



İNEGÖL HAVZASINDA DRENAJ AĞI GELİŞİMİ VE FLÜVİYAL SÜREÇLERİN MORFOMETRİK ANALİZLERLE İNCELENMESİ

Investigation of drainage network development and fluvial processes by morphometric analysis in İnegöl Basin

Murat UZUN

Marmara Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü

murat_uzun53@hotmail.com

ORCID: 0000-0003-2191-3936

(Teslim: 30 Mart 2021; Son Düzeltme: 9 Mayıs 2021; Kabul: 21 Mayıs 2021)
(Received: March 30, 2021; Last Revised: May 9, 2021; Accepted: May 21, 2021)

Abstract

Analyzes made with morphometric indices provide fast, comparable data with the developing Geographical Information Systems (GIS) and geological, geomorphological and hydrographic characteristics of the basins can be explained with this information. In this study, the drainage network development and fluvial processes of the İnegöl basin, which has various structural elements, geomorphic units, tectonic features, were examined through morphometric index analysis and maps. In the research, topography sheets and Digital Elevation Model (DEM) were created, calculations of areal, linear and superficial 26 morphometric indices were made over the basin-wide and three main sub-basins, and maps were produced with GIS. Among the analyzes, especially drainage density, stream density, asymmetric factor, topographic symmetry factor, valley width-valley height ratio, stream-length gradient index, dissection index and erosion-fragmentation index data show that the structure, tectonic events and strikes are the main factors in the drainage development of the basin. It has been determined. According to the results of the morphometric index, while lithological units in the İnegöl plain located in the north of the basin enabled the rivers to drain through a single channel, the granite topography in the Domaniç Mountains caused the density of the stream. Valley width-valley height ratio, stream-length gradient index, dissection index and topographic roughness index data reveal the presence of a concentrate stream, the drift of the rivers in certain areas of the basin, creating strait valleys by overcoming the steepness of the fault. It was observed that the general drainage in the basin was of the centripetal type, and dendritic, latticed and parallel drainage networks developed in the sub-basins and local areas. With the applied indices, it has been determined by numerical evidence that the effect of tectonic movements is the dominant factor in the development of the drainage network and fluvial processes.

Keywords: Morphometric Index, drainage network, Fluvial processes, tectonism, İnegöl Basin

Öz

Morfometrik indislerle yapılan analizler, gelişen Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile hızlı, karşılaştırılabilir veriler sağlamak ve bu bilgiler sayesinde havzaların jeolojik, jeomorfolojik ve hidrografik özellikleri açıklanabilmektedir. Bu çalışmada, farklı yapısal unsurları, jeomorfik birimleri, tektonik özellikleri barındıran İnegöl havzasının drenaj ağı, gelişimi ve flüvyal süreçleri etkileyen unsurlar, morfometrik indis analizleri üzerinden incelenmiştir. Araştırmada topografya paftaları ile Sayısal Yükselti Modeli (SYM) oluşturulmuş, havza geneli ve üç ana alt havza üzerinden alansal, çizgisel ve yüzeyel 26 morfometrik indis hesaplamaları yapılmış ve CBS ile haritalar üretilmiştir. Yapılan analizlerden özellikle drenaj yoğunluğu, akarsu sıklığı, asimetric faktörü, topografik simetri faktörü, vadi genişliği-vadi yüksekliği oranı, akarsu-boy gradyan indisi, yarıma derecesi ve aşınım-parçalanma indis verileri, havzanın drenaj gelişiminde strüktürün, tektonik hadiseler ile doğrultuların ana etkenler olduğunu tespit edilmiştir. Morfometrik indis sonuçlarına göre, havzanın kuzeyinde yer alan İnegöl ovasında litolojik birimler akarsuların tek kanal üzerinden drene olmasını sağlarken, Domaniç Dağları'ndaki granit topografyası akarsu sıklığının yoğun olmasına neden olmuştur. Vadi genişliği-vadi yüksekliği oranı, akarsu-boy gradyan indisi, yarıma derecesi ve topografik pürüzlülük indis verileri konsektant akarsu varlığını, havzanın belli alanlarındaki akarsuların ötelendiğini, fay dikliklerini aşarak boğaz vadiler oluşturduğunu ortaya koymuştur. Havzada genel drenajın sentripetal tipte olduğu, alt havzalarda ve yerel bölgelerde dandritik, kafesli ve paralel drenaj ağlarının geliştiği görülmüştür. Uygulanan indislerle drenaj ağı ve flüvyal süreçlerin gelişiminde tektonik hareketlerin etkisinin baskın etmen olduğu sayısal kanıtlarla tespit edilmiştir.

Ahahtar Kelimeler: Morfometrik İndis, drenaj ağı, flüvyal süreçler, tektonizma, İnegöl Havzası

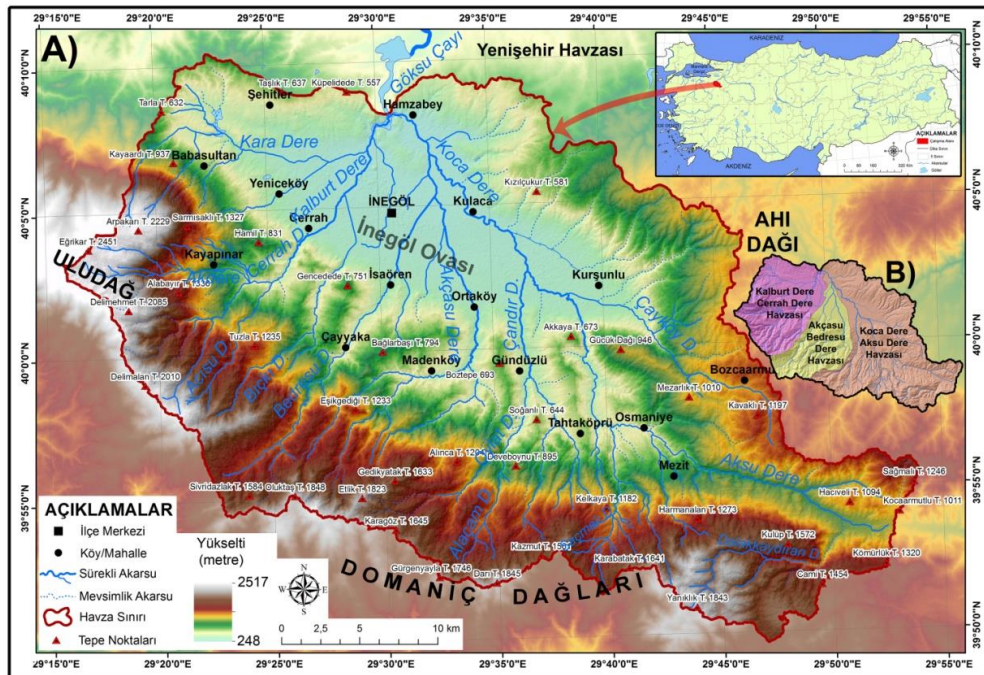
1. GİRİŞ

Jeolojik, jeomorfolojik ve hidrografik özelliklerinin farklı boyutları ve gelişim evreleri geçmişten günümüze birçok yöntemle incelenmektedir. 19 ve 20 Yy.'dan günümüze kadar gelişme gösteren kantitatif yaklaşımlar, belli formüllerle hesaplanabilen ve sonuçları yorumlanabilen morfolojik veriler ortaya koymaktadır (Chorley, 1958; Evans, 1972). Morfolojik indislerde kendi sistematiği içerisinde, sınırları belli alanlarda farklı analizlerle uygulanabilmektedir (Horton, 1945; Chorley, 1972; Verstappen, 1983; Zevenbergen ve Thorne, 1987). Günümüzün gelişen teknolojik imkanları ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile yapılan morfolojik çalışmalarla; hızlı, kanıtlanabilir ve karşılaştırılabilir veriler üretilmektedir (Pike vd., 2009; Davis, 2011). Bütün bu olanaklar morfolojik (jeomorfolojik) analizlerin Dünyada ve Türkiye'de birçok alanda kullanımını geliştirmiştir (Gardiner, 1990; Pike vd., 2000; Håkanson, 2005; Aadi Hamid, 2013; Wilson ve Bishop, 2013; Markose vd., 2014; Uzun, 2014; Yıldırım, 2014; Avcı ve Sunkar, 2015; Topuz ve Karabulut, 2016; Karataş, 2017; Elbaşı ve Özdemir, 2018; Öztürk, 2018; Bayer Altın ve Altın, 2020).

Havzalar; jeolojik, jeomorfolojik ve hidrografik olarak sınıflandırılmakta ve genel anlamı ile etrafı yüksek kütlerle çevrili olan, akarsu ağının ve bu alandaki su bölümü çizgisinin sınırlarını belirlediği sahalar olarak ifade edilmektedir (Hoşgören, 2010). Havzalar, kendi içerisindeki gelişim mekanizmaları ve

evreleri ile morfolojik analizlerin uygulanması ve yorumlanması için ideal sahalardır. Bu alanlarda yapılan uygulamalarla havza morfolojisi kavramı ortaya çıkmış, geçmişten günümüze Dünyada ve Türkiye'de birçok çalışmada kullanılmıştır (Horton, 1932; Strahler, 1952; Miller, 1953; Schumm, 1954; Melton, 1958; Strahler, 1966; Gardiner ve Park, 1978; Zavoianu, 1985; Baumgardner, 1987; Patton, 1988; Turoğlu, 1997; Cürebal, 2004; Tari ve Tüysüz, 2008; Özşahin, 2010; Özdemir, 2011; Utlu vd., 2012; Karabulut vd., 2013; Karataş, 2014; Uzun, 2019). Havzaların drenaj ağı belli unsurlardan etkilenerek farklılıklar göstermekte ve jeolojik-jeomorfolojik evrelerdeki değişimlerle orantılı olarak şekillenmektedir (Mark, 1988; Morris ve Heerdegen, 1988; Engstrom, 1989; Pike vd., 2009). Bu yüzden havzaların drenaj ağı tipi, kanal yerleşimi, tektonik faaliyetlerin etkisi, flüvyal süreçler ve gelişim evreleri birçok morfolojik indisle hesaplanmakta ve yorumlanabilmektedir.

Bu çalışmada Marmara Bölgesi'nin güneydoğusunda yer alan İnegöl havzasının drenaj ağı gelişimi, flüvyal süreçleri; jeomorfolojik birim ve gelişmelerden etkilenmesi morfolojik indislerle incelenmiştir. Çalışma sahasının sınırlarını oluşturan su bölümü çizgisi, havzanın çerçevesini oluşturan yüksek kütlelerin zirvelerine tekabül eder. Bu bakımdan havzanın batı-güneybatı sınırını Uludağ zirveleri, güney sınırını Domaniç Dağları zirveleri, doğu-kuzeydoğusunu Ahı Dağı zirveleri meydana getirmektedir (Şekil 1).



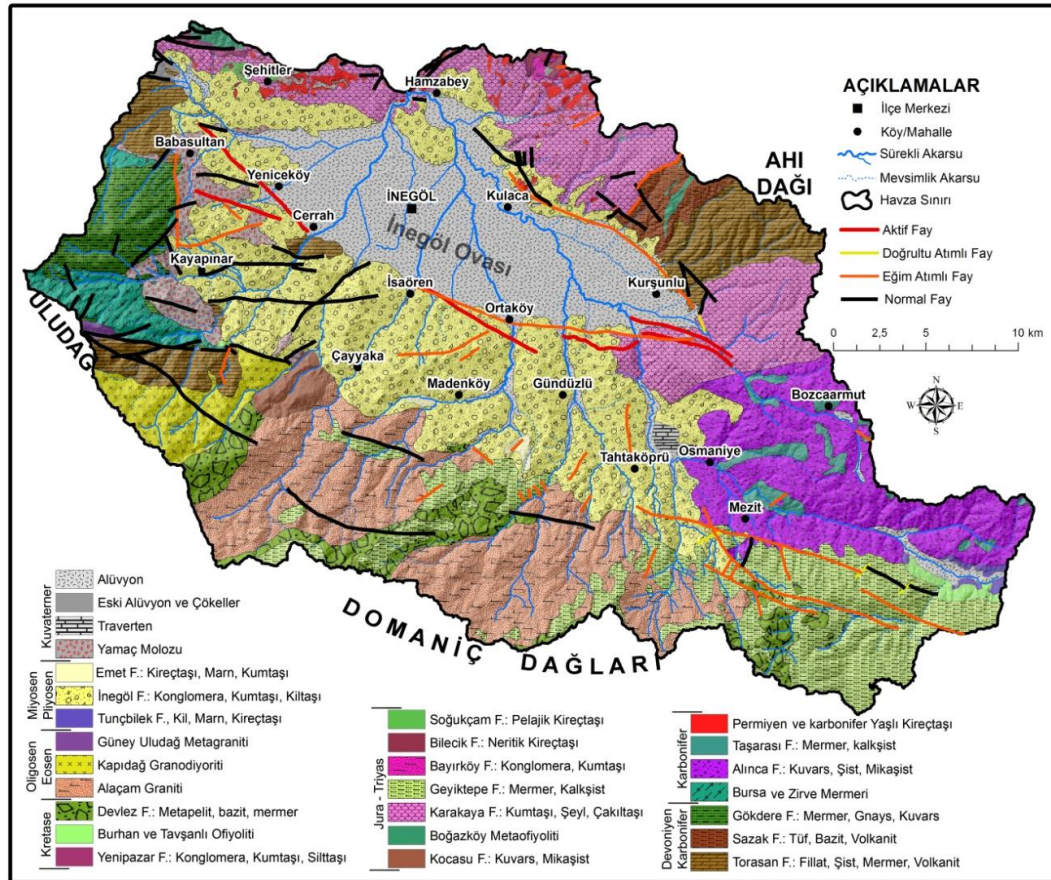
Şekil 1- A) Çalışma sahasının lokasyon haritası, sayısal yükselti modeli ve B) üç ana alt havzası
Figure 1- A) Location map of study area, digital elevation model and B) three main sub-basins

Havzanın kuzeyini Yenişehir-İnegöl havzaları arasındaki plato alanlarına tekabül eden eşik sahası, kuzeybatısını Bursa ovası-İnegöl ovası eşiği, güneydoğusunu Aksu Dere-Bozüyük eşiği oluşturmaktadır. İnegöl havzası mutlak konum itibarıyla 39°50'- 40°10' kuzey enlemleri ile 29°15'- 29°55' doğu boylamları arasında yer alır (Şekil 1). Havzanın toplam alanı 1166,33 km², çevre uzunluğu 195,5 km, kuzey-güney doğrultusunda kuş uçuşu 23,6 km, batı-doğu doğrultusunda kuş uçuşu 53,5 km'lik uzaklığa sahiptir.

Araştırmada İnegöl havzasının inceleme sahası seçilmesinin nedeni; bölgenin çöküntü ovası ile yüksek çerçeveyi teşkil eden tipik bir havza görünümü sunması, drenaj ağının farklı süreçlerden etkilenerek gelişmesi ve sahanın neo-tektonik hareketlerden oldukça etkilenmiş olmasıdır. Çalışmanın amacını; İnegöl havzasının morfometrik indislerle sayısal değerlerinin ortaya konması, yorumlanması ve elde edilen sonuçlarla alt havzalar kapsamında karşılaştırma yaparak drenaj ağı gelişiminde ve flüvyal süreçlerde etkili olan faktörlerin tespit edilmeye çalışılması oluşturmaktadır.

2. ARAŞTIRMA SAHASININ JEOLojİK VE JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Araştırma sahasının jeolojik görünümünü, farklı zaman ve litolojik birimlere ait formasyonlar oluşturmaktadır (Şekil 2). Uludağ, Domaniç Dağları ve Ahı Dağı'nın havza sınırları içerisinde yer alan kesimlerindeki formasyonlar en eski birimleri oluşturur. Ahı Dağı'ndaki Sazak ve Torasan formasyonları Devoniyen-Karbonifere ait olup bazit, volkanit ve mermerleri barındırmaktadır. Uludağ'ın Arpakarı Tepesi civarında yüzeylenen mermer ve gnayslardan müteşekkil Gökdere formasyonunda Karbonifer'e aittir. Uludağ'ın zirve kesimlerinde Bursa mermerleri de yaygın olarak gözlemlenir (Ardel, 1943). Karbonifer'e yaşlandırılan Alınca formasyonu Aksu Dere'nin kuzeyinde; kuvars, şist ve mikaşistlerden müteşekkildir. Havzanın kuzey sınırını teşkil eden plato sahasında tektonik hatlarla parçalanmış Permiyen ve Karbonifer kireçtaşları yer alır. Bu alanda aynı zamanda Jura-Triyas'a ait Karakaya kompleksi birimleri de gözlemlenir. Havzanın güneyinde Tavşanlı zonu içerisinde yer alan Geyiktepe formasyonu ve parçalar halinde tektonik donaklı Devlez formasyonu daha çok mermer birimleriyle gözlemlenir.



Şekil 2- İnegöl havzasının jeoloji haritası (MTA 1:100.000 ölçekli jeoloji paftalarından üretilmiştir)

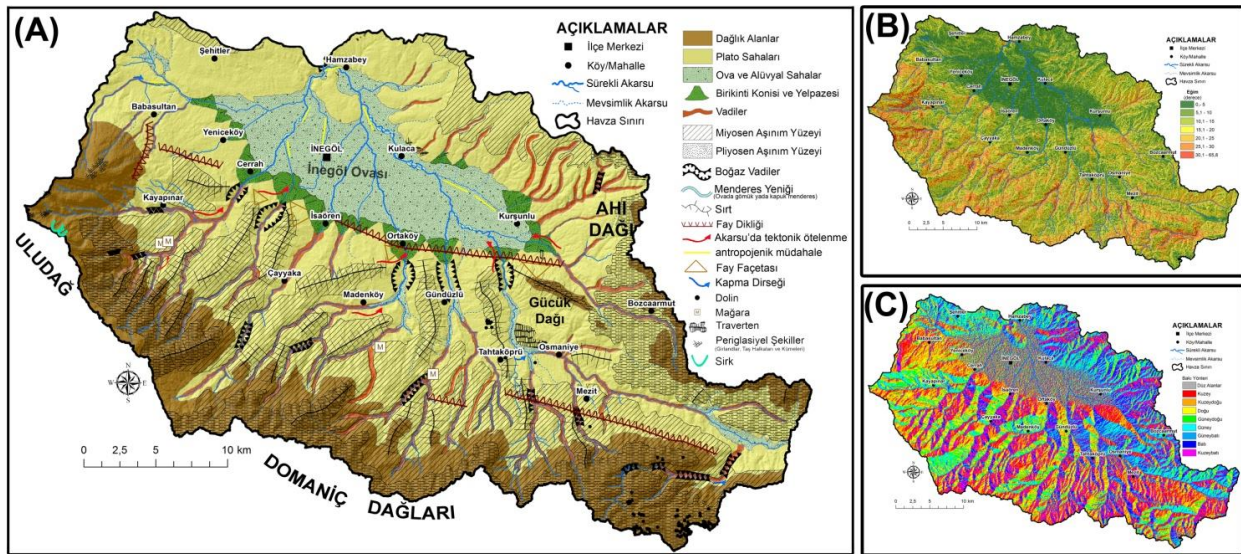
Figure 2- Geological map of the İnegöl basin

Bu alandaki tektonik hatlar Sakarya zonu ve Tavşanlı zonu arasındaki kenet kuşağını oluşturur (Altınlı, 1965; Okay, 2011). Domaniç Dağları'nda geniş alanda gözlemlenen Alaçam graniti ise Oligosen-Eosen'e aittir ve granit topografyasının oluşmasında etkilidir (Hoşgören, 1975). Bu birimin batısında Bedresu Dere vadisinden itibaren Kapıdağ granodiyoriti görülür. İnegöl havzasında, kenet kuşağından kuzeye doğru Miyosen-Pliyosen kumtaşı, kıltaşı, konglomera birimlerinden oluşan İnegöl formasyonu en yaygın birimi meydana getirir (Ardel, 1947). Uludağ yamaçlarında Kuvaterner yamaç molozu geniş alanda görülür. İnegöl fay zonundan itibaren Kuvaterner alüvyonları ova tabanında oldukça geniş saha kaplar. Ovanın güneyi aktif fay zonu ve doğrultu atımlı faylarla, kuzeydoğusu ise eğim atımlı faylarla sınırlanmıştır. Kenet kuşağı sınırında ise eğim atımlı ve normal faylar gözlemlenir (Şekil 2).

İnegöl havzasında en alçak sahalarda ova tabanının kuzeyi olup 248 m, en yüksek alanlar ise Uludağ kesiminde 2517 m seviyesindedir. Yükselti kademeli olarak ova tabanından güneye doğru artmaktadır. Doğuda Ahı Dağı çevresinde 1000 m, güneyde Domaniç Dağları'nda 2000 m ve Uludağ'da 2500 m seviyelerinde yükseltiler havzanın çerçevesini teşkil eder. Eğim değerleri açısından havzanın taban kesimini oluşturan ova sahasında 0-5 derecelik eğim değerleri gözlemlenir. Ancak özellikle ova sınırındaki ve dağlık alanlardaki fay dikliklerinde, boğaz vadilerde eğim değerlerinin çok yüksek seviyeye ulaştığı dikkat çeker (Şekil 3). Havzanın kuzey kesiminde güney yönlü yamaçlar gözlemlenirken

güneydeki eğimin kuzey yönlü olması bu yönlü yamaçların daha fazla görülmesini sağlamıştır.

Havzanın ana jeomorfolojik birimlerini güney bölümündeki dağlık alanlar, kuzeye doğru uzanan plato sahası ve havza tabanını oluşturan alüvyal ova düzlüğü meydana getirir (Şekil 3). Havzanın güneyinde Uludağ ve Domaniç Dağları, doğusunda ise Ahı Dağı yer alır. Dağ yamaçlarında 1500 m seviyesine kadar görülen plato sahası, ova sınırından itibaren akarsular tarafından derince yarılmış vadiler ve sırtlardan meydana gelir. Aynı zamanda bu alanda Miyosen ve Pliyosen'e ait aşınım düzlükleri görülmektedir (Hoşgören, 1975). Miyosen aşınım yüzeylerinin Ahı Dağında 900 m, Domaniç Dağları'nda 1700 m seviyesine kadar görülmesi jeolojik mazide özellikle neo-tektonik hareketlerle bu alanın yükselmesi ile alakalıdır. Havzanın kuzeyini İnegöl ovası oluşturur. Ova, güney ve doğudan faylarla sınırlanmış depresyon sahasına tekabül eder ve yüksek kesimdeki erozif faaliyetler sonucu taşınan malzemelerin biriktiği alüvyonlarla kaplıdır (Arđos, 1995). Bu nedenle ovanın güneyinde birçok alanda birikinti konilerinin varlığı dikkat çeker. Bu alanlarda fay diklikleri ve fay façetaı tektonik jeomorfoloji birimlerinin olduğunu da göstermektedir. Havzada birçok alanda akarsuların derine aşındırması sonucu vadiler gözlemlenir. Özellikle fay dikliklerini kesen alanlarda boğaz vadi geçişleri jeomorfolojik yapının diğer elementer birimini teşkil eder. Havzanın deşarjını sağlayan Kocadere-Göksu Çayı birleşim alanı epijenik boğaz şeklinde oluşmuştur.



Şekil 3- İnegöl havzasının A) jeomorfoloji, B) eğim ve C) bakı haritaları
Figure 3- A) Geomorphology, B) slope and C) aspect map of the İnegöl Basin

İnegöl havzasının jeolojik-jeomorfolojik evriminin en eski nüvesini Uludağ kütlesi ve okyanus tabanında kıvrımlanmaya uğrayan tortullar meydana getirir. Havza, Mezozoyik'de denizel-karasal ve görsel özellikler göstermiş, kaide seviyeleri değişmiştir. Paleosenden itibaren Alp orojenezinin etkisiyle kıvrımlanmalar meydana gelmiş, yükselme, çukurlaşmalar jeomorfolojik evrim için yerel kaide seviyelerini belirlemiştir (Hoşgören, 1975). Miyosen ve Pliyosen'deki epirojenik hareketler kaide seviyelerini değiştirmiş, flüvyal süreçler hızlanmış, etkili olan neo-tektonik hareketler Uludağ-Domaniç Dağları'nın yükselmesine sebebiyet vermiştir. Böylece havzanın drenaj ağı iyice ortaya çıkmış, flüvyal süreçler, erozyon ve sedimentasyonla havzanın jeomorfolojik görünümünü oluşturmuştur. İnegöl havzasını güneydeki yüksek dağlık sahadan ve doğudan gelen akarsular drene etmektedir. Bütün akarsular İnegöl ovasında drene olarak batıda Kalburt Dere, doğuda Kocadere ve havzanın ortasında Akçasu Dere ile birleşmektedir. Bu akarsular ise havzanın kuzeyinden Boğazköy barajı sahasında Göksu Çayı'na bağlanmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada, Harita Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 1:25.000 ölçekli H22c1-c2-c3-c4, H23d1-d3-d4, İ22b1-b2, İ23a1-a2-a3, İ23b1-b4 topografya paftaları, MTA'dan 1:100.000 ölçekli H22, H23, I22, I23 jeoloji paftaları, METI&NASA yapımı 30 m çözünürlüklü AsterGDEM verisi, saha ile ilgili yapılmış önceki araştırmalar ve arazi çalışmalarıyla elde edilen bilgiler materyal olarak kullanılmıştır.

Araştırmada ilk olarak önceki çalışmalar hakkında literatür taraması yapılmış ve elde edilen veriler incelenmiştir. Daha sonra topografya paftalarının ArcGIS 10.3.1 yazılımına aktarılması ile saha ve yakın çevresinin sayısal yükselti modeli (SYM-DEM) oluşturulmuş, Spatial Analyst-Hydrology ile SYM verisi üzerinden hidrolojik analiz yapılarak havzanın akarsu ağı, su bölümü çizgisi belirlenmiş ve sınırları ortaya konmuştur. Bu sınırlar çerçevesinde, SYM verisinden Arc Toolbox-Spatial Analyst Tools ile sahanın eğim, bakı, kurvatür haritaları ve jeoloji paftalarının sadeleştirilmesi ile jeoloji haritası üretilmiştir.

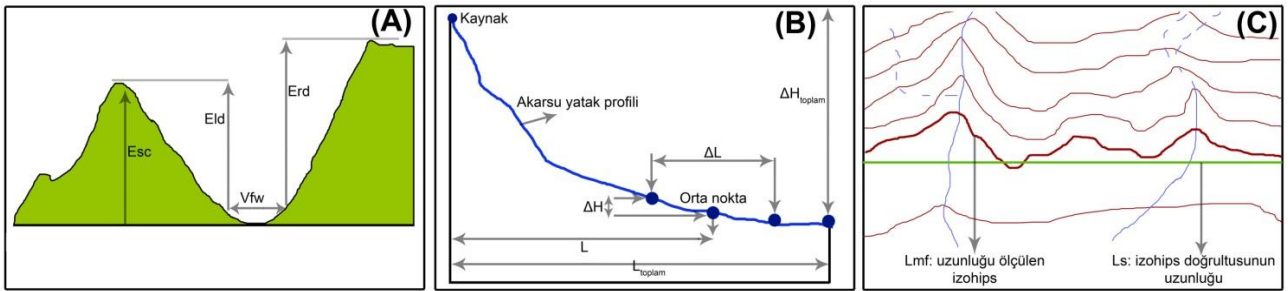
Çalışmada alansal, çizgisel ve yüzeysel parametreler kapsamında 60'a yakın morfometrik indisten 26'sı seçilmiş, havzaya uygulanmış ve hesaplamaları yapılmıştır (Tablo 1). Çalışmada böyle bir yola gidilmesinin nedeni, flüvyal süreçler, drenaj ağı ve gelişimde rol oynayan etmelere yapı, tektonizma ve jeomorfolojik süreçlerin etkisinin daha

belirgin ortaya koyan belli indislerin seçilmesidir. Böylece havzadaki drenaj ağı hakkında kesin ve karşılaştırma imkânı yapan veriler ortaya konmuştur. Havzanın morfometrik analiz sonuçlarının daha verimli olabilmesi için, İnegöl havzası 3 alt havzaya ayrılmıştır. Bu kapsamda yapılan bütün morfometrik analizler İnegöl havzası geneli ile 3 alt havza olan Kalburt-Cerrah Dere, Akçasu-Bedresu Dere, Kocadere-Aksu Dere havzaları üzerinden hesaplanmış ve değerler birbirleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Uygulanan morfometrik indislerden birçoğunun sayısal değerleri karşılaştırma imkânı sunması bakımından yorumlanmıştır. Bu bakımdan hidrolojik analiz ile ortaya konan veriler (flow accumulation, flow direction, stream order) sayısal olarak analiz edilmiştir. Yoğunluğu ortaya koyan ve yüzeysel morfometride harita verileri sunan indisler ise raster calculator aracı ile analiz edilmiştir. Bazı indis verileri üzerinden ise haritalar oluşturulmuştur. Akarsu sıklığı ve drenaj (vadi) yoğunluğu; çizgisel akarsu verilerinin line-kernel density yöntemine tabi tutulması ile oluşturulmuştur. Aşınım-parçalanması derecesi (topografik rölyef), 1x1 km'lik uzunluklara sahip karelaç ağına üretilmesi (arc toolbox-cartography-data driven pages- grid index features) ve 1 km²'lik alandaki irtifa farkının (zonal statistics as table) IDW ile enterpole edilmesiyle üretilmiştir. Vf ve SL indis verilerinin haritaları ise hesaplanan vadi ve akarsu profillerinin (Şekil 4) belirlenen segmentlerine atanan noktalara değer girilmesi ve daha sonra enterpole edilmesiyle üretilmiştir. Vf indis verileri için akarsu drenaj ağı üzerinden 137 noktada vadi profilleri alınmış ve hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen Vf indis sonuçları profil hatlarının akarsu talveg kesişimine gelen yere atanan noktaya değer olarak girilmiş ve daha sonra kriging yöntemi ile enterpole edilerek havzanın Vf indis haritası üretilmiştir (Şekil 4). SL indis haritası, havzadaki 14 akarsuda profiller üzerinden 2000 m aralıklarla yapılan hesaplamalar sonucunun bu indis noktalarına değer olarak girilmesi ve kriging yöntemi ile enterpole edilmesi sonucu ortaya konmuştur. Yarılmı derecesi ve TRI verileri ise spatial analyst-neighborhood-focal statistics üzerinden elde edilen veriler raster calculator ile analiz edilmiş ve haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen bütün sonuçlar alt havzalar kapsamında karşılaştırılmış, havzanın drenaj ağı ve gelişimi ile flüvyal süreçleri etkileyen unsurlar kantitatif değerler üzerinden açıklanmıştır.

Tablo 1- Çalışmada kullanılan morfometrik indisler
Table 1- Morphometric indices used in the study

Morfometrik İndis	Formülü	Kaynak	
Alansal Morfometri	Dairesellik oranı (R_c)	$R_c = A / \left[\left(\frac{P}{\pi} \right)^2 \times \pi \right]$	Miller (1953)
	Biçim faktörü (R_f)	$R_f = A / (B \times L)$	Eagleson (1970)
	Havza şekil faktörü (R_s)	$R_s = Lm / \left[\left(\sqrt{\frac{A}{\pi}} \right) \times 2 \right]$	Seth vd., (1998)
	Drenaj (vadi) yoğunluğu (D_d)	$D_d = \Sigma L / A$	Horton (1932)
	Akarsu sıklığı (F_s)	$F_s = N / A$	Horton (1932)
	Tekstür oranı (R_t)	$R_t = N_{ui} \times (1/P)$	Horton (1945)
	Havza şekli (R_f)	$R_f = A / L_b^2$	Horton (1932)
Çizgisel Morfometri	Havza Uzunluğu-Genişliği	L ve W	Schumm (1956)
	Toplam akarsu uzunluğu (L_{sum})	$L_{sum} = (\Sigma_{i=1}^N S)$	Strahler (1964)
	Ortalama akarsu uzunluğu (L_a)	$L_a = L_{sum} / A$	Strahler (1964)
	Çatallanma oranı (R_b)	$R_b = N_u / N_{u+1}$	Strahler (1964)
	Yatak eğimi oranı (R_M)	$R_M = \frac{(H_{max}L_m) - (H_{min}L_m)}{L_m}$	Miller (1990)
	Yatak kıvrımlığı oranı (R_{si})	$R_{si} = L_m / L_d$	Hack (1957)
	Uygunluk oranı (R_i)	$R_i = L_m / P$	Melton (1957)
Yüzeysel Morfometri	Rölyef oranı (R_r)	$R_r = (H_{max} - H_{min}) / L$	Schumm (1956)
	Engebelilik Değeri (R_n)	$R_n = D_d \times B_h$	Melton (1957)
	Hipsometrik İntegral (H_i)	$H_i = (H - H_{min}) / (H_{max} - H_{min})$	Strahler (1952)
	Hipsometrik Eğri (H_c)	$H_c = (h/H)$ ve (a/A)	Strahler (1952)
	Asimetri faktörü (AF)	$AF = 100 (A_r / A_t)$	Hare ve Gardner (1985)
	Topografik simetri faktörü (T)	$T = D_a / D_d$	Cox (1994)
	Dağ cephesi sinüsitesi (Smf)	$Smf = Lmf / Ls$	Bull (1978)
	Vadi genişliği - vadi yüksekliği oranı (Vf)	$Vf = \frac{2Vfw}{(Eld - Esc) + (Erd - Esc)}$	Bull ve McFadden (1977)
	Akarsu-boy gradyan indisi (SL)	$SL = (\Delta H / \Delta L) L$	Hack (1973)
	Aşınım-Parçalanma Derecesi (E_c)	$E_c = [(H_{max} - H_{min})] / A$	Mark (1975), Karataş (2014)
Yarıлма İndisi (DI)	$DI = RR / AR$	Nir (1957)	
Topografik Pürüzlülük İndisi (TRI)	$TRI = (H_{mean} - H_{min}) / (H_{max} - H_{min})$	Riley vd., (1999)	



Şekil 4- A) Vf indisi B) SL indislerinin örnek profil kesit ve C) Dağ cephesi sinüsitesi indisinin harita üzerindeki hesaplanma kriterleri

Figure 4- A) Vf index B) Sample profile section of SL indices and C) Calculation criteria of mountain front sine wave index on the map

4. BULGULAR

Çalışmada alansal, çizgisel ve yüzeysel morfometri kapsamında, İnegöl havzası ve üç alt havzasının hesaplamaları yapılmış, haritalar üretilmiş ve birbirleri ile karşılaştırılarak analiz edilmiştir (Tablo 2).

Dairesellik oranı (R_c): Havza alanının, havza çevre uzunluğuna eşdeğer dairenin alanına bölünmesiyle elde edilmektedir (Miller, 1953). Elde edilen sonuçlar havzanın boyutsal özellikleri ve hangi unsurlar tarafından denetlendiği hakkında bilgi verir (Karataş, 2017). İnegöl havzasının tek bir akarsu tarafından drene edilmemesi havzanın dairesellikten uzak olduğunu gösterirken, Kalburt Dere havzasının daha dairesel olduğu ve birkaç alt havzadan oluştuğunu ortaya koymaktadır. İnegöl havzası genelinde topografik koşulların drenaj ağını yönlendirdiği havzanın dairesellik verilerinden ortaya

çıkılmaktadır. Özellikle tektonik hatlar alt havzaların drenaj sınırlarını ve akış yönlerini belirleyen temel etmenler olduğu anlaşılmaktadır.

Biçim faktörü (R_f): Havza toplam alanının, havza maksimum genişliği ve akarsu uzunluğu çarpımı sonucuna bölünmesiyle elde edilmektedir (Eagleson 1970; Karataş, 2017). İndis sonuçları, havzadaki flüvyal süreçler ve jeolojik birimler arasındaki ilişki hakkında bilgi vermektedir. İnegöl havzasındaki biçim faktörü değerinin 0,77 olarak hesaplanması ve alt havzalara nazaran daha yüksek değerlerin olması, havzanın özellikle tektonik hatlarla şekillendiğini ve litolojik birimlerin çeşitliliğinin flüvyal süreçler üzerinde rol oynadığını göstermektedir. Alt havzalarda değerlerin birbirlerine yakın olduğu, tektonik hatların drenaj yapısını şekillendirdiği ancak yapının bu noktada ikinci etmen olduğu sonucu ortaya çıkar.

Tablo 2- İnegöl havzası ve alt havzalarına uygulanan morfometrik indis sonuçları
Table 2- Morphometric index results applied to İnegöl basin and sub-basins

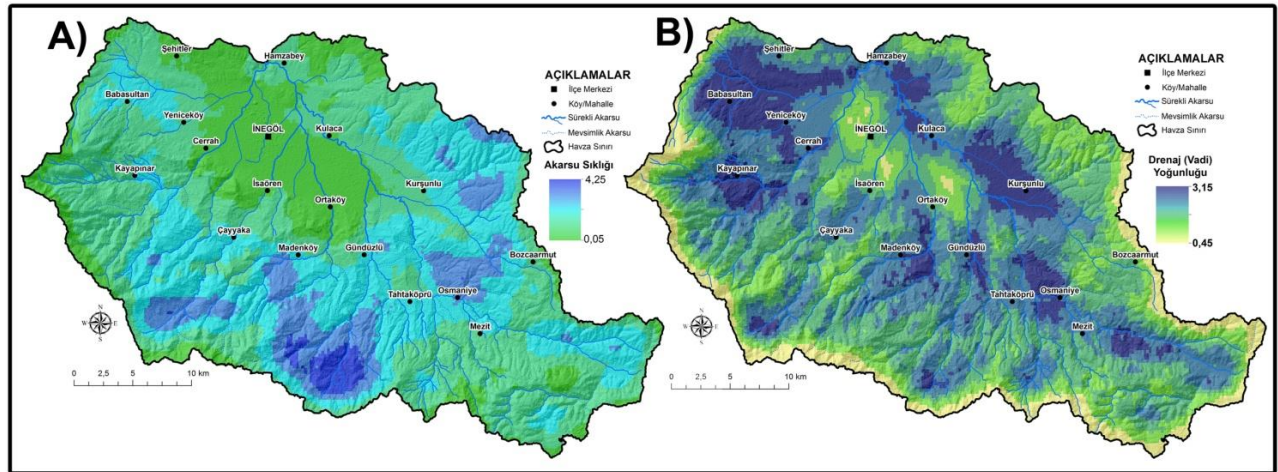
Morfometrik İndisler		İnegöl Havzası	Kocadere-Aksu Dere Havzası	Akçasu-Bedresu Dere Havzası	Kalburt-Cerrah Dere Havzası
Alansal Morfometri	Dairesellik oranı	0,38	0,28	0,5	0,61
	Biçim faktörü	0,77	0,65	0,62	0,65
	Havza şekil faktörü	0,72	1,8	1,74	1,38
	Drenaj (vadi) yoğunluğu	2,19	2,16	2,15	2,23
	Akarsu sıklığı	1,78	2,11	1,96	1,04
	Tekstür oranı	7,26	5,4	4,08	2,65
	Havza şekli	2,09	0,35	0,42	0,68
Çizgisel Morfometri	Havza Uzunluğu (km)	23,62	41,4	23,2	21,7
	Havza Genişliği (km)	53,58	18,5	12,3	17,5
	Toplam akarsu uzunluğu (km)	2053,8	1196,8	392,6	438,6
	Ortalama akarsu uzunluğu (km/km ²)	1,76	1,94	1,72	1,35
	Çatallanma oranı	2,37	2,45	2,46	2,08
	Yatak eğimi oranı	0,08	0,032	0,059	0,08
	Yatak kıvrımlığı oranı	1,19	1,22	1,35	1,29
Yüzeysel Morfometri	Uygunluk oranı	0,12	0,3	0,39	0,34
	Rölyef oranı	0,096	0,04	0,076	0,01
	Engbelilik Değeri	4,94	3,56	3,8	5,03
	Hipsometrik İntegral	0,26	0,36	0,31	0,27
	Asimetri faktörü	68,2	49,1	43,5	26,9
	Topografik simetri faktörü	Ort: 0,15	Ort: 0,29	Ort: 0,40	Ort: 0,41
	Dağ cephesi sinüslüğü	Ort: 2,4	-	-	-
	Vf indisi	Ort: 0,77	Ort: 0,62	Ort: 0,66	Ort: 1,12
	Akarsu-boy gradyan -SL indisi	Ort: 335	Ort: 285	Ort: 376	Ort: 401
	Aşınım-Parçalanma Derecesi (m)	Ort: 206	Ort: 195	Ort: 215	Ort: 220
Yarıлма İndisi	Ort: 0,26	Ort: 0,25	Ort: 0,27	Ort: 0,27	
Topografik Pürüzlülük İndisi	Ort: 0,48	Ort: 0,49	Ort: 0,48	Ort: 0,47	

Ort: havza kapsamındaki ortalama değer

Havza şekil faktörü (R_s): Havzadaki ana akarsu uzunluğunun, havza ile aynı alanı kaplayan dairenin çapına bölünmesiyle elde edilir (Seth vd., 1998; Karataş, 2017). Hesaplama sonuçları havza şekli, flüvyal süreçler ve yapı arasındaki ilişkiyi açıklar. İnegöl havzası genelinde ana akarsuyun belirgin olmaması değerlerin alt havzalara göre düşük çıkmasına neden olmuştur. Bu durum güneydeki tektonik olarak yüksek alanlardaki konsektant akarsuların eğimi takiben akış göstermesi ile de desteklenebilir. Kocadere ve Akçasu Dere havzalarında değerlerin yüksek olması uzunlamasına bir şeklin havzaya hâkim olduğunu ve jeomorfolojik koşullar ile tektonik yükselme sonucu havzada eğimin arttığını ve flüvyal süreçlerin gelişim evrelerinde etkili olarak drenaj ağının oluşumunda hâkim süreç olduğu yorumunu yapmamızı sağlar.

Drenaj (vadi) yoğunluğu (D_d): Havzada yer alan toplam drenaj uzunluğunun havza alanına

bölünmesi sonucu hesaplanır. İndis, havzadaki bütün drenajı kapsadığı için akıştan yoksun olan vadilerde bu kapsama alınarak sonuçlar değerlendirilir (Horton, 1932; Strahler, 1964; Cürebal, 2004; Özdemir, 2011). İnegöl havzasında drenaj yoğunluğunun fay hatlarına uyum sağladığı, ana akarsuların kanallarını bu alana yerleştirdiği ve diğer alanlardan kancalı drenaj ağıyla birçok tali akarsuyla beslendiği için değerlerin ana akarsu çevrelerinde yüksek olduğu görülür. Kara Dere, Kocadere, Akçasu, Çandır ve Aksu Dere vadileri ve tali kollarında drenaj yoğunluğunun fazla olduğu, İnegöl ovası tabanı ile havza su bölümü çizgisinde yoğunluğunun en az olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 5). Drenajın yoğun olduğu sahalar, flüvyal süreçlerin ve dolayısıyla erozif faaliyetlerinde yoğun olduğu alanlar olup, tektonik hatlardan oldukça fazla etkilenmiş ve tektonizmanın yol açtığı yükselme drenaj ağını geliştirmiştir. İndis sonuçları İnegöl havzası ve alt havzalarında km^2 'ye 2 km 'den fazla akarsuyun düştüğünü göstermektedir.



Şekil 5- İnegöl havzasının A) Akarsu sıklığı haritası B) Drenaj yoğunluğu haritası

Figure 5- A) Stream frequency map and B) Drainage density map in İnegöl basin

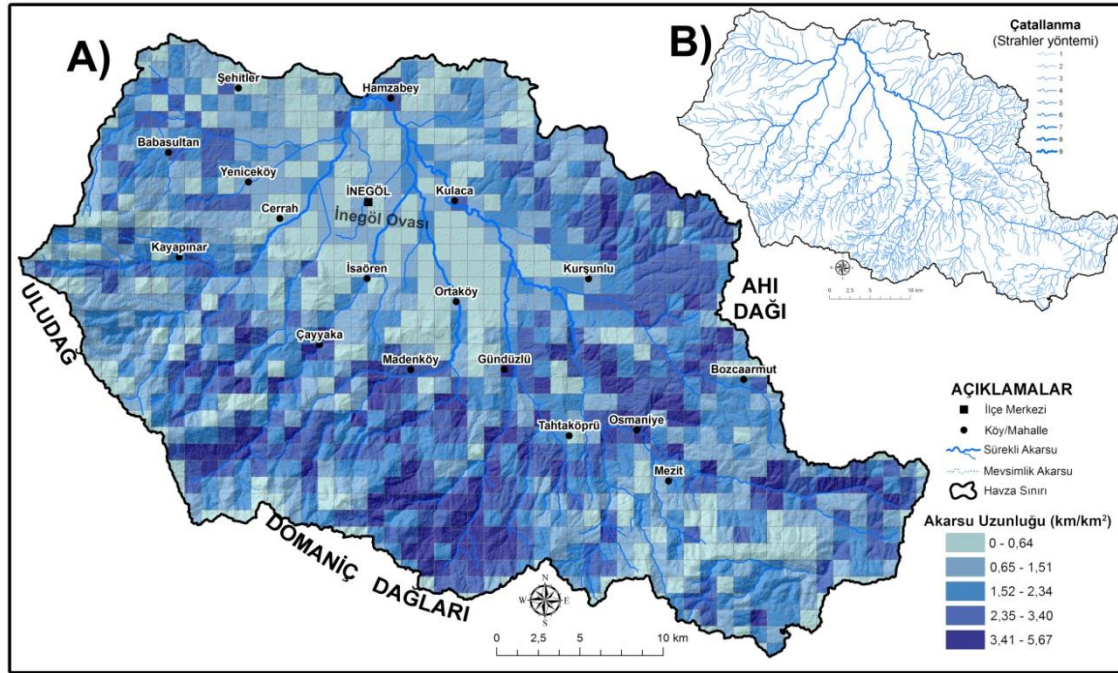
Akarsu sıklığı (F_s): Havzadaki toplam dizin sayısının havza alanına bölünmesiyle hesaplanan indis sonuçları üzerinden havzanın drenaj sistemi ve bu dağılışı etkileyen unsurlar hakkında yorum yapılabilmektedir (Horton, 1932; Karataş, 2017). Değerlerin Akçasu havzasında en yüksek olduğu dikkat çeker. Özellikle bu havzanın yukarı çıkırındaki granit topografyası sızma oranını azaltmakta ve yüzeysel akışa geçen drenaj yapısının yoğun olmasını sağlamaktadır (Şekil 5). Bu alandaki geçirimlilik durumunun düşük olduğu sahalar akarsu sıklığının en yüksek olduğu yerlerdir. Kocadere vadisinin kuzeyinde, Ahı Dağı'nın bazı noktaları da yoğun akarsu sıklığına aynı yapı ile sahiptir. İnegöl ovası ise akarsu ağının birleşim noktalarına tekabül etmesi ve

sızma potansiyelinin yüksek olması nedeniyle akarsu sıklığının en az olduğu yerlerdir. Kalburt Dere havzasında akarsu sıklığının düşük olmasında ise strüktürün yanında jeomorfolojik görünümde önemli rol oynamıştır. Bu alanda eğimin yüksek olması konsektant akarsuları geliştirmiş ancak subsektant akarsu yüzeyde çok fazla belirginleşmemiştir.

Tekstür oranı (R_t): Birinci dizinde yer alan akarsu sayısının havza çevre uzunluğuna bölünmesiyle elde edilmektedir (Strahler, 1957). İndis sonuçları litolojik yapının sızma kapasitesi ve topografik görünüm hakkında bilgi vermektedir. İnegöl havzası genelinde ortaya çıkan yüksek değer sızma miktarının fazla olduğunu ortaya koyar. İndis sonucunun İnegöl havzasında yüksek olmasını

sağlayan durum ise alüvyal dolgulu ovanın geniş alan kaplamasıdır. Bu durum drenaj gelişiminin havzanın aşağı çıkışında tek kanal üzerinden sağlanmasına neden olmaktadır. Akçasu Dere ve Kalburt Dere havzalarında ise sızma miktarının az olduğu, belirtilen verinin drenajın akarsuda akışa hemen geçtiğini ve flüvyal süreçleri hızlandırdığını göstermektedir.

Havza şekli (Rf): Havza alanı ile havza uzunluğunun karesinin oranlamasıyla elde edilen indis sonuçları, havzanın şeklini, sel-taşkın yapısını ve flüvyal süreçlerin işleyişini açıklar (Horton, 1932). İnegöl havzasında alt havzalara göre değerin yüksek çıkması, daha dairesel bir görüntüde olduğunu, daha çok birinci ve ikinci dizindeki akarsular ile drene edildiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 6- A) Havzada km²'ye düşen akarsu uzunluğu B) Akarsu çatallanma haritası

Figure 6- A) Stream length per km² in the basin B) Stream bifurcation map

Toplam (L_{sum}) ve ortalama akarsu uzunluğu (L_a): İnegöl havzasında akışı bulunan bütün akarsular ile bunların ortalamasını ifade eden değer km²'ye düşen akarsu değerini ve dağılımını ortaya koymaktadır (Strahler, 1964). Toplam akarsu uzunluğu havza alanı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Ancak ortalama akarsu uzunluğunda Kocadere havzasının (1,94) daha yoğun bir dağılışı olduğu ortaya çıkar. Özellikle Kocadere-Aksu Dere yatağının tektonik bir kanala yerleşmesi ile yüksek kesimlerden gelen konsekant tali akarsular, değerin yüksek çıkmasını sağlamıştır. Akarsu uzunluğunun dağılımında km²'ye en çok akarsuyun Kocadere havzası ile Akçasu Dere havzasının yukarı çıkışında düştüğü dikkat çeker (Şekil 6). Özellikle Domanıç Dağları'nda granit topografyasının akarsu varlığının yoğun olmasını sağladığı ve drenaj ağının şekillenmesinde önemli rol oynadığı yorumu yapılabilmektedir. Bu durum havzadaki drenaj ağının gelişmesinde yapısal durumunun önemli rol oynadığını kanıtlar.

Çatallanma oranı (R_b): Her dizindeki akarsu sayısının üst dizindeki akarsu sayısına oranlanmasıyla elde edilen indis sonuçları, flüvyal süreçler, erozyonel faaliyetler ve drenaj yapısı hakkında bilgi sunar (Strahler, 1952; Özdemir, 2011). İnegöl havzasında 2,37 değeri hesaplanırken Akçasu (2,46) ve Kocadere (2,45) havzalarında daha yüksek, Kalburt Dere havzasında (2,08) en düşük değer hesaplanmıştır (Tablo 2). Sonuçların analizi İnegöl havzasında drenaj ağının yoğun şekilde geliştiği, topografik yüzeyi flüvyal süreçlerle erozif faaliyetlere uğrattığı durumu ortaya çıkar. Kalburt dere havzasında yüksek eğim ve irtifa farkına rağmen değerin düşük çıkması özellikle, zirve düzlükleri, ova sahası, eşik alanındaki jeomorfolojik görünüm ve dolayısıyla drenaj yapısıyla alakalıdır.

Yatak eğimi oranı (R_m): Ana akarsuya ait en alçak ve en yüksek noktalar arasındaki irtifa farkının akarsu uzunluğuna bölünmesiyle hesaplanabilen indis sonuçları, tektonik yapının havzalar üzerindeki etkisi ve aşınım derecesi hakkında bilgi sunar (Karataş,

2017). En yüksek değerlerin İnegöl havzası ve Kalburt Dere havzasında görülmesi yüksek irtifa farkının varlığını işaret eder (Tablo 2). Bu durum drenaj ağının havzada tektonik yükselmeden etkilendiğini ve özellikle hızlı akışlarla flüvyal süreçlerin yoğunlaşmasını ve aşımın daha fazla olmasını sağladığı yorumunu ortaya koyar. İndis sonuçlarından, Kalburt Dere havzasında akarsuların fay ötelenmesine nazaran yükselmesinden etkilendiğini ve daha düz bir kanala yerleşerek hızlı akış gösterdiği bilgisi sağlanmaktadır. Jeolojik geçmişte neo-tektonik etkenler ile drenaj ağının gelişimi arasındaki ilişkiyi kuvvetlendiren bu bilgi havzanın drenaj sisteminin gelişiminin özellikle Miyosen-Pliyosen (araştırma sahası ve yakın çevresinde aşım yüzeylerinin zamanı ve neo-tektonik yükselmenin olduğu jeolojik dönem) olduğunu kanıtlar.

Yatak kıvrımlığı oranı (R_{si}): Ana akarsu uzunluğunun, akarsuyun kaynak ve ağız noktaları arasındaki kuş uçuşu uzunluğa bölünmesiyle hesaplanan indis, akarsu ötelenmesi, mendereslenme, kanaldaki antropojenik müdahaleler gibi birçok konu hakkında fikir verir (Hack, 1957). Havzada en yüksek değerlerin Akçasu Dere havzasında görülmesi tektonik hatların akarsu üzerindeki etkisini gösterir. Özellikle akarsuyun ova tabanına inmeden önce yaptığı kıvrımlanma tamamen fay doğrultusu ile alakalıdır. Benzer durum, Kocadere-Aksu Dere birleşiminin olduğu sahada da gözlemlenir.

Uygunluk oranı (R_i): Ana akarsu uzunluğunun havzanın çevre uzunluğuna bölünmesiyle sonuçlanan indis değeri, havzalardaki strüktür-drenaj ağı ilişkisi hakkında bilgi sunar (Melton, 1957; Karataş, 2017). İnegöl havzasındaki düşük uygunluk değeri (0,12) tamamen engebeli rölyef ile ilişkiliyken Akçasu ve Kalburt Dere havzalarındaki yüksek değerler jeolojik yapı, tektonik ötelenme ve aşağı çığırda yer alan alüvyal düzlüklerden kaynaklanmaktadır. Bu durum belirtilen havzaların yukarı çığırlarında yoğun drenaj ağının gelişmesine sebep olmuşken, tektonik yükselme sonucu aşağı çığıra doğru artan eğimle tek kanala yerleşen akarsu varlığını göstermektedir.

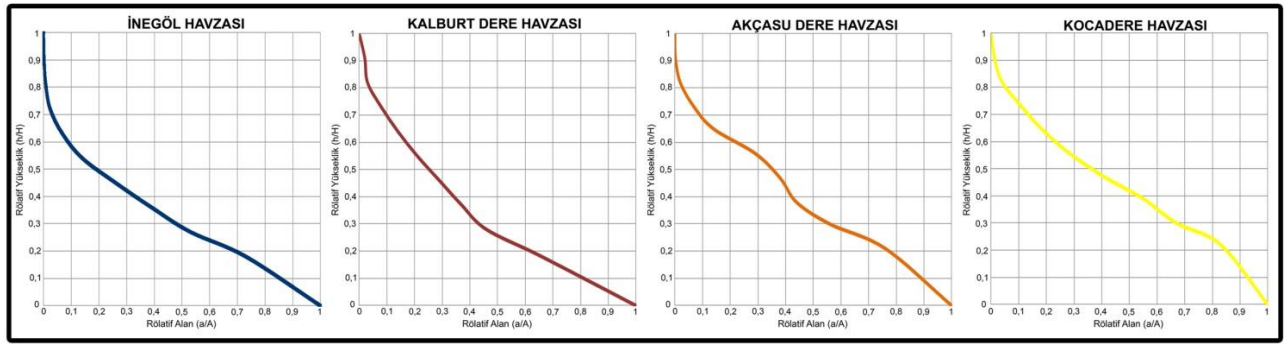
Rölyef oranı (R_r): Havzadaki en yüksek nokta ile en alçak nokta arasındaki yükselti farkının havza uzunluğuna bölünmesiyle hesaplanmaktadır (Schumm, 1956; Özdemir, 2011; Özşahin, 2015). İndis sonuçları, erozyonal faaliyetler, tektonik hadiseler, flüvyal süreçlerin boyutları ve drenaja etkisi hakkında bilgiler sunar. En düşük değerin Kalburt Dere havzasında olması sahanın eğiminin fazla olduğu ve drenajın bu doğrultuda eğimi takiben konsekant akarsularla meydana geldiğini gösterir. Akçasu Dere

ile İnegöl havzası genelindeki yüksek değerler ise birçok alanda akarsuların ötelenmeye maruz kaldığını aynı zamanda ova tabanında eğimin azalarak akarsuyun uzunluğunu etkilediğini ortaya koyar. Dolayısıyla drenaj ağının daima ova tabanında tek kanala girmesi jeolojik-jeomorfolojik gelişimin sonucudur.

Engebelilik Değeri (R_n): Havzadaki irtifa farkının drenaj yoğunluğu ile çarpımı sonucu hesaplanan indis, havzanın topografik görünümü, drenaj yapısının flüvyal süreçlere etkisini açıklamaktadır (Melton, 1957; Özdemir, 2011). İnegöl havzası geneli ve Kalburt Dere havzasındaki yüksek değerler havzanın engebeliliğinin oldukça yüksek olduğunu, drenaj ağının hızlı akışlarla özellikle ova tabanında tek kanal üzerinden geliştiği ve aşındırma faaliyetini yoğun şekilde olduğunu ortaya koymaktadır.

Hipsometrik Eğri (H_c) ve İntegral (H_i): Hipsometrik eğriler nisbi yükselti ve nisbi alan verilerinin birlikte gösterildiği grafiklerdir (Strahler, 1952). Ortaya konan grafiklerdeki eğrilerin dışbükey ya da içbükey olması havzanın gelişim evresi hakkında bilgi vermektedir. İnegöl havzası ve alt havzalar kapsamında hesaplanan nisbi yükselti ve alan verileri ile oluşturan hipsometrik eğriler incelendiğinde; İnegöl havzası ve Kalburt Dere havzasının olgunluk (yaşlı evreye doğru) safhasında olduğu, Akçasu ve Kocadere havzalarının olgun-geç evrede olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 7). Ancak verilere yansıyan ova tabanındaki alçak ve geniş düzlük sahası bazı yanlışlara yol açabilmektedir. Bu nedenle neo-tektonik hadiselerin jeolojik ve jeomorfolojik olarak gözlemlenebildiği havzanın yaşlı-olgun evre değil de genç-olgun evrede olması gerekir. Özellikle fay diklikleri, façetaları, yüksek irtifa farkı, eğim, drenaj ağı, akarsuların kaide seviyesine ulaşmamış olması bu durumu kanıtlar niteliktedir.

Hipsometrik eğrinin sayısal ifadesi olan hipsometrik integral, havzalarda ortalama yükseltiden minimum yükselti farkının, maksimum ve minimum yükselti farkına oranlanmasıyla hesaplanmaktadır (Pike ve Wilson, 1971; Özdemir, 2011; Güney, 2018). Alt havzalar içerisinde daha yüksek değerler gösteren Kocadere ve Akçasu Dere havzalarının daha genç olduğu İnegöl havzası geneli ve Kalburt Dere havzasının ise daha olgun bir topografik evreye sahip olduğu sonucu ortaya çıkar (Tablo 2). Ancak değerlerin bu şekilde olmasında tıpkı hipsometrik eğride olduğu gibi ova tabanının geniş alan kaplaması ve sayısal değerde yanıltıcı durumu sağlamasını neden olmuştur.



Şekil 7- İnegöl havzası ve alt havzaların hipsometrik eğrileri
Figure 7- Hipsometric curves of İnegöl basin and sub-basins

Asimetri faktörü (AF): Bu indis, havzadaki ana akarsuyun talveg hattı boyunca çizilen sınırın akış doğrultusunun sağında kalan alanın havza toplam alanına oranlanmasıyla elde edilmektedir (Hare ve Gardner, 1985; Köle, 2016). Havzaların simetrik-asimetrik yapısı hakkında bilgi sunan indis tektonik etkenler sonucu havzanın eğimlendiği yamaç hakkında da bilgi verir. İnegöl havzasında belirgin ana akarsuyun olmaması nedeniyle havza ortasına denk gelen Bedresu Dere yatağı temel alınmış ve havza asimetrisi 68,2 olarak hesaplanmıştır. Bu durum havzanın Domaniç Dağları ve Ahı Dağı kesiminden kaynaklarını alan akarsulara yöneldiğini gösterir. Kocadere havzasında oldukça simetrik bir yapının olduğu dikkat çeker. Bu durum özellikle Aksu Dere civarında fay hatlarına tekabül eden yatağın Ahı Dağı ve Domaniç Dağlarından aynı ölçüde etkilendiğini gösterir. Akçasu ve özellikle Kalburt Dere havzalarında ise tektonik eğimlenme asimetrik bir yapı sunar. Bu havzalarda KB-GD faylar havzaların sol alanından daha çok alan kaplamasına neden olmuştur.

Topografik simetri faktörü (T): Havzanın ana akarsu talveg noktasından havza orta çizgisine kadar hesaplanan mesafenin, su bölümü çizgisinden havza orta çizgisine kadar olan uzaklığa bölünmesiyle ortaya konan indis verileri, havza ve akarsular üzerindeki bölgesel simetrik durum ve bunu denetleyen etmenler hakkında bilgi sunar (Cox, 1994; Öztürk ve Erginal, 2008; Karataş, 2017; Uzun, 2019). Alt havzalar kapsamında topografik simetri faktörünü tespit etmek için her havzanın sınırları vertex pointe çevrildi, daha sonra bu noktalar üzerinde thiessen poligonları oluşturuldu ve havza ortası çizgileri çizildi. Ana akarsu yatağı, havza ortası çizgisi ve su bölümü çizgisi arasındaki mesafeler belli segmentlerde ölçülerek topografik simetri faktörü değerleri her havza için 8 alanda belirlendi. İnegöl havzası için belirlenen Bedresu Dere'nin oldukça düz akışı simetrik yapının olduğunu gösterirken (0,15), Akçasu (0,40) ve Kalburt Dere (0,41) havzalarında asimetrik yapının varlığı dikkat çeker. Yerel olarak incelendiğinde havzaların

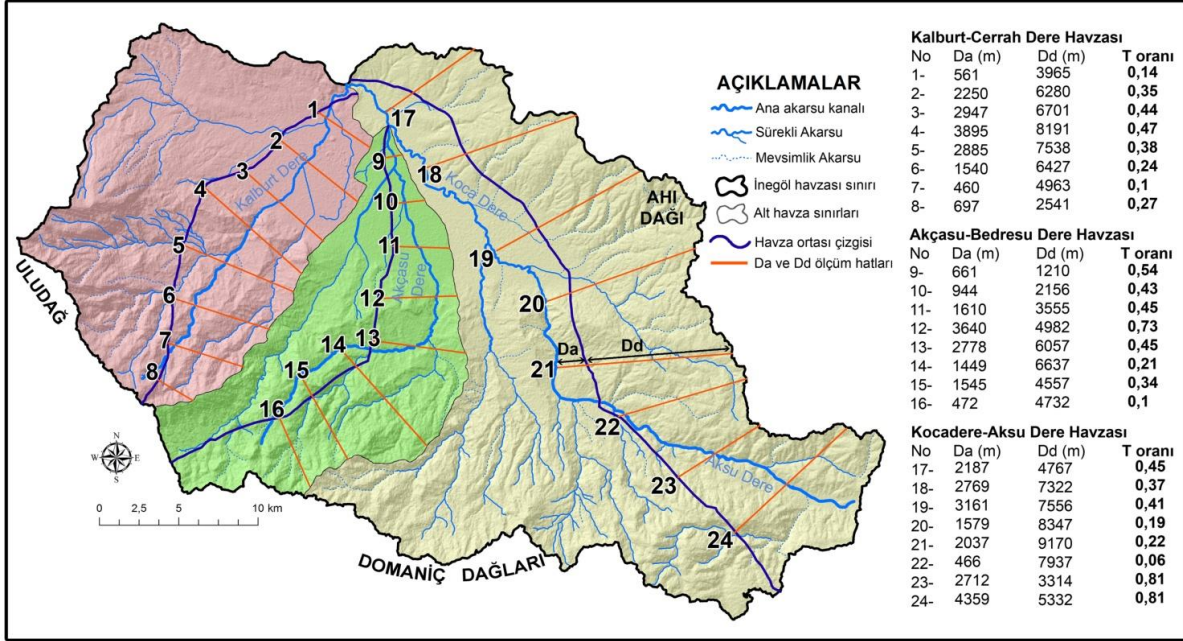
özellikle KB-GD doğrultusunda uzanan İnegöl fayı başta olmak üzere diğer faylardan belirgin şekilde etkilendiği, ötelenmelerin olduğu ve birçok alanda akarsuların yataklarını bu hat doğrultusunda belirlediği görülmektedir (Şekil 8). Bu veriler havzadaki drenaj ağının yerleşimi ve gelişiminde tektonik hatların ve hadiselerin oldukça etkili bir rol oynadığını göstermektedir.

Dağ cephesi sinüsitesi (Smf): Havzada özellikle tektonik hatlar üzerinde belirlenen izohips uzunluğunun aynı izohipsin iki uç noktası arasında çizilen doğrultunun uzunluğuna bölünmesiyle hesaplanmaktadır (Bull ve McFadden, 1977; Bull, 1978). Elde edilen sonuçların düşük çıkması belirgin fay dikliklerini, yüksek çıkması erozyonel faaliyetlerin varlığını ortaya koyar. İnegöl havzasında jeoloji paftaları üzerinden fay hatları yoğunluğu haritası üretilmiş ve bu doğrultuda belirlenen 7 çizgisellikte Smf değeri hesaplanmıştır (Şekil 9). Değerlerin ortalaması 2,4 olup tektonik hatların ortalama bir dikliği olduğu ve yapı, topografik etmenlerle birlikte drenajı şekillendirdiği sonucu ortaya çıkar. Ancak 1, 4 ve 7 numaralı çizgiselliklerde fay hatlarının oldukça keskin olduğu görülür. Bu alanlardan 7 numaralı saha hem Aksu Dere vadisini hem de güneyde Dalakkaydırın Dere vadisinin oluşmasına ve drenaja ağının gelişmesine aynı zamanda kapma olaylarına sebep olmuştur.

Vadi genişliği-vadi yüksekliği oranı (Vf): Bu indis vadi tabanı genişliğinin vadi yamacının sol tarafındaki yüksekliği ile sağ tarafındaki yüksekliği ve vadi yüksekliği arasındaki farkın oranlanmasıyla elde edilmektedir (Bull ve Mcfadden, 1977; Keller ve Pinter, 2002; Öztürk ve Erginal, 2008). İndis sonuçları yamaçlar üzerindeki strüktür, tektonizma ve flüvyal süreçler hakkında bilgi vermektedir. İnegöl havzası için ana akarsu drenaj ağı üzerinden 137 noktada vadi profilleri alınmış ve belirtilen formül kapsamında hesaplamalar uygulanmıştır. Elde edilen Vf indis sonuçları profil hatlarının akarsu talveg kesişimine gelen yere atanan noktaya değer olarak girilmiş ve

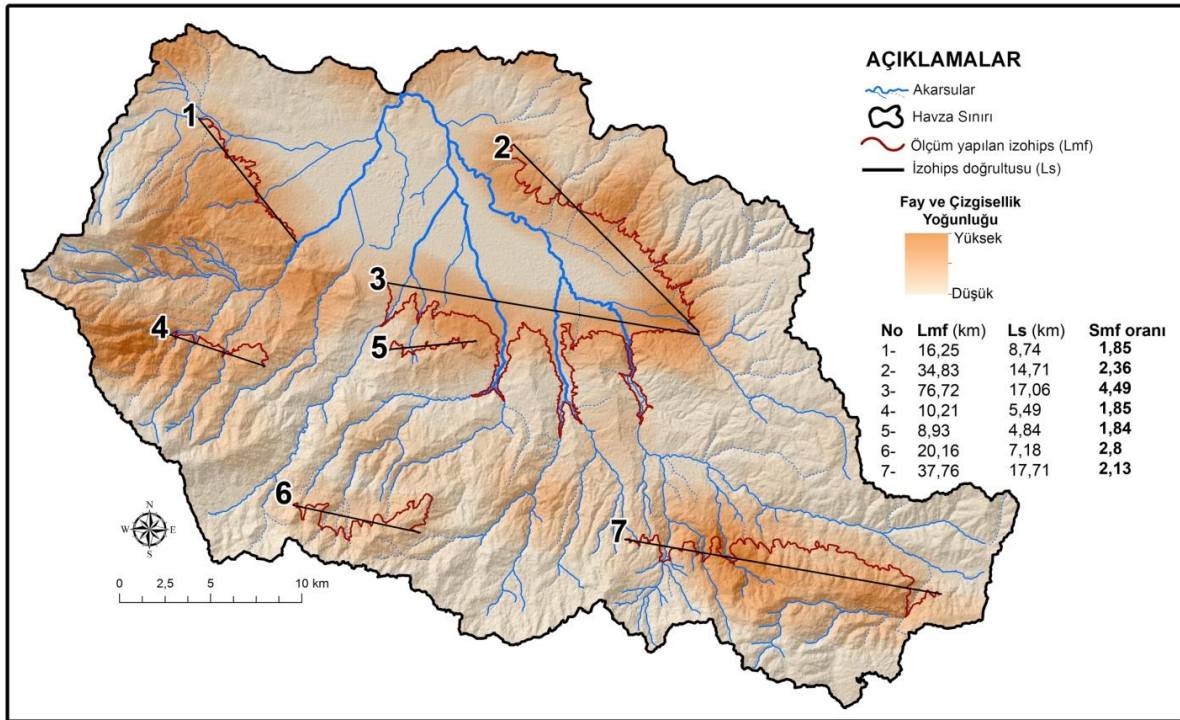
daha sonra kriging yöntemi ile enterpole edilerek havzanın Vf indis dağılışı haritası üretilmiştir (Şekil 10). Sonuçlar 3 farklı değerde sınıflandırılarak

tektonik aktivitenin drenaj ağıının gelişimindeki rolü hakkında sonuçlar ortaya konmuştur (Köle, 2016).



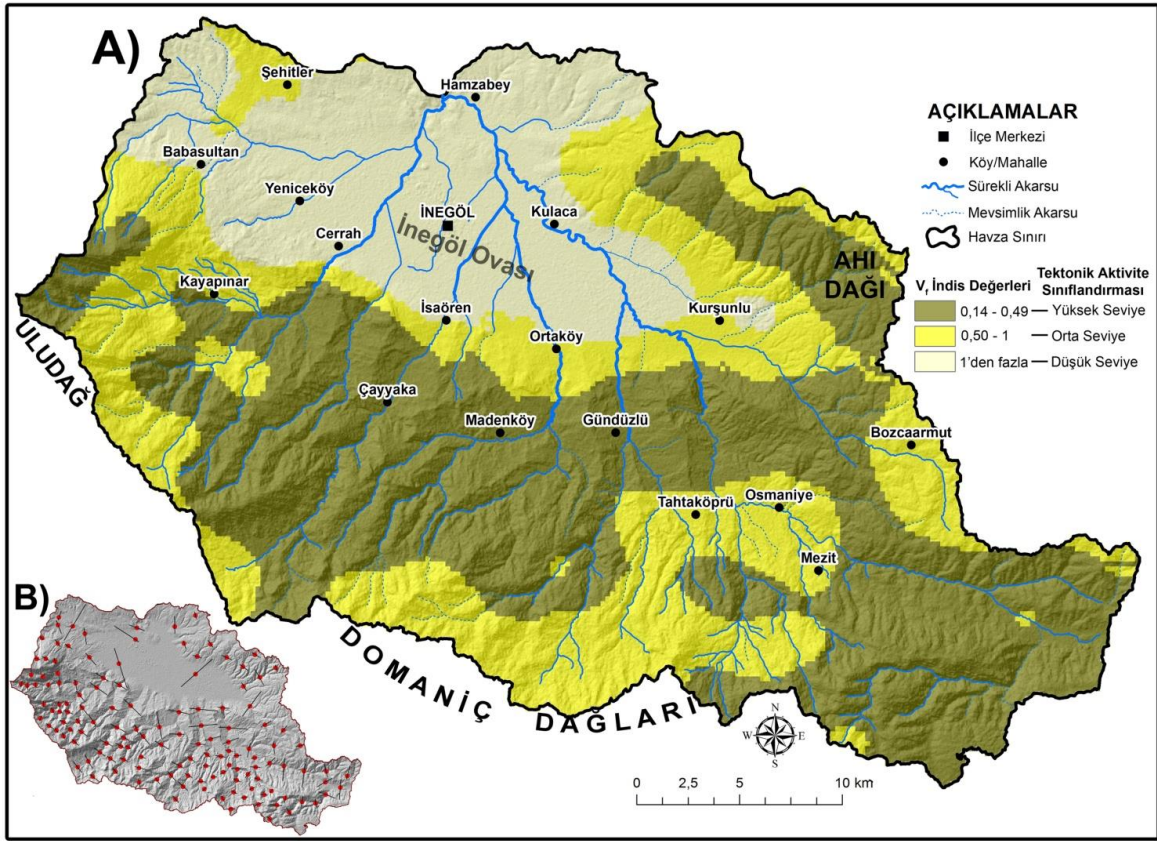
Şekil 8- Alt havzalar kapsamında topografik simetri faktörü değerleri

Figure 8- Topographic symmetry factor values within the scope of sub-basins



Şekil 9- İnegöl havzasında fay yoğunluğu ve dağ cephesi sinüluğü verileri

Figure 9- Fault density and sinus of mountain front data in the İnegöl basin



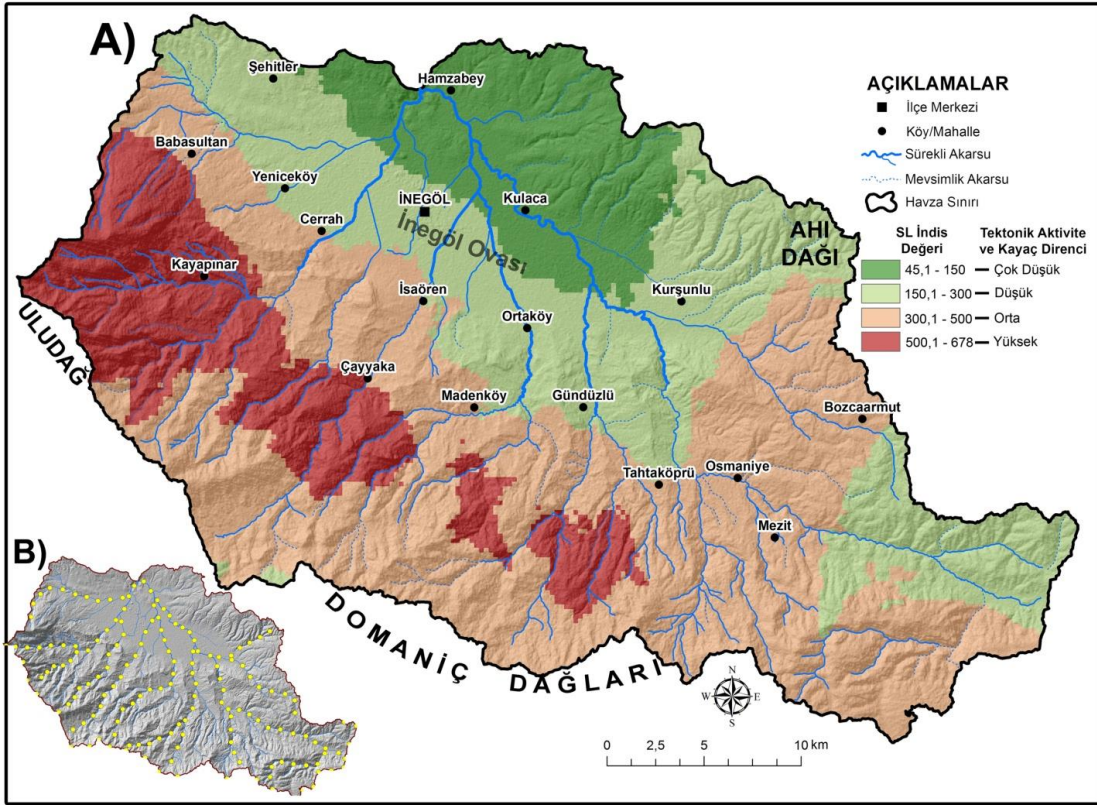
Şekil 10- A) Vf indis dağılışı haritası B) Vf indis haritası için kullanılan profil hatları ve referans noktaları
Figure 10- A) Vf index distribution map B) Profile lines and midpoints for the Vf index map

Uygulanan indis ve ortaya konan haritaya göre, havzanın tabanını oluşturan İnegöl ovasını sınırlandıran sahadan itibaren Domaniç Dağları'na doğru olan yüksek tektonik faaliyet dikkat çeker. Bu durum diğer indis verilerinde de ortaya konan Aksu Dere'nin kanalı üzerinde oldukça etkili olurken, Akçasu Dere, Kocadere başta olmak üzere birçok tali akarsuda belirgin ötelenmelere sebep olmuştur. Vf indis verilerinin havzanın tektonik hatlarının KB-GD doğrultusuna paralel olduğu ve bu durum drenajın yönlenmesinde (ötelenme ile), akış hızı ve flüvyal süreçlerin erozif faaliyetlerinde oldukça etkili olmuştur. Havzanın kuzeyi, ova tabanı ve granit topografyasının etkili olduğu Domaniç Dağları zirve kesiminde tektonik etkenlerin düşük ya da orta seviyede drenajı şekillendirdiği sonucu olduğu anlaşılmaktadır. Vf indis verisinin ortaya koyduğu en önemli analitik sonuç, yüksek kesimler ve plato sahalarındaki aşınım yüzeylerinde tektonizmanın akarsularda etkisinin fazla olduğu, ova tabanında ise oldukça az olduğudur.

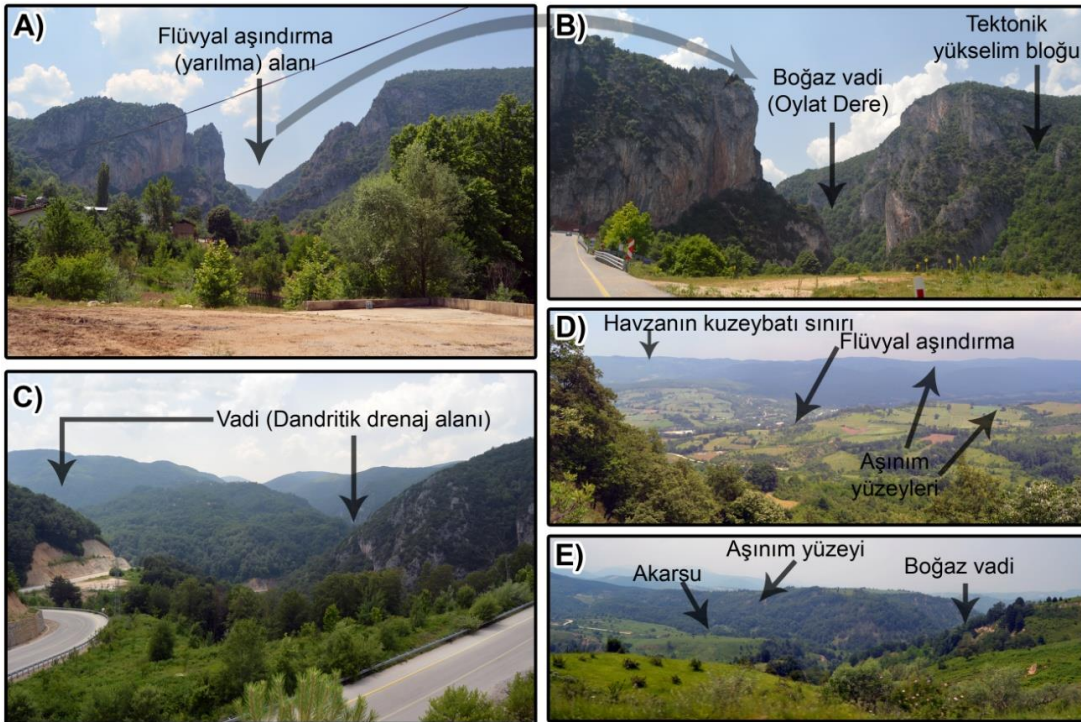
Akarsu-boy gradyan indisi (SL): İndis, akarsu yatağındaki yükselti değişiminin akarsu segmentinin uzunluğuna oranıyla, indis hesaplama noktası ile akarsu kaynağı arasındaki mesafenin çarpımı sonucu hesaplanır (Hack, 1973; Keller ve Pinter, 2000;

Erginal ve Cürebal 2007; Doranti-Tiritan vd., 2014). İndis sonuçları akarsu yatağındaki tektonik faaliyetler ve kayaç direnci arasındaki ilişkiyi ortaya koyar (Troiani vd., 2014). İnegöl havzasında SL indisi 14 akarsu için üretilen profiller üzerinden 2000 m aralıklarla yapılan hesaplamalar sonucunun bu indis noktalarına değer olarak girilmesiyle ortaya konmuştur. Elde edilen veriler kriging yöntemi ile enterpole edilmiş ve SL indis haritası 4 kategoride oluşturulmuştur (Şekil 11).

SL indis verileri ile üretilen haritaya göre İnegöl ovası ve çevresinde düşük tektonik aktivite ve zayıf kayaç direnci varlığı görülmektedir (Şekil 11). Özellikle havzanın güneyindeki yüksek kesimlerde tektonik aktivitenin arttığı ve kayaç direncinin yükseldiği anlaşılmaktadır. Bu veriler havzanın drenaj yapısının neo-tektonik etkenlerle farklı zamanlarda birkaç kez değişime uğradığını belirgin olarak ortaya koyar. Özellikle meydana gelen Pliyosen-Miyosen zamanlı yükselmeler Uludağ-Domaniç Dağları yamaçlarındaki plato sahalarına doğru fay hatlarıyla kendini göstermektedir. Bu durum, akarsuların bu kesimlerde ani eğimlere uğradığını ve akışlarının hızlanması ile belirgin olan yataklarını daha da derine kazdığını ortaya koymaktadır.



Şekil 11- A) İnegöl havzasının SL indis haritası ve B) SL indis hesaplama noktaları
Figure 11- A) SL index map of the İnegöl basin B) SL index calculation points



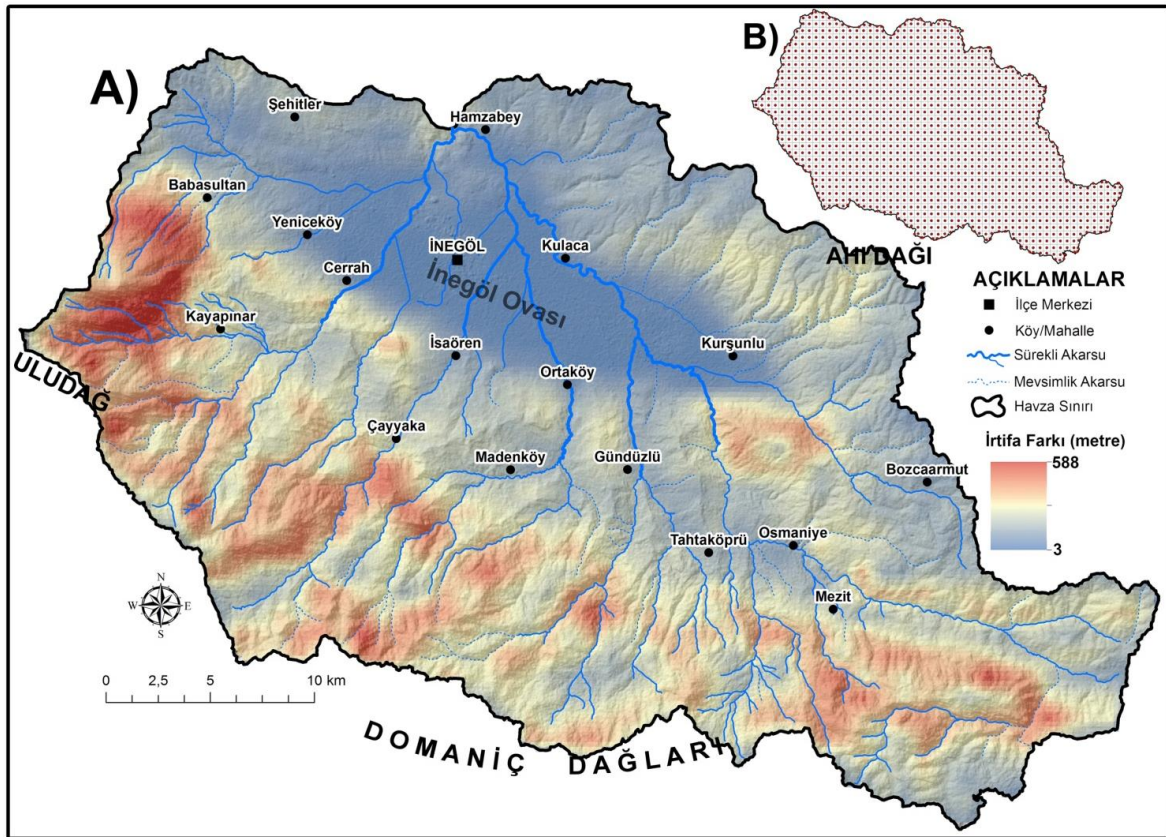
Fotoğraf 1- A) ve B) Oylat Dere'nin meydana getirdiği boğaz vadi ve tektonik doğrultu C) Havzadaki dandritik drenaj (Alaşam Dere-Domanıç Dağları) D) Havzanın kuzey-kuzeybatısındaki aşınım sahaları E) Çandır Dere boğaz vadisi (Gündüzlü civarı)

Photo 1- A) and B) Strait valley and tectonic direction formed by Oylat Stream C) Dendritic drainage in the basin (Alaşam Stream-Domanıç Mountains) D) Erosional areas in the north-northwest of the basin E) Çandır Stream strait valley (around the Gündüzlü)

Aşınım-Parçalanma Derecesi (E_c): Bu indis, havzada eşit olarak belli alanlara bölünmüş sahalardaki en alçak ve en yüksek nokta arasındaki irtifa farkını ifade etmektedir (Mark, 1975; Karataş ve Ekinci, 2013; Karataş, 2014). Ortaya çıkan harita üzerinden havzanın aşınım-parçalanma durumu, erozyonal faaliyetler, tektonik hat doğrultuları ve yükselim alanları ile engebelilik durumu hakkında bilgi edinilmektedir (Karataş, 2017; Uzun, 2019). Farklı çalışmalarda topografik rölyef (göreceli rölyef) olarak da çokça kullanılmaktadır (Mark, 1975). İndisin uygulanması için İnegöl havzası 1x1 km'lik uzunluğa sahip karelere bölünerek karelej (grid) ağı üretilmiştir. SYM verisi üzerinden her bir kare içerisindeki en yüksek, en alçak nokta ve irtifa farkı hesaplanmıştır. Bu basamaktan sonra karelerin orta noktasına irtifa farkı değerleri girilmiş ve natural neighbour yöntemi ile enterpole edilerek harita üretilmiştir (Şekil 12).

İnegöl havzası için elde edilen aşınım-parçalanma derecesi haritasından havzanın geneli için irtifa farkı ortalaması 206 m olarak hesaplanmıştır. Bu değer, alt havzalardan Kocadere'de 195 m iken Akçasu Dere havzasında 215 m ve Kalburt Dere havzasında 220 m olarak tespit edilmiştir. Özellikle

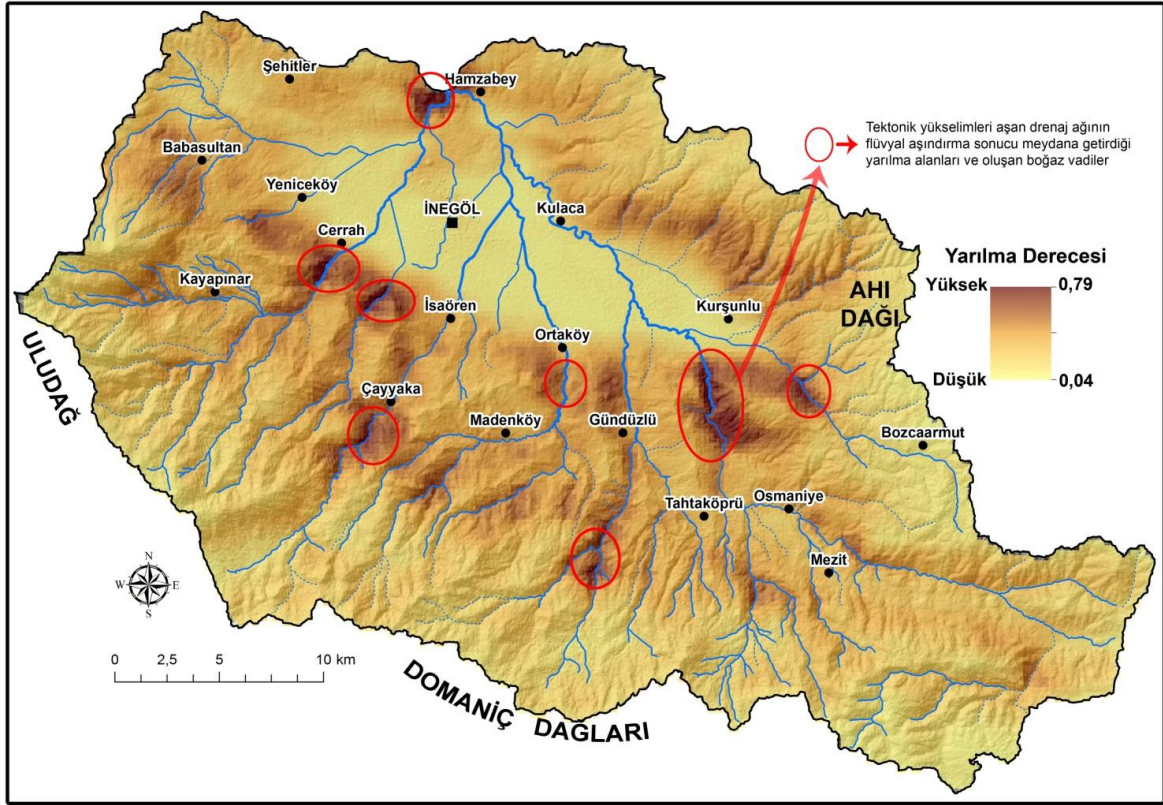
Uludağ ve yamaçlarının olduğu sahalarda irtifa farkının fazla olması doğaldır. Bu alanda özellikle flüvyal süreçler düz kanal üzerinden yüzeysel akışının hızlı olmasına ve aşındırma faaliyetin yüksek olmasına sebebiyet vermiştir. Dikkat çeken diğer husus ise İnegöl ovasının sınırından itibaren ve güneydeki plato sahasında KB-GD doğrultusunda iki alanda irtifa farkının artmıştır (Şekil 12). Bu durum neo-tektonik hareketler ve epirojenik yükselmelerle sahanın güneyinin iyice yükseldiğini ve fay dikliklerini oluşturduğunu göstermektedir. Belirtilen hadise ise drenaj ağının fasılalarla jeolojik dönemde hızlandığını ve aşınım süreçlerini de etkilediğine delalet eder. Aynı zamanda drenaj ağının birçok tali kolla birlikte konsekant özellik göstermesi tektonik hadiselerin etkisiyle meydana gelmiştir. Meydana gelen tektonik hatlar havzadaki küçük boylu akarsuların bazı alanlarda kapma olayı sonucu ana akarsuya karışmasını sağlamıştır. Dalakkaydırın Dere'nin Aksu Dere'ye bağlanması buna belirgin bir örnektir. Tektonik hatları aşmaya çalışan drenaj ağı aynı zamanda birçok alanda boğaz vadilerin oluşmasına ve epirojenik boğaz geçişlerine de yol açmıştır. Havzanın deşarj alanı olan Boğazköy barajının olduğu sahada böyle bir oluşum irtifa farkında da gözlemlenmektedir.



Şekil 12- A) İnegöl havzası aşınım-parçalanma derecesi (topografik rölyef) haritası B) Karelej ağı ve orta noktaları
Figure 12- A) Inegol basin erosion degree of map (topographic relief) B) Grid network and midpoints

Yarılma İndisi (DI): Bu indis incelenen sahalının genel rölyefin topografik rölyefe (aşınım-parçalanma derecesine) bölünmesi ile hesaplanmakta ve özellikle flüvyal yarılmanın dağılışı ortaya konabilmektedir (Nir, 1957; Mukhopadhyay, 1984; Bayer Altın ve Altın, 2020). Değerlerin düşük olması flüvyal aşındırmanın az, yüksek olması flüvyal aşındırma sonucu yarılmanın en fazla olduğu alanları ortaya koyar. İnegöl havzası için uygulanan indis sonucuna göre, sahadaki kuzey-güney yönlü uzun boylu akarsuların ova tabanına erişmeden fay dikliklerini aştığı alanlarda yarılmalara neden olduğu

ve günümüzde bu alanlarda boğaz vadiler oluşturduğu görülmektedir (Şekil 13). Bu durum sahanın neo-tektonik olarak güneyinin yükselme evresi sonucu taban seviyesinin birkaç kez değişimine ve drenaj gelişimindeki farklı dönemlere kanıt olabilmektedir. Aynı zamanda belirtilen durum tektonik faaliyetlerin Miyosen-Pliyosen'den itibaren flüvyal süreçleri hızlandırarak drenaj şebekesinin ova tabanına doğru tek kanal hatlarına yoğunlaşmasını sağladığını ve seviye farklılıklarından dolayı derine kazmanın akarsu ağının alt katmanlara kopyalaması sonucu epijenik boğazların oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 13- İnegöl havzasının yarılma derecesi (DI) indisi haritası

Figure 13- The degree of dissection index (DI) map of the İnegöl basin

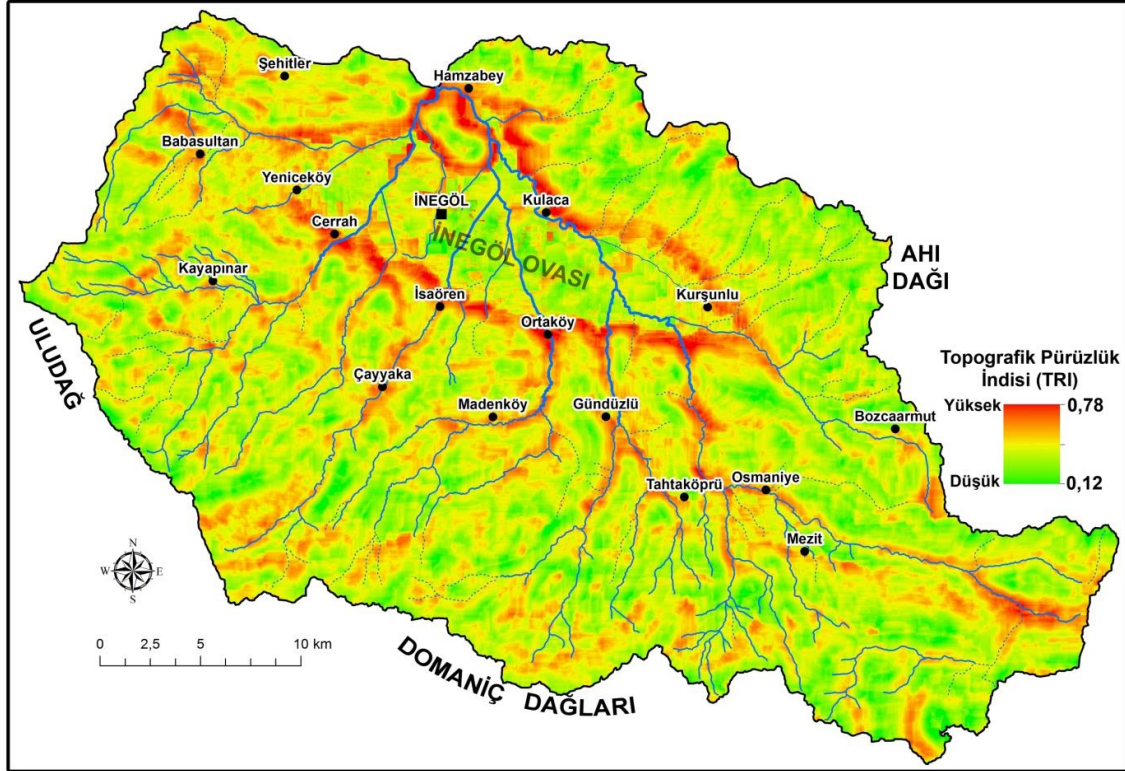
Topografik Pürüzlülük İndisi (TRI): Bu indis hipsometrik integral verilerinin kullanılması ile hüresel anlamda yüzeyin pürüzlülük görünümü hakkında bilgi vermektedir (Riley vd., 1999). İndis, havzanın SYM verisi üzerinden ArcGIS arctoolbox-surface-focal statictis özelliği ile 1x1 km'lik alanda ortalama, maksimum ve minimum yükselti verilerin oluşturulması ve raster calculator aracında hesaplanması ile uygulanmıştır. İnegöl havzasına uygulanan TRI morfometrisi dağılışı özellikle havza tabanını çevreleyen fayların yüzeyde pürüzlülüğü arttığı ve bu sahalarda drenajın jeolojik mazide güçlü akımıyla yarılmalara neden olduğu

sonucunu ortaya koymaktadır (Şekil 14). Drenaj ağının dağılışı ile TRI verilerinin dağılışı paralellik göstermektedir. Bu veri, İnegöl havzasında meydana gelen jeolojik hadiselerden tektonik yükselmenin güney cephede meydana getirdiği yatak eğimi varlığı sonucu ortaya çıkan drenaj gelişimi ve flüvyal süreçlerin dağılışı da yansıtmaktadır.

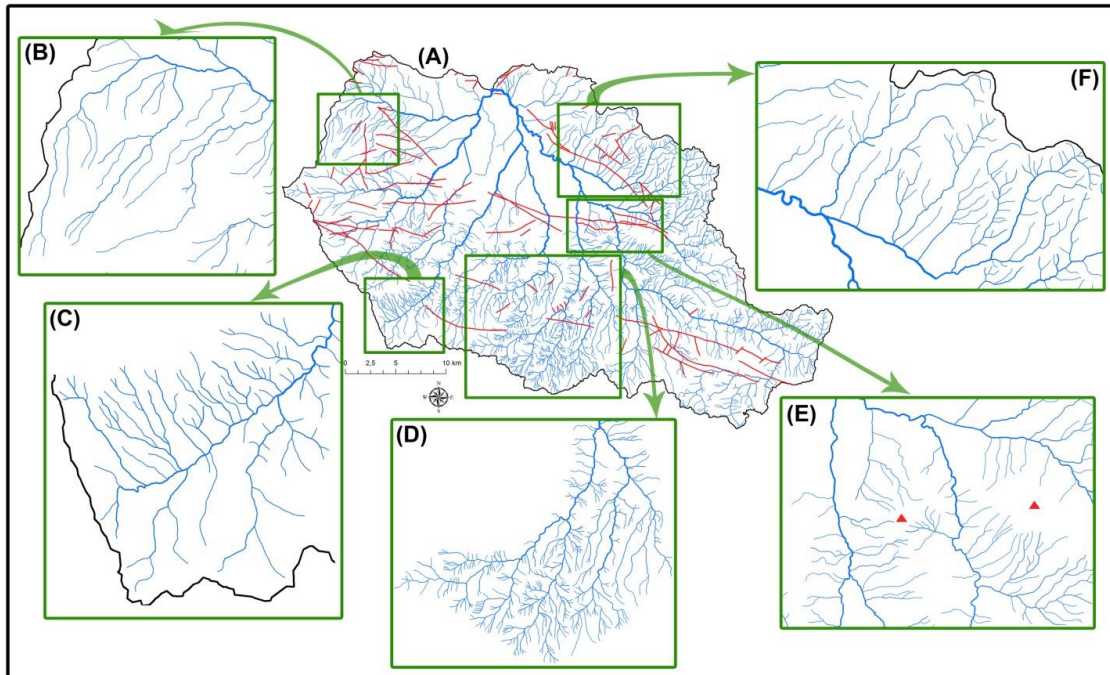
Çalışma sahası kapsamında uygulanan alansal, çizgisel ve yüzeysel morfometri verilerinin sonuçları havzanın drenaj ağı gelişiminde en büyük rolün tektonik yükselme ve doğrultuların ortaya koyduğu jeomorfolojik gelişim süreçleri olduğunu göstermektedir. Bu durumun yanında havzada farklı

litolojik birimlerin varlığı, yüzeyin permabilitesini etkilediğinden yüzeysel akışa geçen drenaj ağının yapısında rol oynayan diğer etmen olmuştur. Bu bakımdan havzanın özellikle tektonik hatların

şekillendirdiği bir yapıya sahip olup morfotektonik bir ova olması esas drenaj ağının sentripetal türde olmasını sağlamıştır (Şekil 15).



Şekil 14- İnegöl havzasının topografik pürüzlülük indisi (TRI) haritası
Figure 14- Topographic roughness index (TR) map of the İnegöl basin



Şekil 15- İnegöl havzasında drenaj ağı ve fay hatlarının dağılışı A) Sentripetal drenaj B) Paralel drenaj C) Kancalı drenaj D) Dandritik drenaj E) Radyal drenaj F) Sentripetal-Paralel drenaj
Figure 15- Distribution of drainage network and fault lines in İnegöl basin A) Centripetal drainage B) Parallel drainage C) Hooked drainage D) Dendritic drainage E) Radial drainage F) Centripetal-Parallel drainage

Havzanın yüksek kesimlerinde, jeolojik mazide değişen taban seviyesi şartları nedeniyle flüvyal süreçlerin baskın yapısı, aşındırılmış plato yüzeylerinde dandritik drenaj ağının gelişmesini de sağlamıştır. Alt havzalarda ve daha küçük havzalarda görülen bu drenaj türü özellikle Domaniç Dağları'nda Alaçam granit formasyonunun sağladığı litolojik özelliklerle yoğun bir akarsu ağı kapsamında gözlemlenebilmektedir. Havzada aktif tektonik varlığı, çizgiselliklerin doğrultu yapısı ve havzanın kuzey-güney eksenindeki farklı yükselimler, DI, AF, TRI, Smf ve aşınım-parçalanma indisleri ile ortaya konmuştur. Bu veriler bize havzada tektonik hatların etkisinde gelişen paralel drenaj ağının Uludağ ve Ahı Dağı yamaçlarından ova tabanına doğru olduğunu göstermektedir. Alansal ve çizgisel morfometri sonuçları ile Smf verileri özellikle Kalburt Dere havzasının yukarı çıkışında ana akarsuyun derin tek kanal oluşturduğu sonucunu ortaya koyar. Bu kanal yamaçlardan gelen akarsuların varlığı ile kancalı drenaj ağının gelişimini sağlamıştır. Havzada yer alan ve aşınım-parçalanma indisi ile belirgin şekilde ortaya çıkan irtifa farkı, münferit tepelerin çevresinde radyal drenajın gelişmesini sağlamıştır. Özellikle Gücük dağı çevresinde bu drenaj ağı gözlemlenmektedir.

5. SONUÇ

Havzanın drenaj ağı gelişimi ve jeomorfolojik evrelerde ortaya çıkan flüvyal süreçlerin değişimi, elde edilen morfometrik indis sonuçlarına göre neo-tektonik yükselimlerin havzada farklı alanlarda meydana gelmesi, tektonik doğrultuların yönü ve meydana gelen kaide değişimlerinden litolojik birimlerin yapısal olarak farklı şekilde etkilenmesiyle meydana gelmiştir. Miyosen'den itibaren havzanın güney cephesinin (Domaniç Dağları) kuzeye göre yükselmesi flüvyal süreçleri hızlandırmış ve muhtemelen akarsu ağı hızlı bir akışla drenajın temelini oluşturmuştur. Bu süreçte meydana gelen fay yükselim alanlarında aşınım-yarılmalar sonucu derin vadiler meydana gelmiştir. Daha sonra kaide seviyesi tekrar değişmiş ve Pliyosen'de yaşanan son yükselim ile aşınım hızlanmıştır. Flüvyal süreçlerin bu dönemden sonra havza jeomorfolojisinde etkin faktör olduğu kuvvetle muhtemeldir. Bu nedenle havzanın deşarjını sağlayan Boğazköy epijenik boğazının yanı sıra ova tabanına yönelen ve tek kanal üzerinden akış hızı fazla olan akarsular, bu sahadaki tektonik yükselimleri aşındırmıştır. Aktif fay hattından sonra meydana gelen eğim düşüşü akarsuların bu alanda sedimentasyonu sağlamış ve birçok birikinti konisi meydana gelmiştir. Özellikle AF, Smf, DI, TRI indisleri, günümüze kadar olan süreçte flüvyal etkenler ve drenaj gelişimi tektonik hatlarla ilişkili olarak

kapma, ötelenmeye uğradığını göstermektedir. Kantitatif veriler havzanın drenaj gelişimindeki ana etkenin litolojik özellikler, fay doğrultuları ve tektonizma sonucu değişen kaide seviyeleri olduğunu göstermektedir.

Araştırmada uygulanan morfometrik indis analizlerinin jeolojik-jeomorfolojik özelliklerle ilişkilendirilmesi sonucu elde edilen bulgularla sahada drenaj ağının oluşumu ve gelişimi; yapı (strüktür), tektonik hareketler ve jeomorfolojik süreçlerin ortak etkisinde gelişme göstermiştir. Havzanın yüksek- dağlık çerçevesi, eğim, irtifa farkı ve ova tabanına doğru konsekant akarsu varlığı havzanın ana drenaj ağının sentripetal olmasını sağlamıştır. Özellikle alt havzalarda ise dairesellik oranı ve havza şekli indislerinin ortaya koyduğu durum ise dandritik drenaj ağıdır (Akçasu Dere havzası). Bunun yanında tektonik hatlara uyan kanallarla belli flüvyal süreçlerin etkisinde kafesli ve paralel drenaj ağıda gelişme göstermiştir (Aksu Dere yukarı çıkışı). Havzada drenajın belli alanlarda yoğun ve sık olması ise özellikle litolojik birimlerle ilişkilidir. Drenaj yoğunluğu indis verisi, sızma potansiyeli yüksek olan alüvyal dolgulu ova tabanında oldukça düşük yoğunluğun olduğunu ancak tektonik kanallara yerleşen ve çevresinde daha geçirimsiz birimlerin olduğu Aksu ve Kalburt Dere havzalarında yoğunluğun daha fazla olduğunu ortaya koymuştur. Granit topografyasının etkisiyle düşük sızma durumu yüzeysel akışın ve akarsu sıklığının yoğun olmasını sağlamış ve Domaniç Dağları'nda akarsu sıklığının en yüksek düzeyde görülmesine neden olmuştur. Havzaların simetrik yapısının incelendiği indis verileri (AF ve T indisleri) ise özellikle KB-GD uzanımlı fay hatlarının akarsuları ötelediğini Akçasu Dere örneğinde olduğu gibi göstermiştir. Uygulanan ve haritaları üretilen Vf, SL, DI, TRI ve aşınım-parçalanma indisi verileri, havzanın drenaj gelişimini ve yapısını en iyi açıklayan bilgileri ortaya koymuştur. Bu indislerde öne çıkan durum drenajın tektonik hatlara uyum sağlayarak kanala alındığı alanların varlığını ortaya koyar, aynı zamanda bu hatları aşmak için derin vadiler oluşturduğu, özellikle güneydeki yüksek kütlelerde eğimin artmasıyla flüvyal süreçlerin belli dönemlerde hızlandığı bilgisini sunmaktadır. Ovanın güney sınırını oluşturan fay hattı ile daha güneydeki kenet kuşağını meydana getiren fay hattı, akarsu profillerinde (SL) ve vadi profillerinde (Vf) tektonik aktivitenin önemli rolünün olduğunu gösterir. Tektonik aktivite varlığı ise drenajın belli alanlarda ötelendiğini, eğim kırıklıklarında akış hızının artması ile erozif faaliyetleri hızlandığını ve belli jeolojik dönemlerde flüvyal süreçlerin etkin jeomorfolojik hadise olduğunu gösterir. Özellikle havzanın Miyosen ve Pliyosen'deki epirojenik hareketlerden ve neo-

tektonik hadiselerden etkilenecek belli seviyelerde aşımına uğradığını yarıma derecesi (DI) ve TRI indis haritalarından anlaşılmaktadır. Bu aşımın seviyeleri drenajın belli alanlarda fay dikliklerini aşarak doğrultusunu belirlediğini Smf, R_r, R_n morfometrik indis verileri de desteklemektedir. Araştırma verilerinin ortaya koyduğu durum, havzanın yapısal farklılıklarının, tektonik hadiselerin akarsu ağını şekillendirdiği, jeolojik mazideki gelişim evlerine yön vererek günümüzdeki görünümü

almasında önemli rol oynadığıdır. Belirtilen durum, meydana gelen jeolojik-jeomorfolojik hadiselerden havza içerisindeki alt havzaların farklı boyutlarda etkilenecek flüvyal süreçler, drenaj ağı ve gelişiminde çeşitlilikler arz etmesine neden olmuştur. Farklı morfometrik indis uygulamalarının sayısal değerleri, analizleri ve üretilen haritalar, özellikle yapı ve tektonik etkenlerin havzadaki flüvyal süreçler ve drenaj ağının oluşmasında en önemli rol oynadığını göstermektedir.

REFERANSLAR

- Aadil Hamid, H. 2013. Application of Morphometric Analysis for Geo-Hydrological Studies Using Geo-Spatial Technology –A Case Study of Vishav Drainage Basin. *Journal of Waste Water Treatment ve Analysis*, 4(3), 1-15.
- Altınlı, İ. E. 1965. İnegöl Havzasının Jeolojisi ve Hidrolojisi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası, 30(1-2), 173-199.
- Ardel, A. 1943. Marmara Bölgesi Güneydoğu Havzalarının Morfolojik Karakterleri, *Türk Coğrafya Dergisi*, 2, 160-173.
- Ardel, A. 1947. İnegöl Ovası ve Çevresi (Morfolojik Etüt), *Türk Coğrafya Dergisi*, 9-10, 64-95.
- Ardos, M. 1995. Türkiye Ovalarının Jeomorfolojisi, Cilt 1, Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Avcı, V., Sunkar, M. 2015. Giresun'da sel ve taşkın oluşumuna neden olan aksu çayı ve batlama deresi havzalarının morfometrik analizleri. *İstanbul Üniv. Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, 30, 91-119.
- Baumgardner, R. W. 1987. Morphometric studies of subhumid and semiarid drainage basins, Texas Panhandle and Northeastern New Mexico (No. 163). Bureau of Economic Geology. University of Texas at Austin.
- Bayer Altın, T., Altın, B. N. 2020. Evaluation of drainage in the upper catchment of the Yeşilirmak river basin along the almus fault, northern Turkey. *Coğrafya Dergisi*, 40, 1-26.
- Bull, W. B., McFadden, L. D. 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California, in Arid Regions, Proc.Eighth Annual Geomorphology Symposium, pp. 115-138.
- Bull, W. B. 1978. Geomorphic Tectonic Activity Classes of the South front of the San Gabriel Mountains, California. U.S. Geological Survey Office of Earthquakes, *Volcanoes, and Engineering Contract Report* 14-08-001-G-394
- Chorley R. J. 1958. Group operator variance in morphometric work with maps. *American Journal of Science*, 256, 208-218
- Chorley, R. J. 1972. Spatial Analysis in Geomorphology. Methuen & Co. London
- Cox, R. T. 1994. Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 106, 571-581.
- Cürebil, İ. 2004. Madra Çayı Havzasının Hidrografik Özelliklerine Sayısal Yaklaşım, *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11, 11-24.
- Davis, J. 2011. Geoprocessing methods for hypsometry, morphometry and spatial sampling. *CSU Geospatial Review*, 9, 7-18.
- Doranti-Tiritan, C., Hackspacher, P. C., Souza, D., De Ve Siqueiraribeiro, M. C. 2014. The Use of the Stream Length-Gradient Index in Morphotectonic Analysis of Drainage Basins in Poços de Caldas Plateau, SE Brazil, *International Journal of Geosciences*, 5, 1383-1394.
- Eagleson, P. S. 1970. Dynamic Hydrology, McGraw-Hill, California University.
- Engstrom W. N. 1989. Morphometric analysis of mountain drainage basins in the Basin and Range Province, USA. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 33, 443-453
- Elbaşı, E., Özdemir, H. 2018. Marmara denizi akarsu havzalarının morfometrik analizi. *Cografya Dergisi*, 36, 63-84.
- Erginal, A. E., Cürebil, İ. 2007. Soldere Havzasının Jeomorfolojik Özelliklerine Morfometrik Yaklaşım: Jeomorfik İndisler ile Bir Uygulama, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17, 203-210.

- Evans, I. S. 1972. General Geomorphometry, Derivatives of Altitude, and Descriptive Statistics. *Spatial Analysis in Geomorphology*, 9, 17–90.
- Gardiner, V., Park. C. C. 1978. Drainage Basin Morphometry. Review And Assessment. *Progress in Physical Geography*, 2(1), 1-35.
- Gardiner, V. 1990. Drainage Basin Morphometry, In: Goudie AS (Ed) Geomorphological techniques. Unwin Hyman, 71–81. London.
- Güney, Y. 2018. Çalidere Havzası'nın (Armutlu Yarımadası, Yalova) Morfotektoniğinin Jeomorfometrik Analizlerle Değerlendirilmesi, *Coğrafi Bilimler Dergisi* 16 (2), 259- 271.
- Hack, J. T. 1957. Studies of Longitudinal Profiles in Maryland and Virginia, U.S. *Geological Survey*, 294, 45-92.
- Hack, J. T. 1973. Stream-profile analysis and stream-gradient index, U.S. *Geological Survey Journal of Research*. 1, 421-429.
- Håkanson, L. 2005. The importance of lake morphometry for the structure and function of lakes. *International Review of Hydrobiology*. doi:10.1002/iroh.200410775
- Hare, P. W., Gardner, T. W. 1985. Geomorphic Indicators of Vertical Neotectonism along Converging Plate Margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: Morisawa, M. and Hack, J.T., Eds., Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium, Allen and Unwin, Boston, 123-134.
- Horton, R. E. 1932. Drainage Basin Characteristics. *Trans. Am. Geophysical Union*, 13, 350-361.
- Horton, R. E. 1945. Erosional Development Of Streams And Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach To Quantitative Morphology. *Bull Geological Soc Am* 56, 275- 370.
- Hoşgören, M. Y. 1975. İnegöl Havzasının Jeomorfolojisi, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Matbaası.
- Hoşgören, M. Y. 2010. Hidrografya'nın Ana Çizgileri I, 6. Baskı, Çantay Kitabevi, İstanbul 2004. Isbn: 975-7206-40-7
- Karabulut, M., Küçükönder M., Topuz, M. 2013. Alata (Erdemli) Deresi'nin Jeomorfometrik Analizi, Coğrafyacılar Derneği Yıllık Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 450-459, 19-21 Haziran 2013, İstanbul.
- Karataş, A. 2014. Karasu Çayı Havzasının Hidrografik Planlaması, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul.
- Karataş, A. 2017. Karasu Çayı Havzasının Hidrografik Planlaması, Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Karataş, A., Ekinci, D. 2013. Interpretation of the Morphological Characteristics of Şehir Creek Basin (İspir) Regarding Fluvial Geomorphology and Regional Tectonics, 3rd International Geography Symposium, GEOMED 2013, 10-13 June 2013, Antalya, Turkey.
- Keller, E.A., Pinter, N. 2002. Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape, Second edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey
- Köle, M. M. 2016. Devrez Çayı Vadisinin Tektonik Özelliklerinin Morfometrik İndisler ile Araştırılması, *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi*, 33, 21-36.
- Mark, D.M. 1975. Geomorphometric Parameters: A Review and Evaluation, *Geografiska Annaler*, 57, 165-177.
- Mark, D. 1988. Network models in geomorphology. *Modeling Geomorphological Systems*, 439-451.
- Markose, V. P., Dinesh, A. C., Jayappa, k. S. 2014. Quantitative analysis of morphometric parameters of Kali River basin, southern India, using bearing azimuth and drainage (bAd) calculator and GIS, *Environmental Earth Sciences*, March, 1-20, <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-014-3193-x>
- Melton, M.A. 1957. An analysis of the relations among elements of climate, Surface properties and geomorphology, Project NR 389042, Tech. Rep. 11, Columbia University
- Melton M. A. 1958. Correlation structure of morphometric properties of drainage systems and their controlling agents. *Journal of Geology*, 66, 442-460
- Miller, V. C. 1953. A Quantitative Geomorphic Study Of Drainage Basin Characteristics İn The Clinch Mountain Area, Virginia And Tennessee, Technical Report no: 3, Department of Geology, Columbia University, New York, USA.
- Morris, M. E., Heerdegen, R. G. 1988. Automatically derived catchment boundary and channel networks and their hydrological applications. *Geomorphology*, 1, 134-141.
- Mukhopadhyay, S. C. 1984. The Thisa Basin–A Study in Fluvial Geomorphology, K.P. Banchiand Co., Calcutta.

- Nir, D. (1957). The Ratio of Relative and Absolute Altitude of Mt. Carmel. *Geographical Review*, 27, 564–569.
- Okay, A. İ. 2011. Tavşanlı Zonu: Anatolid-Torid Bloku'nun Dalma Batmaya Uğramış Kuzey Ucu, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi* 142, 195-226.
- Özdemir, H. 2011. Havza Morfometrisi ve Taşkınlar, Fiziki Coğrafya Araştırmaları; Sistematik ve Bölgesel, Türk Coğrafya Kurumu Yayınları, No:5, 457-474, İstanbul.
- Özşahin, E. 2010. Komşu Akarsu Havzalarının Morfometrik Analizi: Sarıköy ve Kocakıran Dereleri Üzerine Temel Bir Çalışma (Gönen Havzası, Güney Marmara), *Fırat Üniv. Sosyal Bilimler Dergisi*, 20 (1), 139-154.
- Özşahin, E. 2015. Hoşköy Deresi Havzası'nın (Tekirdağ) jeomorfometrik özellikleri, *The Journal of Academic Social Science Studies*, 33, 99-120
- Öztürk, B., Erginal, A., E. 2008. Bayramdere Havzasında (Biga Yarımadası-Çanakkale) Havza Gelişiminin Morfometrik Analizler ve Jeomorfoik İndislerle İncelenmesi, *Türk Coğrafya Dergisi* 50, 61-68.
- Öztürk, M. Z. 2018. Karstik kapalı depresyonların (dolinlerin) morfometrik analizleri. *Coğrafya Dergisi*, 36, 1-13.
- Patton, P. C. 1988. Drainage basin morphometry and floods. *Flood Geomorphology. John Wiley ve Sons*. 11, 51-64.
- Pike, R. J. Wilson, S. 1971. Elevation-Relief Ratio, Hypsometric Integral, and Geomorphic Area-Altitude Analysis, *Geological Society of America Bulletin*, 82(4), 1079-1085.
- Pike, R.J. 2000. Geomorphometry - Diversity In Quantitative Surface Analysis, *Progress in Physical Geography*, 24 (1), 1–20.
- Pike, R., Evans, I., Hengl, T. 2009. Geomorphometry: A Brief Guide. *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications* (pp. 3-30), Amsterdam: Elsevier.
- Riley S. J, DeGloria SD, Elliot R. 1999. A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences*. 5, 23-27.
- Seth, S. M., Ramasastri K. S., Rao, V. N. 1998. Representative Basin Studies: Morphometric Analysis of Suddagedda Basin, Andhra Pradesh, National Institute of Hydrology Jal Vıgyan Bhawan, 1-28.
- Schumm, S. A. 1954. The Relation of Drainage Basin Relief to Sediment Loss, *Int. Assoc. Sci. Hydrology*, 36 (1), 216-219.
- Schumm, S. A. 1956. Evolution Of Drainage Systems And Slopes İn Badlands At Perth Amboy, New Jersey. *Geological Soc. Am. Bul.* 67, 597-646.
- Strahler, A. N. 1952. Hypsometric (area-altitude) Analysis of Erosional Topography, *Geological Society of America Bulletin* 63, 1117-1142.
- Strahler, A. N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans American Geophysical Union* 38, 913-920.
- Strahler, A. N. 1964. Handbook of Applied Hydrology, Section 4-II Geology, part II. Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks, (Editor V.T. CHOW) Mc Graw-Hill Company, New York.
- Strahler, A. N. 1966. Quantitative Geomorphology. In: Fairbridge, R.W. (ed). *The Encyclopedia of Geomorphology*, Reinhold Book Crop. New York.
- Tarı, U., Tüysüz, O. 2008. İzmit Körfezi ve Çevresinin Morfotektoniği. *İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(1), 17-28.
- Topuz, M., Karabulut, M. 2016. Limonlu ve Alata Havzalarının (Mersin-Erdemli) jeomorfometrik analizi, *Turkish Studies*, 11 (2), 1231-1250.
- Troiani, F., Galve, J.P., Piacentini, D.; Della Seta, M. 2014. Spatial analysis of stream length-gradient (SL) index for detecting hillslope processes: a case of the Gállego River Headwaters (Central Pyrenees, Spain), *Geomorphology*, 214, 183- 197.
- Turoğlu, H., 1997. İyidere havzasının hidrografik özelliklerine sayısal yaklaşım, *Türk Coğrafya Dergisi*, 32, 355-364.
- Utlı M., Toprak A., Özdemir H. 2012. Köyceğiz Gölü Kuzey Havzalarının Jeomorfometrik Analizlere Bağlı Değerlendirilmesi, III. Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu, Hatay.
- Uzun, M. 2014. Lale Dere (Yalova) Havzası'nın Jeomorfolojik Özelliklerinin Jeomorfometrik Analizlerle İncelenmesi, *Route Educational and Social Science Journal* 1(3), 72-88.

- Uzun, M., 2019. Evaluation of fluvial processes and formation of drainage network with morphometric indices in Dilderesi Basin (Kocaeli). *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 40, 454-477,
- Verstappen, H. T. 1983. Applied Geomorphology Geomorphological Surveys for Environmental Development, Elsevier Science Publishing Company Inc., New York.
- Wilson J. P, Bishop M.P. 2013. Geomorphometry. (Edt: Shroder JF, Bishop MP, Treatise on Geomorphology), *Remote Sensing and GIScience in Geomorphology*. 3, 162-186
- Yıldırım, C. 2014. Relative tectonic activity assessment of the Tuz Gölü fault zone; Central Anatolia, Turkey. *Tectonophysics*, 630, 183–192.
- Zavoianu, I. 1985. Morphometry of Drainage Basins, Developments in Water Science, 20. Elsevier.
- Zevenbergen L. W, Thorne C. R. 1987. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*. 12, 47-56