

SİLLE ÇAYI HAVZASI'NIN (KONYA) MORFOMETRİK ÖZELLİKLERİNİN CBS İLE BELİRLENMESİ¹

Determination of Morphometric Features of the Sille Stream Basin (Konya) through GIS

İsmail EGE², Derya AVSEVER³

Öz

Bu çalışma ile Sille Çayı Havzası'nın morfometrik özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile (CBS) ortaya konulması amaçlanmıştır. Zira doğal ortam-insan ilişkilerinin bütüncül olarak ele alındığı morfolojik ünitelerden bir tanesi de havzalardır. Morfometri çalışmaları, havzaların jeomorfolojik özelliklerinin ve gelişimin açıklanmasında sayısal (kantitatif) veriler sunmaktadır. Alansal, çizgisel ve yüzeysel parametrelerin hesaplanabildiği bu analizler aktif tektonik sahalara, dağlık alanlara ve farklı morfolojik birimlere uygulanabilmektedir. Morfometrik indisler ile havzaların karakteristiklerinin belirlenmesi, havza üzerinde yapılacak planlamalar için önemli parametrelerdendir. Bu çalışmada Konya ili, Selçuklu ilçesi sınırları içerisinde il merkezinin kuzeybatısında yer alan tarihi ve turistik yönü ile ismini duyuran Sille yerleşmesinin de içerisinde yer aldığı Sille Çayı havzası incelenmiştir. Bunun için birçok fiziki ve beşeri unsuru bir arada bulunduran Sille Çayı Havzasında morfometrik indislerden; havza şekli (R_f), hipsometrik eğri (H_e) ve hipsometrik integral (H_i), havza asimetrisi (T), vadi tabanı genişliği – vadi yüksekliği oranı (V_f), akarsu gradyan indeksi (SL), akarsu sıklığı (Fs) ve eğim analizleri yapılmıştır. Bu analizlere göre; $R_f = 0,17$ (0,2) gibi oldukça düşük bir değer ile Sille Çayı Havzası'nın dar ve uzunlamasına bir havza olduğu, $H_i = 0,43$ ile olgun bir havza olduğu, yüksek eğim değerleri ile ise genç bir havza olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Jeomorfometri, havza morfometrisi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Sille çayı havzası, Konya

Abstract

In this study, it is aimed to reveal the morphometric properties of Sille Stream Basin through Geographical Information Systems (GIS). Morphological units are one of the basins in which the natural environment-human relations have been dealt with in a holistic manner. Morphometry studies provide quantitative data in explaining the geomorphological characteristics and development of the basins. These types of analysis, which include areal, linear and calculated surface parameters, can be applied to active tectonic areas, mountain areas and different morphological units. Morphometric indices and determining the characteristics of basins are the important parameters for basin planning. In this study, Sille Stream basin including the settlement of Sille, which is located in the northwest of the city center within the borders of Selçuklu district of Konya province and known for its historical and touristic aspect is examined. For this purpose; on the Sille Stream Basin which has many physical and humanitarian elements in combination and is constructed of from morphometric indices, the analyses of basin shape (R_f), hypometric curve (H_e) and hypometric integral (H_i), basin asymmetry (T), valley base width – valley height ratio (V_f), river gradient (SL), water flow (Fs) are analysed. According to these analyses, it is observed that the Sille Stream Basin is a narrow and longitudinal basin with a very low value of $R_f = 0.17$ (0.2), is a mature basin with $H_i = 0.43$, and also is a young basin with high slope values.

Keywords: Geomorphometry, basin morphometry, Geographical Information System (GIS), Sille river basin, Konya province.

¹ Bu Çalışma; Derya AVSEVER'in "Sille Çayı Havzası'nda Doğal Ortam-İnsan İlişkileri, Sorunlar ve Çözüm Önerileri" isimli yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

² Sorumlu yazar. Dr. Öğr. Üyesi. Uşak Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 0000-0001-5896-0440, ismail.ege@usak.edu.tr

³ Uşak Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 0000-0002-3586-1148, deryayavuz35@gmail.com

GİRİŞ

Morfometri çalışmalarının temelleri oldukça eskiye dayanmaktadır. Drenaj havzalarının morfolojik analizi ilk olarak Horton (1932) tarafından yapılmış olup, ondan sonra da birçok jeomorfoloj tarafından geliştirilmiştir (Kütükçü, Kaya, Kabdaşlı ve Gazioğlu, 2015). İlk çalışmalar; Horton (1932; 1945); Strahler (1950; 1952; 1957; 1964); Chorley (1957); Hack (1957; 1973); Melton (1957); Bull (1977; 1978); Keller (1986); Cox, (1994); Western, Finlayson, McMahon ve O’Neil (1997); Mayer (1990); Demouulin, (2011); Burbank ve Anderson (2012) tarafından yapılmıştır. Ülkemizde yapılan morfometri çalışmalarının bazıları ise; Turoğlu (1997); Cürebal (2004); Cürebal ve Erginal (2007); Erginal ve Cürebal (2007); Özdemir (2007; 2011); Öztürk ve Erginal (2008) Bahadır ve Özdemir (2011); Yıldırım ve Karadoğan (2011); Sarp, Geçen, Toprak ve Düzgün (2011); Uzun (2014); Avcı ve Günek (2015); Köle (2016); Topuz ve Karabulut (2016); Geçen ve Ölmez (2017); Topal, Keller, Bufe, & Koçyiğit (2016); Fural (2018); Ege, Polat ve İzmirli (2019); İzmirli ve Ege (2019); Zorer ve Tonbul (2019); Ege ve Duman (2020) tarafından yapılmıştır. Morfometri, yer şekillerinin kantitatif olarak ifade edilmesi olarak tanımlanmaktadır. En basit seviyede, yer şekillerinin hacim olarak yükseklik (maksimum, minimum ve ortalama) ve eğim açısından karakterize edilmesidir. Kantitatif ölçümler jeomorfolojlara objektif olarak farklı şekillerin karşılaştırılmasını ve bir bölgenin özel karakteristiğinin tanımlanması için daha basit parametreler (örneğin tektonik aktivite seviyesi gibi) ile hesaplanmasına izin vermektedir (Keller ve Pinter, 2002). Her geçen gün hem morfometrik analizlerin sayısı hem de yöntem olarak kullananların sayısı belirgin bir şekilde artmaktadır. Bu çalışma ile Konya Kapalı Havzası’nın küçük bir bölümünü oluşturan Sille Çayı Havzası’nın morfometrik özellikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Sille Çayı Havzasının Yeri ve Sınırları

Sille Çayı Havzası İç Anadolu Bölgesi’nin Konya Bölümü içerisinde “Büyük Konya Kapalı Havzası’nın” (Selçuk Biricik, 1998) batı kesiminde yer almaktadır. Konya şehir merkezinin kuzeybatısında yer alan havzanın sularını toplayan Sille Çayı’nın mansap kısmında tarihi Sille yerleşmesi yer alır (Şekil 1). Konya Kapalı Havzası’nın ova kısmına ulaştığı nokta esas alınarak havza sınırı belirlenmiştir. Buna göre 49,5 km² alan kaplayan Sille Çayı Havzası nispeten küçük ölçekli bir havzadır. Tamamen su bölümü çizgisi esas alınarak Sille Çayı Havzasının sınırları; kuzeydoğuda sırtları takip ederek Kedileryaylası Tepe (1291 m), Kızılhüyük Tepe (1579 m) ve İncik Tepe (1593 m)’den Ağlayançal Tepe (1925 m)’ye ulaşır. Kuzey sınırı Ağlayançal Tepe’den su bölümü çizgisini izleyerek Badılcakdere Havzası’ndan sırtlarla-basık tepelerle ayrılan kısımlardan Ortaçal Tepe (1859 m)’den Harmanyeri mevkiinden Toprakçal Tepe (1959 m)’ye ulaşmaktadır. Toprakçal Tepe aynı zamanda çalışma alanının en yüksek noktasıdır. Nispeten üçgenimsi bir şekle sahip olan havzanın güneybatı sınırı Toprakçal Tepe’den itibaren Altınapa baraj gölü havzasından basık tepe ve sırtlar ile ayrılan su bölümü çizgisini takiben, İnnice, Yokuşbaşı, Kuzutaşı mevki’den Keklik Tepe (1594 m)’den Büyük Gevelle Tepe (1709 m)’ye ulaşır. Büyük Gevelle Tepe güneybatı sınırındaki en yüksek noktadır. Bu noktadan itibaren sırtları ve tepeleri takip eden sınır birikinti yelpazeleri üzerinde Sille Çayının kanalı ile son bulur (Şekil 1). Sille Çayı Havzası’nda Selçuklu ilçe merkezinin bir kısmı, tarihi Sille yerleşmesi ve Tatköy mahalle yerleşmesi yer almaktadır.

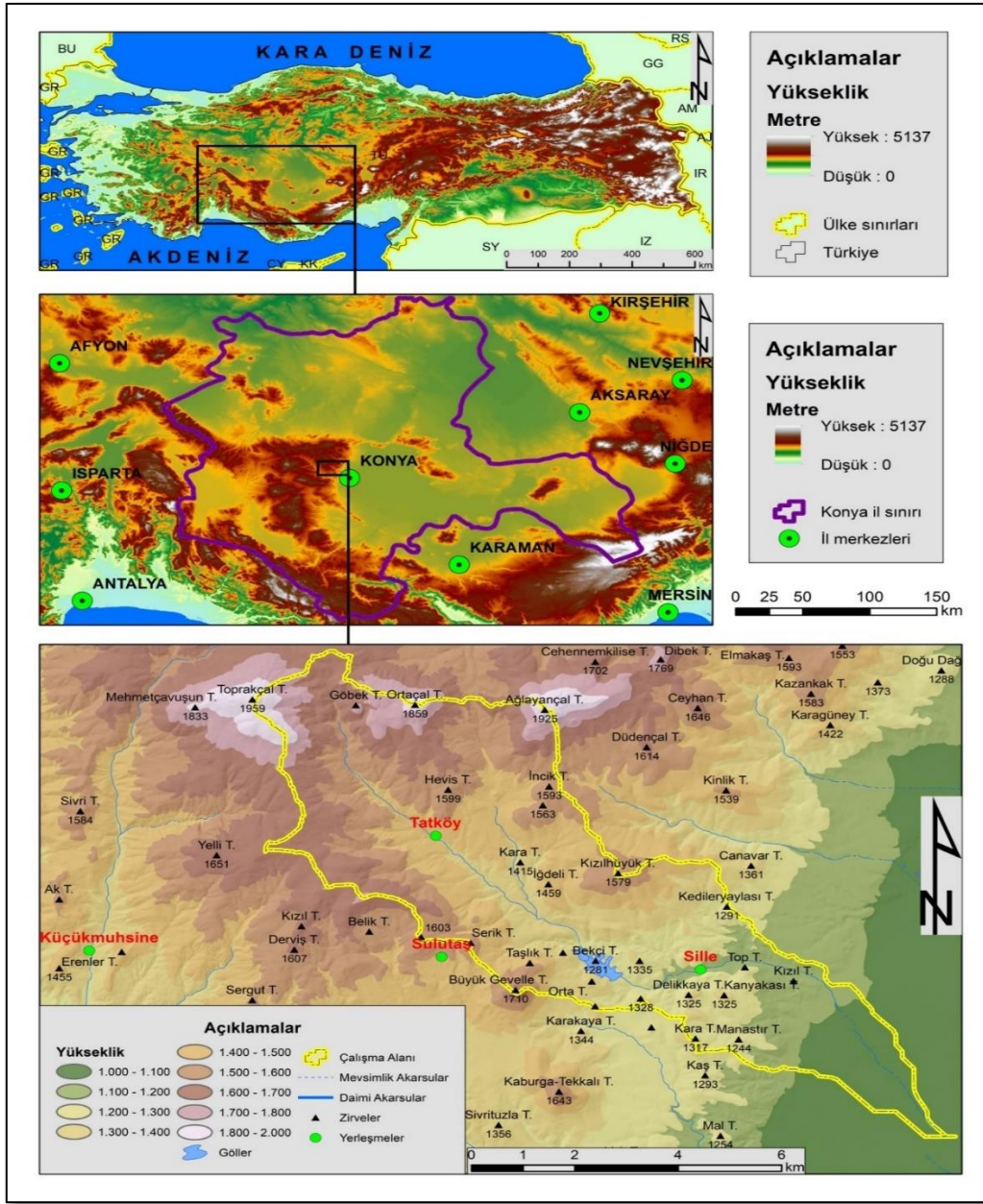
Bu çalışmanın amacı Sille Çayı Havzası’nın morfometrik özelliklerini, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisini kullanarak ortaya çıkarmaktır. Böylece çalışma sonucunda Sille Çayı Havzası’nın morfometrik özellikleri jeomorfolojik gelişimi ve havza oluşumu tektonizma ilişkisi belirlenmiş olacaktır. Bu kapsamda havzanın; şekli (Rf), hipsometrik eğri (He) ve hipsometrik integral indisi (Hi), akarsu uzunluk gradyan indisi (Sl), vadi tabanı genişliği-vadi yükseklik oranı (Vf) ve eğim özellikleri hesaplanarak morfometrik özellikleri ortaya çıkartılacaktır.

YÖNTEM VE MATERYAL

Sille Çayı Havzası’nın morfometrik özelliklerini ortaya çıkarmayı amaçlayan bu çalışmada, öncelikle sahanın 1/25.000 ölçekli M28b1 ve M28b2 kodlu topografya haritaları temin edilmiştir. Havzada eğimin yüksek olduğu kesimlerde eş yükselti eğrileri 10 m aralıklarla, eğimin düşük olduğu düz alanlarda ise eş yükselti eğrileri 5 m aralıklarla sayısallaştırılmıştır. Üretilen bu veriden hareketle birikinti koni ve yelpazelerinin olduğu sahalarda ayrıntının gözden kaçmaması ve sahanın daha gerçekçi modellenbilmesi amacı ile 5 m çözünürlükte Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) verisi üretilmiştir. Böylece araştırma sahasının eğim (slope), kabartma (hillshade) haritaları elde edilmiştir. Yine DEM verisinden havza analizlerine yönelik olarak; havza sınırı (watershed), akarsu dizinleri (stream order) ve havza ortası eksen analizi (HOE) yapılmıştır. Çalışmada jeomorfolojik gelişimin yorumlanmasına altlık teşkil etmesi için sahanın 1/25.000 ölçekli jeoloji haritaları MTA’dan ve sahada yapılan jeoloji çalışmalarından temin edilerek yeniden çizilmiştir. Tüm verilerin CBS ortamına aktarılmasından sonra lokasyon, fiziki, jeoloji, jeomorfoloji ve diğer analizlere yönelik görseller oluşturulmuştur.

Araştırma sahasının jeomorfolojik özelliklerini ortaya koyabilmek için öncelikle havza şekli ve drenaj özellikleri analizi yapılmıştır. Buna göre havza şeklini belirlemek için havza alanı maksimum havza uzunluğunun karesine oranlanmıştır (Horton, 1932). Araştırmada kullanılan diğer indisler ise eğim ve yükseklik değerlerinin hesaba katılarak yapılan hesaplamalardır. Bunlar; hipsometrik eğri (yüksekliğin drenaj havzası içindeki dağılımını gösterir) - hipsometrik integral

(hipsometrik eğri altında kalan toplam alanı ifade eder), havza reliefi (B_h) (havzanın en yüksek noktası ve en alçak noktası arasındaki maximum dikey uzaklığı ifade eder, Keller ve Pinter, 2002), vadi tabanı genişliği-vadi tabanı oranı (V_f), akarsu gradyan indeksi (SL), çatallanma oranı (R_b), uzunluk oranı (RL) ve alansal morfometrik özellikler ile ilgili analizlerdir.



Şekil 1. Sille Çayı Havzası'nın Lokasyon Haritası

Araştırma sadece analiz sonuçlarını dikkate alarak yapılmamıştır. Her bir analiz sonucunda elde edilen verilerin doğruluğu ve morfolojideki uyum ve uyumsuzlukların tespiti için birçok kere arazi çalışması yapılmıştır. Arazi çalışmaları ile havza şekillenmesinde etkili olan faylar ve birçok coğrafi gerçeklik yerinde gözlemlenmiştir. Analizlerin ve görsellerin oluşturulmasının ArcGIS 10.8 paket programının kullanıldığı çalışma detaylı literatür araştırması ile başlamış, analiz çalışmaları yapılmış ve sonuçlarının arazi çalışmaları sonucu doğrulaması yapılarak çalışma sonuçlandırılmıştır.

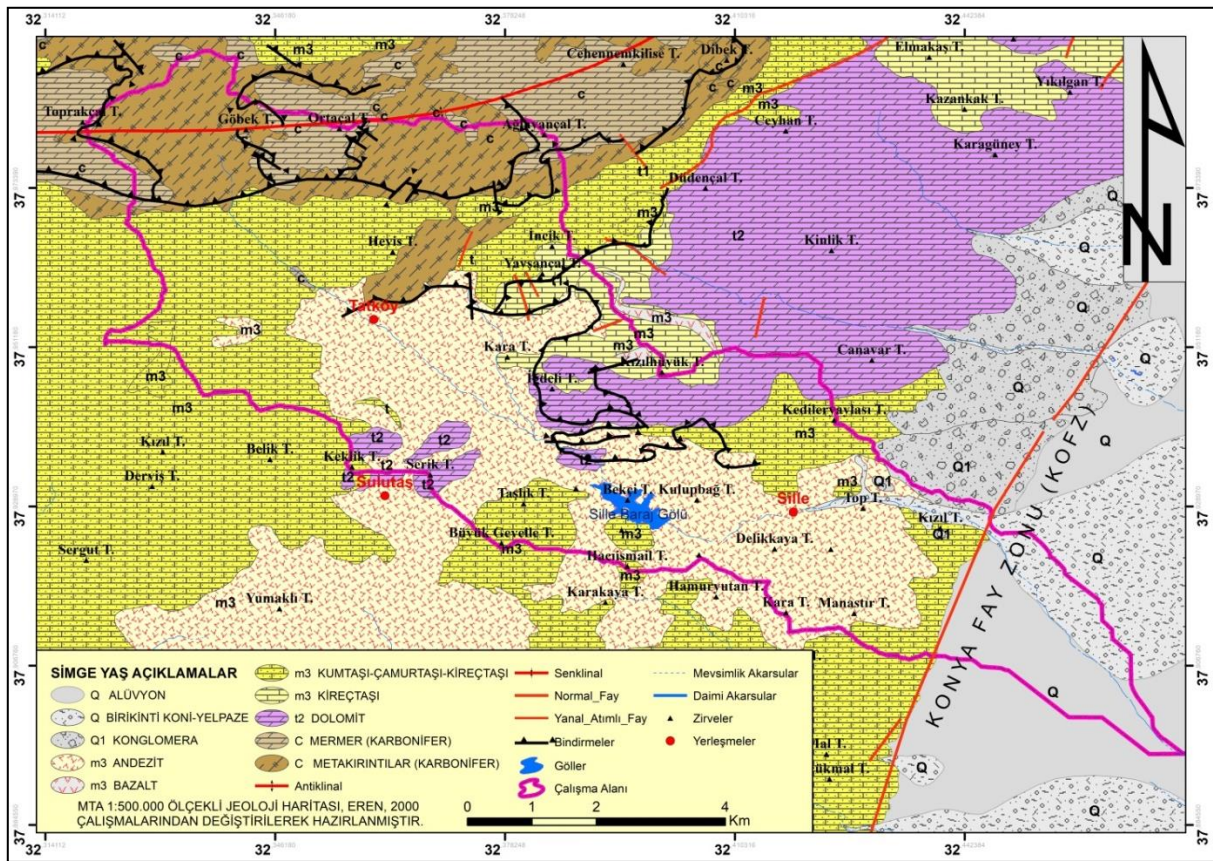
Jeolojik Özellikler

Sille Çayı Havzası'nda en alt seviyede Kuvaterner yaşlı Konya Ovası'ndan başlayarak Toprakçal ve Ağlayançal Tepelerine kadar birçok döneme ait kayaç topluluklarına rastlanılır. Jeolojik değerlendirmelere uygun olarak en eski dönemden en genç döneme kadar litolojik özellikler ortaya konulacaktır. Morfolojik olarak en yüksek noktaları teşkil eden bu sahalar jeolojik olarak temel arazileri teşkil etmektedir. Paleozoyik dönemin Silüriyen-Alt Karbonifer dönemine ait bu temel arazi Sızma Grubu'nun en yaşlı birimini oluşturmaktadır. Stratigrafik olarak tabanı gözlenemeyen Karbonifer yaşlı

Bozdağ formasyonu Doğan (1975) tarafından tanımlanmıştır. Bu formasyon resifal karmaşık özellikli kristalize kireçtaşı, mermer, dolomitik kireçtaşı ve dolomitlerden yapıdadır (Eren, 1996). Bu formasyon yanal ve düşey olarak genellikle fliš türü kayalardan ibaret Devoniyen – Alt Permiyen yaşlı Bağrıkurt formasyonuna (Üstündağ, 1987) geçiş gösterir. Bağrıkurt formasyonunun litolojilerini genelde yeşil gri renkli fillit, şist, türbidik metakumtaşı, metakonglomera, rekristalize kireçtaşı ve metaçört ardalanması ile değişik boyutlardaki ekzotik metakarbonat blokları oluşturur (Eren, 1996). Araştırma sahasındaki Ağlayançal, Ortaçal ve Toprakçal tepeleri bu döneme ait kireçtaşlarından meydana gelmektedir.

Sille Çayı Havzası'nda Mesozoyik yaşlı kireçtaşları Lorasdağı formasyonunu oluşturur. Havzanın kuzey-kuzeydoğu kesiminde Kedileryaylası Tepesi kuzeyinde Canavar Tepe, batısında İğdeli ve Kızılhüyük Tepeleri Mesozoyik döneme ait kireçtaşlarından müteşekkildir. Lorasdağı Formasyonu olarak tanımlanan bu birim rekristalize kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarından meydana gelmekte olup Üst Triyas - Alt Kretase dönemine aittir (Eren, 1996). Genel olarak altta Tersiyer formasyonlar ile üst kısımda Paleozoyik formasyonlar arasında uyumsuzluk söz konusudur.

Sille Çayı Havzası'ndaki Tersiyer dönemine ait farklı karakterde birçok litolojik birim mevcuttur (Şekil 2). Genel olarak Paleozoyik-Mesozoyik döneme ait temel litoloji üzerine açılal uyumsuzlukla Geç Miyosen-Erken Pliyosen dönemine ait Sille, Yalıtepe, Ulumuhsine, Küçükmuhsine formasyonları, Sulutaş volkanitleri ve Erken Pliyosen yaşlı Yürükler formasyonu gelir (Özkan, 2017). Havzada, ince kalınlıkta ve dar alanlarda yayılım gösteren kumtaşı, konglomera ve çamurtaşından oluşan kayaç topluluğu, Üst Miyosen-Pliyosen çökellerinin tabanında "Dilekçi formasyonu" içerisinde tanımlanmıştır (Göğer ve Kiral, 1969; Görmüş, 1984; Özkan 2017) Buna ek olarak Eren (1993) Sille'nin kuzeydoğusundaki stratigrafik ve fasiyes yönünden tip yeri olarak gördüğü birimi "Sille formasyonu" ismi ile incelemiştir. Formasyonun ağırlıklı litolojisini genelde kırmızı ve kahve renkli kumtaşı, konglomera ve çamurtaşı oluştursa da egemen litoloji matris destekli konglomeralardan oluşur. Örtü kayalarının ilk topluluğu olan Üst Miyosen - Pliyosen Dilekçi Grubu alttan üste doğru birbirleriyle yanal ve düşey geçişli karasal kırıntılardan yapıllı Sille: gösel kireçtaşı, marn, kumtaşı ve çamurtaşından ibaret Ulumuhsine, tüf – tüfit, volkanik breşlerden oluşmuş Küçükmuhsine formasyonu ve bu formasyonlar arasına dayk boyun (neck) ve dom şeklinde yerleşmiş andezit ve dasitten yapıllı Sulutaş volkanitleri ile alüvyal kompleks şeklindeki Yürükler formasyonunu kapsamaktadır (Eren, 1996).



Şekil 2. Sille Çayı Havzasının Jeoloji Haritası

Kumtaşları kırmızı, gri renkli olup, orta-çok kalın yapıdadır. Bileşenlerini kuvars, plajiolklas, çört, karbonat, radyolarit, metamorfik kayaç parçacıkları, biyotit ve ağır mineral oluşturur. Kil matrisi içeren kumtaşları ince-iri taneli olup, bazı

düzeylede iyi, bazı düzeylerde kötü boylanmalıdır. Ender olarak normal derecelenmelidir. Çoğunlukla kalsit, az olarak da demiroksit çimentoludur. Kırmızı, sarı renkli çamurtaşları ise ince-çok kalın tabakalanmalıdır. Bazı düzeylerde çakıllı-kumlu çamurtaşı özelliğindedir (Eren, 1996; Özkan ve Söğüt, 1999; Özkan, 2017).

Konglomeralar çamur matriksli, az miktarda kum matriksli ve büyük oranda masif konglomeralardan meydana gelir. Kötü boylanmalı, kaba ters derecelenmeli, ince-iri taneli, genelde kırmızı ama yer yer gri ve sarı renktedir. Polijenik özellikteki konglomeranın çakıllarını ise daha çok kireçtaşı, daha az da radyolarit, kuvarsit, çört, serpantin ve ender olarak da manyezit çakılları oluşturur. Orta sıkı karbonat, yer yer de zayıf kil çimentoludur (Eren, 1996; Özkan ve Söğüt, 1999; Özkan, 2017).

Çamurtaşları, kırmızı, sarı renkte olup, yer yer kırmızı-sarı renkli ardalanmalar gösterir. Yer yer çakıllı kumlu özellikteki bu çamur taşları çok kalın ve ince tabakalanmalıdır. Bu birim litolojik ve sedimantolojik ve özelliklerine göre, muhtemelen Geç Miyosen esnasında etkinleştigi düşünülmektedir. Bu esnada blok faylanmaları sonucu, yükseltelerin eteklerinde çamur ve moloz akmaları, örgülü akarsu çökelleri ile karakterize olan alüvyal ve flüvyal yelpaze çökelleri şeklinde gelişmiştir (Eren, 1996; Özkan ve Söğüt, 1999; Özkan, 2017).

Araştırma sahasındaki en genç birimi ise Konya Ovası'nın üzerine doğru yayılım gösteren birikinti koni-yelpazesi ile temsil olunur. Konya Ovası'nı oluşturan Sille Çayı'nın getirmiş olduğu en genç malzemelerle şekillenen bu yelpaze ve koniler çok gevşek malzemelerle çok yakın zamana kadar oluşumunu tamamlamıştır. Özellikle Sille baraj göletinin çayın taşımış olduğu malzemeleri bırakmasını sağlamıştır. Böylece Sille içerisinde çay yatağı boyunca yapılan setler de sediment akışını tamamen durdurmaktadır.

Jeomorfolojik Özellikler

Sille Çayı Havzası Konya ovası'ndan (1030 m) başlayarak Büyükçal Tepesine (1959 m) kadar; ova, vadiler, plato ve dağlık-tepelik alanlar olmak üzere birçok jeomorfolojik birimi bir arada bulundurmaktadır. Araştırma sahasında özellikle doğudan batıya doğru bazıları volkanik, bazıları ise Paleozoik döneme ait kireçtaşlarından müteşekkil tepeler bulunmaktadır. Bu volkanik tepelerin en yükseği Gevenli (Büyük Gevele) (1851 m)'dir. İkinci sırada ise Takkeli Dağ (Küçük Gevele) (1643 m) gelmekte olup bu iki tepe Sille Çay Havzası'na hâkim konumda olan volkanik tepelerdir. Sille bölgesindeki diğer yükselteler İncik (1579 m), Keklik (1603 m), Kızılhüyük (1579 m), Hevis (1599 m), Salasorma (1328 m), Deliklikaya (1345 m) ve Kanyakası (1325 m) tepeleridir. Sille civarındaki volkanik arazi, çok safhalı bir volkanik faaliyetin temsilcisidir (Aklanoğlu ve Erdoğan, 2011; Selçuk Biricik, 1998).

Sille Çayı Havzası yükselti basamaklarına göre çeşitli kademelerde plato alanlarını parçalayarak gelişmiştir. Bu basamaklar yüksek platolar (1600 – 1800 m), orta platolar (1400 – 1600 m) ve alçak platolar (1200 – 1400 m) olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 3). Havzanın en alçak kısmı ise Büyük Konya Kapalı Havzası içerisinde yer alan Konya Ovası'dır. Bu alan ise tamamen birikinti yelpazesine karşılık gelmektedir (Şekil 3).

Jeomorfometrik Analizler

Sille Çayı Havzası'nda morfometrik analizlerden havza şekli (R_f) ve drenaj özellikleri, hipsometrik eğri (H_e) ve hipsometrik integral (H_i), havza asimetrisi (T), vadi tabanı genişliği – vadi yüksekliği oranı (V_f), akarsu gradyan indeksi (SL), çatallanma oranı (Rb), uzunluk oranı (RL), bazı alansal morfometrik özellikler (akarsu sıklığı (Fs), akarsu yoğunluğu (Dd), havza reliefi (Bh) vb.) ve eğim analizleri yapılmıştır. Bu kısımda bu analizler tek tek ele alınacaktır.

Havza Şekli (R_f), Reliefi (Bh) ve Drenaj Özellikleri

Havza şekli, havzanın büyüklüğüne, ana akarsuyun su toplama havzasının çevre uzunluğuna bağlıdır. Bu da sonuçta şekil olarak neye benzediğini ifade etmektedir. Bu şeklin ortaya çıkışı, morfolojik evrim, eğim değerleri, bakı, jeolojik yapı ve litolojik özelliklerle bağlantılıdır. Böylece bazı havzalar uzunlamasına olurken bazı havzalar dairesel bazı havzalarda enlemesindedir. Horton (1945) en ideal havza şeklinin "Armut Şeklinde" olan havzalar olduğunu ifade etmiştir.

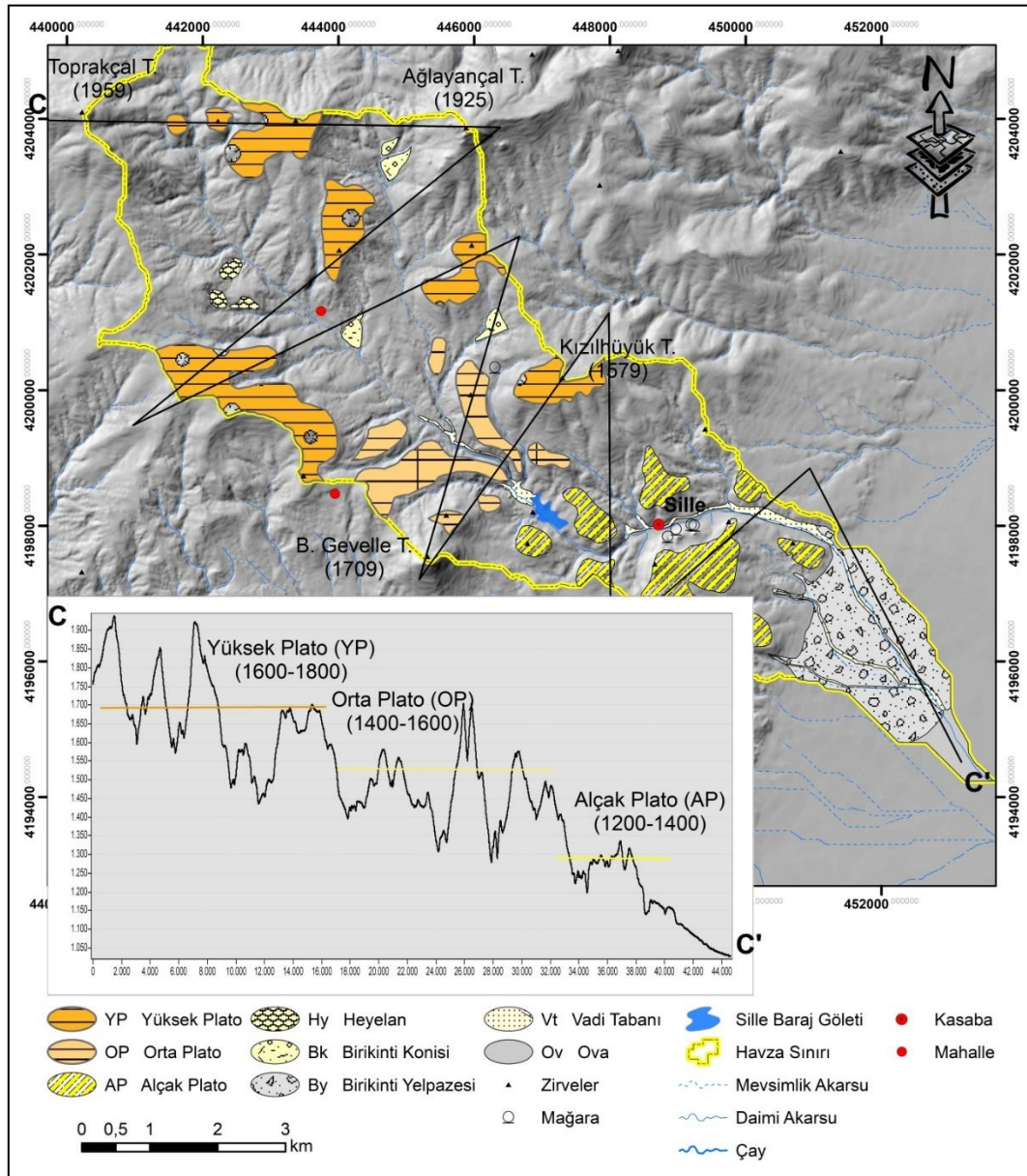
Havza şekli (R_f), havza alanının maksimum havza uzunluğunun karesine oranıdır (Horton, 1945). Bu şekilde hesaplanarak ortaya çıkan havza şekli yorumlamada çok büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Havza Şekli formülü; $R_f = A / Lb^2$ dir. Formülde;

A : Havza alanı (km^2), 49,5 km^2

Lb: Havza uzunluğu (km) dir. 16,6 km (275,6 km^2) .

$R_f=0,2$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. Sille Çayı Havzası'nın Genelleştirilmiş Jeomorfoloji Haritası ve Çeşitli Seviyelerde Tespit Edilen Düzlükler (Platolar).

"Düşük R_f değerinin sahip olduğu havzalar kısa zamanda yan kollardan gelen az akımla, uzun süreli meydana gelecek yüksek ana akımın görüleceği bir şekil arz eder. Yüksek R_f değerlerinin görüldüğü havzalarda ise bu durumun tam tersi olarak uzun zamanda yan kollardan gelen yüksek akımla, kısa süreli düşük ana akımın görüldüğü ve kısa süreli maksimum akıma neden olan bir şekil ortaya çıkartır" (Biswas, Sudhakar and Desai, 1999; Reddy, Maji ve Gajbhiye, 2004; Özdemir, 2007). "Bu özellik, havzaların dairesel veya uzunlamasına olup olmadığı konusunda bilgi verir" (Özdemir, 2011). Tektonizmanın etkisi ile şekillenmiş havzada sel ve taşkın durumunda yan kollar bir anda etkin olmakta ani ve kısa süreli sel felaketleri yaşanmaktadır (Özdemir, 2011).

Havza reliefi (Bh), Havzanın en yüksek noktası ve en alçak noktası arasındaki yükselti farkını ifade eder.

$Bh = H_{max} - H_{min}$. Formülde;

H_{max} : Havzanın en yüksek noktası (m),

H_{min} : Havzanın en alçak noktası (m) dir.

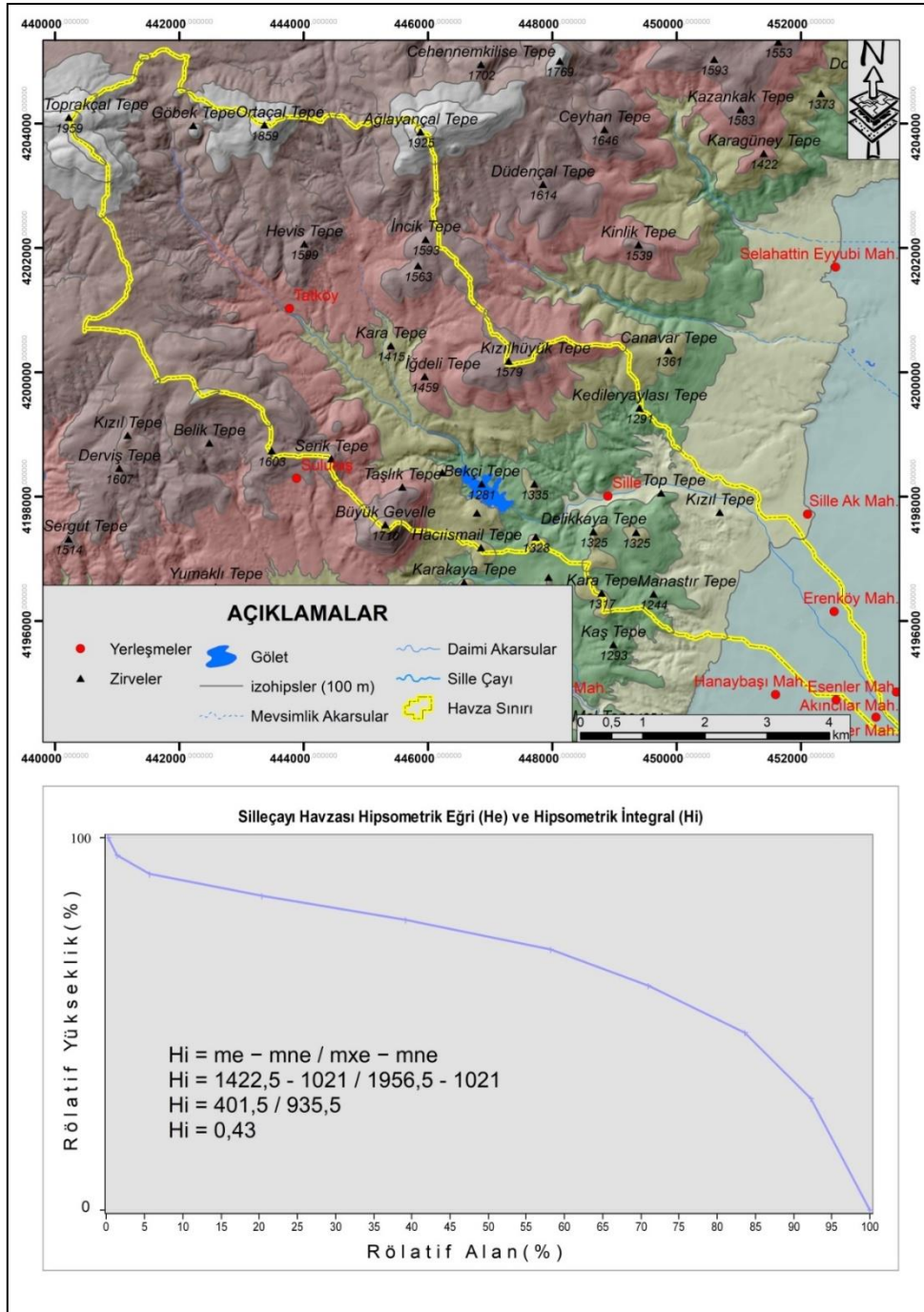
$Bh = 1959 - 1020$

$Bh = 939$ m

Havza reliefi ve havza eğimi önemli hidrolojik parametrelerdir. Artan relief değerleri, daha dik yamaçlara ve yüksek dere yatağı eğimlerine, akım toplanma zamanının azalmasına ve sonuç olarak da taşkın pikinin artmasına neden olur. Ayrıca

eder. Hipsometrik eğri elde edilmesinde, özellikle topografyanın gerçek alanının hesaplanmasında CBS yazılımları önemli kolaylıklar sunmakta, istenen yüksekliğin üst ve alt yükseklikleriyle ilgili olarak gerçek alanlar hesaplanabilmektedir (Özdemir, 2011).

Sille Çayı Havzası'nın en alçak kısmı Sille Çayı Vadisi çıkışı olup Konya Ovası'nın (1030 m) kenar kısmıdır. En yüksek noktası ise Toprakçal Tepe 1959 m'dir. Güneydoğu'dan kuzeybatıya doğru yükselerek genişleyen havzada Hipsometrik eğri, havzanın genç bir havza olduğunu göstermektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Sille Çayı Havzası'nın Hipsometrik Eğri(He) ve İntegrali (Hi)

Hipsometrik integrali (Hi) hesaplamak, bir havza için Hipsometrik eğriyi oluşturmanın en basit yoludur. Basitçe hipsometrik eğrinin altındaki alan olarak tanımlanır ve şöyle hesaplanır (Keller ve Pinter, 2002):

Hi = Ortalama yükseklik - minimum yükseklik / Maksimum yükseklik - minimum yükseklik

Hi = me - mne / mxe - mne

Hi = 1422,5 - 1021 / 1959,5 - 1021

$$H_i = 401,5 / 938,5$$

$$H_i = 0,43$$

Yüksek hipsometrik integral değerleri derine doğru kazılmış vadileri olan çoğunlukla düz alanları temsil ederken, orta ve düşük hipsometrik integral değerleri daha dengeli aşındırılmış drenaj havzalarını işaret eder (Strahler, 1952). Sille Çayı Havzası'nda hipsometrik integral 0,43 olarak hesaplanmıştır. Bu da havzanın dengeli aşındırılmakta olan bir havzaya karşılık geldiğini göstermektedir.

Hipsometrik eğri ve integral değerleri hesaplanırken litolojinin dirençli veya aşınımına karşı dirençsiz kayalardan oluşması nispeten sonucu etkilemektedir. Aşınımına karşı dirençsiz olan sahalarda hipsometrik eğri daha ileri düzey (olgun) bir şekil sunarken, aynı süre geçmesine rağmen aşınımına karşı dirençli sahalarda daha genç bir şekil sunabilmektedir. Bundan dolayı bir sahada sadece hipsometrik eğri ve integral değerine bakılarak arazinin jeomorfolojik süreci hakkında yargıya varılmamalı çıkan sonuç mutlaka arazi gözlemleriyle de teyit edilmelidir.

Havza Asimetrisi

Havza asimetrisini belirlemek için yöntem olarak "Transverse Topografik Simetri Faktörü" kullanılmıştır. Bu faktör $T = D_a / D_d$ eşitliğine dayanmaktadır. İlk defa Cox (1994) tarafından ortaya konulan bir indistir. Havzaların tektonik etkiye maruz kalıp kalmama durumu ve de tektonik etkinin hangi istikametlerden ne oranlarda etkili olduğunu belirleme ve yorumlama da oldukça etkili olan bir morfometrik indistir.

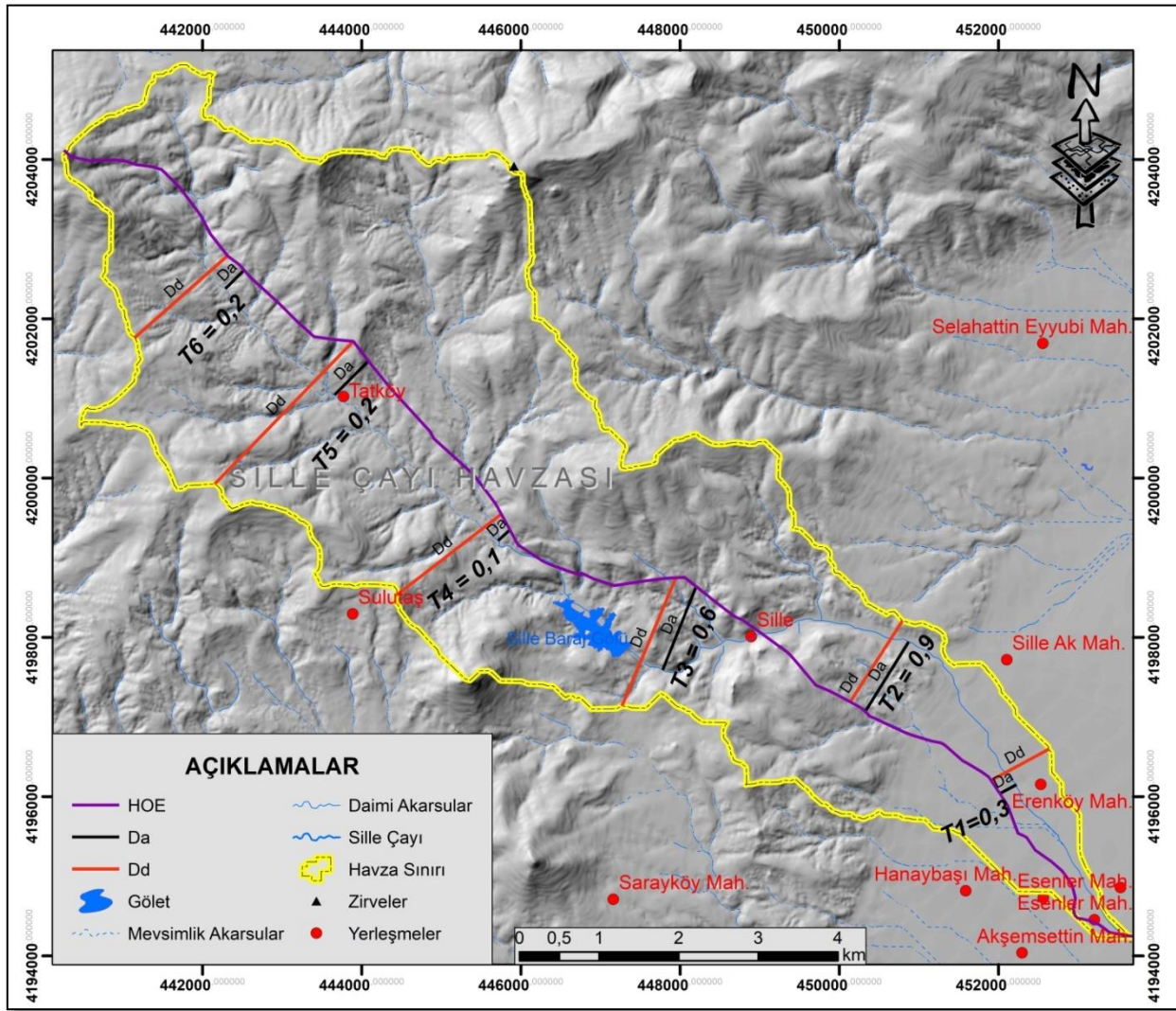
$T = D_a / D_d$ eşitliğinde;

T = Transverse topografik simetri faktörü

D_a = Akarsuyun havza ortası çizgisine olan uzaklığı

D_d = Havza ortası çizgisinin havza kenarına olan uzaklığı

Yapılan hesaplama sonucunda ortaya çıkan değer 0'a yaklaştıkça havza simetrik, 1'e yaklaştıkça havza asimetric bir özellik göstermektedir. Sille Çayı havzasının aşağı, orta ve yukarı çığırında genel olarak eşit mesafeye yakın 6 adet noktada yapılan hesaplamalar sonucunda havza asimetrisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Buna göre havza asimetrisinin çok yüksek olduğunu ve havzada tektonizmanın etkin olduğunu görmekteyiz. Aşınma ve taşınma faaliyetlerinin normal seyrettiği kısımlarda havza simetrisinin 0'a yakın değerler gösterdiğini söyleyebiliriz. En yüksek havza asimetrisi Sille Çayı'nın, havzayı terk etmeye yakın kısmında nispeten boğaz karakteri gösteren Sille yerleşmesi girişinde (0,9) hesaplanmıştır. Pliyosen ve Kuvaterner volkanizması ve tektonik aktivite bu asimetrinin ortaya çıkmasında etkili olduğu düşünülmektedir (Şekil, 6). Muhtemelen Sille Çayı kuruluş aşamasında Sille Baraj Gölet'inin bulunduğu kısımdan Sarayköy istikametinde şundaki Mor Dere Vadisi'ne karşılık gelen alanda akış göstermekteydi. Takkalı Tepesi'nin doğu kısmındaki drenaj yapısı (Mor Dere Vadisi büyüklük ve akış istikameti) bunu doğrulamaktadır. Pliyo-Kuvaternerde meydana gelen faylanmalar akarsuyun doğuya yönelmesine ve bu kesimden ovaya açılmasına neden olmuştur. Böylece bu kısımda da havza asimetrisi normalin çok üzerinde hesaplanmıştır. Havzadan alınan noktalarda yapılan hesaplamalar sonucunda genel olarak ortalama havza asimetrisinin 0,4 olduğu görülmektedir (Tablo 1).



Şekil 6. Sille Çayı Havzasında Asimetri Durumu

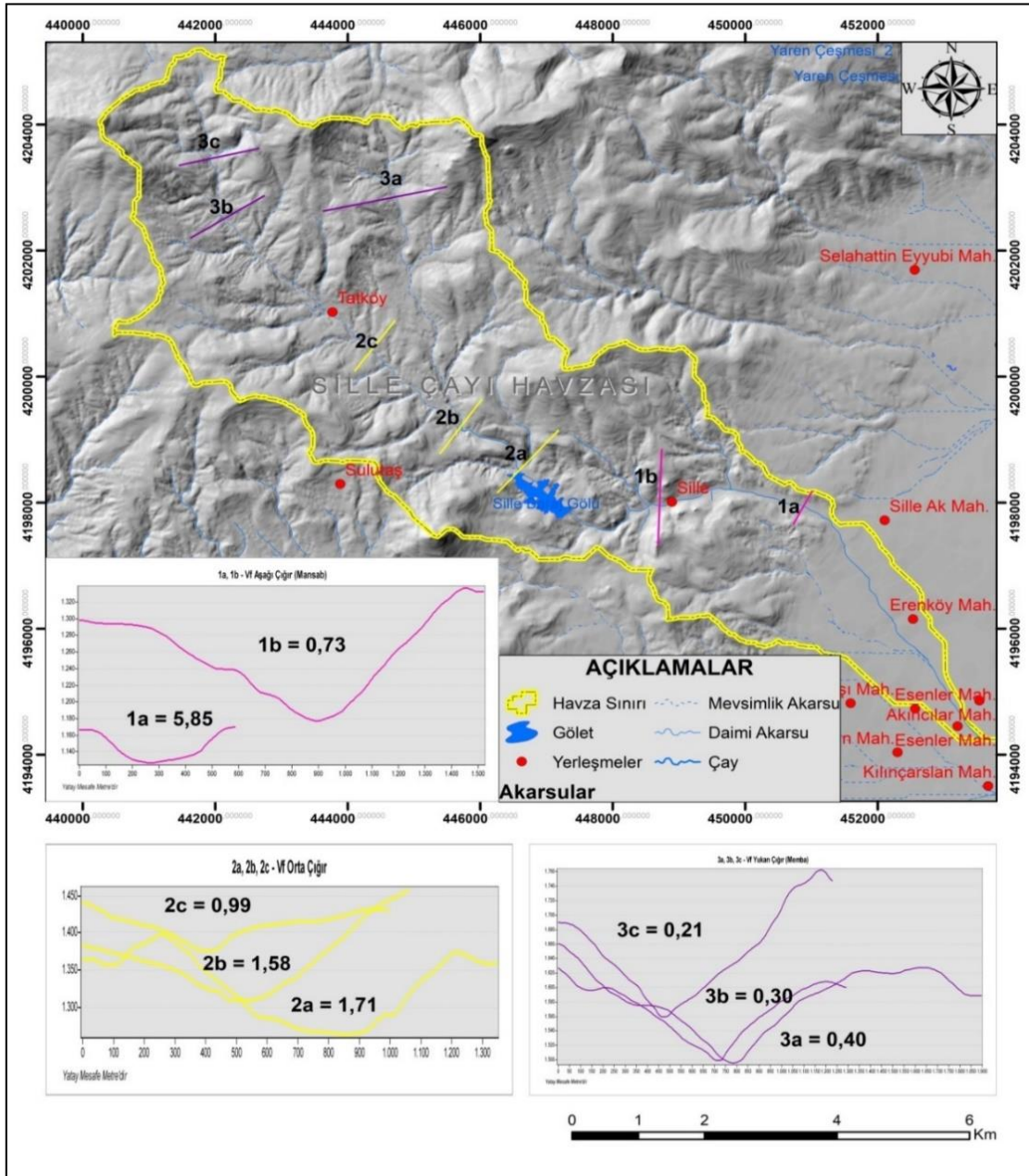
Tablo 1. Sille Çayı Havzasında Çeşitli Noktalarda Hesaplanan Asimetri Faktörleri

Asimetri (T)	Uzunluk (m)	T = Da / Dd
	Da	237,1
T1	Dd	822,7
	Da	1031,4
T2	Dd	1211,0
	Da	1129,9
T3	Dd	1746,0
	Da	202,1
T4	Dd	1657,5
	Da	603,6
T5	Dd	2499,3
	Da	330,1
T6	Dd	1553,0
Ort. T =		0,4

Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Tabanı Oranı (Vf)

Bu indis ilk olarak Bull ve Mcfadden (1977) tarafından geliştirilmiştir. Burada elde edilmek istenen vadilerin enine profillerinin "V" veya "U" şekilli olup olmadıklarıdır. Elde edilen sonuca göre vadilerin aşınımın hangi safhasında olduğunu belirlemek için kullanılmış bir indistir. Bu da akarsu havzasında tektonik etkinin derecesini göstermektedir.

Bu indis hesaplamasına göre Vf değerlerinin 1'den küçük olan vadiler genellikle yeni kurulmakta olan kerkent vadileri göstermektedir. Bu alanlar tektonizmanın çok aktif olduğu genç sahalarda akarsuyun özellikle derine aşındırmasının söz konusu olduğu, profil olarak V şekilli vadiler olarak kategori edilir. 1 ve 1.5 arasındaki Vf değerleri orta derecede aktif tektoniği, 1.5'ten büyük olan değerler ise aşındırmadan daha çok biriktirmenin hâkim olduğu U profilli vadiler olarak sınıflandırılır (Bull ve Mcfadden, 1977; Bull, 1978). Sille Çayı Vadisi üzerinde üç bölümde 8 noktadan Vf değerleri hesaplanmıştır. Genel olarak Sille Çayı'nın memba kısımlarında 1'den düşük Vf değerleri bulunurken (ortalama 0,30) mansap kısmında 5,5'un üzerinde Vf değeri hesaplanmıştır (Şekil 7; Tablo 2). Ortalama değerlere bakıldığında Sille Çayı Havzası'nın dengeli bir şekilde aşındırılmakta olan bir havza olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Sille Çayı Havzasında Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Tabanı Oranı (Vf) Değerleri Kesit Alma Noktaları

Tablo 2. Sille Çayı Havzasında Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Tabanı Oranı (Vf) Hesaplamaları

	Aşağı çığır	Orta çığır	Yukarı çığır
Sille Çayı Havzası	1a = 5,85	2a = 1,71	3a = 0,40
	1b = 0,73	2b = 1,58	3b = 0,30
		2c = 0,99	3c = 0,21
ORTALAMA	3,29	1,43	0,30

Akarsu Uzunluk Gradyan İndeksi (SL)

Akarsu Uzunluk Gradyan İndeksi ilk olarak Hack (1973) tarafından ortaya konulmuştur. Temeli Hack'ın 1957 yılında yaptığı çalışmaya dayanan bu indis akarsuyun gücü ile ilişkilidir. *Akarsuyun belli bir kolundaki toplam akarsu gücü, akarsu aşındırması ve akarsuyun aşındırdığı materyalleri taşıma kapasitesini belirleyen bir değişkendir. SL değerleri arttıkça akarsuyun yatak eğimi artmakta ve aşındırma hızlanmaktadır* (Cürebal ve Erginal, 2007).

Bu indeks şu formülle hesaplanır;

$$SL = (DH/DL) \times L$$

Bu formülde SL akarsu uzunluk-eğim indeksini, DH/DL akarsu eğimi ya da zirveye olan eğimi (DH zirveyle olan yükseklik farkını ve DL zirveye olan yatay mesafeyi) temsil eder, L ise akarsu kanalının ilgilenilen noktasından kanalın en üst seviyesine kadar olan kanal uzunluğunu ifade eder (Tablo 3).

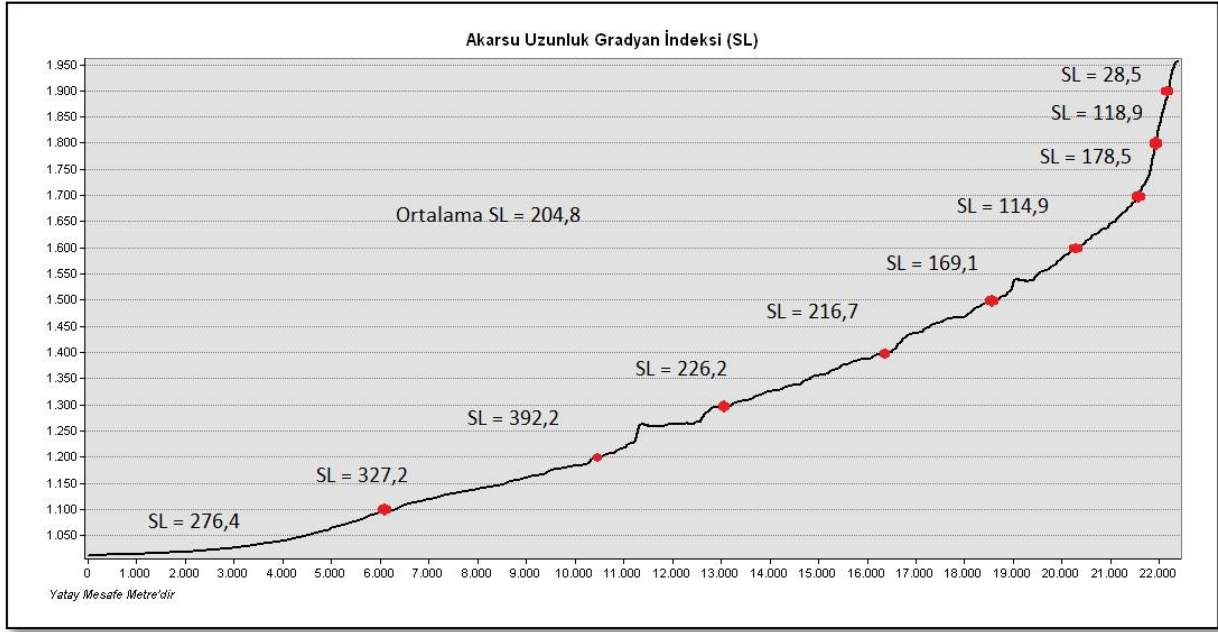
Tablo 3. Sille Çayı Vadisi Boyunca Akarsu Uzunluk Gradyan (SL) İndeksi Tablosu

Yükselti Farkı	DH Akarsuyun başlangıç bitiş yükselti aralığı	DL Akarsuyun incelenen parçasının boyu	L Orta noktadan membaa ya uzaklık	SL
90	1010-1100	6505	19975,5	276,4
100	1100-1200	4433	14506,5	327,2
100	1200-1300	2779	10900,5	392,2
100	1300-1400	3444	7789	226,2
100	1400-1500	2275	4929,5	216,7
100	1500-1600	1731	2926,5	169,1
100	1600-1700	1250	1436	114,9
100	1700-1800	355	633,5	178,5
100	1800-1900	270	321	118,9
57	1900-1957	186	93	28,5
	Toplam	22310	Ortalama	204,8

SL indeksi akarsuyun gücüyle ilişkilidir. Çünkü zirve noktasında nehrin ulaşabildiği güç önemli bir hidrolojik değişkendir. Doğrudan yatağını aşındırması ve sediman taşınım özelliklerini belirler. Bu enerji yüzeyin (aktığı yüzey) eğimine bağlıdır (Hack, 1973).

Bu indisin aktif tektonizmadaki kullanımı ise şu şekildedir: Düşük SL değerine sahip kayaların içinden geçerken aniden yüksek SL değerlerine sahip bir bölgenin varlığını yakalamak olası bir fayı işaret edebilir. Ayrıca çok düşük değerler de (özellikle çizgisel bir hat boyunca) benzer şekilde yorumlanabilir. Özellikle çizgisel uzanım gösteren doğrultulu atımlı faylar boyunca kayalar bir hat halinde kırılıp parçalanacağından bu hat boyunca düşük SL değerleri yakalanabilir (Topal, 2019).

Sille Çayı Havzası'nda ortalama SL değeri 204,8'dir. En yüksek SL=392,2 ile akarsuyun orta çığırına yakın alanda gözlemlenir (Şekil 7). Sille Çayı Havzası'nı şekillendiren fayların alandan geçmesi, Büyük Gevele ve Kaburga-Tekkalı Tepe gibi volkanik tepelerinin bu alanda çıkarmış oldukları andezitik lavlarla bölgedeki antitetik faylarla akarsuyun kesintiye uğraması ve akarsuyun bu alanı tekrardan şekillendirmesi muhtemeldir. Böylece araştırma sahasının çok farklı litolijilerden oluşması-aktif tektonizma akarsuyun bu litolojileri kat etmesi SL değerinin farklı çıkmasına neden olmuştur (Şekil 8; Tablo 3).



Şekil 8. Sille Çayı Vadisi Boyunca Akarsu Uzunluk Gradyan (SL) İndeksi (100 m Yükselti Aralıklarına Göre)

Çatallanma Oranı (Bifurcation ratio) (Rb)

Bu indis ilk olarak kapsamlı bir şekilde Strahler (1964) tarafından ortaya konmuştur. Temelleri Horton'un (1932, 1945) çalışmalarına dayandırılarak geliştirilen bir indistir. Bu indise göre;

$Rb = N_u / N_{u+1}$ Formülde;

N_u : Dizin sayısı,

N_{u+1} : Bir sonraki dizin sayısıdır.

Sille Çayı Havzası'nda alt havza ayırımına gidilmemiştir. Zira bu havza 49,5 km²'lik alanı ile oldukça küçük bir havzaya karşılık gelmektedir. Dizin sayıları esas alınarak yapılan hesaplama göre çatallanma oranı (Rb) 1,6 gibi oldukça düşük bir değer çıkmıştır (Tablo 4). Akarsularda çatallanma oranı genel olarak 2 ile 5 arasında değişmektedir (Tablo, 4). Günümüz bilgisayar teknolojisi ile DEM hassasiyetine göre en küçük pikseli dahi göz önünde bulundurarak dizin sayısının elde edildiği ve programın belirlediği ilk 3 dizin çıkartıldıktan sonra 1. dizinin esas alınarak hesaplanmanın yapıldığı çatallanma oranı hesaplaması ile bazı sonuçlar elde edilebilmektedir. Alternatif olarak bu tip havzalarda uzunluk oranı (RL) hesaplaması daha sağlıklı sonuçlar sunmaktadır (Özdemir, 2011).

Tablo 4. Sille Çayı Havzasına Ait Alansal Morfometrik Hesaplamalar Tablosu

Sille Çayı Akarsu Dizinleri	Dizin Sayısı	Dizin Uzunluğu	Dd	Rb	RL
Dizin 1	8423	63979	$Dd = \Sigma L / A$	$Rb = N_u / N_{u+1}$	$RL = L_u / L_{u+1}$
Dizin 2	4448	32434		1,9	2,0
Dizin 3	2247	15791		2,0	2,1
Dizin 4	1311	9551		1,7	1,7
Dizin 5	1587	11740		0,8	0,8
Toplam	18016	133495	133,5 km		
$F_s = N / A$	18016 / 49,5 km ²		133,5 / 49,5 km ²		
$F_s =$	364,0		2,7	1,6	1,6

Uzunluk oranı (RL)

Strahler yöntemine bağlı olarak belirli bir dizinin toplam uzunluğunun bir sonraki dizinin toplam uzunluğuna oranıdır (Patton, 1988).

$RL = L_u / L_{u+1}$ Formülde;

L_u = Dizin toplam uzunluğu (m)

L_{U+1} = Bir sonraki dizin toplam uzunluğu (m) dur.

Sille çayı havzasında yapılan uzunluk oranı hesabına göre $RL=1,6$ olarak hesaplanmıştır (Tablo, 4). Bu değer çatalanma oranı ile de paralellik göstermektedir.

Akarsu sıklığı (Fs)

Havza içindeki toplam akarsu dizin sayısının havza alanına bölünmesiyle elde edilir.

$F_s = N/A$. Formülde;

N : Toplam dizin sayısı,
 A : Havza alanı (km^2) dir.

$$F_s = 18016 / 49,5 km^2 \quad F_s = 364$$

Havzalardaki yüksek F_s değerleri, geçirgen olmayan zemin özellikleri, seyrek bitki örtüsü ve yüksek relief özelliklerini gösterirken, düşük F_s değerleri ise geçirgen olan jeolojik özellikleri ve alçak relief özelliklerini ortaya koyar. Drenaj yoğunluğu ve akarsu sıklığı havzalardaki drenaj ağının dokusu hakkında bilgi verir (Özdemir, 2011).

Peltier (1962) ortalama eğim değerlerine sahip bölgelerden yarı kurak alanında akarsu sıklık değerini fazla, kurak bölgelerde çok az ve nemli bölgelerde orta değerlerde bulmuştur (Özdemir, 2011). Yıllık Ortalama yağışın 326 mm olduğu Sille ve çevresinin kurak bölgede olduğunu ve böylece oldukça yüksek akarsu sıklık değerinin olduğunu söylemek mümkündür (Tablo 4).

Drenaj Yoğunluğu (Dd)

"Horton tarafında üretilmiş olup, belki de en önemli morfometrik parametredir. Havzadaki toplam drenaj uzunluğunun havza alanına bölünmesiyle elde edilir" (Özdemir, 2011).

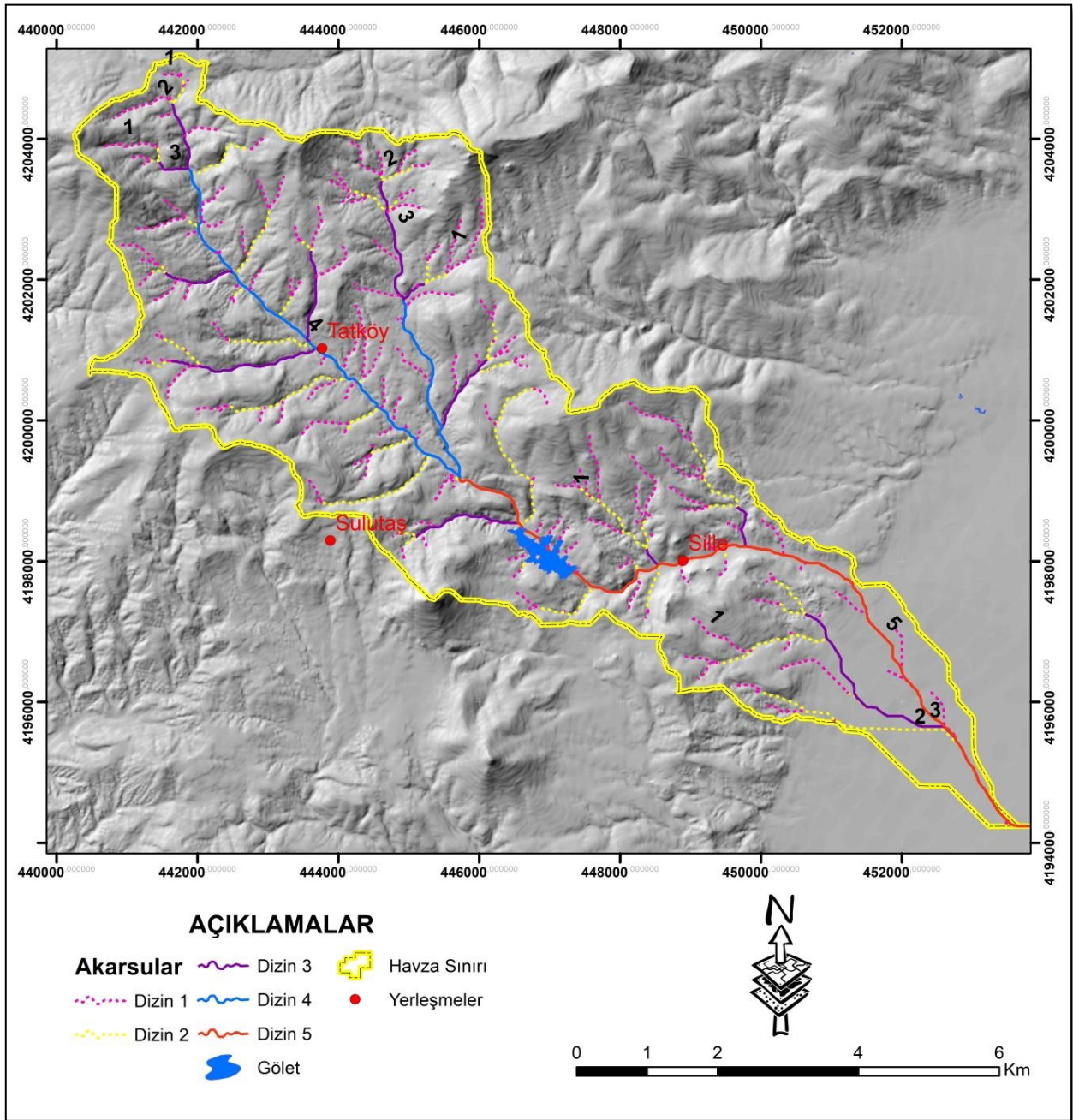
$Dd = \Sigma L / A$. Formülde;

ΣL : Toplam drenaj uzunluğu (km)

A : Havza alanı

$$Dd = 133,5 km / 49,5 km^2 \quad Dd = 2,7$$

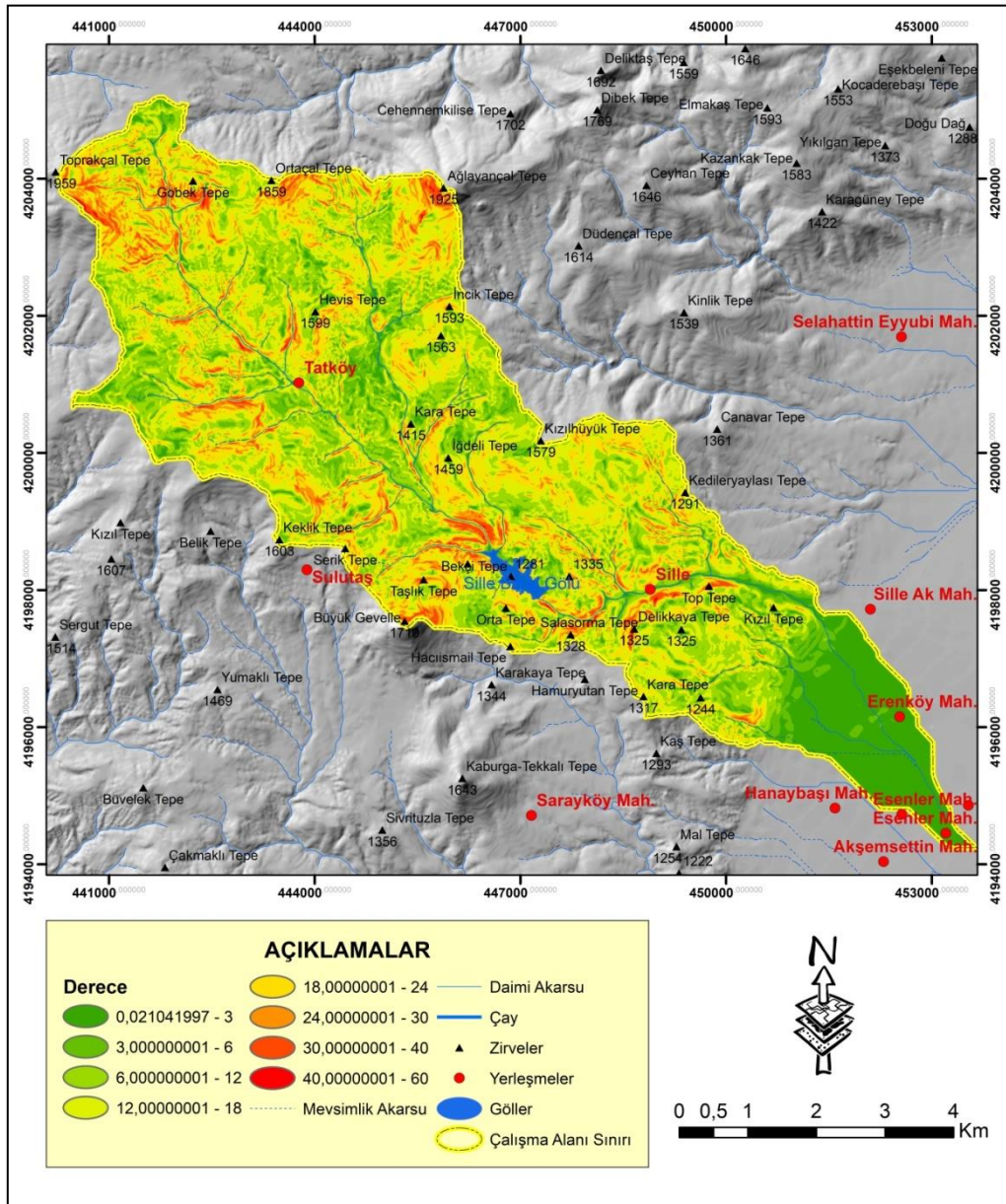
Dd değeri, havzaların akarsular tarafından parçalanma derecesini verir. Dolayısıyla parçalanmada önemli bir etkiye sahip olan jeolojik, morfolojik, iklimik ve bitki örtüsü özellikleri hakkında bilgi vermesi açısından da önemlidir. Buna bağlı olarak, düşük Dd değerine sahip havzalar yüzeysel suların yeraltına sızdığı ve yer altı akımlarını oluşturduğu bir özellik gösterirken, yüksek Dd değerine sahip havzalar yüzeysel akışlarla aşındırmanın ve parçalanmanın hakim olduğu bir özellik gösterir (Patton, 1988). Drenaj Yoğunluğu genelde 2 – 5 arasında değişmektedir. Bu değerler içerisinde drenaj yoğunluğunun oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir (Şekil, 9). Havzanın genelinde suların daha çok yeraltına sızma karakterinde olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 9. Sille Çayı Havzasına Ait Dizinler Haritası

Eğim Özellikleri

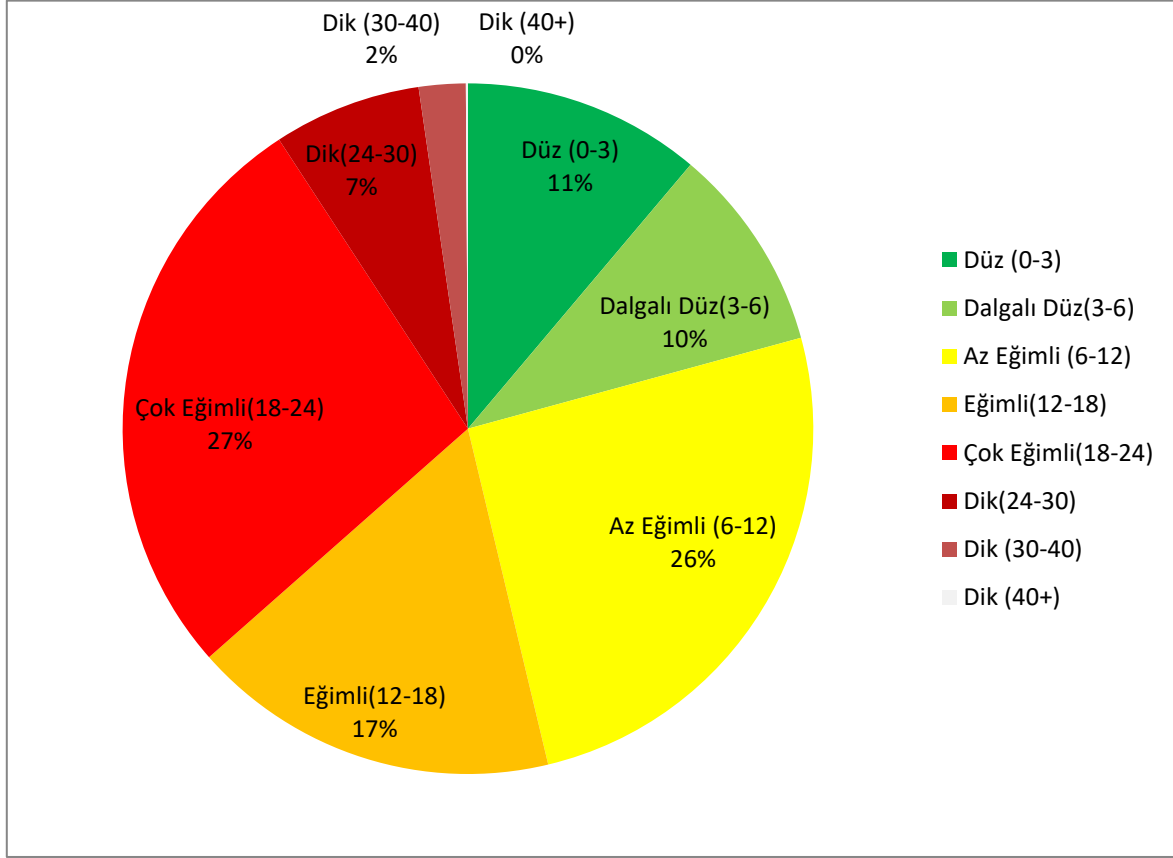
Bir sahadaki eğim ve baki özellikleri o sahanın jeomorfolojik özellikler, aktif faylanma ve tektonizmanın yapısı hakkında bilgi verir. Bu nedenle yapılan eğim ve baki haritaları sahayı anlama ve yorumlamayı kolaylaştıracaktır (Simoud, Karagkouni, Papantoniou ve Nomikou, 2013). Eğim derecesinin düşük olduğu yerlerin yüzdesi fazla olan yerler daha çok yaşlı, eğim derecesinin yüksek olduğu yerlerin yüzdesi yüksek ise daha genç arazileri ifade etmektedir. ArcGIS 10.8 paket program yardımı ile havzanın eğim değerleri hesaplanmıştır. Sille Çayı Havzası'nda eğimin çok yüksek olduğu alanlar % 27,3 az eğimli sahalarda % 25,5 ve eğimli sahalarda %17,2'ye karşılık gelmektedir. Bu da sahanın oldukça genç olduğunu göstermektedir. Buna karşılık düz sahalarda % 11,2 ve dalgalı düz sahalarda %9,6 ya karşılık gelmektedir. Böylece toplamda eğimli ve dik sahalarda %79,2'ye ve düz sahalarda ise % 20,8'e karşılık geldiği görülmektedir (Tablo, 5; Şekil, 10; 11).



Şekil 10. Sille Çayı Havzası'nın Eğim Haritası

Tablo 5. Sille Çayı Havzasında Eğim Değerleri ve Yüzde Oranları

Eğim (Derece)	Kapladığı Alan	Yüzde
Düz (0 - 3)	5521612,9	11,2
Dalgalı Düz (3 - 6)	4756314,8	9,6
Az Eğimli (6 - 12)	12628692,7	25,5
Eğimli (12 - 18)	8529099,8	17,2
Çok Eğimli (18 - 24)	13514538,8	27,3
Dik (24 - 30)	3429453,1	6,9
Dik (30 - 40)	1084371,1	2,2
Dik (40 - 60)	48269,6	0,1
Toplam Alan (m ²)	49512352,7	100,0



Şekil 11. Sille Çayı Havzasında Eğim Sınıflarının Oransal Dağılım Grafiği

Sille Çayı Havzası'nda eğimli alanların yüksek olması aşınma-taşınma süreçlerinin devam etmekte olduğunu göstermektedir. Bu da havzanın oldukça genç bir havzaya karşılık geldiğini göstermektedir.

BULGULAR VE SONUÇLAR

Sille Çayı Havzası 49,5 km²'lik alana sahip ince uzun küçük bir havza özelliği göstermektedir. Havzanın uzanışı kuzeybatı-güneydoğu istikametindedir. Havzanın eni oldukça dar ortalama 2 km genişliğe sahip olup, boyu ise 19,6 km'lik bir uzunluğa sahiptir. Böylece şekil olarak uzunlamasına bir havzadır.

Sille Çayı Havzası üzerindeki Miyosen ve Pliyosen dolguların aşındırıldığı ve daha alt kısımda yer alan Oligosen döneminde depolanmış tabakalı konglomeralardan oluşan bir havzadır. Havzanın oluşumu Neotektonik dönemle (Üst Miyosen) başlamış olmakla beraber tam şekillenme ise Kuvaterner'de meydana gelmiştir. Şekillenmede Konya Fay Zonu oldukça etkindir.

Sille Çayı havzasında jeomorfolojik şekillerden dağlık-tepelik alanlara, 1600 – 1800 metreler arasında yüksek, 1400 – 1600 metreler arasında orta ve 1200 – 1400 metreler arasında ise alçak plato yüzeylerine rastlanılır. Sille Çayı vadisi genel olarak V vadi karakterinde olup akarsuyun Konya Ovası'na açıldığı kısımda tabanlı vadi karakterindedir. Selçuklu ilçesine bağlı bazı mahalle yerleşmeleri Sille birikinti yelpazesi üzerinde gelişmiştir.

Havzada morfometrik indislerden bazıları uygulanmış, ortaya çıkan kantitatif verilerle havzaya yönelik yorumlar ortaya konulmuştur. İlk olarak havza şekli hesaplanmış ve Sille Çayı Havzası 0,2 olan R_f değeri ile ince uzun, yeni kurulmakta olan bir havza karakterinde olduğu ortaya konulmuştur.

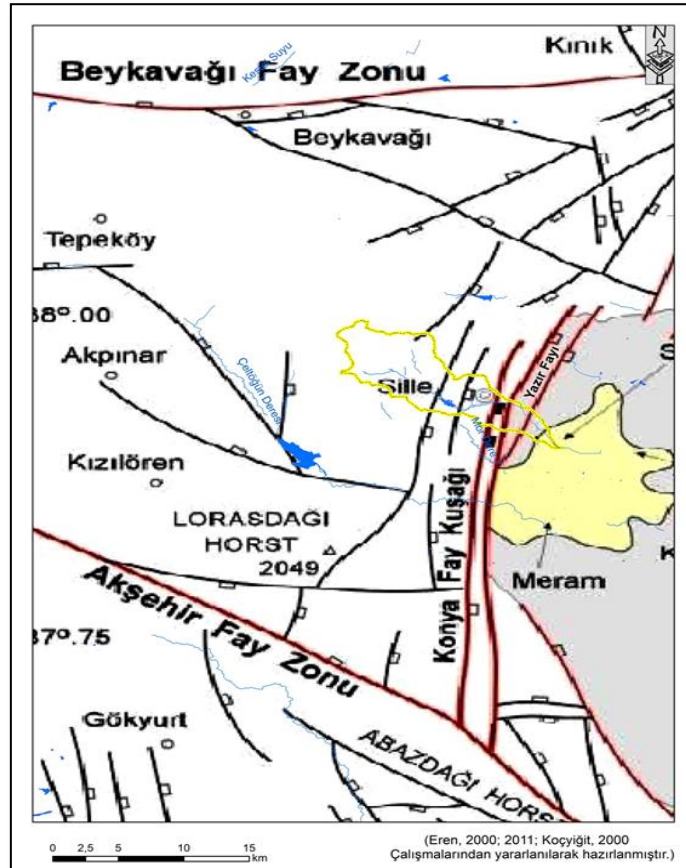
Araştırma sahasında dandritik drenaj tipi gözükmektedir. Havzanın drenaj yoğunluğu 2,7 olarak hesaplanmıştır. Bu değer genel ortalamanın altındadır. Patton (1988) düşük drenaj yoğunluğuna sahip havzalarda akarsuyun daha yavaş hareket ettiğini ve yer altı sularını beslediğini ifade etmiştir. Sille Çayı Havzası'nda da bu durum gözükmektedir.

Sille Çayı Havzası'nın en alçak kısmı havzanın Konya Ovası'na açıldığı kısım olup 1030 m ve en yüksek kısmı Toprakçal Tepe 1959 m'dir. Hipsometrik eğri (He) dışbükey bir şekil sunmaktadır. Bu da arazinin genç bir havza olduğunu göstermektedir. Bu durum genel karakterde yeni şekillenmekte olan genç bir havza karakteri ile de paralellik göstermektedir.

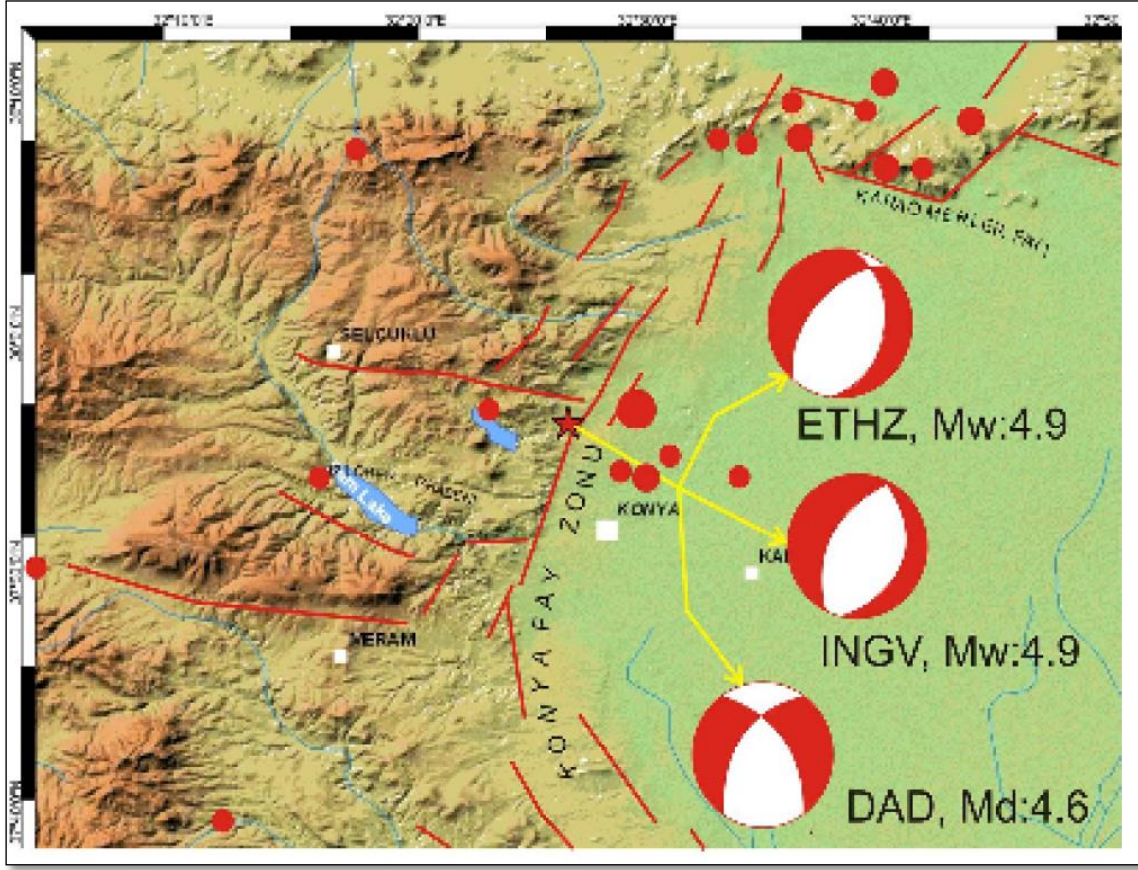
Sille Çayı Havzası'nda hipsometrik integral değeri 0,43 olarak hesaplanmıştır. Bu da havzanın dengeli aşındırılmakta olan nispeten olgun bir havzayı ifade eder. Ancak daha önce de ifade edildiği gibi birçok jeolojik uyumsuzlukların mevcut olduğu havza normal aşınma-taşınma, şekillenme süreçlerin devam ederken Konya Fay Zonu'nun son şekillendirmeleri ile durum nispeten değişmiştir. Buna göre diğer indis değerlerinde analizler daha genç bir arazi sonuçları vermektedir. Bu aynı zamanda havzanın nispeten aşınma karşı dirençsiz kayalardan oluştuğunu da göstermektedir. Mesozoyik formasyonlar üzerine uyumsuz olarak gelen Neojen birimler aşınma karşı nispeten dirençsiz durumdadırlar.

Sille Çayı Havzası Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Yüksekliği Oranı (Vf) değerleri üç bölümde 8 noktadan Vf değerleri hesaplanmış ve ortalama Vf aşağı çığırda 3,29; orta çığırda 1,43 ve yukarı çığırda 0,30 olarak hesaplanmıştır. Vf değeri 1'in altında ise tektonizmanın etkin olduğunu göstermektedir. Sille yerleşmesi civarında 1b Profilinde Vf değerinin 0,73 hemen bir üst alanda 1,71 hesaplanması bu alanda bir gençleşmenin olduğunu göstermektedir. Havzanın bu kısmında tektonik etkinin fazla olduğu da oldukça belirgindir. Havza Asimetrisi'nin de bu kısımda yüksek çıkması bu kısımda tektonizmanın daha etkin olduğunu göstermektedir.

Havza Asimetrisi hesaplamasında kullanılan yöntemlerden Transverse Topografik Simetri (T) faktörü aşağı çığırda $T2 = 0,9$ ve $T3 = 0,6$ gibi 1'e yakın değerler olması bu alanın tektonik açıdan daha etkin olduğunu, diğer alanların ise normal aşınım sürecinde olduğunu göstermektedir. Yine Vadi Tabanı Genişliği-Vadi Tabanı Oranı (Vf) hesaplamalarında havzanın yukarı çığırında normal havza gelişim seyrine uygun iken, aşağı çığırda vadi tabanı genişliğinin 1b profilinde aniden düşük anomali gösterdiği tespit edilmiştir. Sahanın aynı kısmında Akarsu Gradyan İndeksi (SL)'nin de bu noktada yüksek anomaliler sunması Konya Fay Zonu'nda meydana gelen sentetik ve antitetik fayların etkisiyle Sille Çayı (Havzası)'nın aşağı çığırda gençleşmeye maruz kaldığını, Neotektonik dönemde fayların aktif olduğunu göstermektedir. Hatta bu morfometrik hesaplamalar sonucunda muhtemelen Sille Çayı'nın daha öncesinde güneydoğu istikametinde akış gösterirken (Sarayköy civarında Mor Dere üzerinden Konya Ovası'na ulaşırken), blok şeklindeki faylanmalar ile nispeten kuzeydoğuya doğru yönlendiği ve nihayetinde günümüzdeki vadisini şekillendirdiği düşünülmektedir. Bu noktada tektonik aktivitenin çok yüksek olduğu jeolojik çalışmalarla da örtüşmektedir (Şekil, 12; 13; Eren, 1996; 2000; 2011; Koçyiğit, 2000).



Şekil 12. Sille Çayı'nın Aşağı Çığırda Yön Değiştirmesine Etkieden, Sentetik ve Antitetik Faylar (Eren, 2000; 2011; Koçyiğit, 2000'den değiştirilerek hazırlanmıştır)



Şekil 13. 10-11 Eylül Depremlerinin Odak Mekanizması Çözümleri (Eren, 2011'den)

Sille Çayı Havzası eğim değerleri nispeten genç bir havza olduğunu göstermektedir. Sahada %21 oranında düz ve dalgalı düzlükler mevcut iken %79'luk bir oran ile az eğimli ve çok eğimli sahalara hesaplanmıştır. Bu durumda havzanın genç yeni şekillenmekte olan bir havza olduğunu göstermektedir.

Sille Çayı Havzası Neotektonik dönemde şekillenmeye başlamış ancak çok yakın tarihe kadar devam eden Konya Kapalı Havzası'ndaki suların çekilmesinden sonra günümüzdeki şeklini almıştır. Tektonik olarak da Pliyosen kadar bu şekilde olan havza Pliyosen sonu Kuvaterner başında blok şeklinde faylanmalara maruz kalmıştır. Sille Çayı muhtemelen tektonik hatlara kurularak vadi yatağını ve havzayı şekillendirmiştir. Bu gelişmeler Pliyosen sonu Kuvaterner başlarında meydana gelen faylanmalarla gerçekleşmiş ve Sille Çayı Havzası şekillenmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar aralarında çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

EXTENDED SUMMARY

DETERMINATION OF MORPHOMETRIC FEATURES OF THE SILLE STREAM BASIN (KONYA) THROUGH GIS**INTRODUCTION**

Recently, geomorphology studies with Geographic Information Systems (GIS) technology have taken a new dimension. Geomorphological features and tectonic developments have been explained through GIS analysis, quantitative data and field studies. Quantitative data obtained from the analysis of morphometric properties and used in geomorphology can be better interpreted by the factors involved in the formation and development of basins (Özdemir, 2007).

In this study, geomorphometric indices, basin shape and drainage properties, hypsometric curve (He) - hypsometric integral (Hi), stream length gradient index (SL), ratio of valley width-valley height (Vf), basin asymmetry (AF), ratio of stream bifurcation (R_b), stream density (F_s) and some areal parameters are calculated and the geomorphological development of the basin is elucidated accordingly.

METHOD and MATERIALS

In this study, different materials and softwares such as Digital Elevation Model (DEM) which is 5 m in resolution, geological data, active fault-line data and ArcGIS 10.8 package program software have been used. Some faults on the formations have been obtained by using google earth pro software. Tectonism has been effective during the formation of the basin. Sille Stream basin is a very young basin in terms of evolution and its shapes.

In the Sille Stream basin, different rock samples are found from many periods. The basement land belonging to the Silurian-Lower Carboniferous period of the Paleozoic period constitutes the oldest unit of the Sızma Group. At the same time, Mesozoic limestones form the Lorasdağı formation in Sille Stream basin. There are many lithological units with different characters belonging to the Tertiary period. In general, on the basic lithology of the Paleozoic-Mesozoic period, Sille, Yalıtepe, Ulumuhsine, Küçükmuhsine formations, Sulutaş volcanics and the Early Pliocene Yürükler formation belonging to the Late Miocene-Early Pliocene with an angular unconformity follow each other periodically (Özkan, 2017).

In terms of formation, Sille, the rock group consisting of sandstone, conglomerate and mudstone spread in thin and narrow areas, are identified as "Dilekçi formation" at the base of Upper Miocene-Pliocene sediments (Göğür and Kırıl, 1969; Görmüş, 1984, Özkan, 2018). In addition, Eren (1993; 1996; 2000); Koçyiğit (2000) have examined the unit in the northeast of Sille under the name of "Sille formation" which was regarded as a stratigraphic and facies typical place. This term is also used in this study. Although the formation is predominantly lithology which consists of red and brown colored sandstone, conglomerate and mudstone, the dominant lithology is composed of matrix-supported conglomerates (Eren, 1996).

The sandstones are red-gray in color and very thick in medium. Its components are formed of quartz, plagioclase, chert, carbonate, radiolarite, metamorphic rock particles, biotite and heavy minerals. The sandstones containing clay matrix are fine coarse grained. They are sized well at some levels and poor at other levels. They are rarely be graded normally. They mostly consist of calcite and less iron oxide cement. Red, yellow colored mudstones are thin and very thick. They have a pebbly sandy mudstone quality in some levels (Eren, 1996; Özkan ve Söğüt, 1999; Özkan, 2017).

FINDINGS

The first morphometric analysis is made to evaluate the basin shape and drainage type. Dendritic drainage type is found in the research area. The fact that measuring the basin shape (R_f) factor as low as 0.17 (0.2) indicates the Sille Stream Basin is a narrow and elongated basin. The distance between the beginning of the basin and the Konya plain is approximately 19,6 km and the width is nearly 2 km.

Secondly, Hypsometric curve and Integral are calculated via ArcGIS 10.8. Basins are analysed formerly in order to obtain higher efficiency for human use (Langbein, etc. 1947; Strahler, 1952; Miller, 1953; Schumm, 1956; Coates, 1956; Harlin, 1978). According to analyses; Hypsometric curve (Hc) indicates that it is a mature basin. Hypsometric Integral (Hi) of Sille Basin is 0,43. This ratio demonstrates that this basin has been balanced by erosion.

Another index, applied to determine the effect of tectonism in the Sille Stream Basin, is the Stream Length Gradient Index (SL). It is based on Hack's (in 1957; 1973) studies. According to Hack's study, this index is related to the power of the stream. While passing through rocks with low SL value in a sharply high SL value region may indicate the existence

of a possible fault line. The average SL value in the Sille Stream Basin is 204.8. The highest SL is 392.2. This situation is observed between the Sille Dam Pond and the Sille settlement. In this area, which corresponds to the middle ground of the Sille Stream Basin, volcanic activities and fault lines passing through are effective.

Another index applied to the research area is the Valley Base Width-Valley Height Ratio (Vf) index. This index was first developed by Bull and Mcfadden (1977). The information required here is whether the profiles are "V" or "U" shaped (Bull, 1978). The valleys where Vf values are less than 1 are usually classified as V-shaped valleys. In these valleys the stream associated with rapid tectonic elevation is subject to active deep erosion. If Vf values are between 1 and 1.5, they moderately indicate active tectonics. If Vf values are greater than 1.5, they are classified as U-shaped valleys which were exposed to large lateral erosion (Bull ve Mcfadden, 1977; Bull, 1978). In the downstream of Sille Stream Basin, the part where Sille Stream ended in the Konya plain, Vf index is 1a Vf = 5.85. Another profile is 1b Vf = 0.73. It was calculated in the area where Sille Town was located. From the Midwest (2a, 2b and 2c) towards the northwest Vfs are calculated as 1.71, 1.58 and 0.99. In the Upstream of the Sille Stream Basin (3a, 3b and 3c) Vfs are calculated as 0.40, 0.30 and 0.21. This change, following along the Sille Stream Valley, indicates that the middle ground with rejuvenation in the lower course of the basin is relatively mature and the upper course is a newly formed basin.

Another analysis to understand the effect of tectonism in basin is basin asymmetry. "Transverse Topographic Symmetry Factor" is used as a method to determine the basin asymmetry. It is an index that was first introduced by Cox (1994) to determine whether the tectonic effect is effective or not and from which directions and at what rates it forms in the exposed basins. Besides, it is a morphometric index and is very effective in interpretation. The result here indicates a symmetrical feature when approaching 0, and an asymmetrical feature when approaching 1. According to the analysis of the asymmetric status of Sille Stream basin it is calculated as 0.4 on average. The highest asymmetry is calculated as T2 = 0.9 in the part where Sille Stream flowed into the Konya plain and T3 = 0.6 is calculated near Sille settlement-Sille Dam reservoir. Very low asymmetry is calculated in other areas of the basin (T1 = 0.3; T4 = 0.1 and T5-6 = 0.2). T (Topographic Symmetry) values here are calculated as high asymmetry in the area indicated by the SL value. It indicates that this part of the basin is tectonically active. In other areas, the appearance of low asymmetry indicates that it has a low activity in terms of tectonics.

RESULTS AND RECOMMENDATIONS

The Sille Stream basin is an area of 49.5 km² and has the characteristics of a thin and long small basin. The extent of the basin is from northwest to southeast direction. In the basin, geomorphological shapes are classified as mountainous-hilly areas, between 1600 – 1800 meters high. Between 1400-1600 meters, medium plateaus are encountered and low plateaus are identified between 1200 and 1400 meters.

In the same part of the study area, the Valley Base Width-Valley Height Ratio (Vf) index, the Topographic Asymmetry (T) and Fluvial Gradient Index (SI) present high anomalies. It is determined that the Sille Stream (Basin) was subjected to rejuvenation in the lower phase due to the effect of synthetic and antithetic faults which occurred in the Konya Fault Zone. These faults were active during the neotectonic period. In fact, as a result of these morphometric calculations, it is revealed that Sille Stream was flowing previously in the southeast direction reaching the Konya Plain over the Mor Stream around Sarayköy. It flows towards the northeast with block-shaped faults. As a result, current valleys are formed towards to the northeast. At this point, it overlaps with geological studies in which tectonic activity is very high (Figure, 12; 13; Eren, 1996; Koçyiğit, 2000; Eren, 2000; 2011). Sille basin has also seismic activity. Many devastating earthquakes have occurred in historical times.

Geomorphological properties shaped by the topography in basins give information about the structure of active faults and tectonic. High percentaged places, where the slope is low, refers to older areas, but when the percentage of high slope points is more higher, it refers to younger lands. In the Sille Stream Basin, the plains with a slope of 0-3 is 11.2%, while the wavy flats are between 3 and 6 are 9.6%. Apart from this, the areas which have low sloping, very sloping and steep lands have a rate of 79%. This indicates that the Sille Stream Basin is a newly formed young basin.

As a result, the Sille Stream Basin had been formed from Neotectonic period (Upper Miocen) to Quaternary. Thus, it is a rather young basin and whose formation process is still going on. Traces of tectonism are observed very clearly in the lower part of Sille Stream Basin. Other areas form a young basin under a normal erosion process. Lastly, tectonics has a great impact on its development.

KAYNAKÇA

- Aklanoğlu, F. & Erdoğan, E. (2011). Sille (Konya) yerleşiminin sürdürülebilirliği için ekolojik tasarım önerileri. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(2), 119-131
- Avcı, V. & Günek, H. (2015). Uludere Havzası'nın (Bingöl) jeomorfolojik özelliklerinin belirlenmesinde morfometrik analizlerin kullanımı. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21, 745-766. <https://doi.org/10.14520/adyusbd.39800>.

- Bahadır, M. & Özdemir, M. A. (2011). Acıgöl Havzası'nın sayısal topoğrafik analiz yöntemleri ile morfolojik jeomorfolojisi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(18), 323-344.
- Biswas, S., Sudhakar, S. & Desai, V.R. (1999). Prioritisation of subwatersheds based on morphometric analysis of drainage basin: A remote sensing and GIS approach. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 27(3), 155-166. <https://doi.org/10.1007/bf02991569>.
- Bull, B. W. (1977). *Tectonic geomorphology of the Mojave Desert*, U.S. Geological Survey Contact Report 14-08-001-G-394.
- Bull, W.B. (1978). *Geomorphic Tectonic Activity Classes of the South front of the San Gabriel Mountains*, California. U.S.
- Bull, W.B. & McFadden, L.D. (1977). Tectonic Geomorphology North and South of the Garlock Fault, California. Geomorphology in Arid Regions. 8th Annual Geomorphology Symposium, University of New York, D.O. Doehring (ed.), Binghamton, 115-138.
- Burbank, D.W. & Anderson, R.S. (2012). *Tectonic Geomorphology* (Second ed). Wiley-Blackwell.
- Coates, D. R. (1956). *Quantitative geomorphology of small drainage basins in southern Indiana*, Of. Nav. Res. Proj. NR 389-042, Tech. Rep. 10 [Unpublished doctoral dissertation]. Columbia University.
- Cox, R. T. (1994). Analysis of drainage-basinsymmetry 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. <https://doi.org/10.1130/0016-7606>.
- Chorley, R. J. (1957). Climate and morphometry. *The Journal of Geology*, 65(6), 628-638.
- Cürebal, İ. (2004). Madra Çayı'nın hidrografik özelliklerine sayısal yaklaşım. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11, 11-24.
- Cürebal, İ. & Erginal, A.E. (2007). Mıhlı çayı havzası'nın jeomorfolojik özelliklerinin jeomorfik indislerle analizi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 19, 126-135.
- Demoulin, A. (2011). Basin and river profile morphometry: A new index with a high potential for relative dating of tectonic up lift. *Geomorphology*, 126, 97-107. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.10.033>
- Doğan, A. (1975). *Sızma- Ladik (Konya) civa sahasının jeolojisi ve maden yatakları sorunlarının incelenmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Ege, İ., Polat, S. & İzmirli, E. (2019). Özdemirci (Çivril – Denizli) havzası'nın morfolojik özelliklerinin CBS ile belirlenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16(44), 141-167.
- Ege, İ. & Duman, N. (2020). Maymun dağı (Çardak-Denizli/Dazkırı-Afyonkarahisar)'nın morfolojik özelliklerinin CBS ile belirlenmesi. *Turkish Studies - Social*, 15(1), 277-307.
- Eren, Y. (1993). Konya kuzeybatısında bozdağlar masifinin otokton ve örtü birimlerinin stratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 36, 7-23.
- Eren, Y. (1996). Sille- Tatköy (Bozdağlar Masifi- Konya) kuzeyinde alpin öncesi bindirmeler. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 11, 163-169.
- Eren, Y. (2000). Konya bölgesinin deprenselliği, Haymana-Tuzgözü-Ulukışla basenleri uygulamalı çalışma (WORKSHOP). *Türkiye Petrol Jeologları Derneği, Özel Sayı 5*, 85-98.
- Eren, Y. (2011, 09-11 Ekim). Konya'nın Jeolojisi, neo-tektonik yapısı ve deprenselliği. I. Konya Kent Sempozyumu [Sözlü Bildiri Sunumu]. Konya, Türkiye.
- Erginal, A. E. & Cürebal, İ. (2007). Soldere Havzasının jeomorfolojik özelliklerine morfolojik yaklaşım: jeomorfik indisler ile bir uygulama. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17, 203-210.
- Fural, Ş. (2018). Acısu Çayı'nın (Serik-Antalya) drenaj özelliklerinin morfolojik analiz. *JASS Studies-The Journal of Academic Social Science Studies*, 72, 541-556. <https://doi.org/10.9761/jass7914>
- Geçen, R. & Ölmez, İ. (2017). Beyazçay Havzası'nın (Hatay) jeomorfolojik analizler ile değerlendirilmesi. *UJES-2017 Bildiriler Kitabı* (Ed. Saadetin TONBUL; M. Taner ŞENGÜN; Muzaffer SİLER; F. Ahmet CANPOLAT), 212-221.
- Göğür, E. & Kırıl, K. (1969). Kızılören dolayının jeolojisi, [Yayımlanmamış M.T.A. Raporu]. No: 5204
- Görmüş, M. (1984). *Kızılören (Konya) dolayının jeoloji incelemesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Sakarya Üniversitesi.
- Hack, J. T. (1957). Studies of Longitudinal Stream Profiles in Virginia and Maryland. *US Geological Survey Professional Paper B 294*, 1-97.
- 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. <https://doi.org/10.1007/bf01033300>
- Horton, R. E. (1932). Drainage basin characteristics. *Transactions American Geophysical Union*, 13, 350-361.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage Basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56, 275-370.
- İzmirli, E. & Ege, İ. (2019). Gökpınar çayı havzasının jeomorfolojik indisler ile incelenmesi. *Gelecek Vizyonlar Dergisi (fvj: Future Visions Journal)*, 3(3), 41-57. <https://doi.org/10.29345/futvis.81>
- 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.

- Koçyiğit, A. (2000). Orta Anadolu'nun genel neotektonik özellikleri ve depremselliği, Haymana-Tuzgözü-Ulukışla basenleri uygulamalı çalışma (WORKSHOP). *Türkiye Petrol Jeologları Derneği, Özel Sayı 5, 1-26*.
- Köle, M. M. (2016). Devrez Çayı vadisinin tektonik özelliklerinin morfometrik indisler ile araştırılması. *İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi, 33, 21-36*. <http://www.journals.istanbul.edu.tr/iucografya>
- Kütükçü, A., Kaya, S., Kabdaşlı, S. & Gazioğlu, C. (2015, 21-23 Mayıs). Nehir havzalarının morfolojik karakteristiklerinin cbs destekli nümerik modeller kullanılarak analizi. TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu [Sözlü Bildiri Sunumu]. Konya, Türkiye.
- Langbein, W. B. (1947). *Topographic Characteristics of Drainage Basins*: U.S. Geological Survey. Water Supply Paper 968-C, 125-157.
- Mayer, L. (1990). *Introduction to Quantitative Geomorphology*. Prentice Hall.
- Melton, M. A. (1957). *An Analysis of The Relation Among Elements of Climate, Surface Properties And Geomorphology*, Tch. Rep. No. 11, Department of Geology, Columbia University, New York.
- Miller, V. C. (1953). *A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in The Clinch Mountain Area, Virginia And Tennessee*: Tech. Rept. no. 3, Dept. of Geology, Columbia University, New York.
- Özdemir, H. (2007). *Havran çayı havzasının (Balıkesir) CBS ve uzaktan algılama yöntemleriyle taşkın ve heyelan risk analizi* [Yayımlanmamış doktora tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Özdemir, H. (2011). Havza morfometrisi ve taşkınlar, D. Ekinci (Ed.) *Fiziki Coğrafya Araştırmaları. Sistemik ve Bölgesel*, Türk Coğrafya Kurumu Yayınları, 5, 507-526,
- Özkan, A. M. (2017). Küçükmuhsine – Sulutaş (Konya batısı, Türkiye) çevresindeki karasal neojen çökellerinin (Geç Miyosen – Erken Pliyosen) stratigrafisi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 4(3), 382-410*
- Özkan, A. M. & Söğüt, A.R. (1999). Dilekçi (Konya Batısı) çevresindeki neojen çökellerinin stratigrafisi. *P. Ü. Mühendislik Fak., Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5(2-3) 1131-1138*.
- Öztürk, B. & Erginal, A.E. (2008). Bayramdere havzasında (Biga Yarımadası- Çanakkale) havza gelişiminin morfometrik analizler ve jeomorfolojik indislerle incelenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi, 50, 61-68*.
- Patton, P.C. (1988). Drainage basin morphometry and floods. In: Baker VR, Kochel RC, Patton PC (eds) *Flood geomorphology (51-65)*. Wiley.
- Peltier, L. C. (1962). Area sampling for terrain analysis. *Prof. Geogr., 14, 24 – 28*.
- Reddy, G. P. O., Maji, A. K. & Gajbhiye, K.S. (2004). Drainage geomorphometry and its influence on landform characteristics in basaltic terrain, central India—a remote sensing and GIS approach. *Int J Appl. Observ. Geoinf. 6, 1–16*.
- Sarp, G., Geçen, R., Toprak V. & Düzgün, Ş. (2011, April 10-15). *Morphotectonic properties of yenicaga basin area in Turkey*. 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment [Verbal Prezentation], Sydney, Australia.
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, *New Jersey, Bul. Geol. Soc. Amer., 67, 597-646*.
- Selçuk Biricik, A. (1998). Sille Çayı Havzası. *Marmara Coğrafya Dergisi, 2, 33 – 50*.
- Simoud, 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*. <https://doi.org/10.12681/bgsg.11099>.
- Strahler, A. N. (1950). Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis. *Am. Jour. Sci., 248, . 673-696 and 800-814*.
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) Analysis of Erosional Topography. *Geological Society of America Bulletin, (63), 1117-1142*. <https://doi.org/10.1130/0016-7606>.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans Am Geophys Union, 38, 913–920*.
- Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: V. T. Chow (Ed.) *Handbook of Applied Hydrology (4-76)*. McGraw Hill.
- Topal, S. (2019). Karacasu fayı'nın (GB Türkiye) göreceli tektonik aktivitesinin jeomorfik indislerle incelenmesi. *GÜFBED/GUSTU, 9(1), 37-48*.
- Topal, S., Keller, E. A., Bufer, A. & Koçyiğit, A. (2016). Tectonic geomorphology of a Large Normal Fault Akşehir Fault SW Turkey. *Geomorphology, 259, 55–69*,
- Topuz, M. & Karabulut, M. (2016). Limonlu ve Alata Havzalarının (Mersin-Erdemli) jeomorfometrik analizi. *Turkish Studies, 11(2), 1231-1250*. <https://doi.org/10.7827/turkishstudies.9165>
- Turoğlu, H. (1997). İyidere havzasının hidrografik özelliklerine sayısal yaklaşım. *Türk Coğrafya Dergisi, 32, 355-364*.
- Uzun, M. (2014). Lale Dere (Yalova) Havzası'nın jeomorfolojik özelliklerinin jeomorfometrik analizlerle incelenmesi. *Route Educational and Social Science Journal, 1(3), 72-88*. <https://doi.org/10.17121/ressjournal.91>
- Üstündağ, A. (1987). *Sızma - Kurşunlu - Meydan - Bağrıkurt köyleri arasında Karadağ çevresinin jeolojisi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Selçuk Üniversitesi.
- Western, A. W., Finlayson, B. L., McMahon, T. & A. O'Neil, I. C. (1997). A Method for characterizing longitudinal irregularity in river channels. *Geomorphology, 21, 39- 51*. [https://doi.org/10.1016/s0169-555x\(97\)00023-8](https://doi.org/10.1016/s0169-555x(97)00023-8)
- Yıldırım, A. & Karadoğan, S. (2011). Raman dağları güneyinde (Dicle Vadisi) morfometrik ve morfotektonik analizler. *Dicle Üniversitesi, Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi, 16, 154-166*. <https://doi.org/10.14582/duzgef.674>

Zorer H. & Tonbul, S. (2019). Başkale Havzası'nda havza gelişiminin jeomorfometrik analizlerle incelenmesi. *Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Dergisi*, 29(2), 19–38. <https://doi.org/10.18069/firatsbed.536045>