M., 1971. Denizli-Sarayköy-Çubukdağ-Karacasu alanı jeoloji incelemesi, MTA Raporu, Derleme No: 2532.
- Keller, E.A. ve Pinter, N., 2002. Active tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape (2nd Edn.): New Jersey, Prentice Hall, 432 p.
- Kirby, E. ve Whipple, K.X., 2012. Expression of Active Tectonics in Erosional Landscapes. *Journal of Structural Geology*, 44, 54-75.
- Konak, N. ve Göktaş, F., 2004. 1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları serisi, Denizli-M21 paftası: MTA Gen. Müd. Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Lifton, N.A. Ve Chase, C.G., 1992. Tectonic, climatic and lithologic influences on landscape fractal dimension and hypsometry: implications for landscape evolution in the San Gabriel Mountains, California. *Geomorphology*, 5, 77-114.
- Merritts, D. ve Vincent, K.R., 1989. Geomorphic response of coastal streams to low, intermediate, and high rates of uplift, Medocino triple junction region, northern California. *Geological Society of America Bulletin*, 101(11) 1373–1388.
- Nebert, K., 1955. Bozdoğan ve Karacasu'daki genç Neojen körfezleri, MTA Raporu, Derleme No. 2511.
- Ocakoğlu, F., Açıkalın, S., Özsayın, E. ve Dirik, K., 2014. Tectonosedimentary evolution of the Karacasu and Bozdoğan basins in the Central Menderes Massif, W Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 23(4), 361-385.
- Özkaymak, Ç. ve Sözbilir, H., 2012. Tectonic geomorphology of the Spildağı high ranges, western Anatolia. *Geomorphology*, 173–174, 128–140.
- Pérez-Peña, J.V., Azor, A., Azañón, J.M. ve Keller, E.A., 2010. Actiand tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): Insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis. *Geomorphology*, 119, 74-87.

- Ramírez-Herrera, M.T., 1998. Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graben, Mexican Volcanic Belt. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, 317–332.
- Rockwell, T.K., Keller, E.A., ve Jonson, D.L., 1985. Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California, Proceedings of the 15th Annual Geomorphology Symposium, in: Tectonic Geomorphology, Morisawa, M. (Ed), Allen and Unwin Publishers, Boston, 183–207.
- Selby, M.J., 1980. A rock mass strength classification for geomorphic purposes: with test from Antarctica and New Zealand. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 24, 31-51.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C. ve Bardajm, T., 2003. Fault generated mountain fronts in Southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and earthquake activity. *Geomorphology*, 250, 203–226.
- Strahler, A.N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of America*, 63, 1117-1142.
- Şimşek, Ş. ve Yılmaz, S., 1977. Nazilli-Kuyucak-Yenice (Karacasu) alanının jeolojisi ve jeotermel olanakları, MTA Raporu, Derleme No: 6422.
- Topal, S. ve Özkul, M., 2018. Jeomorfik İndisler Kullanılarak Honaz Fayı'nın (GB Türkiye) Göreceli Tektonik Aktivitesinin Belirlenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. PAJES-18199, doi: 10.5505/pajes.2017.18199.
- Topal, S., 2018. Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Acıgöl fault, SW Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 11: 198.
- Topal, S., Keller, E., Bufe, A. ve Kocyiğit, A., 2016. Tectonic geomorphology of a large normal fault: Akşehir fault, SW Turkey. *Geomorphology*, 259, 55-69.