

Jeomorfik indislerle Varto Havzası'nı (Muş) denetleyen fayların göreceli tektonik aktivitesinin belirlenmesi

Determination of relative tectonic activity of faults controlling Varto Basin (Muş) by geomorphic indices

Vedat AVCİ *¹ , Murat SUNKAR ² 

¹ Bingöl Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 12000, Bingöl

² Fırat Üniversitesi, İnsani ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 23000, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 29.04.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 15.09.2023

Öz

Bu çalışmada Varto Havzası'nı denetleyen fayların göreceli tektonik aktivitesinin jeomorfik indislerle belirlenmesi amaçlanmıştır. Varto Havzası, Karlıova'nın güneydoğusunda Bingöl Dağı ile Şerafettin Dağı arasında yer almaktadır. Havzanın oluşumunda, Karlıova'da, Doğu Anadolu Fayı ile kesişen, Kuzey Anadolu Fayı'nın güneydoğuya doğru devamı niteliğinde olan Varto Fayı etkili olmuştur. Bu konumu nedeniyle havza ve çevresinde tektonik hareketlilik çok yüksektir. Havzanın genç tektonik hareketi jeomorfik indis analizleri yöntemiyle ortaya konulmuştur. Bu analizlerde sayısal yükselti modeli (sym), akarsu, fay ve jeoloji verileri temel veri seti olarak kullanılmıştır. Havza çevresi ve Varto Fay Zonu (VFZ) üzerinde tektonik aktiviteyi yansıtan toplam 43 alt havza belirlenmiştir. Bu amaçla hipsometrik integral (Hi), hipsometrik eğri (He), havza asimetri faktörü (AF), drenaj havzası şekli (Bs), akarsu uzunluk-gradyan indeksi (SL), yatak kıvrımlılığı (S) ve uzama oranı (Re) analizleri yapılmıştır. Havza analizleri ile birlikte aktif tektoniğin belirlenmesinde sık kullanılan dağ önü sinüslülük oranı (Smf) ve vadi tabanı genişliği-vadi yüksekliği oranı (Vf) ölçümleri ile havzadaki akarsuların boyuna profil analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre havzaların tektonik aktivite sınıfları belirlenerek dağılımları gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre havza güneyindeki iki küçük havza ile VFZ'deki bir havza dışındaki diğer havzaların tamamı çok yüksek ve yüksek tektonik aktivite sınıfında yer almaktadır. İndis sonuçları, yaşanan depremler, fay zonu boyunca çıkan sıcak ve soğuk kaynakları, jeomorfolojik şekiller Varto Havzası ve çevresinde aktif tektoniğin güçlü olduğunu kanıtlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Göreceli tektonik aktivite, Jeomorfik indis, Varto Fay Zonu (VFZ), Varto Havzası

Abstract

In this study, it is aimed to determine the relative tectonic activity of faults controlling Varto Basin with geomorphic indices. Varto Basin is located in the southeast of Karlıova, between Bingöl and Serafettin Mounts. Varto Fault, which intersects with the East Anatolian Fault in Karlıova and the continuation the North Anatolian Fault towards southeast, has been effective in the formation of the basin. Being right lateral strike slip, Varto Fault starts in the east of Karlıova Triple Junction and continues towards southeast in the form of a zone. Due to this location, tectonic activity in and around the basin is very high. The young tectonic movement of the basin has been revealed by geomorphic index analysis method. In these analyses, digital elevation model (DEM), stream, fault and geology data were used as the basic data set. A total of 43 sub-basins reflecting tectonic activity have been identified around the basin periphery and on Varto Fault zone (VFZ). For this purpose, hypsometric integral (Hi), hypsometric curve (Hc), basin asymmetry factor (AF), drainage basin shape (Bs), stream length-gradient index (SL), channel sinuosity (S) and elongation ratio (Re) analyses were performed. Along with the basin analyses, the measurements of mountain front sinuosity ratio (Smf) and valley floor width-to-valley height ratio (Vf), which are frequently used in the determination of active tectonics, and streams longitudinal profile analyses were done in the basin. According to the results of the analyses, tectonic activity classes of the basins were determined and their distributions were shown. According to these results, except for the two basins in the south of the Varto basin and one located in the VFZ, all others fall into very high and high tectonic activity classes. Index results, earthquakes, hot and cold sources along the fault zone and geomorphological figures prove that active tectonics are intense in and around Varto Basin.

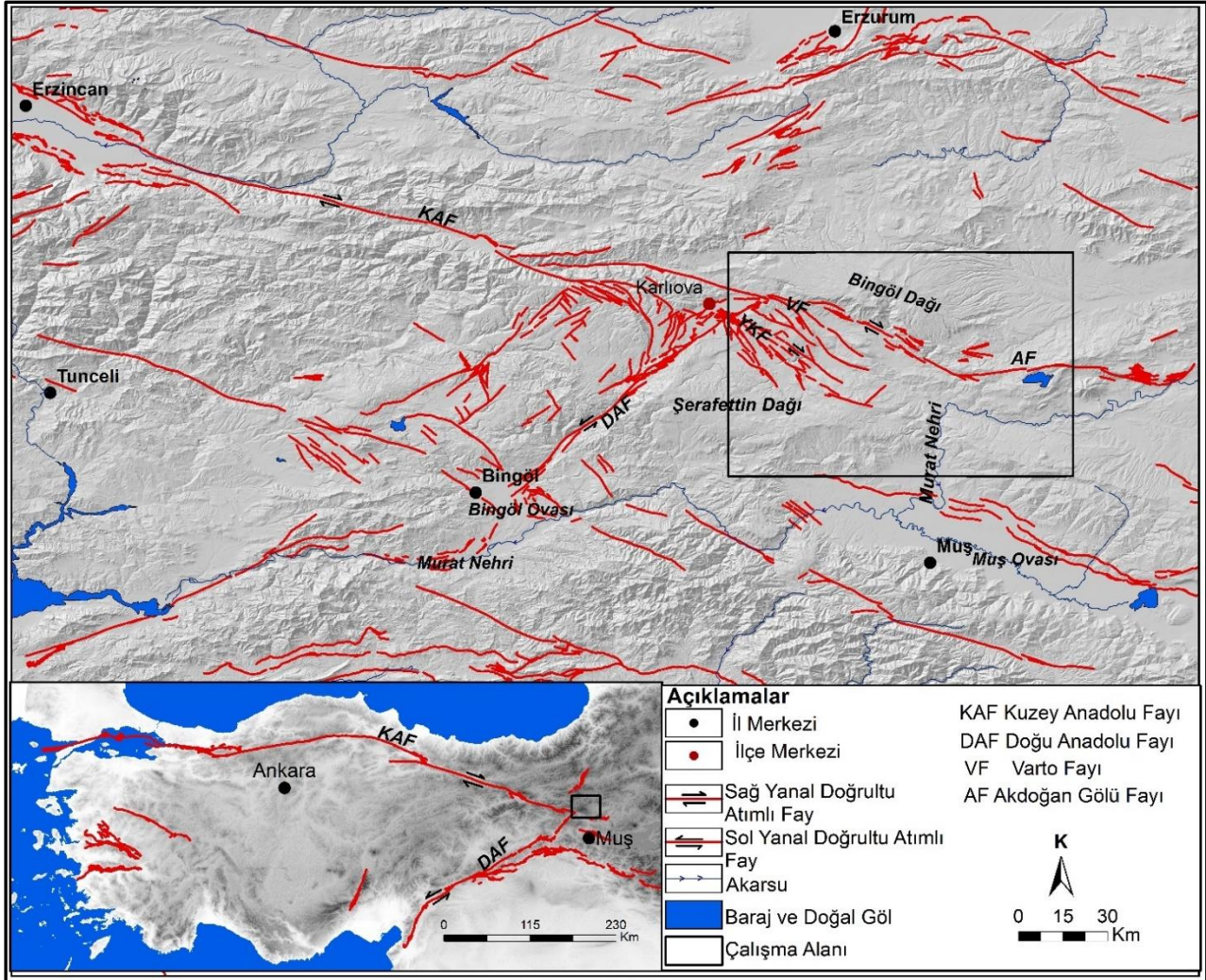
Keywords: Relative tectonic activity, Geomorphic indices, Varto Fault Zone (VFZ), Varto Basin

* Vedat AVCİ; vavci@bingol.edu.tr

1. Giriş

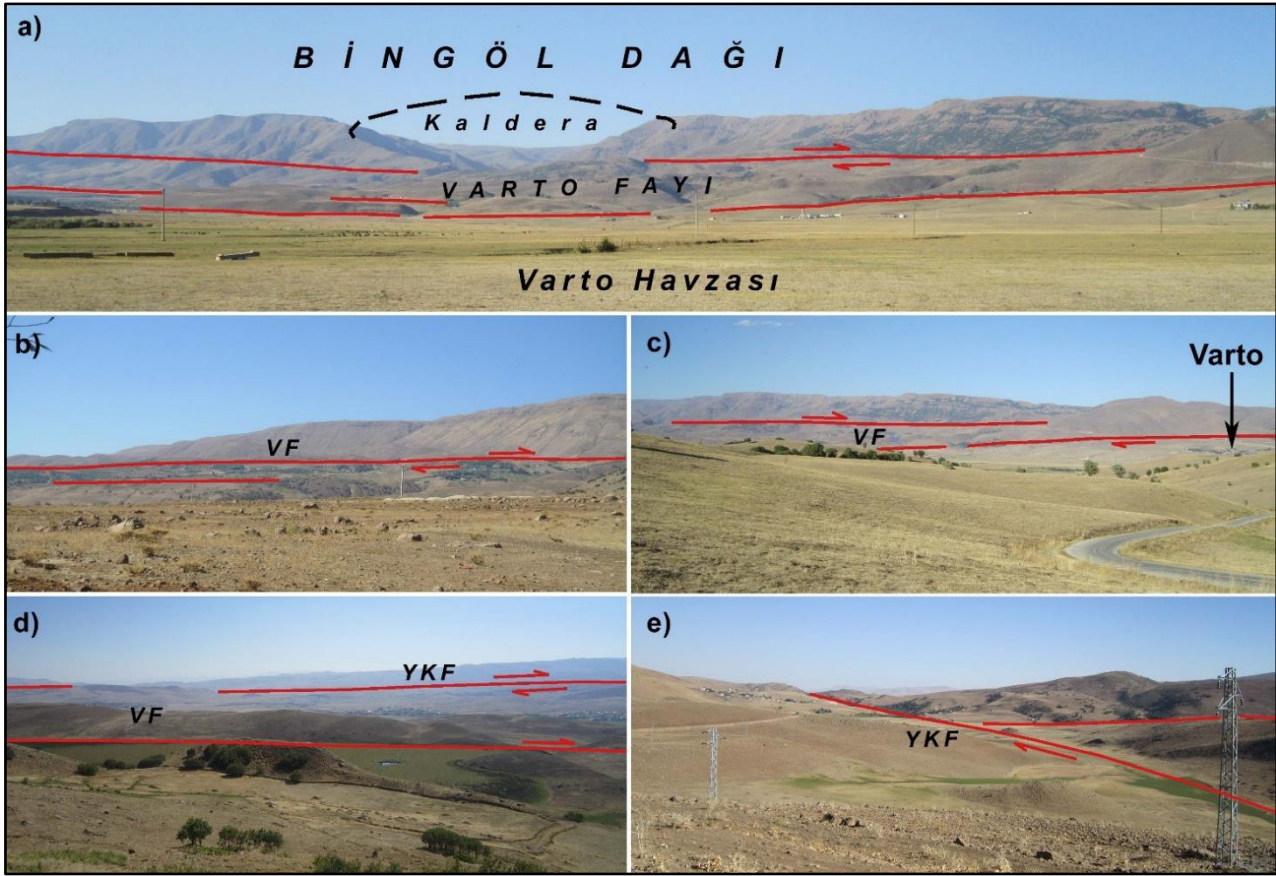
1. Introduction

Varto Havzası, Muş Ovası'nın kuzeyinde kalkan şekilli Bingöl Dağı ile plato görünümlü Şerafettin Dağı arasında yer almaktadır. Karlıova doğusunda, KB-GD doğrultusunda uzanan Varto Havzası, Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) güneydoğuya doğru devamını oluşturan Varto Fayı Zonu (VFZ) üzerinde yer almaktadır (Şekil 1, 2). Varto Fay Zonu içerisinde yer alan Varto Havzası, KB-GD doğrultusunda 12 km genişliğinde 40 km uzunluğunda, 1450-1550 m yükseltileri arasında yer almaktadır (Mirze, 2013; Avcı & Sunkar 2017).



Şekil 1. Varto Havzası'nın lokasyon haritası. Faylar, Emre vd. (2013)'den alınmıştır
Figure 1. Location map of Varto Basin. Faults, were taken from Emre et al. 2013

Varto Havzası'nın, KAF ve Doğu Anadolu Fayı'nın (DAF) kesiştiği Karlıova Üçlü Ekleminin doğusunda yer alması, KAF'ın güneydoğuya doğru devamı niteliğinde VFZ'nin varlığı ve geçmişte yaşanan büyük depremler tektoniğin çok aktif olduğunu göstermektedir. VFZ ve güneyinde bu zona paralel uzanan Yorgançayır-Kaynarca Fay Zonu (YKFZ), Karlıova Üçlü Ekleminin güneydoğusunda ciddi deformasyonlara neden olarak topografyaya yansımıştır. İki fay zonu boyunca tektoniğin jeomorfolojiye yansımaları ve göreceli tektonik aktivitenin belirlenmesi amacıyla toplam 43 akarsu havzasında jeomorfik indis analizleri uygulanmıştır. VFZ ile YKFZ arasında belirgin bir sınır olmadığından iki zon adeta birbirine girmiş durumdadır. Bu nedenle güneydeki 13 havzanın YKFZ üzerinde kaldığı izlenimi oluşsa da seçili havzaların hepsi VFZ üzerinde kalmaktadır.



Şekil 2. Bingöl Dağı güney yamaçlarını kesen ve KAF'ın doğuya devamını oluşturan Varto Fayı (VF) (a). Fayın Bingöl Dağı batısında kalan bölümü (b) ve doğusunda kalan bölümleri (c). Varto Havzası kuzeyinde VF ve güneyindeki YKF (d. e)

Figure 2. Varto Fault (VF) (a), which cuts the southern slopes of Mount Bingöl and forms the eastern continuation of the NAF(a). The part of the fault to the west of Bingöl Mountain (b) and the parts to the east (c). VF in the north of Varto Basin and YKF in the south (d. e)

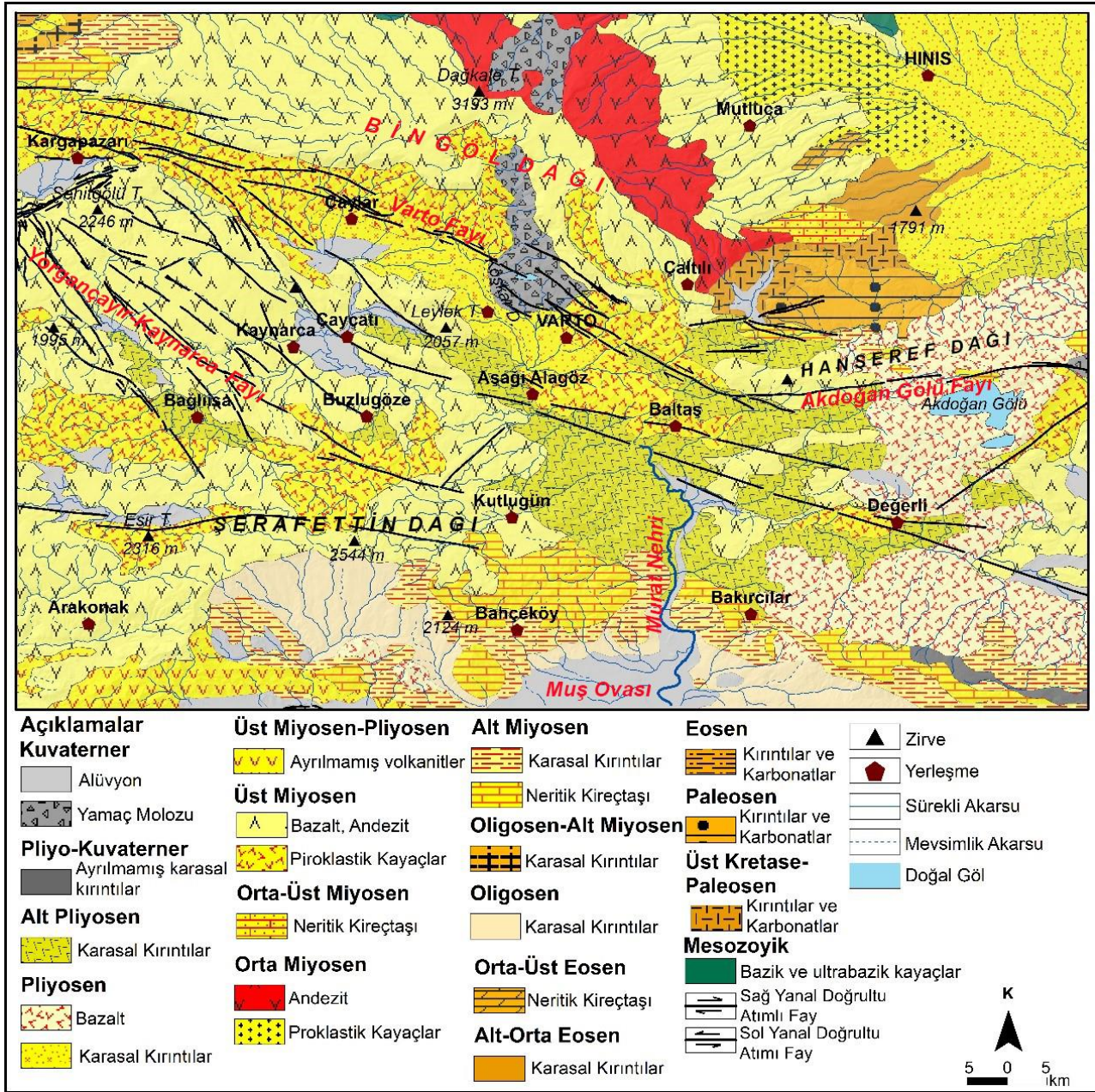
Arazi çalışmaları ile fayların aktiflik derecesi belirlendiği gibi farklı indis analizleriyle de bu özellikler belirlenebilmektedir. Varto Havzası'nın tektonik aktivitesini belirlemeye yönelik olarak yapılan ilk analiz sonuçları 2017 yılında Türk Coğrafya Kurumu tarafından düzenlenen sempozyumda sözlü bildiri olarak sunulmuş ve tam metin olarak basılmıştır (Avci & Sunkar 2017). Ancak daha sonra yapılan detaylı analizlerde tektonikten etkilenen havzaların daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durum dikkate alınarak akarsu havza sınırları yeniden çizilmiş, analizlere daha fazla havza dahil edilerek bulguları bu makalede sunulmuştur.

1.1. Varto Havzası ve çevresinin jeolojik özellikleri

1.1. Geological characteristics of Varto Basin and its surroundings

Varto Havzası ve çevresinin en önemli jeolojik özelliği yaşlı litolojilerin genç birimler tarafından örtülü olması ve kırıklı yapıların yaygın olmasıdır. Bu genel durum dışında genç volkanik birimlerin geniş alan kaplaması dikkat çekmektedir (Şekil 3). Varto-Hınıs arasında sınırlı alanlarda yüzeyleyen Mesozoyik ve Paleojen dönemine ait temel kayalar dışında kalan alanların büyük bölümü Miyosen-Pliyosen dönemi volkanitlerinden oluşmaktadır. Hınıs kuzeyinde sınırlı bir alanda yüzeyleyen Mesozoyik bazik ve ultra bazik kayalar ile Varto doğusunda Üst Paleosen-Kretase ile Eosen kırıntılı ve karbonatlar temel kayalarıdır. Varto Havzası güneyinde, Muş Havzası kuzeyinde ise Eosen-Oligosen neritik kireçtaşları ile karasal kırıntılar yüzeylemektedir. Varto Havza tabanı ile Varto güneyinde Pliyosen karasal kırıntıları dışındaki diğer alanlarda Miyosen-Pliyosen bazalt, andezit ve piroklastik kayalardan oluşan birimler yüzeylemektedir (Tarhan, 2002). Bingöl Dağı ile Muş Ovası arasında Miyosen-Pliyosen dönemini temsil eden genç volkanik birimlerin geniş alan kaplaması bu dönemde volkanik faaliyetin yaygınlığını göstermektedir.

Ova ve havza tabanlarında sınırlı alanlarda görülen Kuvaterner birimleri, ova tabanlarında alüvyonlardan, havza ve vadilerde ise genç alüvyon ve yelpaze dolgularından oluşmaktadır. Bingöl Dağı güneyindeki yamaç molozları heyelan enkazından, kuzeyindekileri ise [Tonbul \(1997\)](#)'a göre morenlerden oluşmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Varto Havzası ve çevresinin jeoloji haritası. Litolojik birimler [Tarhan \(2002\)](#)'den, faylar ise [Emre vd. \(2012\)](#)'den alınmıştır

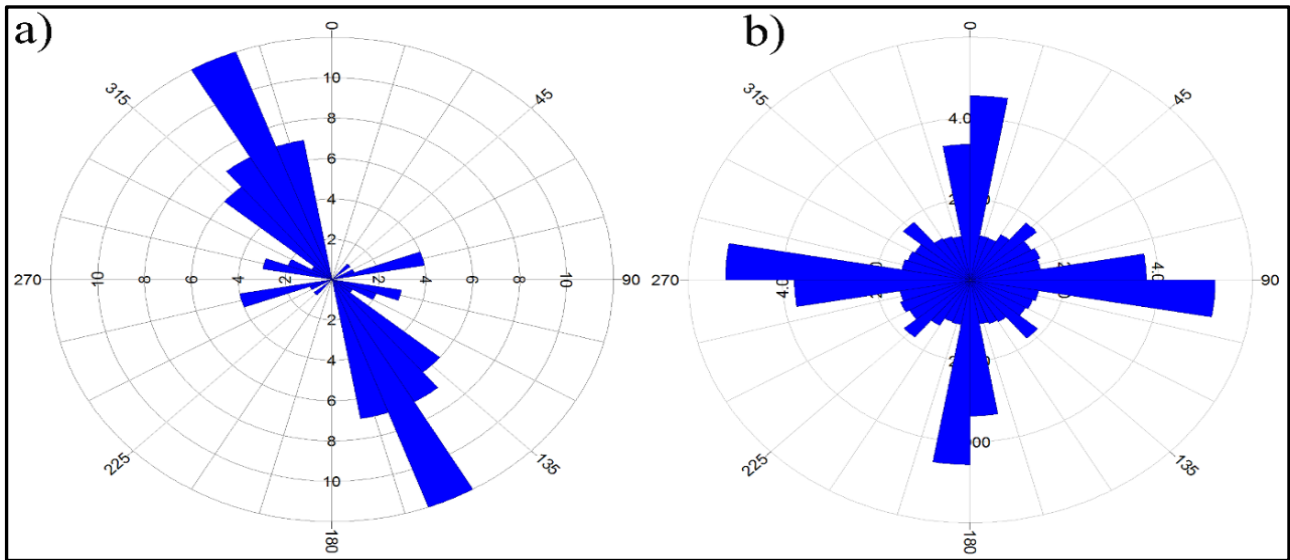
Figure 3. Geological map of Varto Basin and its environment. Lithological units are from [Tarhan \(2002\)](#), faults are from [Emre et al. \(2012\)](#)

Bingöl Dağı ile Muş Ovası arasında en önemli yapısal unsuru VFZ ile YKFZ oluşturmaktadır. [Herece \(2008\)](#)'e göre DAF, Kargapazarı doğusunda Bahri Gölü'nün kuzeyinde doğuya doğru bir büküm yaparak sönmelenirken, KAF güneydoğu yönünde belirsizleşerek Köprücük köyüne doğru uzanmaktadır. Bahri Gölü'nün kuzeyinden doğuya doğru belirgin, sağ yanal doğrultu atımlı olan ve birbirine paralel uzanan fayların bulunduğu alan VFZ'yi oluşturmaktadır. VFZ, Kargapazarı doğusundan başlayıp Baltaş doğusunda kadar devam eden 2-13 km genişliğinde bir zon halinde görülmektedir. En kuzeyde yer alan Varto Segmenti, KB-GD doğrultusunda sağyanal doğrultu atımlı iken Leylekdağ Segmenti ve Çaycağı Segmenti ise bindirme bileşenli doğrultu atımlı sağ yönlü fay karakteri göstermektedir ([Akyüz vd., 2010](#)). VFZ'nin segmentleri inceleme alanında ötelenmiş vadi, kapatıcı sırt, basınç sırtı, çizgisel vadi, çizgisel çöküntü alanları ve

heyelanlarla morfolojiye yansımıştır. Bingöl Dağı yamaçlarından kaynağını alan Köşkar Deresi'nde ötelenme miktarı yaklaşık 2.5 km'dir. Çaylar kasabasının doğusundaki dereler ile Kaynarca Deresi vadisinde 1 km'yi aşan ötelenmeler görülmektedir (Mirze, 2013).

Varto Havzası güneyinde sağ yanal doğrultu atımlı faylardan oluşan alan ise YKFZ olarak tanımlanmıştır. Varto Havzası çevresinde bu ana zonların dışında, üzerlerinde oldukça fazla genişlemeli yapıların (belverme gölcüğü gibi) olduğu KB-GD doğrultulu sağ yanal atımlı başka faylar da bulunmaktadır (Akyüz vd., 2010). YKFZ, Şehitgölü Tepe güneyinden başlayıp, Şerafettin Dağı kuzeyine kadar KB-GD doğrultusunda genişliği 1-10 km arasında değişen bir zon boyunca görülmektedir. Bu zonda yer alan fayların genç bazaltları kesmesine bağlı olarak belirgin çizgisel vadiler ve çizgisel çöküntü alanları gözlenmektedir.

Varto doğusunda Hanşeref Dağı güneyi ile Akdoğan Gölü arasında görülen fayların bulunduğu alan, "Akdoğan Gölü Fay Zonu" olarak adlandırılmıştır (Emre vd., 2012). Bu tektonik değerlendirmeler dışında inceleme alanında kırık sistemlerini oluşturan fayların doğrultusunu gösteren gül diyagramı ile akarsuların akış doğrultularını gösteren gül diyagramının karşılaştırılması sonucunda aktif fayların KB-GD ve KD-GB doğrultusunda yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 4). Akarsuların akış doğrultusu ile diri fayların doğrultusunun farklılık göstermesi havzanın ana jeomorfolojik yapısı ile ilgilidir.



Şekil 4. Varto Havzası ve çevresindeki diri faylara (a) ve akarsuların akış doğrultusuna göre (b) oluşturulan gül diyagramları

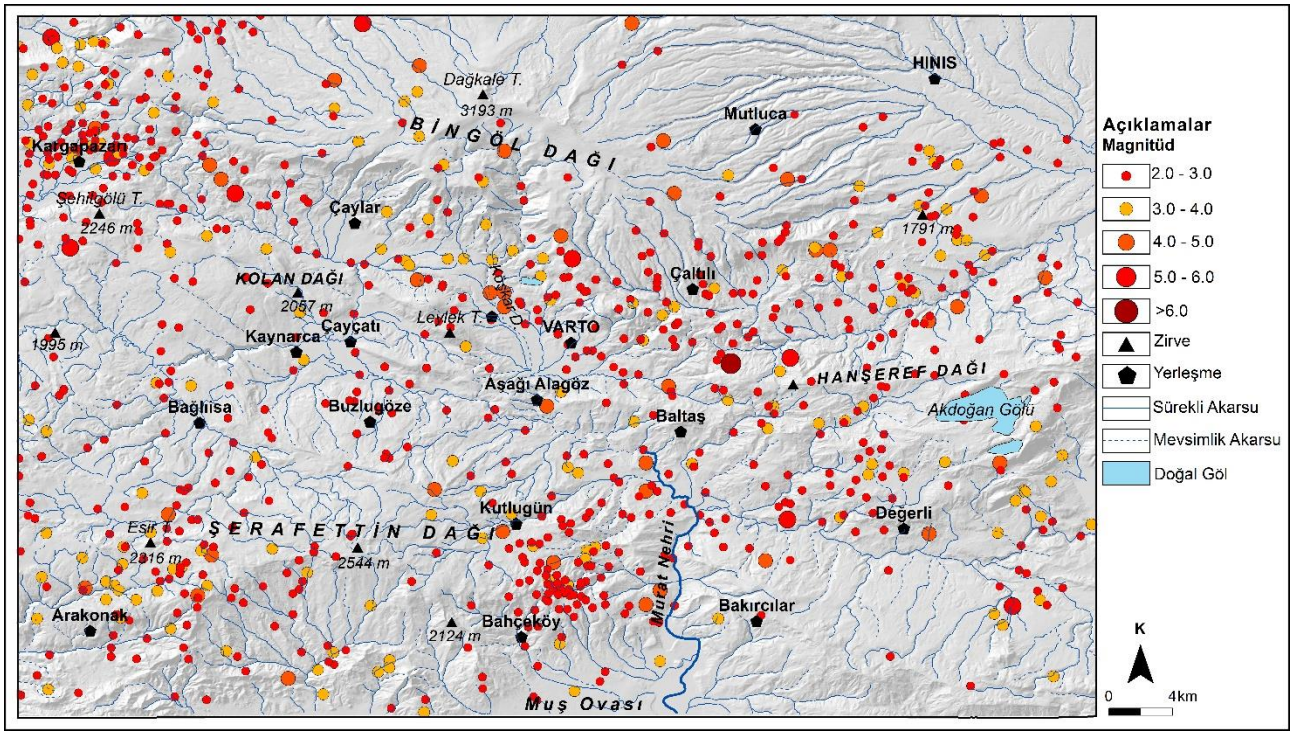
Figure 4. Rose diagrams created according to the active faults (a) and streams flow direction (b) in and around the Varto Basin

1.2. Varto Havzası ve çevresinin depremselliği

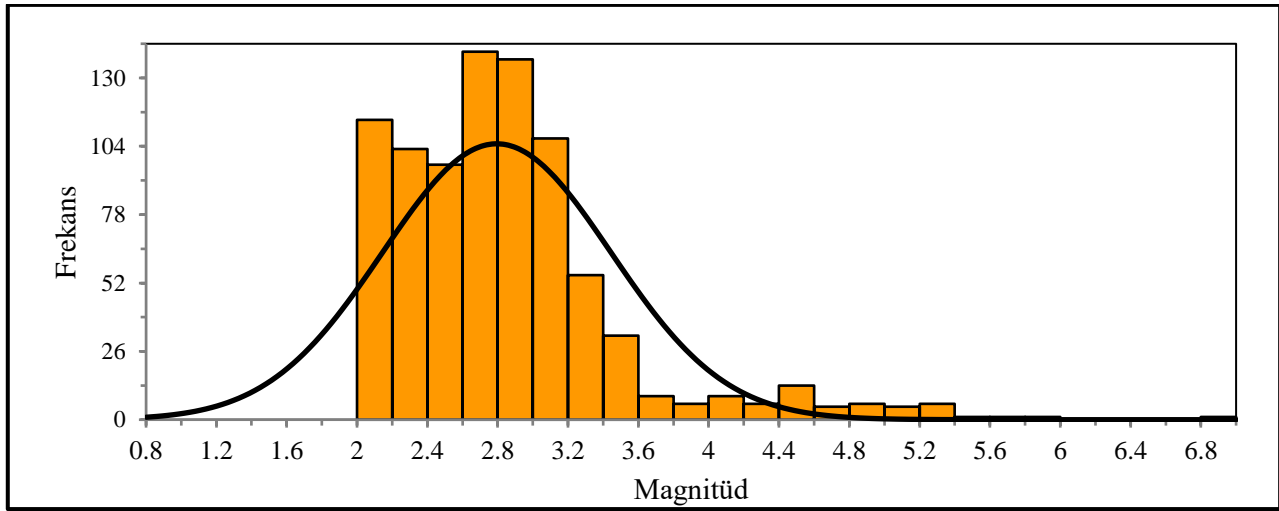
1.2. Seismicity of Varto Basin and its surroundings

Varto ve çevresini etkileyen tarihi ve aletsel dönem depremleri Varto Fay Zonu'nda meydana gelmiştir. Varto ve çevresinde tarihi dönemdeki en önemli depremler 1647 ve 1881 yıllarında meydana Van, Muş ve Bitlis'i etkileyen 9 şiddetindeki depremlerdir (B.Ü. KRDAE, 2022a). Aletsel dönem deprem verilerine göre de Varto Fayı üzerinde önemli depremlerin yaşandığı görülmektedir. Bu depremlerin en önemlileri 1946 Varto-Hınıs Depremi ve 19 Ağustos 1966 tarihinde yaşanan 6.9 büyüklüğündeki Varto depremleridir (B.Ü. KRDAE, 2022b).

AFAD verilerine göre çalışma alanında 1900-2022 yılları arasında 2'den büyük olan 854 deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin 54'ünün magnitüdü 4 ve üzerinde olup (AFAD, 2022) VFZ üzerinde yoğunlaştıkları görülmektedir. Depremlerin frekans dağılımı incelendiğinde deprem büyüklüğü 2.6-3.2 arasında yoğunlaşmaktadır (Şekil 5, 6). Ayrıca havza güneyinde YKFZ ve güneydoğuda AFZ üzerinde de depremler yaşanmıştır. Doğrudan Varto Havzası'nı ilgilendiren bu fay zonları dışında, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) üzerinde meydana gelen depremler de Varto ve çevresini etkilemektedir.



Şekil 5. Varto Havzası ve çevresinde aletsel dönem depremlerin dağılışı haritası (1900-2022) (AFAD, 2022)
 Figure 5. Distribution map of instrumental earthquakes in and around Varto Basin (1900-2022) (AFAD, 2022)



Şekil 6. Varto ve çevresinde görülen ($M_g > 2$) depremlerin frekans dağılımı diyagramı (1900-2022), (AFAD, 2022)
 Figure 6. Frequency distribution diagramme of ($M_g > 2$) earthquakes in and around Varto (1900-2022), (AFAD, 2022)

Varto Havzası ve çevresinde yaşanan en büyük deprem 19.08.1966 tarihinde meydana gelen 6.9 büyüklüğündeki Varto depremidir. Bu deprem 2529 kişinin ölümüne, 1500 kişinin yaralanmasına neden olmuş ve 19013 yapı yıkılmıştır (Ambraseys & Zátópek, 1968; Wallace, 1968; Herece, 2008). Bu depremde Varto-Üstükran arasında şoförün kontrolünü kaybettiği yüklü bir kamyon ters dönmüş, Varto'da çok sayıda park etmiş aracın hareket ettiği bildirilmiştir (Herece, 2008). Varto depremi uzun süre hafızalardan silinmemiş olup izleri günümüze kadar gelmiştir. Bu depremde sonra kırsalda depreme karşı dayanıklı olan ahşap iskeletli çamur dolgulular artış göstermiştir. Maalesef bu deprem sonrasında yapıyı planlanan deprem konutları ise bu depremde 36 yıl sonra ancak tamamlanabilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. 1966 Varto depreminden sonra ahşap iskelet ve çamur dolgu kullanılarak yapılan evler (a. b). Bu depremden 36 yıl sonra 2002 yılında tamamlanan afet evleri (c. d). Kırsaldan yaşanan göç nedeniyle bu evlerin bir bölümü kullanılmamaktadır

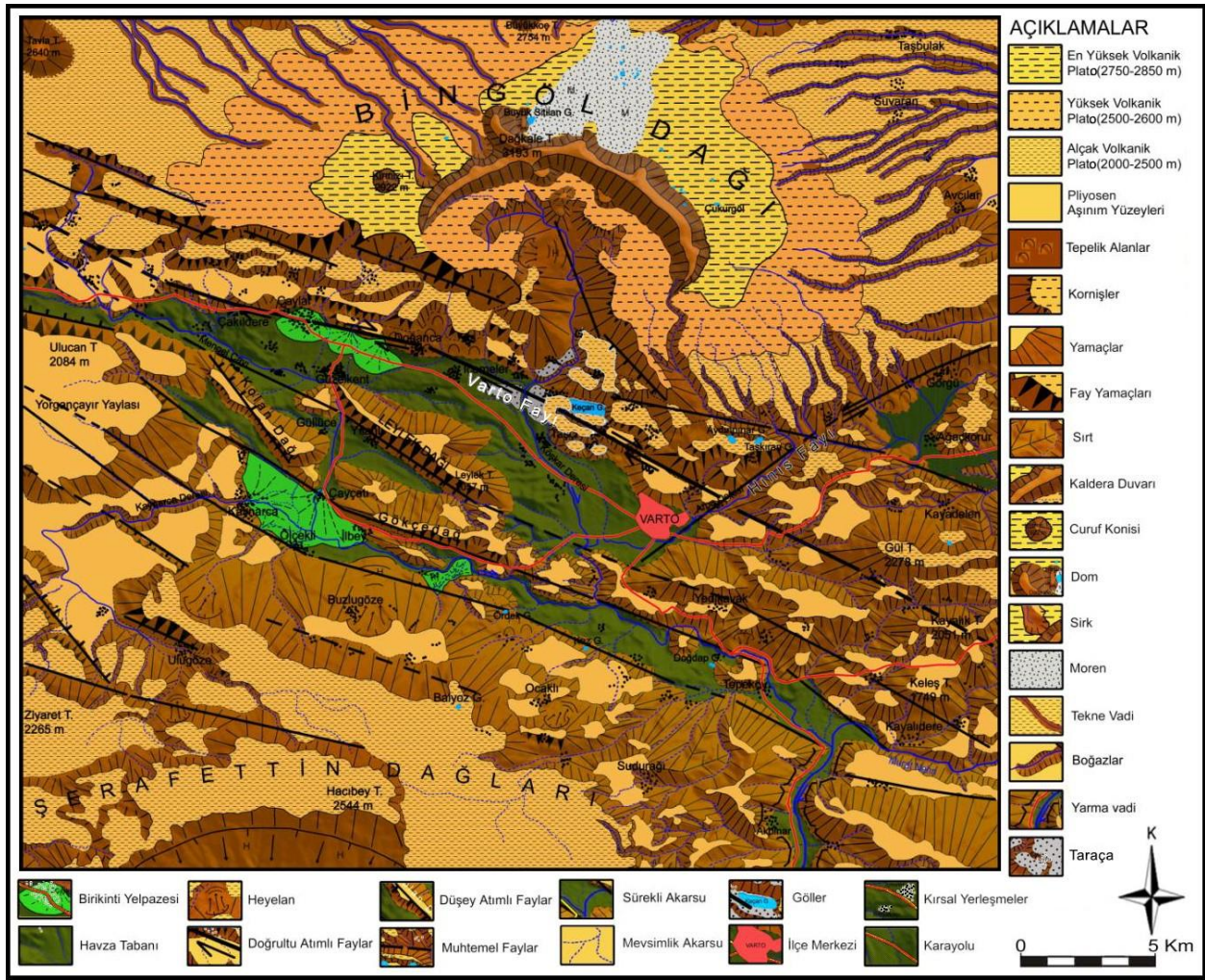
Figure 7. Houses built using wooden skeletons and mud fill after the 1966 Varto earthquake (a. b). Disaster houses completed in 2002, 36 years after this earthquake (c. d). Some of these houses are not used due to the migration

1.3. Varto Havzası ve çevresinin jeomorfolojik özellikleri

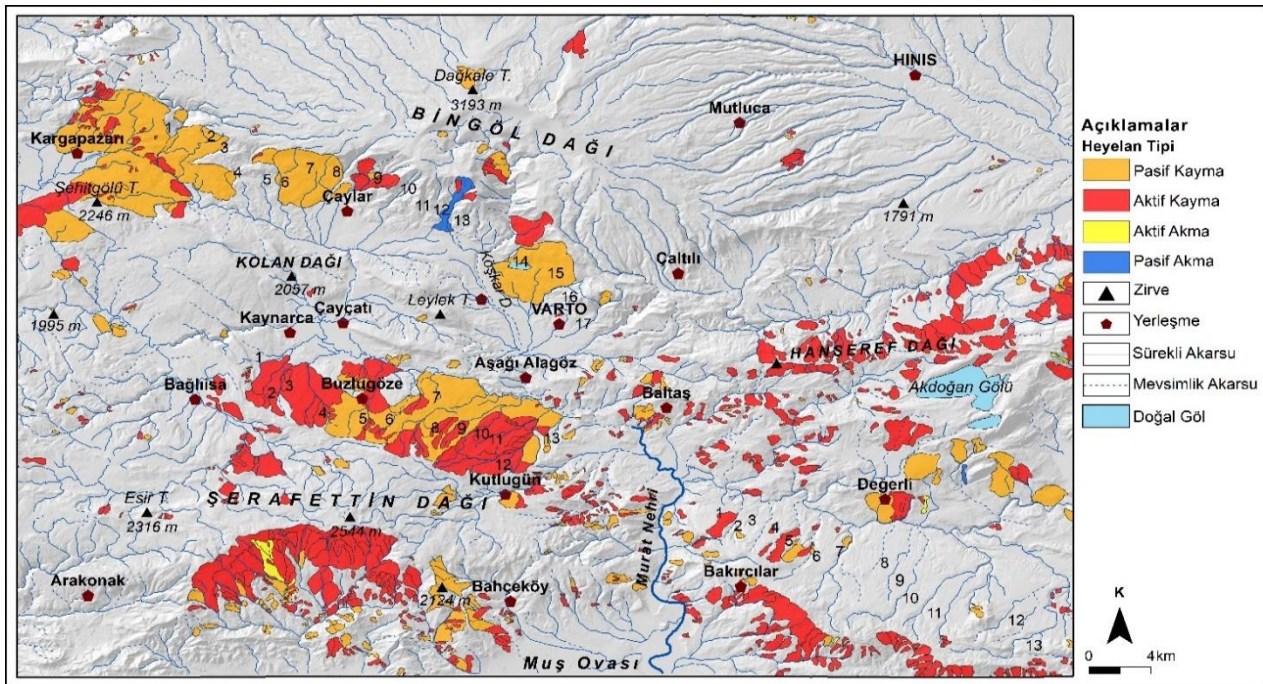
1.3. Geomorphological characteristics of Varto Basin and its surroundings

Varto Havzası ile ilgili jeomorfoloji çalışmalarına göre havza ve çevresinde dağlar, platolar, vadi ve havzalar ana jeomorfolojik birimleri oluşturmaktadır (Tonbul, 1996; Mirze, 2013). Havzayı kuzeyden sınırlandıran Bingöl Dağı tabla-kalkan şeklinde bir volkan konisi olup Pleyistosen’de plato buzullaşması etkisinde şekillenerek üzerinde çok sayıda göl oluşmuştur (Tonbul, 1996; 1997). Havza güneyinde yer alan Leylek Dağı ve Kolan Dağı, VFZ’ye bağlı olarak şekillenmiş, dağlık kütleler fay diklikleri ile çevrelenmiştir. Doğuda yer alan Hanşeref Dağı, Akdoğan Gölü Fayı tarafından kesilmiştir. Güneyde yer alan Şerafettin Dağı ise plato görünümlü bir volkanik dağdır (Tonbul, 1990). Havza ve çevresinde volkanizmaya bağlı olarak farklı yükseltilerde volkanik platolar oluşmuştur. Varto Havzası, Murat Nehri’nin oluşturduğu boğaz vadi ile Muş Ovası’na bağlanmaktadır (Şekil 8).

Varto Havzası ve çevresinde VFZ ve YKFZ boyunca heyelanlar yaygın olarak görülmektedir (Şekil 9). Bu heyelanlar; depremler, yüksek eğim ve piroklastiklere bağlı olarak meydana gelmiştir (Herece, 2008). Heyelanların yanıl atımlı fayların uzanışına bağlı bir dağılım göstermesi de tektonik aktiviteyi göstermektedir.



Şekil 8. Varto Havzası ve çevresinin jeomorfoloji haritası (Mirze, 2013)'den alınmıştır
 Figure 8. Geomorphology map of Varto Basin and its environment. taken from (Mirze, 2013)



Şekil 9. Varto Havzası ve çevresinde görülen heyelanların dağılışı haritası (Duman vd., 2009).
 Figure 9. Distribution map of landslides in and around Varto Basin (Duman et al., 2009).

2. Materyal ve metot

2. Material and method

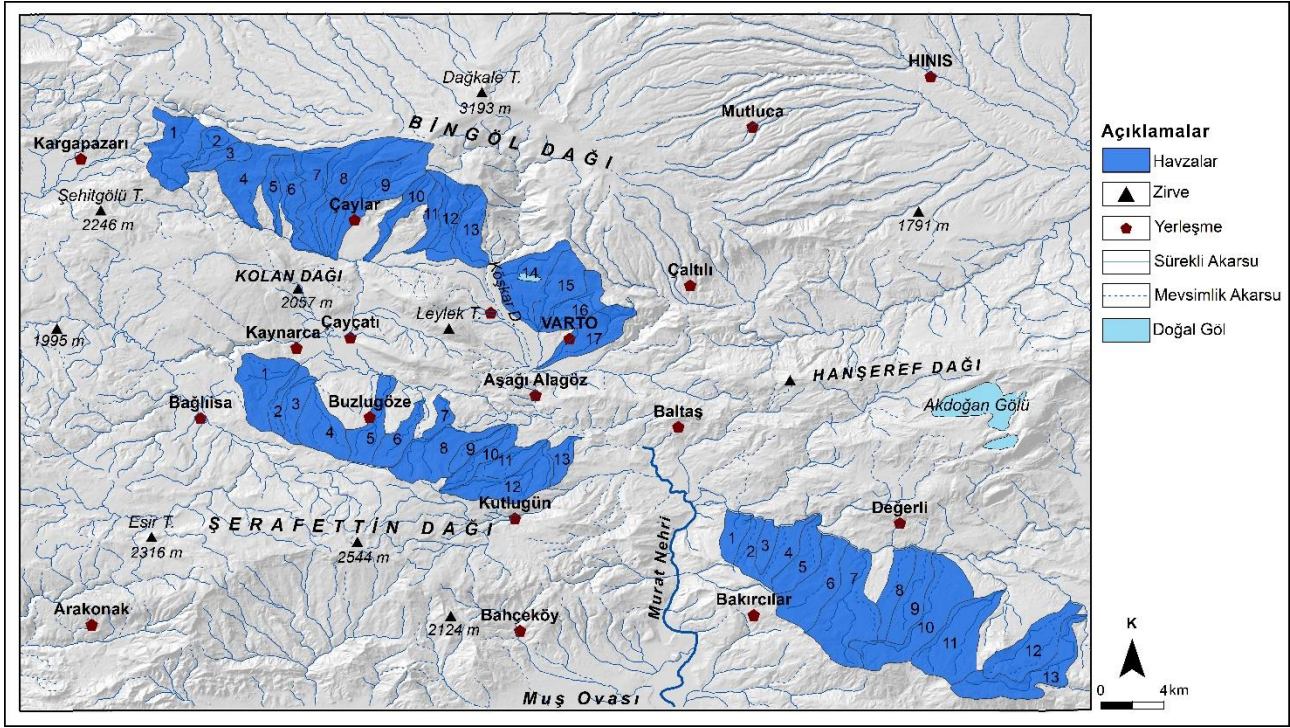
Jeomorfolojik parametrelerin analizi binlerce hatta milyonlarca yıllık bir zaman diliminde arazi yapısındaki değişiklikleri tanımlamak ve değerlendirmek için geçerli bir yaklaşım olarak kullanılmaktadır (Keller & Rockwell, 1984; Keller & Pinter, 2002; Bull, 2008; 2011). Yer şekilleri, iklim, topografya, litoloji ve tektonik gibi ana faktörler tarafından kontrol edilen jeomorfolojik süreçlerin sonucu olarak oluşmaktadır. Bu süreçte özellikle tektonik aktivite doğrudan (aktif faylanma, tiltlenme ve kıvrılma ile) veya dolaylı (levha hareketleri nedeniyle topografya ve litolojide meydana getirdiği değişiklikler yoluyla) olarak etkili olmaktadır (Bull, 2008; 2011).

Aktif tektonik alanlarda tektonik aktivitenin yoğunluğunu belirlemek için morfotektonik bir araç olarak kullanılmaktadır (Wells vd., 1988; Merritts & Vincent, 1989; Sharma, 2020). Bu kapsamda tektonizmanın morfoloji üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla jeomorfik indisler tercih edilmektedir. Morfometrik analizler kapsamında jeomorfik indisler deformasyon süreçlerine karşı topografik tepkileri iyi tespit edebildiklerinden, aktif tektonizma araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Topal, 2019).

Morfometrik analizlerin sonucunda elde edilen verilere göre bir fay zonunda hangi segmentin aktif olduğu ve yükselme hızı belirlenebilmektedir (Bull & McFadden, 1977; Azor vd., 2002; Keller & Pinter, 2002; Sağlam Selçuk & Düzgün, 2017; Sol, 2017; Arıkan vd., 2023). Bu özelliği nedeniyle bu indisler hem aktif tektonik alanlara hem de tektonikçe nispeten daha az aktif alanlara uygulanabilmektedir (Bull, 1977; Bull & McFadden, 1977; Hare & Gardner, 1985; Rockwell vd., 1985; Ramírez-Herrera, 1998; Chen vd., 2003; Silva vd., 2003; Bull, 2008; El Hamdouni vd., 2008; Pérez-Peña vd., 2010; Bull, 2011; Giaconia vd., 2012; Ntokos vd., 2016; Sol, 2017; Arıkan vd., 2023).

Aktif tektoniğin belirlenmesi ile ilgili çalışmalarda doğru sonuçlar veren bazı jeomorfik indisler sıklıkla kullanılmaktadır. Bunlar hipsometrik integral (Strahler, 1952), drenaj havzası asimetrisi (Hare & Gardner, 1985; Cox, 1994), akarsu uzunluk-gradyan indeksi (Hack, 1973), dağ önü sinüslülüğü, vadi tabanı genişliğinin-vadi yüksekliğine oranı (V_f) gibi indislerdir (Bull, 1977; 1978). Bazı jeomorfik indis analiz sonuçları diğer verilerle birlikte kullanılarak, farklı tektonik aktivite sınıfları üretilip (Bull, 1978), göreceli tektonik aktivitenin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Keller & Pinter, 2002).

Akyüz vd. (2010) tarafından Varto Segmenti üzerinde yer alan 6 drenaj alanına hipsometrik eğri ve integral indisleri uygulanmış ve havzaları drene eden akarsuların boyuna profilleri çıkarılmıştır. Bu çalışmada Varto segmentinde gelişen drenaj sistemi üzerinde VF'nin aktivitesinin KAF'a göre daha az olduğu ileri sürülmüştür. Daha sonra Avcı ve Sunkar (2017) tarafından Varto Havzası'nda 28 alt havzaya morfometrik indisler uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar dikkate alınarak daha hassas ve havza sayısı artırılarak, aktif tektonik çalışmalarında yaygın olarak kullanılan indislerle göreceli tektonik aktivite belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak morfometrik analizler yapılmıştır. Oluşturulan SYM'den ArcHydro Modülü kullanılarak alt havzalar çıkarılmış ve VFZ üzerinde 17, YKFZ üzerinde 13 ve güneydoğuda 13 olmak üzere toplam 43 havza belirlenmiştir. Havzaların özellikleri dikkate alınarak tektonik aktivitenin yüksek olması muhtemel 43 havzanın morfometrik analizi yapılarak karşılaştırılmıştır (Şekil 10). Varto Havzası ve çevresindeki alt akarsu havzalarına uygulanan indisler Tablo 1'de gösterilmiştir. Analizlerde kullanılan indis sonuçları göreceli tektonik aktivite indisi olarak değerlendirilmiş ve sonuçta fay zonları üzerinde yer alan havzalarda tektonik aktivitenin derecesi belirlenmiştir.



Şekil 10. Varto Havzası ve çevresinde jeomorfik indislerin uygulandığı alt havzalar haritası
Figure 10. Sub-basins map where morphometric analyzes are applied in and around the Varto Basin

Tablo 1. Varto Havzası ve çevresinde seçilen drenaj havzalarına uygulanan indisler tablosu
Table 1. Table of the indices applied to selected drainage basins in and around Varto Basin

İndis	Formül	Açıklama	Kaynak
Hipsometrik integral (Hi)	$HI = \frac{H_{ort} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}}$	Formülde Hort. ortalama yükseltiye, Hmin. minimum yükseltiye, Hmax. maksimum yükseltiye karşılık gelir	Strahler (1952)
Hipsometrik eğri (He)	$y = \frac{h}{H} \quad x = \frac{a}{A}$	h : Değerlendirilen yükseklik (m). H : Havzanın en yüksek noktası (m). a : Alınan yükseklik üzerindeki gerçek alan (m ²). A : Havzanın toplam gerçek alanı (m ²).	Strahler (1952)
Havza asimetrisi (AF)	$AF = 100 \times \frac{Ar}{At}$	Formülde Ar, ana akarsuyun akış doğrultusuna göre sağındaki alanı, At ise toplam alanı ifade eder.	Hare ve Gardner (1985)
Drenaj havzası şekli (Bs)	$B_s = \frac{B_l}{B_w}$	Eşitlikte B_l maksimum havza uzunluğunu, B_w maksimum havza genişliğini karşılar.	Cannon (1976); Ramirez-Herrera (1998)
Dağ önu sinüslülük oranı (Smf)	$S_{mf} = \frac{L_{mf}}{L_s}$	Eşitlikte L_{mf} ; belirgin eğim kırığı boyunca dağ cephesi boyu iken, L_s , Dağ önu düz çizgi uzunluğunu göstermektedir.	Bull (1977); Bull & McFadden (1977)
Vadi tabanı genişliği-vadi yüksekliği oranı (Vf)	$V_f = \frac{2V_{fw}}{(E_{ld} - E_{sc}) - (E_{rd} - E_{sc})}$	Formülde V_{fw} ; vadi tabanı genişliği iken, E_{ld} ; sol vadi kesimi yüksekliği, E_{rd} ; sağ vadi kesimi yüksekliği, E_{sc} vadi tabanı yüksekliğidir.	Bull & McFadden (1977); Keller & Pinter (2002)
Akarsu uzunluk-gradyan indisi (SL)	$SL = \frac{\Delta H}{\Delta L} \times L$	Formülde SL: Akarsu Uzunluk-Grandyan İndeksidir. ΔH hesaplama yapılan koldaki yükseklik değişimi, ΔL kolun uzunluğu, L ise hesaplama yapılan kolun orta noktasından vadinin en yüksek noktasına kadar olan mesafedir.	Hack (1973)
Kıvrımlılık oranı (S)	$C_s = \frac{S_l}{V_l}$	Formülde, C_s yatak kıvrımlılığı iken, S_l akarsu uzunluğunu ve V_l ise vadi uzunluğunu gösterir.	Mueller (1968)
Uzama oranı (Re)	$R_e = \frac{2(\sqrt{A}/\sqrt{\pi})}{L}$	Formülde havza alanı A, maksimum havza uzunluğu L'dir.	Bull & McFadden (1977)

3. Bulgular

3. Results

Varto Havzası, konumu nedeniyle tektonik açıdan fazla incelenmiş ve bu alanda fazla yayın üretilmiştir (Sançar vd., 2011; Gürboğa, 2015; Sançar vd., 2015). Klasik yöntemlerden farklı olarak Varto Havzası ve çevresi için uygulanan birçok jeomorfik indis ve sonuçları farklı başlıklar altında aşağıda değerlendirilmiştir. Bu analiz sonuçları havzanın jeomorfolojik gelişimi ve tektonik aktivite hakkında önemli veriler sunmaktadır:

3.1. Hipsometrik integral (Hi) ve hipsometrik eğri (He)

3.1 Hipsometric integral (Hi) and hypsometric curve (He)

Hi, havza geometrisi, rölyef ve drenaj havzası alanına bağlı olup (Topal, 2019) genelde doğal yüzeylerde Hi değeri nadiren 0.2'nin altında veya 0.8'in üzerinde olabilmektedir (Pérez-Peña vd., 2009a). Önemli ölçüde aşınmış alanlarda Hi, 0'a yakın değerler gösterirken; az aşınmış alanlarda bu değer 1'e yakın çıkmaktadır (Pérez-Peña vd., 2010). VFZ üzerindeki havzalarda Hi değerleri 0.29-0.56, YKFZ üzerindeki havzalarda 0.40-0.629 ve güneydoğudaki havzalarda 0.38-0.62 arasında değişmektedir. El Hamdouni vd. (2008) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre $Hi > 0.50$ yüksek tektonik aktivite (Sınıf 1), $0.4 < Hi < 0.5$ orta derecede tektonik aktivite (Sınıf 2), $Hi < 0.4$ düşük tektonik aktivite (Sınıf 3) olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre YKFZ'deki alt havzalar ile güneydoğudaki havzalarda göreceli tektonik aktivite yüksek çıkmıştır (Tablo 2, Şekil 11). VFZ'deki bazı havzalarda Hi'nin orta ve düşük çıkması bu alanda geniş heyelanlar ile havzaların bozulmasından kaynaklanmaktadır.

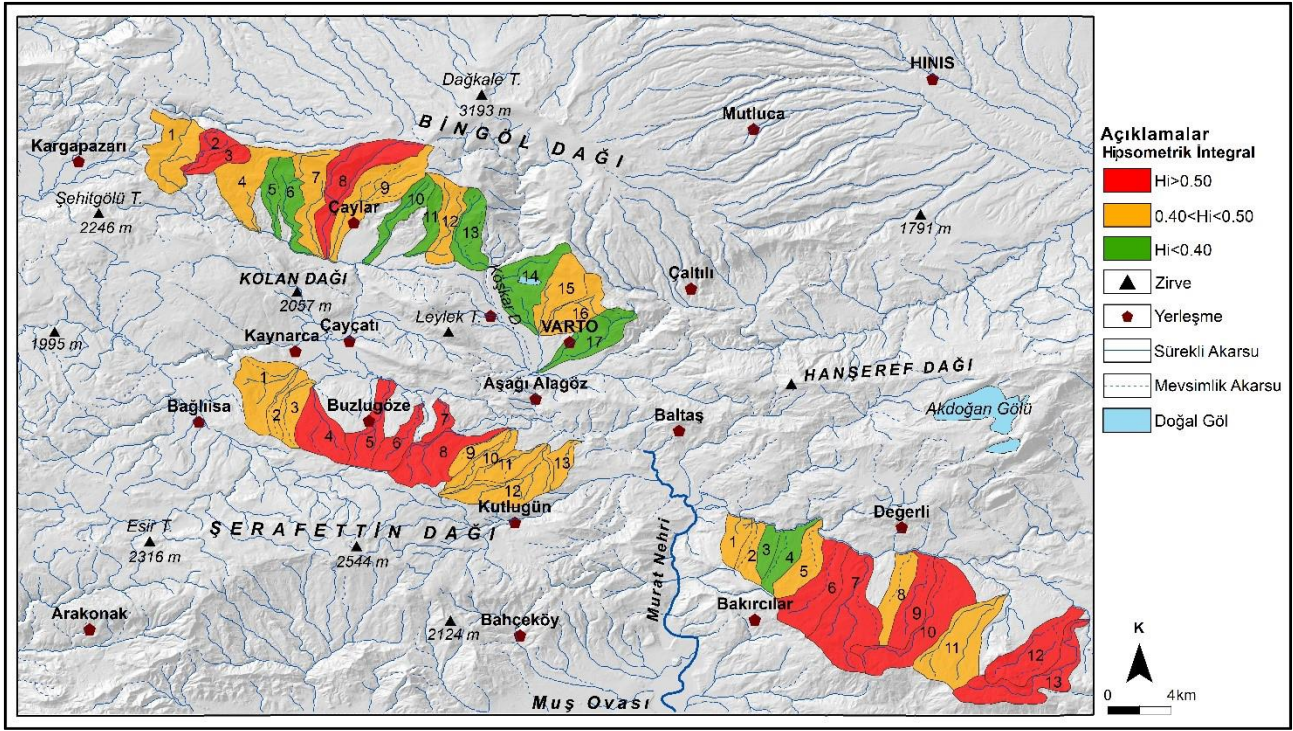
Tablo 2. Varto Havzası ve çevresindeki alt havzaların Hi değerlerinin El Hamdouni vd. (2008)'e göre tektonik aktivite sınıfları tablosu

Table 2. Tectonic activity classes table of the Hi values of Varto Basin and surrounding sub-basins according to El Hamdouni et al. (2008)

Tektonik aktivite sınıfı	Hi değeri	VFZ'deki alt havzalar	YKFZ' deki alt havzalar	Güneydoğudaki alt havzalar
Yüksek tektonik aktivite (1)	$Hi > 0.50$	2. 3. 8	4. 5. 6. 7. 8	6. 7. 9. 10. 12. 13
Orta derecede tektonik aktivite (2)	$0.4 < Hi < 0.5$	1. 4. 7. 9. 12. 15. 16	1. 2. 3. 9. 10. 11. 12. 13	1. 2. 5. 8. 11
Düşük tektonik aktivite (3)	$Hi < 0.4$	5. 6. 10. 11. 13. 14. 17	-	3. 4

Hipsometrik eğrilerin gösterdiği şekil ve Hi değerleri, Strahler (1952), tarafından Davis'in (1899), havza gelişim evrelerine göre üç havza kategorisinde değerlendirilmiştir. Buna göre; 1) Dışbükey hipsometrik eğri ve yüksek Hi değerine sahip genç havzalar, 2) S şekilli bir eğriye sahip havzalar (0.5 'e yakın ve olgun dönemi temsil eder) ve 3) İçbükey bir şekle sahip havzalardır (0.5 'ten büyük ölçüde düşük olup yaşlılık dönemini temsil eder). Ancak sonraki çalışmalarda, hipsometrik eğri ve Hi değerlerinin doğrudan havzanın gelişimi dışında havzanın topoğrafik şekli, litolojik koşullar, çatlama oranı, tektonizma ve erozyon oranı gibi diğer faktörle ilişkili olduğu ortaya konulmuştur (Ohmori, 1993; Moglen vd., 1998; Willgoose & Hancock, 1998; Luo, 2000; Huang & Niemann, 2006; Pérez-Peña vd., 2009a; b; Pérez-Peña vd., 2010; Cheng vd., 2012).

Varto Havzası ve çevresindeki alt havzaların hipsometrik eğrilerinde VFZ üzerindeki havzalarda kısmi bir içbükeylik dikkati çekmektedir. Aslında bu alanda yüksek tektonik aktivite görülmesine rağmen geniş alanlı heyelanların etkisiyle Hi değerlerine göre orta ve düşük tektonik aktivite ön plana çıkmaktadır (Şekil 12 a. b). YKFZ üzerindeki havzalarda dışbükey eğri ve yüksek Hi değeri yüksek tektonik aktiviteyi göstermektedir (Şekil 12 c. d). Havza güneydoğusundaki alt havzalarda da dışbükey hipsometrik eğri ve yüksek Hi değeri tektonik aktivitenin yüksek olduğunu göstermektedir (Şekil 12 e. f).



Şekil 11. Varto Havzası ve çevresinde seçilen drenaj alanlarının Hi değerlerinin tektonik aktivite sınıflarına göre dağılım haritası

Figure 11. Distribution map of Hi values of selected drainage areas in and around Varto Basin according to tectonic activity classes.

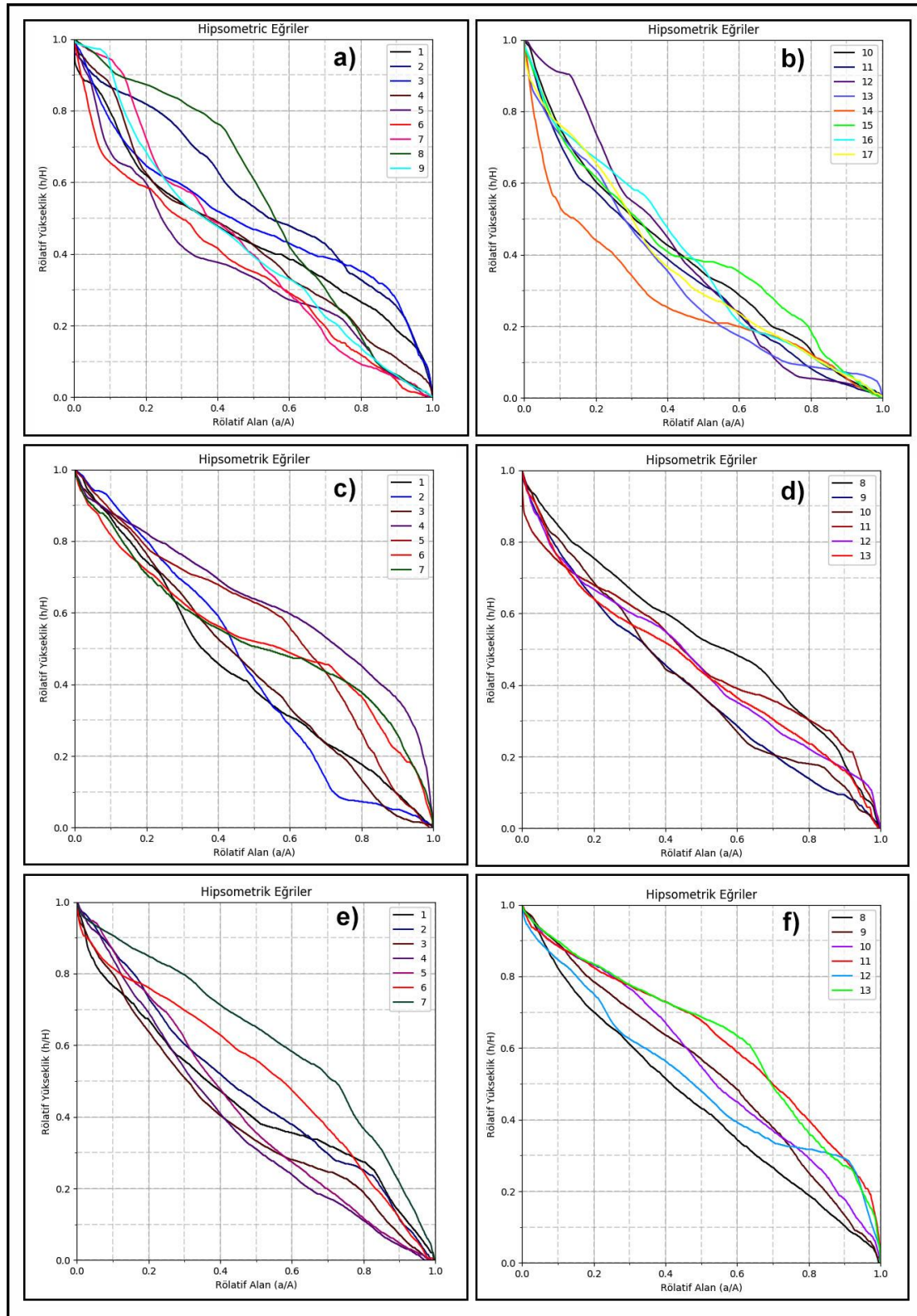
3.2. Havza asimetri faktörü (AF)

3.2. Basin asymmetry factor (AF)

Bu indis drenaj havzalarında tektonik etkinin belirlenmesinde temel bir kriter olarak kullanılmaktadır (Hare & Gardner, 1985; Salvany, 2004; Harkins vd., 2005; Ntokos vd., 2016; Ntokos, 2018). AF, ana nehrin sağına uzanan havza bölümü alanının nehrin drenaj havzasının toplam alanına oranını (%) ifade etmektedir (Hare & Gardner, 1985). Bir drenaj havzası; eşit kayaç direncine, kayaç strüktürüne, topografyaya ve stabil bir tektonik ortama sahip litolojiler altında simetrik bir geometriye dönüşebilir (Figueiredo vd., 2019). Tektonizma etkisinde kalan drenaj havzalarında AF değeri % 50'den yüksek ya da düşüktür. Simetrik havzalarda AF değeri % 50 olup (Keller & Pinter, 2002) bu değerden sapma ne kadar büyükse havzada tiltlenmenin değeri o kadar yüksek olmaktadır (Pérez-Peña vd., 2010). VFZ, YKFZ ve güneydoğuda yer alan tüm havzaların AF değerleri simetri için aranan AF=50 koşulunu sağlamamaktadır. Bu durum havzaların tektonizma etkisiyle simetrik olma özelliklerini kaybettiğini göstermektedir. Havzaların gelişiminde tektonizma etkili olduğundan havzalar farklı yönere doğru eğimlenmiştir. VFZ üzerinde asimetri faktörü değerleri 22-77, YKFZ'de 12.4-77.7 ve güneydoğuda ise 28.4-80.2 arasında değişmektedir (Tablo 3).

Havzalardaki asimetri dört grupta değerlendirilmektedir. Bunlar 1) Simetrik havza ($AF < 5$), 2) Az simetrik havza ($5 < AF < 10$), 3) Orta asimetrik havza ($10 < AF < 15$) ve 4) Baskın asimetrik havzadır ($AF > 15$) (Pérez-Peña vd., 2010; Giaconia vd., 2012; akt. Sağlam Selçuk & Düzgün, 2017). Bu asimetri değerlerine göre VFZ üzerinde 6. 7. 9. 14. 16 ve 17 nolu havzalar, YKFZ üzerinde 1. 2. 3. 4. 6. 8. 9. 10. 11 nolu havzalar ve güneydoğuda 2. 4. 5. 7. 8. 10. 11 ve 12 nolu havzalarda baskın bir asimetri değeri hesaplanmıştır.

Bu değerlendirme dışında AF değerleri ile tektonik aktiviteyi dikkate alınan sınıflandırmada $AF - 50 > 15$ yüksek tektonik aktiviteye ait 1. sınıfı, $AF - 50 = 7 - 15$ tektonik aktivite olarak 2. sınıfı, $AF - 50 < 7$ düşük tektonik aktiviteye sahip 3. sınıfı göstermektedir (El Hamdouni vd., 2008; akt. Topal & Özkul, 2018). Bu sınıflandırmaya göre VFZ üzerinde 6 havza, YKFZ üzerinde 9 havza, güneydoğuda 8 havza yüksek tektonik aktivite sınıfında yer almaktadır (Tablo 3).



Şekil 12. Varto Havzası çevresindeki alt havzaların hipsometrik eğrilerinin grafikleri a. b) VFZ üzerinde yer alan. c. d) Yorgançayır-Kaynarca Fay Zonunda yer alan, e. f) Varto Havzası güneydoğusunda yer alan havzaların hipsometrik eğrileri. Bu çalışmada Pérez-Peña vd. (2009b) tarafından geliştirilen CalHypso uzantısı kullanılarak hipsometrik eğriler otomatik olarak çizdirilmiştir **Figure 12.** The graphics of hypsometric curves of the sub-basins around the Varto Basin. a.b), Located on the VFZ, c.d) Located in the Yorgançayır-Kaynarca Fault Zone, e.f) The hypsometric curves of the basins located in the southeast of the Varto Basin. In this study, CalHypso extension, developed by Pérez-Peña et al. (2009b), is used to automatically draw the hypsometric curves

Tablo 3. Varto Havzası'nda seçilen drenaj alanlarının AF değerleri tablosu**Table 3.** AF values table of selected drainage areas in Varto Basin

Havza no	VFZ	AF-50	Sınıf	YKFZ	AF-50	Sınıf	GD	AF-50	Sınıf
1	56.66	6.66	3	30.77	-19.22	1	57.71	7.71	2
2	63.10	13.10	2	66.06	16.06	1	65.09	15.09	1
3	55.01	5.01	3	66.48	16.48	1	61.98	11.98	2
4	54.17	4.17	3	25.45	-24.54	1	78.60	28.60	1
5	45.39	-4.60	3	56.49	6.49	3	28.46	-21.53	1
6	30.61	-19.3	1	33.28	-16.71	1	57.51	7.51	3
7	76.38	26.38	1	44.02	-5.97	3	67.54	17.54	1
8	64.07	14	2	12.46	-37.53	1	65.93	15.93	1
9	77.36	27	1	77.78	27.78	1	46.84	-3.15	3
10	41.48	-8.52	2	67.62	17.62	1	80.22	30.22	1
11	46.43	-3.56	3	75.19	25.19	1	79.04	29.04	1
12	60.65	10.65	2	62.31	12.31	2	71.69	21.69	1
13	35.06	-14.9	2	53.54	3.54	3	64.31	14.31	2
14	28.90	-21	1						
15	61.14	11.14	2						
16	22.03	-27.9	1						
17	67.86	17.86	1						

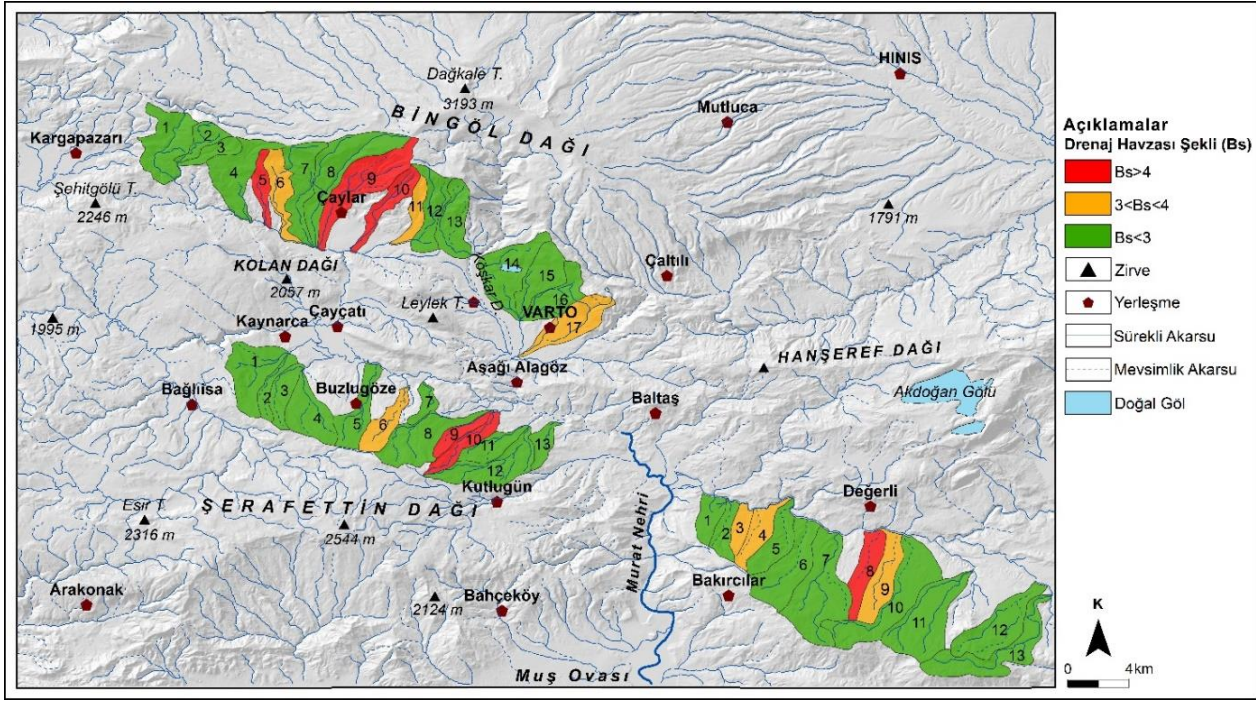
3.3. Drenaj havzası şekli (Bs)

3.3. Drainage basin shape (Bs)

Aktif tektonik alanlarda, genç drenaj havzalarının şekli, bir dağın topografik eğimine paralel olarak nispeten uzamaktadır. Zamanla topografik gelişim süreci içerisinde tektonik aktivite azaldığından uzunlamasına gelişen havzalar dairesel şekle dönüşmektedir (Bull & McFadden, 1977). Drenaj havzalarının şeklini belirlemek amacıyla dairesellik oranı (Miller, 1953), uzama oranı (Schumm, 1956) gibi bazı indisler kullanılmıştır. Daha sonra bu indisler, havza şekil indeksi olarak uyarlanmıştır (Cannon, 1976; Ramírez-Herrera, 1998; Figueiredo vd., 2019). Yüksek Bs değerleri uzunlamasına havzaları ve yüksek tektonik aktiviteyi, düşük Bs değerleri dairesel havzaları ve düşük tektonik aktiviteyi göstermektedir (Ramírez-Herrera, 1998; Dehbozorgi vd., 2010). Varto Havzası'nda Bs değerlerine göre yapılan sınıflandırmada havzaların büyük bölümü düşük tektonik sınıfta kalmaktadır (Tablo 4; Şekil 13). Ancak tektonik aktiviteyi yansıtabilecek havzalar da görülmektedir. Havzanın kuzey ve güneyindeki alt havzalarda yaşanan geniş alanlı heyelanlar kısmen genişlemeyi sağlamıştır.

Tablo 4. Varto Havzası ve çevresindeki alt havzaların Bs değerlerinin (El Hamdouni vd. (2008)'e göre) tektonik aktivite sınıfları tablosu**Table 4.** Tectonic activity classes table of Bs values according to El Hamdouni et al. (2008) of the Varto Basin and its surrounding sub-basins

Tektonik aktivite sınıfı	Bs değeri	VFZ'deki alt havzalar	YKFZ' deki alt havzalar	Güneydoğudaki alt havzalar
Yüksek tektonik aktivite (Sınıf 1)	Bs>4	5. 9. 10	9. 10	8
Orta derecede tektonik aktivite (Sınıf 2)	3<Bs<4	6. 11. 17	6	3. 4. 9
Düşük tektonik aktivite (Sınıf 3)	Bs<3	1. 2. 3. 4. 7. 8. 12. 13. 14. 15. 16	1. 2. 3. 4. 5. 7. 8. 11. 12.13	1. 2. 5. 6. 7. 10. 11. 12.13



Şekil 13. Varto Havzası ve çevresinde seçilen alt drenaj havzalarında havza şekli (Bs) değerlerinin dağılışı haritası

Figure 13. Distribution map of drainage basin shape (Bs) values in selected sub-drainage basins in and around Varto Basin

3.4. Dağ önü sinüslülük indisi (Smf)

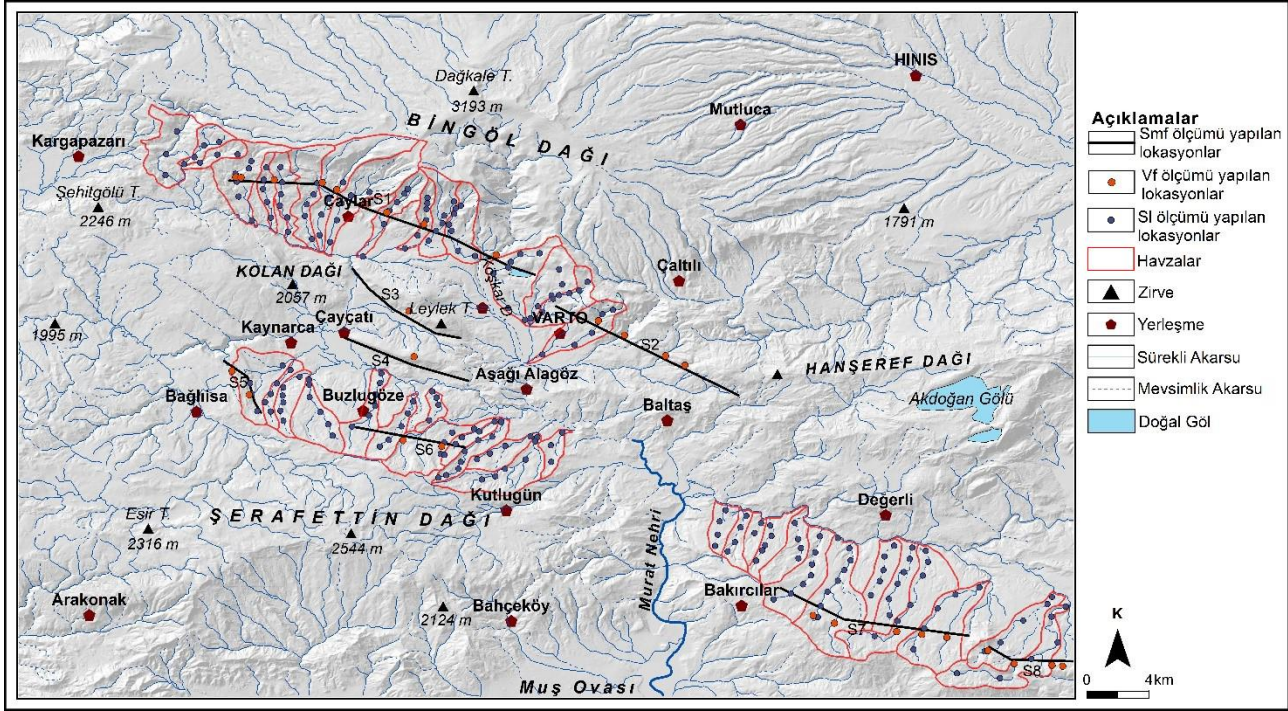
3.4. Mountain front sinuosity ratio

Genelde Smf değerleri topoğrafya haritalarından ve hava fotoğraflarından kolaylıkla hesaplanabilmekte olup haritanın ölçeği belirleyicidir (Bull & McFadden, 1977). Yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları ile daha büyük ölçekli haritalar dağ önü sinüslülük oranı hesaplaması için daha doğru sonuçlar vermektedir (Keller & Pinter, 2002). Faylara bağlı gelişen yamaçlarda dağ önü çizgiselliği artmasına rağmen erozyonun etkisine bağlı olarak zamanla azalmaktadır. Smf değerleri ile tektonizma arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için literatürde farklı gruplandırmalar bulunmaktadır. Bull ve McFadden (1977) tarafından önerilen sınıflandırmaya göre Smf=1 yüksek tektonik aktiviteyi gösterirken, Smf >1 değeri olan alanlar nispeten daha az tektonik aktiviteyle karakterize etmektedir. Bunun yanında Smf <1.4 değeri aktif tektonik alanları gösterirken, Smf >3 inaktif dağ önlerini göstermektedir (Rockwell vd., 1985; Keller & Pinter., 2002; Silva vd., 2003; Bull, 2008; Pérez-Peña vd., 2010; Topal, 2019). Bu çalışmada Smf ölçümü 1/25.000 ölçekli topoğrafya haritaları kullanılarak elde edilen 10x10 m çözünürlüğünde sayısal yükseklik modeli üzerinde yapılmıştır (Şekil 14). VFZ boyunca ölçülen Smf değerleri kuzeyde 1.02-1.10, VFZ içerisinde Leylek Dağı ile Kolan Dağı arasında 1.005-1.009 arasında değişmektedir. Bu değerler VFZ'nin tektonik aktivitesinin yüksek olduğunu göstermektedir (Tablo 5).

Tablo 5. Varto Havzası'nda Smf değerleri tablosu

Table 5. Table of the Smf values in Varto Basin

Çizgisel hat lokasyonları	Lmf (m)	Ls (m)	Smf
S1	23180	20929	1.10
S2	13875	13480	1.02
S3	9156	9109	1.005
S4	8461	8382	1.009
S5	13311	12597	1.05
S6	5821	5511	1.05
S7	5225	5021	1.04
S8	7242	7191	1.007



Şekil 14. Varto Havzası ve çevresinde Smf, Vf ve Sl ölçümü yapılan lokasyonların haritası
Figure 14. Map of locations where Smf, Vf and Sl measurements are made in and around Varto Basin

YKFZ’de Smf değerleri 1.05, güneydoğuda 1.04-1.007 arasında ölçülmüştür. Bu parametreye göre VFZ ve YKFZ’nin aktif olduğu, güneydoğuda aktif tektonik hatlara işaret eden değerlerin ölçüldüğü görülmektedir. Smf<1.4 değeri dikkate alındığında tüm segmentlerde tektonik aktivitenin yüksek olduğu görülmektedir.

3.5. Vadi tabanı genişliği-vadi yüksekliği oranı (Vf)

3.5. Valley floor width-to-valley height ratio

Bu indis, nispeten yüksek Vf değerlerine sahip geniş tabanlı vadiler ile nispeten düşük Vf değerlerine sahip V şekilli vadileri yansıtmaktadır (Keller & Pinter, 2002). Düşük Vf değerleri genellikle yükselme ile ilişkili akışları olan derin vadileri karakterize etmektedir. Farklı havzalar arasında güvenilir ve karşılaştırılabilir ölçümler yapabilmek için, Vf oranları ya tektonik kaynaktan yukarı doğru belirli ve sabit bir mesafede ya da sabit bir havza konumu koordinatında ölçülmelidir (Bull, 2008). Bu kural dikkate alınarak, incelenen her vadi için dağ cephesinden belirli bir mesafede ölçüm yapılarak Vf değeri hesaplanmıştır (Şekil 14). Dağ cephesinden 300 m yukarıda ölçülen Vf değerleri VFZ üzerinde kuzeyde S1’de 0.12-1.36 arasında değişmektedir. Bu hat için Vf değeri ortalaması 0.49 olarak hesaplanmıştır. Kuzeyde S2’de Vf değerleri 0.12-0.30 arasında değişmekte olup ortalaması 0.21 hesaplanmıştır (Tablo 6). VFZ üzerinde Kolan Dağı ile Leylek Tepe arasında S3’se Vf değeri 0.18, S4’de Çaycağı’da 0.16 olarak ölçülmüştür.

Tablo 6. Varto Havzası ve çevresinde ölçüm yapılan noktaların Vf değerleri tablosu
Table 6. Vf values table of the measurement points in and around the Varto Basin

Vf	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Minimum	0.12	0.12			1.06	1	0.4	0.22
Maksimum	1.36	0.30	0.18	0.16	1.42	1.09	5.80	0.74
Ortalama	0.49	0.21			1.24	1.045	2.2	0.54

Varto Havzası kuzeyinde Bingöl Dağı yamaçlarında yüksek Vf değerleri doğrudan tektonizma ile ilişkilidir. Şaroğlu (1986) tarafından Bingöl Dağı’nın KAF tarafından kesildiğini, kalderaya benzeyen şeklin

parçalandığını ve VFZ kuzeyinde atımın 1500 m, güneyinde ise 700 m'yi geçtiği belirtilmektedir. Bu tektonik ve morfolojik gelişim bu indis değerlerinin yüksek çıkmasına neden olmaktadır. YKFZ üzerinde ölçülen Vf değerleri 1-1.42 arasında değişmekte olup Vf değerleri ortalaması S5'de 1.24 ve S6'da 1.045'dir. Güneydoğuda ise (S7) Vf değerleri 0.4 ile 5.80 arasında değişmekte olup ortalama Vf değeri 2.2 hesaplanmıştır. Güneydoğuda S8'de Vf değerleri 0.22-0.74 arasında değişen değerler göstermektedir. Vf değeri ile tektonik seviye arasındaki ilişkide, Vf değeri 0.5'den düşük olan sahalar tektonik aktivitenin fazla olduğu, Vf değeri 1 ile 0.5 arasında olan sahalar tektonik aktivitenin orta seviyede olduğu ve Vf değerinin 1'den fazla olduğu sahalar ise düşük seviyede tektonik aktivitenin olduğu sahalar olarak değerlendirilmiştir (Silva vd., 2003; El Hamdouni vd., 2008; Dehbozorgi vd., 2010; Mahmood & Gloaguen, 2012; Coşkuner vd., 2019). Bu indise göre ölçülen Vf değerleri Varto Havzası ve çevresinde tektonik aktivitenin VFZ üzerinde yüksek olduğunu ispatlamaktadır. Güneydoğudaki alt havzalarda yapılan analiz sonuçları tektonik aktivitenin yüksek olduğunu ve bu alanların da faylı olduğunu göstermektedir.

3.6. SL indeksi

3.6. Stream length-gradient index

Bu indeks Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımları ile otomatik olarak hesaplandığı (Piacentini vd., 2020) gibi topoğrafya haritalarından yararlanılarak manuel olarak da hesaplanabilmektedir. SL indisi, akarsuyun gücü ile ilişkili olup kanal eğimindeki değişikliklere karşı duyarlıdır. Bu duyarlılık, olası tektonik aktivite, kaya direnci ve topografya arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesine imkan sağlamaktadır (Keller & Pinter, 2002). Bu makalede SL indisi seçilen drenaj alanlarında 100 m aralıklarla belirlenmiştir (Şekil 14). Ortalama SL değerleri VFZ üzerinde 174.53-663.41 arasında değişmektedir. Ortalamalar açısından minimum SL değeri 3 nolu drenaj alanında, ortalama maksimum SL değeri 8 nolu drenaj alanında ölçülmüştür. YKFZ'de ortalama SL değerleri 191.93-518.95 arasında değişmektedir. En düşük değer 13 nolu havzada, en yüksek değer 5 nolu havzada ölçülmüştür. Güneydoğuda ortalama SL değerleri 189.06-529.62 arasında değişmektedir. En düşük ortalama değer 2 nolu havzada, en yüksek ortalama değer ise 10 nolu havzada ölçülmüştür.

Balkaya vd. (2021) SL değerleri ile tektonik aktivite arasındaki ilişkiyi 3 grupta incelemiştir. Yüksek tektonik aktivite için $250 < SL$, orta derecede tektonik aktivite için $150 < SL < 250$, düşük tektonik aktivite için $SL < 150$ sınıflandırmasını önerilmiştir. Bu sınıflandırmaya göre VFZ üzerinde yer alan havzaların 13'ü yüksek tektonik aktivite sınıfında, 4'ü orta derecede tektonik aktivite sınıfında. YKFZ üzerindeki havzalardan 9'u yüksek tektonik aktivite sınıfında, 4'ü orta derecede tektonik aktivite sınıfında, güneydoğuda yer alan alt havzaların 10'u yüksek tektonik aktivite sınıfında. 3'ü orta derecede aktif sınıfta yer almaktadır (Tablo 7).

Tablo 7. Varto Havzası ve çevresinde SL ölçümü yapılan noktalara ait değerler

Table 7. Values of the SL measurement points in and around the Varto Basin

Havza no	VFZ	Sınıf	YKFZ	Sınıf	Güneydoğudaki havzalar	Sınıf
1	314.52	1	300.53	1	243.51	2
2	273.47	1	233.81	2	189.06	2
3	174.53	2	387.51	1	211.14	2
4	390.40	1	402.03	1	406.21	1
5	298.22	1	518.95	1	279.51	1
6	296.61	1	495.31	1	375.30	1
7	515.05	1	210.61	2	331.73	1
8	663.41	1	454.84	1	444.20	1
9	390.98	1	200.12	2	328.19	1
10	373.59	1	250.85	1	529.62	1
11	426.92	1	259.31	1	477.27	1
12	534.65	1	387.02	1	514.43	1
13	334.82	1	191.93	2	362.02	1
14	239.74	2				
15	204.86	2				
16	375.89	1				
17	246.36	2				

3.7. Yatak kıvrımlılığı (S)

3.7. Channel sinuosity (S)

Bir akarsuyun yatak kıvrımlılığı, [Mueller \(1968\)](#), tarafından tektonizmanın rolünü anlamak için önerilmiş bir indistir ([Rhea, 1993; Raj vd., 1999](#)) Yatak kıvrımlılığı analizi, arazi özelliklerinin akarsu seyri üzerindeki etkisinin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. İndeks değerinin 1 olması düz akarsu vadisini göstermektedir ([Acharjee vd., 2013](#)). Bir akarsu yatağı tektonik aktiviteye veya taban seviyesi değişimi gibi olaylara maruz kalması durumunda yatağın yapısında değişikliğe neden olarak denge profili bozulabilir. Kıvrımlılıktaki değişiklikler, yükselmiş bir alanın akış aşağısında veya çökmüş bir alanın akış yukarısında görülmektedir ([Ouchi, 1985; Schumm vd., 2000; Figueiredo vd., 2019](#)). Varto Havzası'nda uygulanan indis sonuçlarına göre yatak kıvrımlılığı değerleri VFZ üzerinde 1.02-1.52, YKFZ üzerinde 1.04-2.3 ve güneydoğuda 1.04-1.41 arasında değişmektedir. Yatak kıvrımlılığı değeri <1.5 ise yatak düz, >1.5 ise kıvrımlılık yüksek kabul edilmektedir ([Figueiredo vd., 2019](#)). Bu sınıflandırmaya göre de havzada kıvrımlılık değerleri düşüktür. Yatak kıvrımlılığı <1.5 tektonik olarak aktif (Sınıf 1), 1.5<Cs<2 orta derecede aktif (Sınıf 2) ve Cs>2 düşük derecede tektonik aktivite (Sınıf 3) olarak gruplandırılmıştır ([Figueiredo vd., 2019](#)) (Tablo 8).

Tablo 8. Varto Havzası ve çevresindeki alt havzaların yatak kıvrımlılık değerleri tablosu

Table 8. Channel sinuosity values table of the sub-basins in and around the Varto Basin

Havza no	VFZ'deki alt havzalar	Sınıf	YKFZ'deki alt havzalar	Sınıf	Güneydoğudaki alt havzalar	Sınıf
1	1.28	1	1.27	1	1.10	1
2	1.19	1	1.16	1	1.05	1
3	1.07	1	1.3	1	1.20	1
4	1.22	1	1.04	1	1.04	1
5	1.09	1	1.14	1	1.14	1
6	1.02	1	1.26	1	1.12	1
7	1.16	1	2.3	3	1.12	1
8	1.37	1	1.24	1	1.11	1
9	1.18	1	1.96	2	1.14	1
10	1.08	1	1.15	1	1.38	1
11	1.14	1	1.08	1	1.21	1
12	1.18	1	1.17	1	1.12	1
13	1.41	1	1.16	1	1.41	1
14	1.52	2				
15	1.26	1				
16	1.2	1				
17	1.13	1				

Bu sınıflandırmaya göre VFZ üzerinde 14 nolu havza dışındaki bütün havzalar tektonik aktivitenin yüksek olduğu 1. sınıfta, güneydoğudaki tüm alt havzalar 1. sınıfta, YKFZ'de yer alan 7 ve 9. havza dışındaki diğer havzalar 1. sınıfta yer almaktadır. Bu indis (S) değerleri, Varto Havzası'ndaki alt havzaların aktif tektonizma ile şekillendiğini gösteren veriler sunmaktadır.

3.8. Uzama oranı (Re)

3.8. Elongation ratio (Re)

Bu indis tektonik aktivite özellikle de son tektonik hareketlerin belirlenmesi açısından önemli bir parametredir. Farklı iklim ve jeolojik yapılarda, havza uzama oranının (Re) genellikle 0.60 ile 1.00 arasında değiştiği belirtilmiştir ([Strahler, 1964; Ntokos vd., 2016](#)). Başka bir sınıflandırmaya göre kurak ve yarı kurak iklimlerdeki drenaj havzaları, tektonik olarak aktif, hafif aktif ve aktif olmayan ortamlar için sırasıyla $Re < 0.50$, $Re = 0.50-0.75$ ve $Re > 0.75$ arasında değişen değerler göstermektedir ([Cuong & Zuchiewicz, 2001](#)). Bu analiz sonuçlarına göre VFZ üzerinde Re değerleri 0.20-0.36, YKFZ üzerinde 0.21-0.36 ve güneydoğuda 0.23-0.34, arasında değişmektedir. [Cuong ve Zuchiewicz \(2001\)](#) tarafından önerilen sınıflandırmaya göre uzama oranı değerleri VFZ üzerinde tüm alt havzalar için tektonik olarak aktif, <0.50 grubu içerisinde yer almaktadır. YKFZ üzerinde ve güneydoğuda analiz edilen tüm alt havzalarda uzama oranı 0.50'nin altındadır. Bu sonuçlar

da Varto Havzası ve çevresinde yüksek tektonik aktiviteyi göstermekte olup havzaların uzadığını göstermektedir (Tablo 9).

Tablo 9. Varto Havzası ve çevresinde alt havzaların uzama oranı değerleri tablosu

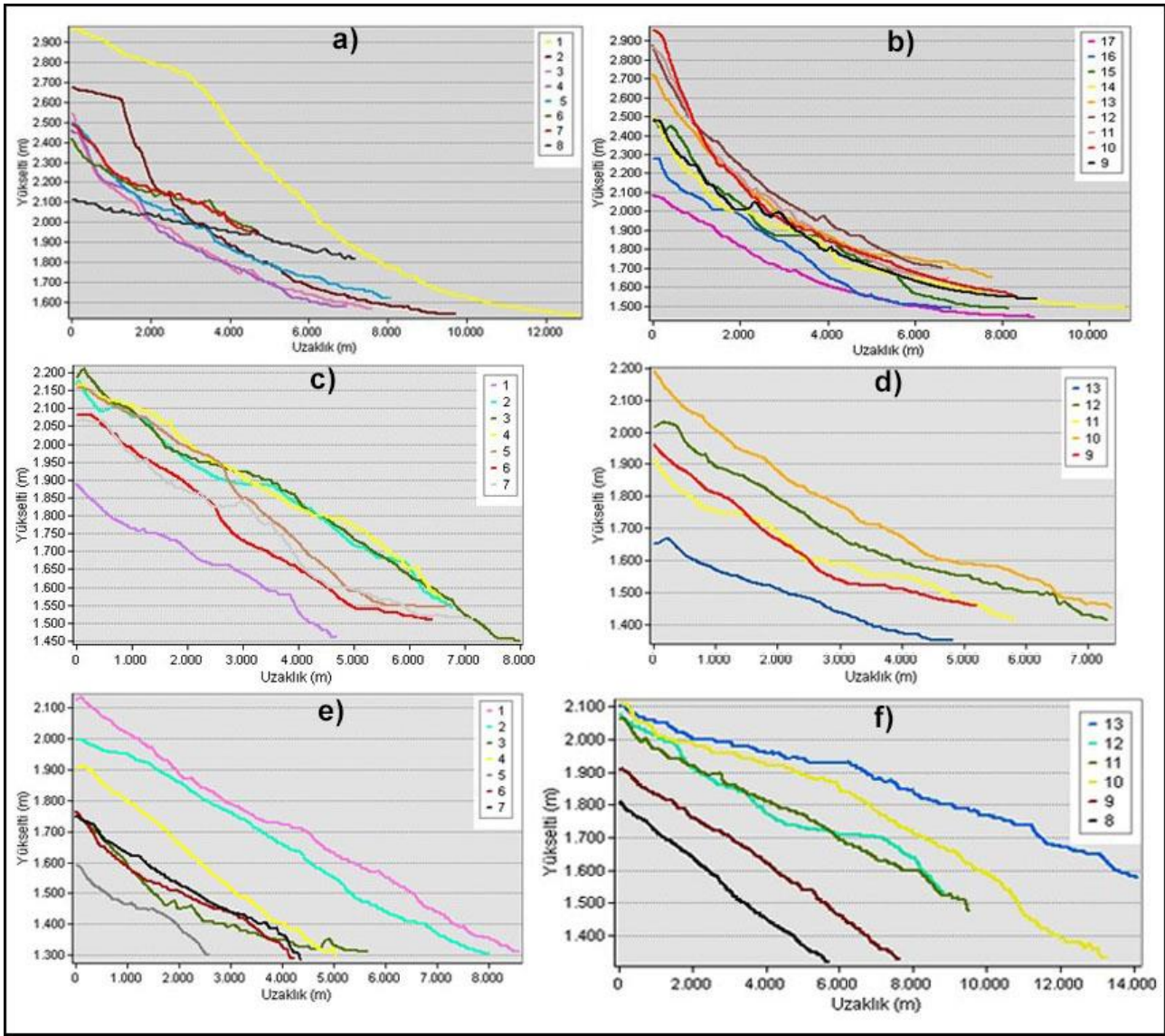
Table 9. Elongation ratio values table of sub-basins in and around Varto Basin

Havza no	VFZ	Sınıf	YKFZ	Sınıf	GD	Sınıf
1	0.36	1	0.36	1	0.32	1
2	0.34	1	0.21	1	0.26	1
3	0.28	1	0.28	1	0.28	1
4	0.32	1	0.32	1	0.24	1
5	0.20	1	0.26	1	0.27	1
6	0.23	1	0.27	1	0.31	1
7	0.25	1	0.30	1	0.30	1
8	0.21	1	0.28	1	0.23	1
9	0.24	1	0.23	1	0.25	1
10	0.21	1	0.22	1	0.28	1
11	0.22	1	0.28	1	0.34	1
12	0.26	1	0.29	1	0.29	1
13	0.29	1	0.29	1	0.25	1
14	0.32	1				
15	0.31	1				
16	0.33	1				
17	0.27	1				

3.9. Havza akarsularının boyuna profil analizleri

3.9. Longitudinal profile analyses of basin streams

Bir akarsuyun boyuna profili genelde düzgün bir içbükey profile olmayıp bazı alanlarda düz, bazı alanlarda ise dike yakın şekillerde olabilmektedir. Eğim kırıklığının başladığı noktalardan itibaren farklı dirençteki litoloji, tektonik hareketlere bağlı kırılmalar ve debideki artış gibi olaylardan kaynaklanabilmektedir. Boyuna profillerdeki bu tip değişimleri belirlemek amacıyla arazi gözlemleri veya indis analizleri yapılmalıdır. Bu kapsamda VFZ üzerinde yer alan akarsuların boyuna profilleri analiz edildiğinde belirgin eğim kırıklıkları ve basamaklanmalar görülmektedir. Analiz havzalarındaki akarsuların boyuna profilleri Varto Fayı (VF) ve Yorgançayır-Kaynarca Fayı (YKF) etkisindeki akarsuların boyuna profillerinde görülen özellikler, güneydoğuda yer alan akarsular için de geçerlidir. Bu durum Varto Havzası'nda drenaj gelişiminin tektonizma etkisinde olduğunu göstermektedir (Şekil 15).



Şekil 15. Varto Havzası'nda yer alan alt analiz havzalarındaki akarsuların boyuna profilleri. a. b) VFZ üzerinde yer alan akarsuların profilleri. c. d) YKFZ üzerinde yer alan akarsuların profilleri, e. f) Güneydoğuda yer alan havzalardaki akarsuların boyuna profilleri

Figure 15. Longitudinal profiles of streams in sub-analysis basins in Varto Basin. a. b) Longitudinal profiles of streams on the VFZ. c. d) Longitudinal profiles of streams on YKFZ. e. f) Longitudinal profiles of streams in the southeastern basins

3.10. Göreceli tektonik aktivite indeksi

3.10. Relative tectonic activity index

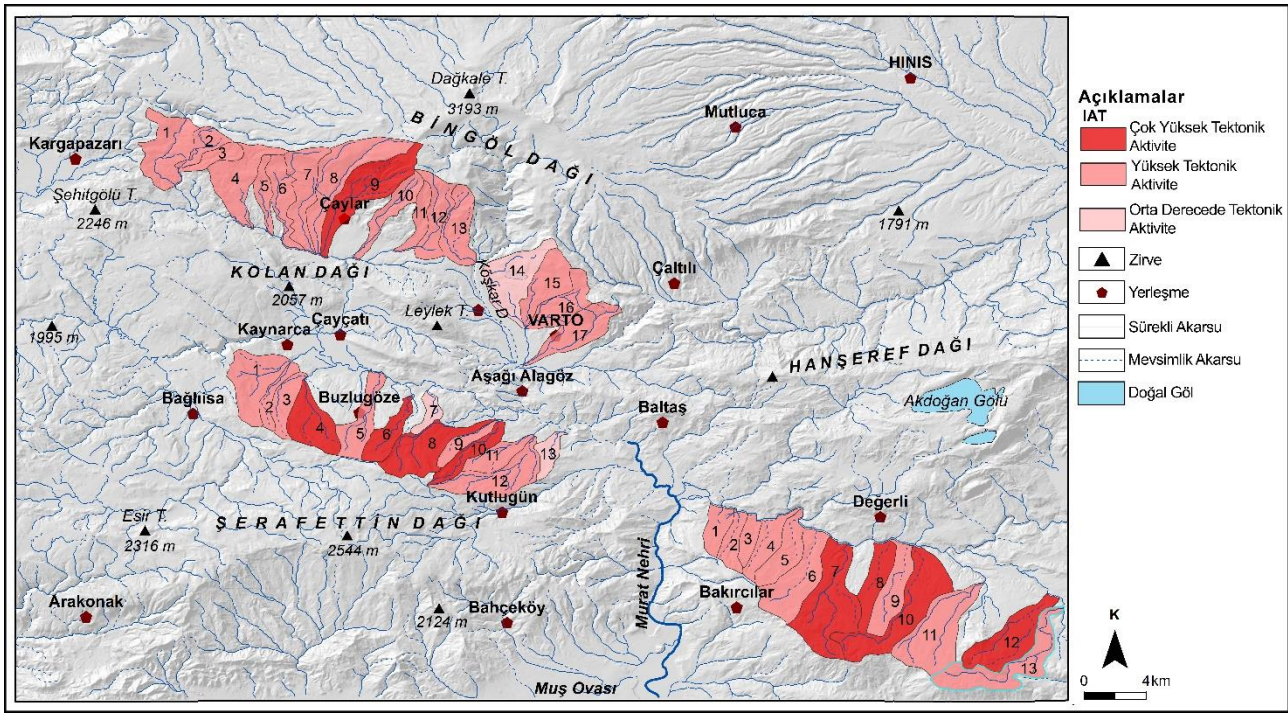
Göreceli tektonik aktivite bazı araştırmalarda S_{mf} ve V_f indislerinin kombinasyonu (Bull & McFadden., 1977; Silva vd., 2003), bazı araştırmalarda ise göreceli tektonik aktivite (IAT) indisi kullanılarak belirlenmiştir. Bu sınıflandırmada tektonik aktivitesi çok yüksek olan havzalarda IAT değeri $IAT < 1.5$, yüksek olan havzalarda $1.5 \leq IAT < 2$, orta derecede olan havzalarda IAT değeri $2 \leq IAT < 2.5$, düşük olan havzalarda IAT değeri $2.5 \leq IAT$ olarak belirlenmiştir (El Hamdouni vd., 2008). Bu çalışmada da göreceli tektonik aktivite (IAT) indisi kullanılarak Varto Havzası'nı denetleyen fayların tektonik aktivitesi belirlenmiştir. IAT indis analizi için H_i , A_f , B_s , S_L , S ve R_e indislerinin sınıflandırmadaki puanları toplanarak indis sayısına bölünmüş ve göreceli tektonik aktivite sınıfı belirlenmiştir (Tablo 10). Buna göre VFZ üzerinde yer alan havzaların IAT değerleri 1.16-2 arasında değişmekte olup, bir havza dışında çok yüksek ve yüksek tektonik aktiviteyi göstermektedir. YKFZ üzerinde yer alan havzaların IAT değeri 1.16-2.16 arasında değişmekte olup 4. 6. 8. ve 10 nolu havzalar tektonik olarak çok aktif, 1. 2. 3. 5. 9. 11 ve 12 nolu havzalar yüksek, 7. ve 13 nolu havzalar orta derecede tektonik aktivite sınıfında yer almaktadır. Güneydoğuda yer alan havzaların IAT değeri 1.16-1.83 arasında

değişmekte olup 7. 8. 10. 12 nolu havzalar tektonik olarak çok aktif sınıfta diğer havzalar tektonik aktivitenin yüksek olduğu sınıfta yer almaktadır (Şekil 16).

Tablo 10. Varto Havzası ve çevresindeki havzaların göreceli tektonik aktivitesinin belirlenmesinde kullanılan indisler ve IAT değerleri

Table 10. Indices and IAT values used to determine the relative tectonic activity of the Varto Basin and the surrounding basins

Havza lokasyonları	Havza no	Hi	AF	Bs	SL	S	Re	IAT sınıfı
VFZ	1	2	3	3	1	1	1	Yüksek
	2	1	2	3	1	1	1	Yüksek
	3	1	3	3	2	1	1	Yüksek
	4	2	3	3	1	1	1	Yüksek
	5	3	3	1	1	1	1	Yüksek
	6	3	1	2	1	1	1	Yüksek
	7	2	1	3	1	1	1	Yüksek
	8	1	2	3	1	1	1	Yüksek
	9	2	1	1	1	1	1	Çok yüksek
	10	3	2	1	1	1	1	Yüksek
	11	3	3	2	1	1	1	Yüksek
	12	2	2	3	1	1	1	Yüksek
	13	3	2	3	1	1	1	Yüksek
	14	3	1	3	2	2	1	Orta
	15	2	2	3	2	1	1	Yüksek
	16	2	1	3	1	1	1	Yüksek
	17	3	1	2	2	1	1	Yüksek
YKFZ	1	2	1	3	1	1	1	Yüksek
	2	2	1	3	2	1	1	Yüksek
	3	2	1	3	1	1	1	Yüksek
	4	1	1	3	1	1	1	Çok yüksek
	5	1	3	3	1	1	1	Yüksek
	6	1	1	2	1	1	1	Çok Yüksek
	7	1	3	3	2	3	1	Orta
	8	1	1	3	1	1	1	Çok yüksek
	9	2	1	1	2	2	1	Yüksek
	10	2	1	1	1	1	1	Çok yüksek
	11	2	1	3	1	1	1	Yüksek
	12	2	2	3	1	1	1	Yüksek
	13	2	3	3	2	1	1	Orta
G.Doğu	1	2	2	2	2	1	1	Yüksek
	2	2	1	3	2	1	1	Yüksek
	3	3	2	2	2	1	1	Yüksek
	4	3	1	2	1	1	1	Yüksek
	5	2	1	3	1	1	1	Yüksek
	6	1	3	3	1	1	1	Yüksek
	7	1	1	3	1	1	1	Çok yüksek
	8	2	1	1	1	1	1	Çok yüksek
	9	1	3	2	1	1	1	Yüksek
	10	1	1	3	1	1	1	Çok yüksek
	11	2	1	3	1	1	1	Yüksek
	12	1	1	3	1	1	1	Çok yüksek
	13	1	2	3	1	1	1	Yüksek



Şekil 16. Varto Havzası ve çevresinde analiz edilen havzaların göreceli tektonik aktivite indeksine (IAT) göre tektonik aktivite sınıflarının dağılışı haritası

Figure 16. The distribution map of tectonic activity classes according to the relative tectonic activity index (IAT) of the analyzed basins in and around the Varto Basin

4. Tartışma ve sonuçlar

4. Discussion and conclusions

Varto Havzası, KAF ve DAF'ın kesişme alanına karşılık gelen Karlıova'nın doğusunda yer almaktadır. Havzanın oluşum ve gelişiminde KAF'ın güneydoğuya doğru devamını oluşturan Varto Fayı (VF) etkili olmuştur. VFZ, KB-GD doğrultusunda, birbirine paralel doğrultu ve düşey atımlı çok sayıda faydan oluşmaktadır. Bu faylar Bingöl Dağı'nın güney yamaçlarını keserek Varto Havzası'nı oluşturmuştur. Havza güneyinde YKFZ üzerindeki ve güneydoğusundaki faylar morfolojiye yansımıştır.

Morfometrik analizler ile aktif tektonik aktiviteyi sayısal veriler ile belirlemek mümkündür. Varto Havzası'nı denetleyen fayların göreceli tektonik aktivitelerinin belirlenmesi amacıyla VFZ ve YKFZ üzerindeki seçilen toplam 43 havza jeomorfik indislerle değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; alt havzalarda akarsuların boyuna profillerinin dış bükey özellik göstermesi tüm havzaların asimetric bir formda olması, dağ önü sinüslülük oranının yüksek olması, yatak kıvrımlılık değerlerinin düşük olması yüksek tektonik aktiviteyi göstermektedir.

Morfometrik analiz sonucunda elde edilen değerlerin göreceli tektonik aktivite indisine göre yeniden gruplandırılmasıyla Varto Havzası'ndaki alt havzaların aktiflik sınıfları belirlenmiştir. Bu analize göre VFZ ve YKFZ üzerinde yer alan alt havzalar ile güneydoğuda yer alan havzaların büyük bir bölümü çok yüksek ve yüksek tektonik aktivite sınıfında yer almaktadır. Göreceli tektonik aktivite indisi açısından değerlendirildiğinde alt havzaların büyük bir kısmında tektonik aktivite yüksek çıkmaktadır. İndis sonuçlarının dağılışı ile genç tektonik şekiller ve depremlerin dağılışı arasındaki yüksek uyum, yüksek tektonik aktiviteyi göstermektedir.

Akarsuların boyuna profillerindeki eğim kırıklıkları da tektonik aktivitenin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Smf ve Vf indisleri açısından yapılan değerlendirmede; VFZ üzerinde ölçülen Smf ve Vf değerleri oldukça düşüktür. Bu değerler VF'na bağlı olarak sahanın aktif olduğunu ve yükselmesine devam ettiğini göstermektedir.

Sonuç olarak jeomorfolojik ve sismik verilere göre; tektonik açıdan aktif olan ve genç tektonik hareketlerin etkin olduğu alanlarda jeomorfik indisler ile bu aktiviteler sayısal değerlerle ifade edilebilmektedir. Bunun dışında jeomorfolojik ve sismik verilerin olmadığı alanlarda yapılacak morfometrik analizler ile o alanların göreceli tektonik aktivitesinin belirlenmesinin mümkün olduğu da görülmektedir.

Teşekkür

Acknowledgement

Çalışmanın değerlendirilmesindeki katkıları için Hakemlere ve Editör Kuruluna teşekkür ederiz.

Yazar katkısı

Author contribution

Vedat Avcı; metodoloji, kaynak temini, sayısal altlıkların hazırlanması ve jeomorfik indis analizleri, haritaların hazırlanması ve orijinal taslak metin yazımı ile hakem önerilerine göre düzeltme ve düzenlemeleri yapmıştır. Murat Sunkar; jeoloji ve jeomorfoloji bölümlerini yazmış, fotoğraf, metin ve harita düzenlemelerini yaparak jeomorfik indis analiz sonuçlarının yorumlanmasına katkı sunmuştur.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu çalışmada, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.”. “Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder

Kaynaklar

References

- Acharjee., S., Sarma. J. N., & Mili, N. (2013). Morphotectonic analysis of Disai River Basin Jorhat, Assam (India) using Remote Sensing and GIS approach. *Asian Journal of Spatial Science*, 1, 53–66.
- AFAD- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2022, 29 Kasım). <https://deprem.afad.gov.tr/>
- Akyüz, H. S., Sançar, T., & Zabcı. C. (2010). *Karlıova üçlü eklemi civarında Göynük fayı (Bingöl) ve Varto fayının (Muş) morfolojisi, fay geometrisi ve kayma hızı* (No. 109Y160). Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu. <https://search.trdizin.gov.tr/yayin/detay/610486/>
- Ambraseys, N. N., & Zátópek, A. (1968). The Varto Üstükran (Anatolia) earthquake of 19 August 1966 summary of a field report. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58(1), 47–102. <https://doi.org/10.1785/BSSA0580010047>
- Arıkan, M., Erkal, T., & Ertek T. A. (2023). Kuzey Anadolu Fay Zonu ve güneyindeki Kızılırmak Havzası'nın (Çorum) relief morfometrisi. *Eastern Geographical Review*, 28 (49), 8-27. <https://doi.org/10.5152/EGJ.2023.220405>
- Avcı, V., & Sunkar, M. (2017). Jeomorfik indislerle Varto Havzası'nda (Muş) tektonik aktivitenin belirlenmesi. *Türk Coğrafya Kurumu 75. Yıl Kongresi*, 730-742. Ankara.
- Azor, A., Keller, E. A., & 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 (6), 745–753.

- Balkaya, M., Özden, S., & Akyüz, H. S. (2021). Morphometric and morphotectonic characteristics of Sürgü and Çardak Faults (East Anatolian Fault Zone). *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7(3), 375–392. <https://doi.org/10.28979/jarnas.939075>
- Bull, W. B. (1977). *Tectonic geomorphology of the Mojave desert*: US geological survey contract report 14-08-001-G-394. *Office of Earthquakes, Volcanoes, and Engineering, Menlo Park, California*. 188p.
- Bull, W. B. (1978). *Geomorphic tectonic activity classes of the south front of the San Gabriel Mountains, California*. Geosciences Department. University of Arizona.
- Bull, W. B. (2008). *Tectonic geomorphology of mountains: A new approach to paleoseismology*. John Wiley & Sons.
- Bull, W. B. (2011). *Tectonically active landscapes*. John Wiley & Sons.
- Bull, W. B., & McFadden, L. D. (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In D. O. Doehring (ed.), *Geomorphology in Arid Regions. Proceedings of the Eight Annual Geomorphology Symposium*. Binghamton, NY: State University of New York at Binghamton, 115-138
- B.Ü.-KRDAE Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi. (2022a, 12 Ocak). <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/tarihsel-depremler>
- B.Ü.-KRDAE Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi. (2022b, 15 Kasım). <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>
- Cannon, P. J. (1976). *Generation of explicit parameters for a quantitative geomorphic study of the mill creek drainage basin*. Oklahoma Geology Notes, 36, 3–16.
- Chen, Y.-C., Sung, Q., & 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(1–2), 109–137. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(03\)00059-X](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(03)00059-X)
- Cheng, K.-Y., Hung, J.-H., Chang, H.-C., Tsai, H., & Sung, Q.-C. (2012). Scale independence of basin hypsometry and steady state topography. *Geomorphology*, 171-172, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.04.022>
- Coşkuner, B., Eren, Y., Demircioğlu, R., & Aksoy, R. (2019). Fethiye Burdur Fay Zonu'nun kuzeydoğu kesiminin (Burdur-Güneybatı Anadolu) göreceli tektonik aktivitesinin jeomorfik indislerle incelenmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 62(3), 221–246. <https://doi.org/10.25288/tjb.546135>
- 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 of America Bulletin*, 106(5), 571–581.
- Cuong, N. Q., & Zuchiewicz, W. A. (2001). Morphotectonic properties of the Lo river fault near Tam Dao in North Vietnam. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1, 15–22. 10.5194/nhess-1-15-2001
- Davis, W. M. (1899). The geographical cycle. *The Geographical Journal*, 14(5). 481–504.
- Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A. A., Motamedi, H., & Hosseiniasl, A. (2010). Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran. *Geomorphology*, 121(3–4). 329–341. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.05.002>
- Duman, T. Y., Olgun, Ş., Çan, T., Nefeslioğlu, H. A., Hamzaçebi, S., Elmacı, H., Durmaz, S., & Çörekçioğlu, Ş. (2009). *Türkiye heyelan envanteri haritası 1/500.000 ölçekli Erzurum paftası*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., & Keller, E. A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96(1–2). 150–173. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004>
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Olgun, Ş., Özalp, S., & Elmacı, H. (2012). *1/250000 ölçekli Türkiye diri fay haritaları Erzurum (NJ 37-4) paftası*. Seri No:48. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., & Şaroğlu, F. (2013). Açıklamalı Türkiye diri fay haritası. ölçek 1:1.250.000. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Özel Yayın Serisi-30. Ankara-Türkiye. ISBN: 978-605-5310-56-1
- Figueiredo, P. M., Rockwell, T. K., Cabral, J., & Lira, C. P. (2019). Morphotectonics in a low tectonic rate area: Analysis of the southern Portuguese Atlantic coastal region. *Geomorphology*, 326, 132–151. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.02.019>
- Giaconia, F., Booth-Rea, G., Martínez-Martínez, J. M., Azañón, J. M., & Pérez-Peña, J. V. (2012). Geomorphic analysis of the Sierra Cabrera. an active pop-up in the constrictional domain of conjugate strike-slip faults: The Palomares and Polopos fault zones (eastern Betics. SE Spain). *Tectonophysics*, 580, 27–42. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.08.028>
- Gürboğa, Ş. (2015). Source Fault of 19 August 1966 Varto earthquake and its' mechanism: New field data, Eastern Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 111, 792-803. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.07.015>
- Hack, J. T. (1973). Stream-profile analysis and stream-gradient index. *Journal of Research of the Us Geological Survey*, 1(4). 421–429.
- Hare, P. W., & Gardner, T. W. (1985). Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins. Nicoya Peninsula. Costa Rica. In: M. Morisawa & J.T. Hack (Eds.), *Tectonic Geomorphology.: Proceedings of the 15 Annual Binghamton Geomorphology Symposium* September 1984. Boston: Allen & Unwin, 75-104.
- Harkins, N.W., Anastasio, D. J., & Pazzaglia, F. J. (2005). Tectonic geomorphology of the Red Rock Fault, insights into segmentation and landscape evolution of a developing range front normal fault. *Journal of Structural Geology*, 27(11), 1925-1939. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2005.07.005>
- Herece, E. (2008). *Doğu Anadolu Fayı atlası*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. 359 sayfa.
- Huang, X., & Niemann, J. D. (2006). An evaluation of the geomorphically effective event for fluvial processes over long periods. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 111(F3). <https://doi.org/10.1029/2006JF000477>
- Keller, E. A., & Pinter, N. (2002). *Active tectonics: earthquakes, uplift, and landscape*. Prentice-Hall. Upper Saddle River.
- Keller, E. A., & Rockwell, T. K. (1984). Tectonic geomorphology, Quaternary chronology, and paleoseismicity. In: Costa, J.E., Fleisher, P.J. (eds.), *Developments and applications of geomorphology*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-69759-3_7
- Luo, W. (2000). Quantifying groundwater-sapping landforms with a hypsometric technique. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 105(E1). 1685–1694. <https://doi.org/10.1029/1999JE001096>
- Mahmood, S. A., & Gloaguen, R. (2012). Appraisal of active tectonics in Hindu Kush: Insights from DEM derived geomorphic indices and drainage analysis. *Geoscience Frontiers*, 3(4), 407–428. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.12.002>
- Merritts, D., & 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. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1989\)101<1373:GROCST>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1989)101<1373:GROCST>2.3.CO;2)
- Miller, V. C. (1953). *A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area. Virginia and Tennessee*. Technical report, Columbia Univ. New York.
- Mirze, S. H. (2013). *Varto Havzası (Muş) ve çevresinin jeomorfolojisi*. [Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü].
- Moglen, G. E., Eltahir, E. A. B., & Bras, R. L. (1998). On the sensitivity of drainage density to climate change. *Water Resources Research*, 34(4). 855–862. <https://doi.org/10.1029/97WR02709>
- Mueller, J. E. (1968). An introduction to the hydraulic and topographic sinuosity indexes. *Annals of the Association of American Geographers*, 58(2). 371–385. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1968.tb00650.x>
- Ntokos, D., Lykoudi, E., & Rondoyanni, T. (2016). Geomorphic analysis in areas of low-rate neotectonic deformation: South Epirus (Greece) as a case study. *Geomorphology*, 263, 156–169. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.04.005>

- Ntokos, D. (2018). Formulation of the conceptual model for the tectonic geomorphological evolution of an area: five main rivers of Greece as a case study. *Catena*, 167, 60-77. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.04.022>
- Ohmori, H. (1993). Changes in the hypsometric curve through mountain building resulting from concurrent tectonics and denudation. *Geomorphology*, 8(4), 263–277. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(93\)90023-U](https://doi.org/10.1016/0169-555X(93)90023-U)
- Ouchi, S. (1985). Response of alluvial rivers to slow active tectonic movement. *Geological Society of America Bulletin*, 96(4), 504–515. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1985\)96<504:ROARTS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1985)96<504:ROARTS>2.0.CO;2)
- Pérez-Peña, J. V., Azañón, J. M., Booth-Rea, G., Azor, A., & Delgado, J. (2009a). Differentiating geology and tectonics using a spatial autocorrelation technique for the hypsometric integral. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 114(F2). <https://doi.org/10.1029/2008JF001092>
- Pérez-Peña, J.V., Azañón, J. M., & Azor, A. (2009b). CalHypo: An ArcGIS extension to calculate hypsometric curves and their statistical moments. Applications to drainage basin analysis in SE Spain. *Computers & Geosciences*, 35(6), 1214–1223. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.06.006>
- Pérez-Peña, J.V., Azor, A., Azañón, J. M., & Keller, E. A. (2010). Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis. *Geomorphology*, 119(1–2), 74–87. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.02.020>
- Piacentini, D., Troiani, F., Servizi, T., Nesci, O., & Veneri, F. (2020). SLIX: a gis toolbox to support along-stream knickzones detection through the computation and mapping of the stream length-gradient (SL) index. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(2), 69. <https://doi.org/10.3390/ijgi9020069>
- Raj, R., Maurya, D. M., & Chamyal, L. S. (1999). Tectonic geomorphology of the Mahi river basin. Western India. *Journal of Geological Society of India*, 54(4), 387–398.
- Ramírez-Herrera, M. T. (1998). Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic Belt. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23(4), 317–332. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199804\)23:4<317::AID-ESP845>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199804)23:4<317::AID-ESP845>3.0.CO;2-V)
- Rhea, S. (1993). Geomorphic observations of rivers in the Oregon Coast Range from a regional reconnaissance perspective. *Geomorphology*, 6 (2), 135-150. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(93\)90043-2](https://doi.org/10.1016/0169-555X(93)90043-2)
- Rockwell, T. K., Keller, E. A., & Johnson, D. L. (1985). Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura. California. *Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15th Annual Geomorphology Symposium*. Allen and Unwin Publishers. Boston. MA. 183–207.
- Sağlam Selçuk, A., & Düzgün, M. (2017). Başkale Fay Zonu'nun tektonik jeomorfolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 155, 33–47. <http://dx.doi.org/10.19076/mta.53825>
- Sançar, T., Zabcı, C., & Akyüz, H.S. (2011). Quaternary activity of Varto Fault Zone (Eastern Anatolia) and new ideas about 1966 Varto earthquake, *EGU General Assembly, Geophysical Research Abstracts*, 13, EGU2011-9498-1 Vienna, Austria
- Sançar, T., Zabcı, C., Akyüz, H.S., Sunal G., & Villa I.M. (2015). Distributed transpressive continental deformation: the Varto Fault Zone, eastern Turkey. *Tectonophysics*, 661, 99–111. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.08.018>
- Salvany, J. M. (2004). Tilting neotectonics of the Guadiamar Drainage Basin, SW Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29 (2), 145-160. <https://doi.org/10.1002/esp.1005>
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin*, 67(5), 597–646. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2)
- Schumm, S. A., Dumont, J. F., & Holbrook, J. M. (2000). *Active tectonics and alluvial rivers*. Cambridge University Press. 276 sayfa.
- Sharma, I. (2020). *Investigation of active tectonics in the Ramganga Basin Eastern Kumaon Himalaya using geomorphic Indices derived from digital elevation models*. [Ph. D. Thesis, Geology of the Aligarh Muslim University Department of geology].

- Silva, P. G., Goy, J. L., Zazo, C., & Bardajı T. (2003). Fault-generated mountain fronts in southeast Spain: Geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. *Geomorphology*, 50(1-3), 203-225. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00215-5](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00215-5)
- Sol, B. (2017). *Mudurnu Çayı Havzası'nın (Taşburnu-Abant Gölü batısı arası) flüvyo-tektonik jeomorfolojisi*. [Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü].
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117-1142. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2)
- Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel net work. In: Chow, V., (Ed.), *Handbook of applied hydrology*, McGraw Hill, New York, 39-76.
- Şaroğlu, F. (1986). *Doğu Anadolu'nun Neotektonik dönemde jeolojik ve yapısal evrimi*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi. https://eticaret.mta.gov.tr/index.php?route=product/product&product_id=7857
- Tarhan, N. (2002). *1/500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları Erzurum paftası*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
- Tonbul, S. (1990). Bingöl Ovası ve çevresinin iklimi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(1), 347-374.
- Tonbul, S. (1996). Bingöl Dağı'nın volkan morfolojisi ve volkanizma-tektonik ilişkileri. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(1), 311-340.
- Tonbul, S. (1997). Bingöl Dağı'nda buzul şekilleri. *Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 6, 347-374
- Topal, S., & Özkul, M. (2018). Determination of relative tectonic activity of the Honaz fault (SW Turkey) using geomorphic indices. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(6), 1200-1208. doi: 10.5505/pajes.2017.18199
- Topal, S. (2019). Karacasu Fayı'nın (GB Türkiye) göreceli tektonik aktivitesinin jeomorfik indislerle incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 37-48. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.409561>
- Wallace, R. E. (1968). Earthquake of August 19, 1966. Varto Area, eastern Turkey. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58(1), 11-45. <https://doi.org/10.1785/BSSA0580010011>
- Wells, S. G., Bullard, T. F., Menges, C. M., Drake, P. G., Karas, P. A., Kelson, K. I., Ritter, J. B., & Wesling, J. R. (1988). Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary pacific coast of Costa Rica. *Geomorphology*, 1(3), 239-265. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(88\)90016-5](https://doi.org/10.1016/0169-555X(88)90016-5)
- Willgoose, G., & Hancock, G. (1998). Revisiting the hypsometric curve as an indicator of form and process in transport-limited catchment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23(7), 611-623. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199807\)23:7<611::AID-ESP872>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199807)23:7<611::AID-ESP872>3.0.CO;2-Y)