

Çalidere Havzası'nın (Armutlu Yarımadası, Yalova) Morfotektoniğinin Jeomorfometrik Analizlerle Değerlendirilmesi

*Evaluation of morphotectonic of Çalidere Basin (Armutlu Peninsula, Yalova)
using geomorphometric analysis*

Yıldız Güney^{1*}

¹ Uşak Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Uşak

Öz: Bu çalışmada Marmara'nın önemli morfotektonik unsurlarından biri olan Armutlu Yarımadası'nın kuzeyindeki havzalardan Çalidere Havzası'nın jeomorfolojisine etki eden yapısal ve tektonik faktörler jeomorfometrik indis uygulamaları ile değerlendirilmiştir. Araştırma, akarsu havzası bazında jeomorfometrik bir analiz çalışması olup, jeolojik yapı ve tektoniğin havzanın jeomorfolojisine etkilerinin kantitatif uygulama sonuçlarıyla ortaya konulması amaçlanmıştır. Havza topografyasını etkileyen yapısal ve tektonik faktörler, konuyla ilgili jeomorfometrik indisler kullanılarak kantitatif olarak ortaya konulabilir. Bu nedenle jeolojik yapının ve tektoniğin topografyadaki izlerini tanımlamada sıklıkla kullanılan hipsometrik eğri-hipsometrik integral, transvers topografik simetri, akarsu uzunluk gradyan indeksi, vadi tabanı genişliği vadi yüksekliği oranı gibi jeomorfometrik indisler Çalidere Havzasına uygulanmıştır. Uygulamada araştırma alanının 10 metre çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli, jeoloji verisi, aktif fay verisi ile Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımlarından ArcGIS 10.2 kullanılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki havzanın aşağı kesimindeki fay havza jeomorfolojisi için önemli bir tektonik unsurdur. Nitekim gerek akarsu uzunluk gradyan indeksindeki anomalinin gerekse hipsometrik eğrideki bombenin sebebi havzanın aşağı kesiminde yer alan fayın morfolojiye yansımalarıdır. Hipsometrik integral, vadi tabanı genişliği vadi yüksekliği oranı değerleri de havzanın aktif tektonik süreçlerin etkisinde şekillenmiş, genç bir havza olduğunu göstermektedir. Çalışmanın sonuçları bölgede yapılan jeoloji, tektonik ve morfotektonik çalışmalarını destekleyebilecek veriler içermektedir.

Anahtar kelimeler: jeomorfometrik analizler, akarsu havza morfometrisi, morfotektonik, Coğrafi Bilgi Sistemleri

Abstract: In this study, structural and tectonic factors which are effecting geomorphology of Çalidere Basin which is one of the basin located at the north of Armutlu Peninsula, one of important morphotectonic factor in Marmara are assessed with geomorphometric index applications. The study is a geomorphometric analysis of river basin. And aim of the study is defining effects geologic structure and tectonic to basin's geomorphology and it's results. The structural and tectonic factors which are effecting basin's topography may be revealed quantitatively by using geomorphometric indexes. Therefore, geomorphometric indexes which are usually used for defining effects of geologic structure and tectonic on topography such as hypsometric curve-hypsometric integral, transverse topographic symmetry, stream length gradient index, valley height-width ratio, are implemented into Çalidere Basin. In implementation, 10 meter-resolution digital elevation model, geology data, active fault data of the research area and ArcGIS 10.2 which is one of the Geographic Information System software. Results have shown that the fault below the basin is an important tectonic factor for the geomorphology of the basin. The reason of both anomaly in the stream length gradient index and the bow in the hypsometric curve is reflection of fault to

* İletişim yazarı: Y. Güney, e-posta: yildiz.guney@usak.edu.tr

Makale Geliş Tarihi: 19.06.2018

Makale Basım Uygun Tarihi: 09.10.2018

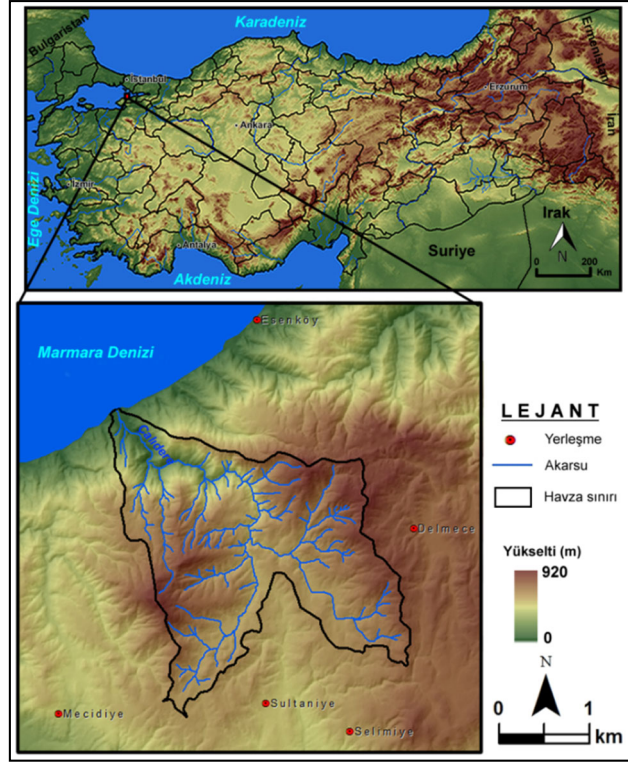
morphology. Hypsometric integral, valley height-width ratio of the basin show that this is a young basin which was shaped by the effects of active tectonic process. The results of the study include data which can support geologic, tectonic and morphotectonic studies of the area.

Keywords: *geomorphometric analysis, river basin morphometry, morphotectonic, Geographical Information Systems*

1. Giriş

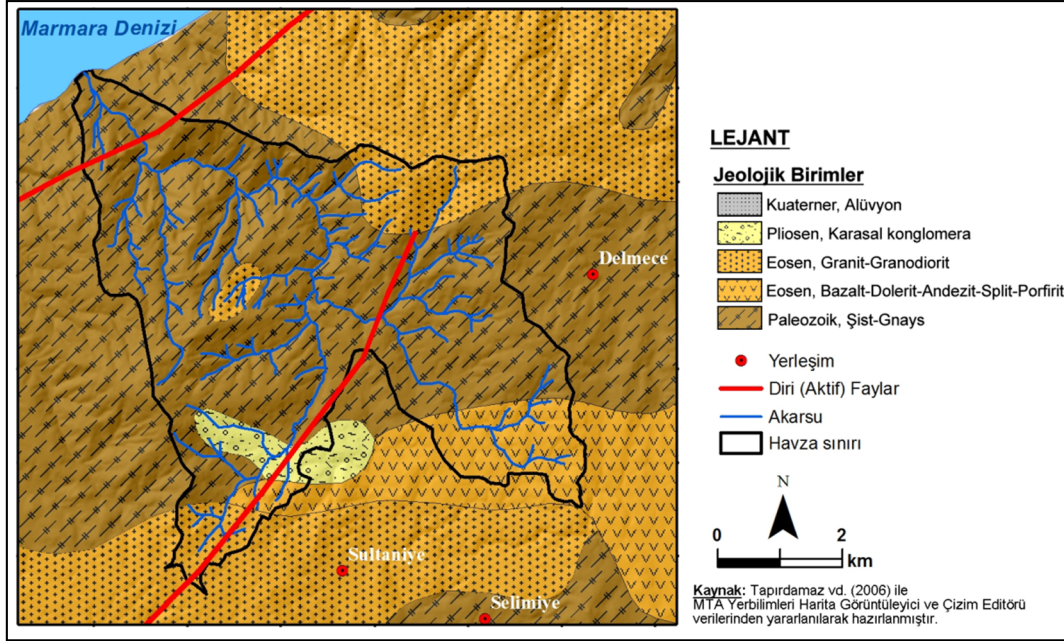
Jeolojik yapının ve tektoniğin topografyadaki izlerini tanımlamak amacıyla sayısal jeomorfolojik analizler için geliştirilmiş pek çok morfometrik indeks vardır (Strahler, 1952; Hack, 1973; Harlin, 1978; Mayer, 1990, Western vd., 1997; Keller ve Pinter, 2002; Demoulin, 2011). Ülkemizde bu morfometrik indislerin akarsu havzalarına uygulanarak yapının ve tektoniğin havzalarımızın jeomorfolojik gelişimine etkilerinin kantitatif olarak değerlendirildiği çalışmaların sayısı özellikle son yıllarda artmıştır (Erginal ve Cürebal, 2007; Cürebal ve Erginal, 2007; Öztürk ve Erginal, 2008; Özşahin, 2010; Yıldırım ve Karadoğan, 2011; Uzun, 2014; Avcı ve Günek, 2015; Özşahin, 2015; Karataş, 2015; Köle, 2016; Topuz ve Karabulut, 2016; Fural, 2016; Avcı ve Kıranşan, 2017). Coğrafi Bilgi Sistemleri teknolojilerindeki gelişmeler ve Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model-DEM) verisine ulaşılabilirliğin kolaylaşması bu artışta etkili olmuştur. Sadece Sayısal Yükseklik Modeli verisi kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımları ile yapılan jeomorfometrik analizler havzaların jeomorfolojik özelliklerini, evrimini araştırmada pratik araçlardır. CBS yazılımları ve yüksek çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modelleri jeomorfometrik analizlerin uygulanmasını ve sonuçların haritalanmasını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca jeomorfometrik teknikler geniş sahalarda bile doğru ve yeterli bilginin zamandan ve maliyetten tasarruf ederek elde edilmesini sağlamaktadırlar (Troiani vd., 2014).

Çalışmada, tektonik açıdan aktif bir alan olan Armutlu Yarımadası'nın kuzeyindeki havzalardan Çalidere Havzası araştırma alanı olarak seçilmiştir. Tamamen Yalova ili sınırları içerisinde kalan araştırma alanı yaklaşık 35.5 km²'lik bir alan kaplamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Araştırma alanının lokasyon haritası.

Araştırma alanının içinde bulunduğu Armutlu Yarımadası Marmara'nın önemli morfolotektonik unsurlarından biridir. Bölgenin jeolojisi ve tektoniği ile ilgili geçmişten günümüze pek çok çalışma yapılmıştır (Ardel, 1949; Bilgin, 1967; Akartuna, 1968; Bargu ve Sakınç, 1987; Göncüoğlu vd., 1987; Erendil vd., 1988; Göncüoğlu ve Erendil, 1990; Yılmaz vd., 1995; Aylan, 2002; Robertson ve Ustaömer, 2004; Yiğitbaş vd., 2004; Ertekin, 2007). Armutlu Yarımadası, Türkiye'nin en aktif tektonik yapılarından biri olan Kuzey Anadolu Fayı'nın batı ucundadır. 1999 Kocaeli kırığının batı ucunda yer alan yarımada'nın kuzeyinden ve güneyinden Kuzey Anadolu Fayı'nın iki kolu geçmektedir. Araştırma alanının içinde bulunduğu Armutlu Yarımadası, bu önemli tektonik yapıların da etkisiyle aktif bir depremselliğe ve karmaşık tektonik özelliklere sahiptir (Tunç vd., 2011). Kuzey Anadolu Fayı'nın iki kolu arasında sınırlanan Armutlu Yarımadası'nda, litolojik özellikleri ve yaşları birbirinden farklı kayaç toplulukları yer almaktadır. Araştırma alanında Paleozoik'e ait gnays ve şistlerden oluşan metamorfikler en geniş alanı kaplayan jeolojik birimdir. Ayrıca özellikle havzanın yukarı kesiminde ve kuzeyinde granit, granodiorit, bazalt, dolerit gibi volkanitler yüzeylenmekle birlikte sınırlı bir alanda Pliosen'e ait karasal konglomeralar da bulunmaktadır. Havzanın aşağı ve yukarı kesiminde bulunan aktif (diri) faylar ise araştırma alanındaki önemli tektonik unsurlardır (Şekil 2). Kayaç topluluklarının arasındaki kontak ilişkilerinin genellikle tektonik olduğu sahada topografya da şüphesiz bu yapısal ve tektonik özelliklerin kontrolünde şekillenmiştir (Çelik vd., 2009). Bu çalışmada da yapının ve tektoniğin Çalidere Havzası'nın topografyasına, jeomorfolojik gelişimine etkileri hipsometrik eğri-hipsometrik integral, transvers topografik simetri, akarsu uzunluk gradyan indeksi, vadi tabanı genişliği vadi yüksekliği oranı gibi jeomorfometrik indisler ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 2. Araştırma alanının jeoloji haritası (Tapırdamaz vd.(2006) ile MTA Yerbilimleri Harita Görüntüleyici ve Çizim Editörü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.)

2. Materyal ve Yöntem

Çalışma kapsamında araştırma alanının Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), jeoloji ve aktif (diri) fay verileri kullanılmıştır. Öncelikle araştırma alanını içine alan 1/25000 ölçekli G21c3 ve G22d4 topografya haritalarından sayısallaştırma yoluyla elde edilen izohips verisi temin edilmiştir. Sayısal izohips verisi kullanılarak araştırma alanının 10 metre çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli verisi oluşturulmuştur. Aktif (diri) faylarla ilgili veri Tapırdamaz vd. (2006)'nın çalışmasından sayısal formatta temin edilerek araştırma alanıyla ilgili veri tabanına eklenmiştir. Jeolojik formasyonlarla ilgili veri Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü'nün Yerbilimleri Harita Görüntüleyici ve Çizim Editörü ile MTA'ya ait çeşitli jeoloji haritalarından derlenerek oluşturulmuştur. Böylece araştırma alanına ait bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bütün analiz ve haritalama işlemleri için ArcGIS 10.2 yazılımı ve ArcView yazılımı kullanılmıştır.

İkinci aşamada, havzalarda yapı ve tektoniğin havza jeomorfolojik gelişimine etkilerini ortaya koyabilmek için hipsometrik eğri-hipsometrik integral, transvers topografik simetri, akarsu uzunluk gradyan indeksi, vadi tabanı genişliği vadi yüksekliği oranı jeomorfometrik analizleri uygulanmıştır. Ayrıca yükselti ve eğim ile ilgili analizler de yapılmıştır. Daha sonra analiz sonuçları araştırma alanını içine alan jeoloji ve tektonik ile ilgili mevcut çalışmalarla, jeoloji haritasıyla, arazi verileriyle karşılaştırılarak incelenmiş ve yorumlanmıştır.

Hipsometrik eğri, farklı yükselti kademelerine göre havza alanlarının yükselti/alan dağılımını verir. Hipsometrik eğri grafiğini oluşturan değerler, bir havza içindeki herhangi bir yükselti kademesinin üzerinde kalan alanın tüm havzanın alanına oranı (a/A =rölatif alan) ve havza içerisindeki herhangi bir yükselti kademesi değeri ile havzanın en yüksek kotunun oranının (h/H =rölatif yükseklik) karşılaştırılması ile elde edilmektedir (Strahler, 1952). Hipsometrik eğri ve hipsometrik integral havzaların aşınım durumunu ve topografyanın gençlik, olgunluk, yaşlılık evrelerini belirlemede kullanılmaktadır (Ritter vd., 2002). Hipsometrik eğrinin şekli ve hipsometrik integral değeri havzanın aşınım evresi hakkında bilgi vermesi yanı sıra tektonik, iklim ve litoloji faktörleri tarafından da yönetilmektedir (Moglen ve Brass, 1995; Willgoose ve Hancock, 1998; Huang ve Niemann, 2006).

Nitekim hipsometrik eğri ve hipsometrik integral tektonik olarak aktif ve aktif olmayan alanları ayırmada kullanılan önemli araçlardır (Keller ve Pinter, 2002). Hipsometrik integralin değerindeki ve hipsometrik eğrinin şeklindeki farklılıklar tektonik etkilerin derecesi ile yakından ilgilidir (Weissel, 1994). Dışbükey bir şekil gösteren hipsometrik eğriler 0.60'dan büyük hipsometrik integral değeri ile genç aşamanın durumunu gösterir. Dışbükeyliği kalmamış "S" şekilli hipsometrik eğriler, 0.35 ve 0.60 arasındaki hipsometrik integral değeri olgun aşamayı gösterirken, eğrinin içbükeyliği 0.35'ten küçük hipsometrik integral değeriyle topografyanın yaşlı aşamasını gösterir (Willgoose ve Hancock, 1998). Bu çalışmada da hipsometrik eğri ve hipsometrik integral Çalidere Havzası'nın jeomorfolojisinde yapı ve tektoniğin etkisini ortaya koymak amacıyla kullanılmıştır.

Araştırma alanında drenaj havzası asimetrisi ortaya koyabilmek için transvers topografik simetri faktörü uygulanmıştır. Transvers topografik simetri faktörü drenaj havzalarının tektonik aktiviteye bağlı simetrik-asimetrik karakterlerini ve olası tiltlenme yönünü belirlemede kullanışlı bir parametredir (Cox, 1994). Transvers topografik simetri faktörü; havzayı iki eşit kısma böldüğü farz edilen ve havzanın ortasından geçirilen havza orta çizgisi ile aktif ana akarsu arasındaki mesafenin havza orta çizgisinden su bölümü çizgisine kadar olan mesafeye oranıdır. Havza orta çizgisinin ana akarsuya olan uzaklığının, havza orta çizgisinin havza su bölümü çizgisine olan uzaklığına oranıyla belirlenmektedir. Havzanın belli bir noktası için transvers topografik simetri faktörünün hesaplanmasında $T=Da/Dd$ formülü kullanılır. Formüldeki Da hesaplanan noktadaki havza orta çizgisi ile aktif ana akarsu arasındaki mesafe, Dd havza orta çizgisinden subölümü çizgisine kadarki mesafedir. Hesaplanan T değeri 0 ile 1 arasında değişir. Faktör değerinin 0 olduğu sahalarda tam bir simetrik yapı söz konusudur. Bu değerden uzaklaştıkça asimetrisinin varlığı yani bir çarpılmadan söz edilebilmektedir. Diğer bir deyişle transvers topografik simetri faktörü 1'e yaklaştıkça asimetri artmaktadır, 0'a yaklaştıkça simetri artmaktadır (Cox, 1994; Burbank ve Anderson, 2002; Keller ve Pinter, 2002).

Akarsu uzunluk-gradyan indeksi (stream length-gradient (SL) index) akarsu vadilerindeki normal olmayan eğim farklılıklarını belirlemede yararlanılan bir analizdir. Akarsu uzunluk-gradyan indeksindeki karışıklıklar genellikle üç sebeple oluşur. Bunlar; sahada aşınan litolojik birimlerin erozyona karşı direnç farklılıkları, aktif faylanma gibi tektonik etkiler ve özellikle küçük havzalarda doğrudan akarsu kanallarına ulaşan eğim bozukluklarının indeks değerlerinde yarattıkları farklılaşmalardır (Troiani vd., 2014). Bir akarsuyun belli bir kolu için akarsu uzunluk-gradyan indeksinin hesaplanmasında $SL=(dH/dL)/L$ formülü kullanılır. Formüldeki dH hesaplanan kolun yükseklik değişimi, dL kolun uzunluğu ve L indeksin hesaplandığı yerden vadinin en yüksek noktasına kadar olan mesafedir (Hack, 1973).

Vadi tabanı genişliği-vadi yüksekliği oranı (Vf), dar ya da geniş vadi tabanlarının (V ya da U şekilli vadi profilleri) şeklini ortaya koyarak tektonik yükselmeyi tektoniğin vadi yamaçları üzerindeki etkisi yoluyla tespit etmede kullanılan önemli bir morfometrik indistir. Vadinin belli bir noktası için vadi tabanı genişliği-vadi yüksekliği oranı hesaplamada $Vf=2Vfw/[(Eld-Esc)+(Erd-Esc)]$ formülü kullanılır. Formüldeki " Vf " vadi tabanı genişliği-vadi yüksekliği oranı, " Vfw " vadi tabanının genişliği, " Eld " vadinin akarsuyun akış yönüne göre sol kesiminin yüksekliği, " Erd " vadinin akarsuyun akış yönüne göre sağ kesiminin yüksekliği, " Esc " vadi tabanı yüksekliğidir (Bull, 1978; Bull ve McFadden, 1977; Keller, 1986; Keller ve Pinter, 2002).

3. Jeomorfometrik Analizler ve Bulgular

3.1. Hipsometrik Eğri ve Hipsometrik İntegral

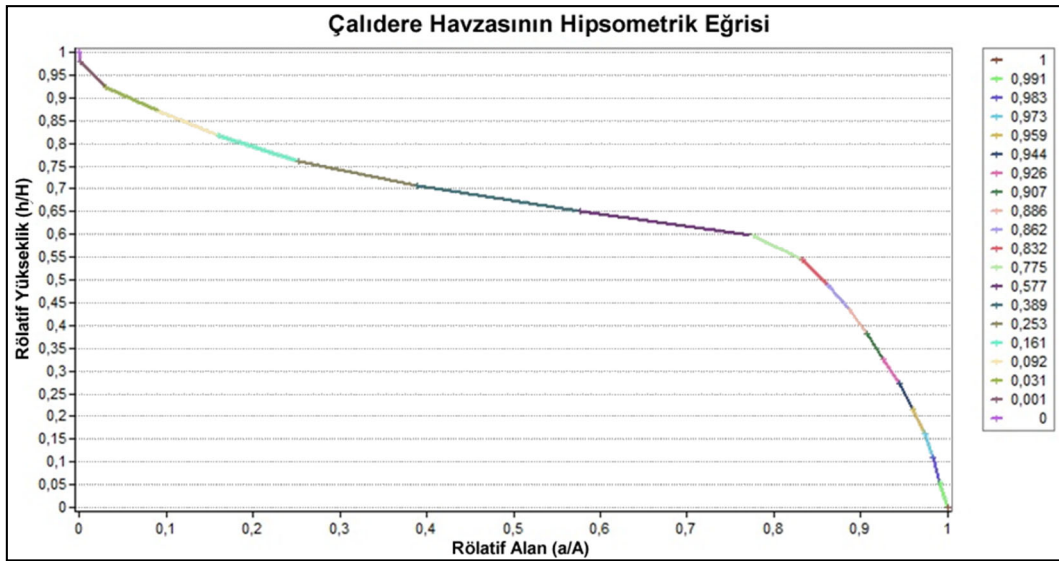
Hipsometrik eğrinin oluşturulabilmesi için rölatif yükselti (h/H) ve rölatif alanın (a/A) tespit edilmesi gerekmektedir. Burada " h " ilgili yükselti kademesine ait yükselti değeridir. Çalidere Havzasına ait bu uygulamada yükseklikler 50 metre aralıklarla alınmıştır. " H " araştırma alanının en yüksek noktasına ait değerdir ki bu uygulamada H değeri 920 metredir. " a " ilgili yükselti kademesi ve onun

üzerindeki gerçek yüzölçümü alanı (m^2), "A" havzanın toplam gerçek yüzölçümü alanıdır. Araştırma alanı olan Çalidere Havzası'nın gerçek yüzölçümü alanı $37811212.07 m^2$ 'dir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Çalidere Havzası'nın hipsometrik eğrisi için veri değerleri.

Yükseklik (h)	Maksimum Yükseklik (H)	Alan (a) m^2	Havza Alanı (A) m^2	Rölatif Yükseklik (h/H)	Rölatif Alan (a/A)
0	920	37811212,0	37811212,1	0	1
50	920	37474198,5	37811212,1	0,05	0,99
100	920	37186467,7	37811212,1	0,11	0,98
150	920	36785594,6	37811212,1	0,16	0,97
200	920	36276155,8	37811212,1	0,22	0,95
250	920	35677668,2	37811212,1	0,27	0,94
300	920	35019961,0	37811212,1	0,32	0,92
350	920	34297848,0	37811212,1	0,38	0,90
400	920	33503716,2	37811212,1	0,43	0,88
450	920	32588597,1	37811212,1	0,48	0,86
500	920	31461005,3	37811212,1	0,54	0,83
550	920	29284828,4	37811212,1	0,59	0,77
600	920	21825693,4	37811212,1	0,65	0,57
650	920	14725086,2	37811212,1	0,70	0,38
700	920	9560424,4	37811212,1	0,76	0,25
750	920	6071255,6	37811212,1	0,81	0,16
800	920	3488073,6	37811212,1	0,86	0,09
850	920	1178806,4	37811212,1	0,92	0,03
900	920	39487,9	37811212,1	0,97	0,00
920	920	0	37811212,1	1	0

Hipsometrik eğri grafiğinde 0'dan 1'e, 1'den 0'a değerlerin değiştiğini görüyoruz. Her renk çalışmada kullanılan 50 metre yükseklik aralığını gösteriyor. Eğri, genel itibariyle dışbükey bir profil göstermektedir. Dolayısıyla araştırma alanı gençlik safhasındadır. Çalidere Havzası'nın hipsometrik eğrisinde 300 ile 600 metre arasında kabarıklık, bombe yapan bir yer dikkat çekiyor. Bu Şekil 2'de de havzanın aşağı kısmında görülen fayın jeomorfolojiye yansımadır. Fayın geçtiği alanda hipsometrik eğrinin bombe yapmasının sebebi fayın topografyada oluşturduğu diklik, diğer bir deyişle eğim ve yükselti farkıdır. 650-900 metre arasında nispeten içbükey, 0-650 metre arasında ise dışbükey bir eğri var. Buna göre aktif tektonik süreçlerin söz konusu olduğu söylenebilir. Araştırma alanı aşınımında belli bir yere ulaştıktan sonra tektonik aktiviteler sonucu gençleşmiştir. Yer yer içbükey yer yer de dışbükey kısımlara sahip olan Çalidere Havzası hipsometrik eğrisinin genel görünümünün dışbükey olması nedeniyle sahanın henüz gençlik safhasında olduğu söylenebilir (Şekil 3).



Şekil 3. Çalidere Havzası'nın hipsometrik eğrisi.

Oluşturduğumuz hipsometrik eğri topografyanın gençliğiyle ilgili bir fikir vermekle birlikte bu gençliğin rakamsal olarak ne kadar olduğunu ortaya koymak için araştırma alanının hipsometrik integral değeri de hesaplanmıştır. Hipsometrik integrali hesaplamanın basit yolu Pike ve Wilson (1971) tarafından $Hi = \frac{Hort - Hmin}{Hmax - Hmin}$ formülü ile ifade edilmiştir. Formüldeki "*Hi*" hipsometrik integral, "*Hort*" ortalama yükseklik, "*Hmin*" havzadaki en düşük yükseklik değeri, "*Hmax*" ise havzanın en yüksek yükseklik değeridir. Formüldeki parametreler araştırma alanının Sayısal Yükseklik Modeli'nden belirlenerek Çalidere Havzası'nın hipsometrik integral değeri hesaplanmıştır. Buna göre Çalidere Havzası'nın hipsometrik integral değeri $Hi = \frac{605.2 - 0}{920 - 0} = 0.66$ 'dır.

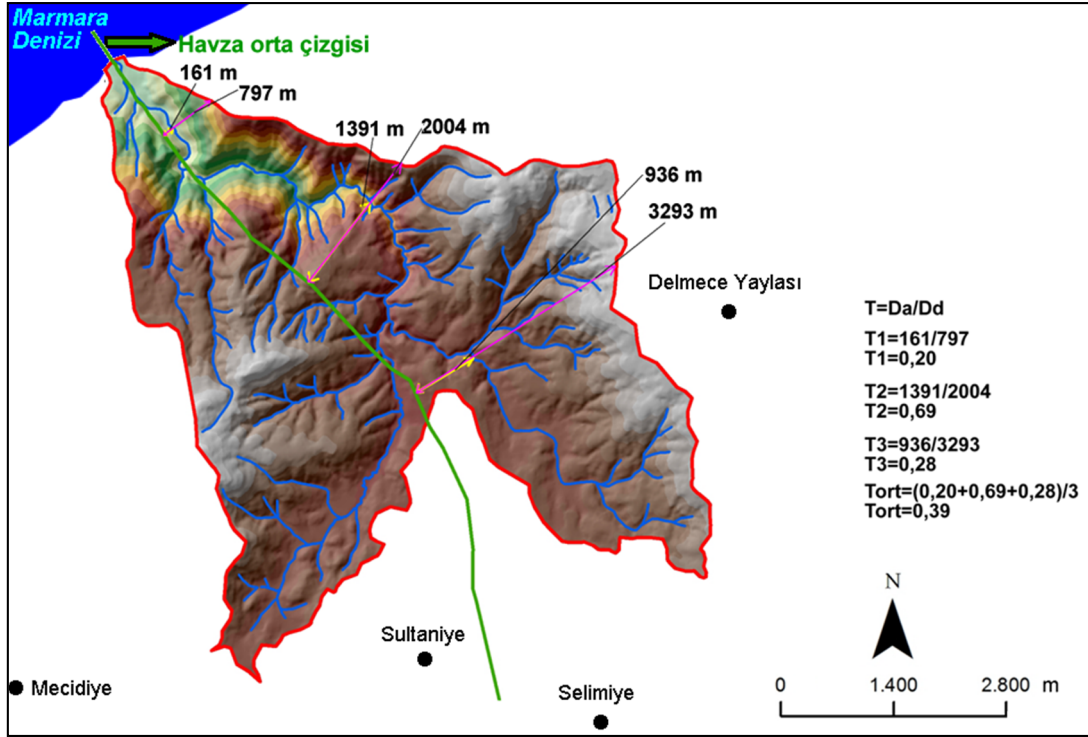
Sonuç olarak Çalidere Havzası için hesaplanan 0.66'lık yüksek hipsometrik integral değeri ve belirgin şekilde dışbükey hipsometrik eğri (Şekil 3) havzanın genç bir havza olduğunu aşındırma süreç ve etmenlerinin devam ettiğini ve havzanın tektonik olarak aktif karaktere sahip olduğunu göstermektedir.

3.2. Transvers Topografik Simetri Faktörü

Araştırma alanında transvers topografik simetri faktörünü hesaplayabilmek için öncelikle havzayı iki eşit kısma böldüğü farz edilen ve havzanın ortasından geçirilen havza orta çizgisi belirlenmiştir. Bunun için ArcGIS 10.2 programında çizgi formatındaki havza sınırı verisi nokta formatına çevrilmiş ve bu nokta formatındaki havza sınırı verisi baz alınarak Thiessen poligon işlemi yapılmıştır. Böylece Thiessen poligonlama ile işleme katılan havza sınırı nokta verilerine bağlı olarak havzanın ortasından geçen havza orta çizgisi hassas bir şekilde belirlenmiştir (Şekil 4).

Havzanın aşağı, orta ve yukarı kesiminden belirlediğimiz 3 farklı lokasyon için transvers topografik simetri faktörü (*T*) hesaplanmıştır. Buna göre havzanın aşağı kesimindeki lokasyonda 0.20, havzanın orta kısmındaki lokasyonda 0.69 ve yukarı havza kesiminde 0.28 *T* değeri elde edilmiştir. Bu üç farklı lokasyondan elde edilen değerlerin ortalaması alınarak havza geneli için de 0.39 *T* değeri bulunmuştur. Buna göre araştırma alanı nispeten asimetric bir yapıya sahip olduğu ve tektonik deformasyonlara maruz kaldığı söylenebilir. 0.39 *T* değeri ile orta değerlerde bir asimetricin söz konusu olduğu Çalidere Havzası'nda havzanın aşağı, orta ve yukarı bölümleri arasındaki fark ise belirgindir. Havzanın aşağı ve yukarı kesimlerinde asimetric faktörü düşük iken, orta kesiminde 0.69 gibi yüksek bir asimetric değeri tespit edilmiştir (Şekil 4).

Akarsu vadilerindeki asimetric litolojiden, tektonik hareketlerden, iklimik faktörlerin vadi yamaçlarında neden olduğu bitki örtüsü farklılaşmasından kaynaklanabilmektedir (Erinç, 2000). Transvers topografik simetri faktörü havzalardaki asimetricin varlığı ve derecesi ile ilgili niceliksel bilgi vermekle birlikte bu asimetricin faylanmadan mı bitki örtüsü farklılığından mı yapı veya litolojik farklılıktan mı kaynaklandığını anlamak için arazi gözlemlerinde bulunmak veya diğer parametreleri de göz önünde bulundurarak havzayı yorumlamak gerekmektedir. Çalidere Havzası'ndaki asimetricin sebebi tektonik yükselme, alçalma olabilir. Çünkü Kuzey Anadolu Fay hattının burada etkisi vardır. Ayrıca buradaki tektonik aktiviteyi havzanın hipsometrik eğri ve integrali de doğrulamaktadır (Şekil 3). Transvers topografik simetri faktörü, iki önemli fayın yer aldığı Çalidere Havzası'nda da o fayın etkisini yorumlamada kolaylık sağlamaktadır. Buradaki tektonik aktivitenin havza asimetricisine etkileri transvers topografik simetri faktörüyle sayısal olarak ortaya konulmuştur (Şekil 4).

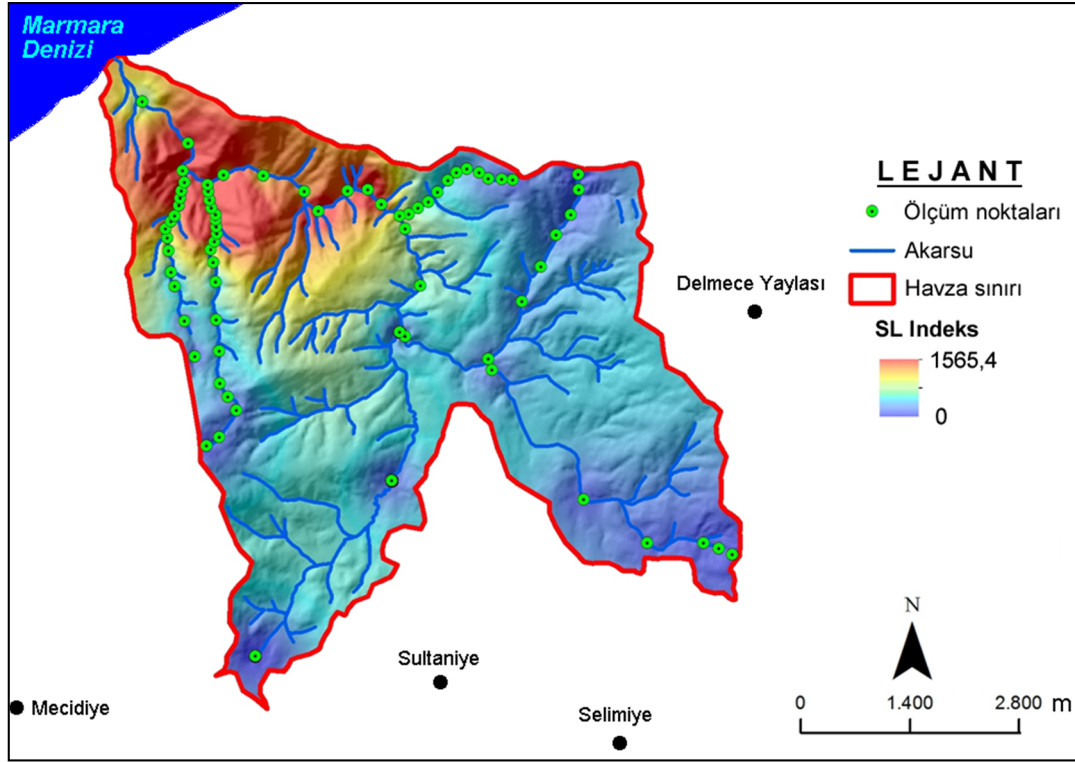


Şekil 4. Çalidere Havzası'nın transvers topografik simetri faktörü.

3.3. Akarsu Uzunluk-Gradyan İndeksi

Araştırma alanında Çalidere ana kolu ve ana kola katılan alt havzaların ana kolları için eşyüksele eğrileri 40'ar metre aralılarla baz alınarak her 40 metrede bir *SL* indeksi hesaplanmıştır. Bu doğrultuda belirlenen *SL* indeks ölçüm noktalarında ArcGIS 10.2 ve ArcView programlarıyla her bir ölçüm noktasının *SL* indeks değeri hesaplanmıştır. Daha sonra IDW enterpolasyon ile ölçüm noktalarının değerleri alana yayılarak *SL* indeksi haritası elde edilmiştir (Şekil 5).

Sonuç haritada *SL* indeksinin 0'dan 1565'e kadar değerler arasında değişiklik gösterdiği, özellikle havzanın aşağı kesimindeki değer artışı dikkati çekmektedir. Havzanın aşağı kesiminde *SL* indekste görülen bu anomalinin sebebini ortaya koymak için jeoloji haritasındaki litoloji verisi ve faylar incelenmiştir. Bu noktada Şekil 2'deki jeoloji haritasında da görülen faydan kaynaklanan topografyadaki ani eğim farklılığı *SL* indeks değerinin yüksek çıkmasına sebep olmuştur. Şekil 2'de görüldüğü üzere Çalidere'nin ana koluna rastlayan fay *SL* indeksin bu noktada anomali yapmasına yol açmıştır. Nitekim akarsu yatağındaki bu ani eğim farklılığının sonucu olarak oluşan Çalidere şelalesi de havzanın bu bölgesinde bulunmaktadır. Ayrıca buradaki tektonik aktivitenin topografyaya etkisini havzanın hipsometrik eğrisi de doğrulamaktadır (Şekil 3). Çünkü hipsometrik eğri bölümünde de değinildiği gibi havzanın 300-600 metrelerinde, eğri bir bombe yapmaktadır. Bu oradan geçen fayın topografyada yarattığı farklılaşmanın etkisiyle oluşmuş bir durumdur. Sonuç itibarıyla araştırma alanında akarsu üzerinde tektonik aktiviteden kaynaklanan bir topografik farklılık sebebiyle havzanın aşağı kesiminde *SL* indeks değeri pik yapmıştır (Şekil 5).

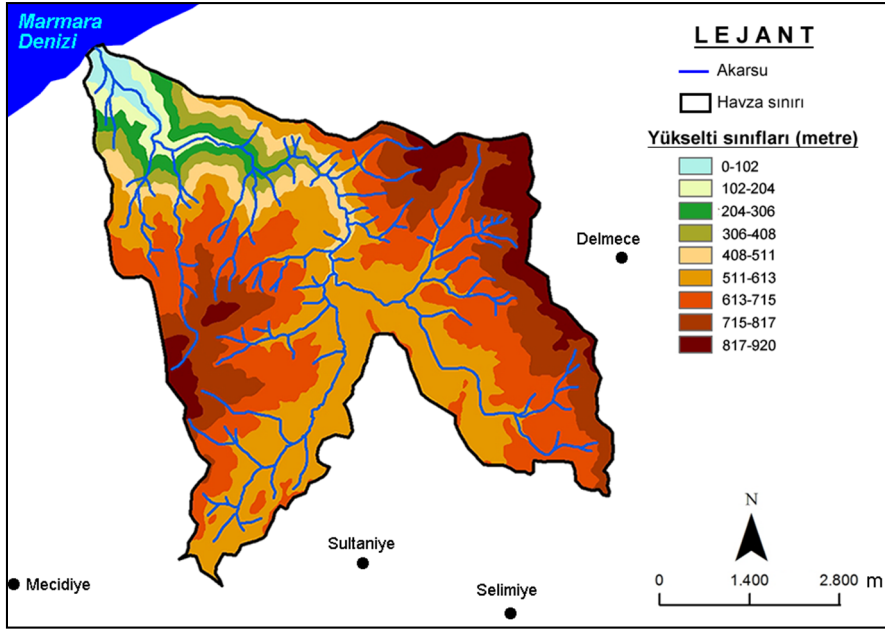


Şekil 5. Çalidere Havzası'nın akarsu uzunluk-gradyan indeksi haritası.

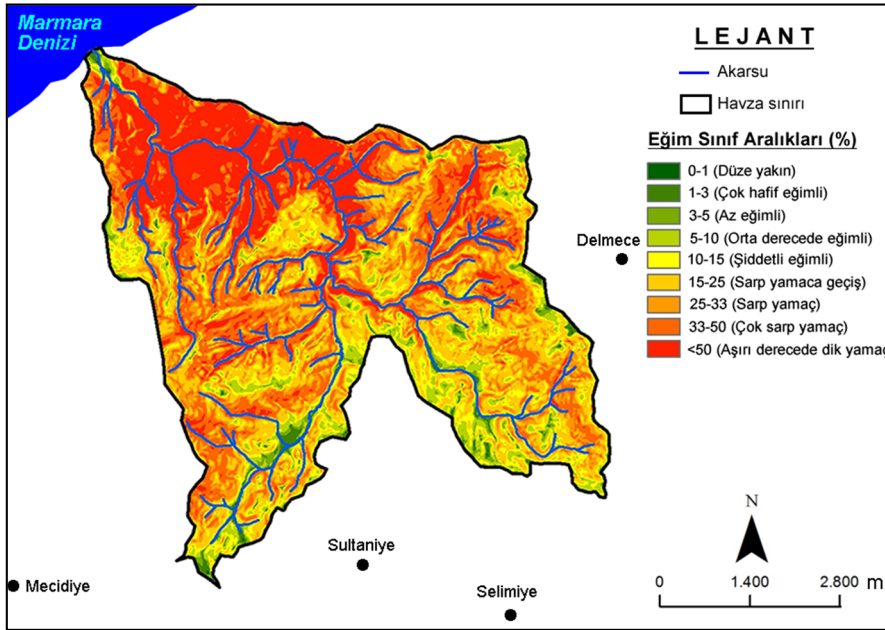
3.4. Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Yüksekliği Oranı

Vf değerlerinin 1'den küçük olduğu vadiler genellikle hızlı tektonik yükselmeye ilişkili akarsuyun aktif derine aşındırmasının söz konusu olduğu V şekilli vadiler olarak sınıflandırılabilir. 1 ve 1.5 arasındaki Vf değerleri orta derecede aktif tektoniği gösterir. 1.5'den büyük Vf değerleri ise büyük yanıl erozyona maruz kalan U şeklinde vadiler olarak sınıflandırılır. Diğer bir deyişle, derin V şekilli vadiler, aktif yükselmeye maruz kalan alanlarda farklı olan aşağı kesim akışları ile ilişkili iken; Vf değerinin 1'den büyük olduğu düzleştirilmiş vadiler, nispeten tektonik durgunluğa yanıt olarak büyük yanıl erozyona sahip vadilerin karakteristiğidir (Bull ve McFadden, 1977; Keller ve Pinter, 2002).

Formüldeki değerler araştırma alanının 10 metre çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli verisi kullanılarak ArcGIS 10.2 programının topografik profil çizme özelliği yardımıyla elde edilmiştir. Havzada Çalidere'nin 6 farklı noktasından enine profiller alınarak ayrı ayrı Vf değerleri hesaplanmıştır. Çalidere'nin ana vadisi üzerinde 6 değişik hat boyunca yapılan analizlerde Vf oranlarının 0.07 ile 1.69 arasında değiştiği görülmektedir. En düşük Vf değerlerine 4. Profil hattında rastlanmaktadır. Havzanın çeşitli yerlerine uygulanan Vf analizlerinin sonuçlarında dikkati çeken, vadi içlerine doğru gidildikçe genel itibarıyla Vf değerinin düştüğüdür. Vadinin aşağı kesimlerine doğru inildikçe de Vf değeri yükselmektedir. Çalidere havzasındaki ortalama Vf ise 0.52 olarak bulunmuştur. Hesaplanan Vf değerlerine göre araştırma alanındaki vadiler genellikle hızlı tektonik yükselmeye ilişkili akarsuyun aktif derine aşındırmasının söz konusu olduğu V şekilli vadilerdir. Sadece havzanın en aşağı kesiminde mansapa yakın bölümünden alınan 1. profil hattının Vf değeri 1.5'den büyük olduğu için büyük yanıl erozyona maruz kalan U şekilli vadi olarak sınıflandırılabilir. Keller ve Pinter (2002)'nin özellikle 0.5'den küçük Vf değerlerini daha yüksek hızda tektonik yükselme ve hızlı yarılma ile ilişkilendirdiği göz önünde bulundurulursa araştırma alanındaki vadilerin üzerinde tektoniğin etkisinin ne kadar çok



Şekil 7: Çaldere Havzası'nın yükselti haritası.



Şekil 8: Çaldere Havzası'nın eğim (%) haritası (Eğim sınıf aralıkları USDA (1993)'ün eğim sınıflama sistemine göre düzenlenmiştir.)

4. Sonuç ve Değerlendirme

Çaldere Havzası tektonik anlamda Kuzey Anadolu Fay sisteminin kontrolünde olup, bu fay hattının batı uzantıları olan farklı ölçekteki faylanmalara bağlı olarak araştırma alanında tektonik kırıklar ve bunların uzantıları mevcuttur. Araştırma alanının havza gelişimini ve havzanın morfolojik özelliklerini kontrol eden temel faktörler jeolojik yapı ve tektoniktir. Havzanın aşağı kesimlerinde yer alan fay havza topografyasında önemli bir unsurdur. Çaldere Havzasına uygulanan jeomorfometrik

analiz sonuçları havzanın jeomorfolojisinde tektoniğin etkilerini nicel verilerle ortaya koymuştur. Özellikle akarsu uzunluk gradyan indeksi ile hipsometrik eğri-hipsometrik integral sonuçları havzanın jeomorfolojik gelişiminde tektoniğin etkisini ortaya koyan birbiriyle uyumlu sonuçlar vermiştir. Çalidere'nin anakolunda fayın olduğu aşağı havza kesiminde akarsu uzunluk gradyan indeksindeki ani artış ve hipsometrik eğride aynı noktaya tekabül eden bombe tektoniğin etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Hesaplanan vadi tabanı genişliği-vadi yüksekliği oranlarına göre araştırma alanındaki vadilerin çoğu V şekilli olup, hızlı tektonik yükselmeye ilişkili, akarsuyun aktif derine aşındırmasının söz konusu olduğu, vadi gelişiminin daha genç bir aşamasını göstermektedirler. Özellikle 2-3-4 profillerine, hipsometrik eğrinin bu bölgeye tekabül eden kısmının şekline ve akarsu uzunluk gradyan indeksi değerinde bu bölgede görülen anomaliye bakarak havzanın bu bölgesinde tektonik aktivitenin rolünün daha yüksek olduğu söylenebilir.

Çalışmanın sonuçları bölgede yapılan jeoloji, tektonik ve morfotektonik çalışmalarını destekleyebilecek kantitatif veriler içermektedir. Çalidere Havzası ölçeğinde uygulanan bu çalışmanın genişletilerek Armutlu Yarımadası'ndaki havzaların tümüne uygulanıp, yarımada ölçeğinde havzaların morfotektonik özellikleriyle ilgili karşılaştırmalı bir takım sonuçlar elde edilebilir. Diğer bir deyişle yapının ve tektoniğin havza jeomorfolojisine etkilerini ortaya koyan jeomorfometrik indisler Armutlu Yarımadası'nda denize dökülen havzaların tümüne uygulanmalı ve havzaların morfotektonik özellikleri karşılaştırmalı olarak yorumlanmalıdır. Böylece yarımada ölçeğinde tektoniğin jeomorfolojiye etkileri mukayeseli olarak değerlendirilmesi mümkün olur.

Referanslar

- Akartuna, M. (1968) *Armutlu Yarımadası Jeolojisi*, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografisi, 20.
- Ardel, A. (1949) "Armutlu Yarımadası (jeolojik ve morfolojik etüt)", *Türk Coğrafya Dergisi*, 11-12, 35-78.
- Avcı, V.; Günek, H. (2015) "Uludere Havzası'nın (Bingöl) jeomorfolojik özelliklerinin belirlenmesinde morfometrik analizlerin kullanımı", *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21, 745-766.
- Avcı, V.; Kıranşan, K. (2017) "Darköprü Deresi Havzası'nda (Bingöl) tektonik etkinin morfometrik analizlerle belirlenmesi", *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10 (48), 270-284.
- Aylan, E. (2002) *Yalova-Çınarcık Arasında Armutlu Yarımadası'nın Morfotektonik Nitelikleri ve Genç Tektoniği*, Yayınlanmamış YL Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Ens., Çanakkale.
- Bargu, S.; Sakıncı, M. (1987) "Armutlu Yarımadasında Kretase Paleosen ilişkisi", *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 30, 41-48.
- Bilgin, T. (1967) *Samanlı Dağları Coğrafi Etüd*, Baha Matbaası, İstanbul.
- Bull, W.B., McFadden, L.D. (1977) "Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California, in Arid Regions", *Proc. Eighth Annual Geomorphology Symposium*, 115-138.
- Bull, W.B. (1978) *Geomorphic Tectonic Activity Classes of the South front of the San Gabriel Mountains, California*. U.S. Geological Survey Office of Earthquakes, Volcanoes, and Engineering Contract Report 14-08-001-G-394, California.
- Burbank, D.W.; Anderson, R.S. (2001) *Tectonic Geomorphology*, Blackwell Science, Malden.
- 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", *Geol. Soc. Am. Bull.*, 106, 571-581.
- Cürebil, İ.; Erginal, A.E. (2007) "Mıhlı Çayı Havzası'nın jeomorfolojik özelliklerinin jeomorfik indislerle analizi", *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 19, 126-135.
- Çelik, Ö.F., Gürer, Ö.F., Aldanmaz, E., Spell, T.; Öz, İ. (2009) "Armutlu Yarımadası ve Almacıkdağ amfibolitik kayaları için izotopik ve jeokimyasal sınırlamalar", *62. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 13-17 Nisan 2009, 466, Ankara.
- Demoulin, A. (2011) "Basin and river profile morphometry: a new index with a high potential for relative dating of tectonic uplift", *Geomorphology*, 126, 97-107.
- Erendil, M., Kuşçu, İ.; Kato, H. (1988) *Tectonics of the Armutlu Peninsula (Turkey): Aspect of the Western NAF Zone*, ITIT Project Report No: 8513, Geol Survey of Japan, 59-65.
- Erginal, A.E.; Cürebil, İ. (2007) "Soldere Havzasının jeomorfolojik özelliklerine morfometrik yaklaşım: jeomorfik indisler ile bir uygulama", *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17, 203-210.
- Erinç, S. (2000) *Jeomorfoloji I*, DER Yayınevi, İstanbul.
- Ertekin, C. (2007) *Armutlu Yarımadası Kuzey Kesiminin Jeolojisi, Genç Tektoniği ve Bölgenin Jeotermal Kaynakları*, Yayınlanmamış YL Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Çanakkale.
- Fural, Ş. (2016) *Köprü Çayı Havzası'nın (Antalya-Isparta) Jeomorfolojik Özelliklerinin Morfometrik Yöntemleri İle Analizi*, Yayınlanmamış YL Tezi, Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Balıkesir.
- Göncüoğlu, M.C., Erendil, M., Tekeli, O., Ürgün, B., Aksay, A.; Kuşçu, İ. (1987) *Geology of the Armutlu Peninsula*, IGCP Proj. No:5, Guide Book, 12-18, MTA Publication.

- Göncüoğlu, M.C.; Erendil, M. (1990) "Armutlu Yarımadasının geç Kretase öncesi tektonik birimleri", *Türkiye 8.Petrol Kongresi*, 16-20 Nisan 1990, 161-168.
- Hack, J.T. (1973) "Stream-profile analysis and stream-gradient index", *U.S. Geological Survey Journal of Research*. 1, 421-429.
- Harlin, J.M. (1978) "Statistical moments of the hypsometric curve and its density function", *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 10 (1), 59-72.
- Huang, X.J.; Niemann, J.D. (2006) "Modelling the potential impacts of groundwater hydrology on long-term drainage basin evolution", *Earth Surf. Proc. Land*, 31, 1802-1823.
- Karataş, A. (2015) "Akarsu havzalarında asimetric yapı", *IV. Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu*, 15-17 Ekim 2015, 264-273, Samsun.
- Keller, E.A. (1986) "Investigation of active tectonics: use of surficial earth processes", In: Washington, D.C. (Ed.), *Panel on Active Tectonics*. National Academy Press, 136-147.
- Keller, E.A.; Pinter, N. 2002 *Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape*, Second edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Köle, M.M. (2016). "Devrez Çayı vadisinin tektonik özelliklerinin morfolometrik indisler ile araştırılması", *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi*, 33, 21-36.
- Mayer, L. (1990) *Introduction to Quantitative Geomorphology*, Prentice Hall, New Jersey.
- Moglen, G.E.; Brass, R.L. (1995) "The effect of spatial heterogeneities on geomorphic expression in a model of basin evolution", *Water Resour. Res.*, 31, 2613-2623.
- MTA Yerbilimleri Harita Görüntüleyici ve Çizim Editörü, (<http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>, 08.09.2018)
- Özşahin, E. (2010) "Komşu akarsu havzalarının morfolometrik analizi: Sarıköy ve Kocakıran Dereleri üzerine temel bir çalışma (Gönen Havzası, Güney Marmara)", *Fırat Üniv. Sosyal Bilimler Dergisi*, 20 (1), 139-154.
- Özşahin, E. (2015) "Hoşköy Deresi Havzası'nın (Tekirdağ) jeomorfolometrik özellikleri", *The Journal of Academic Social Science Studies*, 33, 99-120.
- Öztürk, B.; Erginal, A.E. (2008) "Bayramdere Havzasında (Biga Yarımadası- Çanakkale) havza gelişiminin morfolometrik analizler ve jeomorfoik indislerle incelenmesi", *Türk Coğrafya Dergisi*, 50, 61-68.
- Pike, R.J.; Wilson, S.E. (1971) "Elevation relief ratio, hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis", *Geol. Soc. Am. Bull.*, 62, 1079-1084.
- Robertson, A.H.F.; Ustaömer, T. (2004) "Tectonic evolution of the Intra-Pontide suture zone in the Armutlu Peninsula, NW Turkey", *Tectonophysics*, 381(1-4), 175-209.
- Strahler, A.N. (1952) "Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography", *Geol. Soc. Am. Bull.*, 63, 1117-1142.
- Simou, E.; Karagkouni, V.; Papantoniou, G.; Nomikou, P. (2013) "Morphotectonic analysis of Kozani Basin (Western Macedonia, Greece)", *Bulletin of the Geological Society of Greece*, XLVII (2), 657-666.
- Tapırdamaz, M.C., Alparslan, E.; Yüce, H. (2006) "CBS ortamında Türkiye paleomanyetizma veri kataloğu", *4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri Bildiriler Kitabı*, 13-16 Eylül 2006, 351-357, İstanbul.
- Topuz, M.; Karabulut, M. (2016) "Limonlu ve Alata Havzalarının (Mersin-Erdemli) jeomorfolometrik analizi", *Turkish Studies*, 11 (2), 1231-1250.
- Troiani, F., Galve, J.P., Piacentini, D.; Della Seta, M. (2014) "Spatial analysis of stream length-gradient (SL) index for detecting hillslope processes: a case of the Gállego River Headwaters (Central Pyrenees, Spain)", *Geomorphology*, 214, 183-197.
- Tunç, B., Çaka, D., Irmak, S., Tunç, S., Woith, H., Barış, Ş., Özer, M.F., Lühr, B., Günther, E., Grosser, H.; Zschau, J. (2011) "Armutlu sismik ağı (Arnet) ve Armutlu-Yalova-Gemlik çevresinin tektonik özellikleri", *1.Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 11-14 Ekim 2011, 1-8, Ankara.
- USDA (1993) *Soil Survey Manual*, Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture Handbook 18, USA.
- Uzun, M. (2014) "Lale Dere (Yalova) Havzası'nın jeomorfolojik özelliklerinin jeomorfolometrik analizlerle incelenmesi", *Route Educational and Social Science Journal*, 1(3), 72-88.
- Weissel, J.K., Pratson, L.F.; Malinverno, A. (1994) "The length-scaling properties of topography", *Journal of Geophysical Research*, 99, 1397-1402.
- Western, A. W., Finlayson, B. L., McMahon, T. and A.; O'Neil, I. C. (1997) "A method for characterizing longitudinal irregularity in river channels", *Geomorphology*, 21, 39- 51.
- Willgoose, G.; Hancock, G. (1998) "Revisiting the hypsometric curve as an indicator of form and process in transport-limited catchment", *Earth Surf. Proc. Land.*, 23, 611-623.
- Yılmaz, Y., Genç, S.C., Yiğitbaş, E., Bozcu, M.; Yılmaz, K. (1995) "Geological evolution of the Late Mesozoic continental margin of Northwestern Anatolia", *Tectonophysics*, 243, 155-171.
- Yiğitbaş E., Yılmaz Y., Bozcu M.; Yılmaz K. (2004) "Morphotectonic evolution of the Armutlu Peninsula and surroundings - NW Anatolia-Turkey, some major characteristics of Eastern Marmara Region", *The GSA Annual Meeting and Exposition*, 7-10 Kasım 2004, 148-148, Denver.
- Yıldırım, A.; Karadoğan, S. (2011) "Raman Dağları güneyinde (Dicle Vadisi) morfolometrik ve morfolotektonik analizler", *Dicle Üniv. Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*, 16, 154-166.

