

To Cite This Article: 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.

Submitted: June 01, 2019

Revised: June 18, 2019

Accepted: June 27, 2019

EVALUATION OF FLUVIAL PROCESSES AND FORMATION OF DRAINAGE NETWORK WITH MORPHOMETRIC INDICES IN DILDERESI BASIN (KOCAELİ)

Dilderesi Havzasında (Kocaeli) Morfometrik İndislerle Flüvyal Süreçler ve Drenaj Şebekesi Yerleşiminin Değerlendirmesi

S. Murat UZUN⁷⁰

Özet

Jeomorfolojik oluşum ve gelişim süreçleri ile drenaj şebekesinin kuruluşu, gelişimi arasında sıkı bir ilişki vardır. Flüvyal süreçler, tektonizma ve strüktür gibi faktörler havzaların jeomorfolojik yapısını ve drenaj ağını etkilemektedir. Bu durum havzaların jeomorfolojik evriminin açıklanması, drenaj ağı tipleri ve topografya arasındaki ilişki hakkında bilgi edinmemizi sağlamaktadır. Belirtilen morfolojik yapı ve süreçlerin etkileri morfometrik analizler sayesinde ortaya çıkan sayısal değerlerle yorumlanabilmektedir. Bu çalışmada Kocaeli Platosunda yer alan, çoğunlukla kuzey-güney yönünde akış göstererek İzmit Körfezi'ne dökülen Dilderesi Havzası incelenmiştir. Araştırmada ArcGIS programına aktarılan DEM verisi üzerinden havzanın sınırları tespit edilmiş ve jeolojik, jeomorfolojik, hidrografik özellikleri belirlenmiştir. Bunun yanında havzanın jeomorfolojik yapısı ile drenaj ağının daha iyi açıklanabilmesi için morfometrik indisler uygulanmıştır. Morfometrik indis sonuçları ile daha önceki araştırmalar, üretilen haritalar ve arazi çalışmaları sonucu elde edilen bilgiler analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Elde edilen bilgiler neticesinde Dilderesi havzasının genel anlamda olgunluk evresine yakın bir topografik görünüme sahip olmasına karşın, litolojik farklılıklar ve aktif tektoniğin etkisiyle drenaj hatlarının henüz tam anlamıyla olgun bir profil sergilemekten uzak olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca havzanın aşağı ve yukarı çıkırında asimetrik yapının olduğu, vadilerde tektonizmanın etkisinin görüldüğü tespit edilmiştir. Havzada genel olarak dendritik drenaj şebekesi mevcut olsa da morfolojik gelişimdeki birçok etken nedeniyle farklı drenaj türleri de görülebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Morfometrik İndis, Drenaj Özellikleri, Havza Jeomorfolojisi, Flüvyal Süreçler, Dilderesi

Abstract

There is a closely relationship between geomorphological formation, development processes and the establishment, development of drainage network. Factors such as fluvial processes, tectonism and structure affect the geomorphological structure of the basins and the drainage network. This allows us to learn about the relationship between the geomorphological evolution of the basins, the types of drainage networks and topography. This morphological structure and the effects of the processes can be interpreted by the numerical values obtained by the morphometric analysis. In this study, Dilderesi Basin, which is located in the Kocaeli Plateau and which mostly flows in the north-south direction, has been investigated. In the research, the boundaries of the basin and the geological, geomorphological and hydrographic characteristics were determined through the DEM data transferred to the ArcGIS program. In addition to this, morphometric indices were applied for better explanation of the drainage network with the geomorphological structure of the basin. Morphometric index results and previous researches, maps and field studies were analyzed and evaluated. As a result of the information obtained, the Dilderesi basin had a topographic view close to the maturity stage, however, it was found that drainage lines were far from being fully mature in profile due to lithological differences and active tectonics. In addition, asymmetric structure was found in the upper and lower parts of the basin, tectonism was observed in the valleys. Although there is generally a dendritic drainage network in the basin, different drainage types can be seen due to many factors in morphological development.

Keywords: Morphometric Indis, Drainage Features, Basin Geomorphology, Fluvial Processes, Dilderesi

⁷⁰PhD Student., Marmara University, Institute of Social Sciences, Department of Geography, Kadıköy TURKEY., murat_uzun53@hotmail.com

GİRİŞ

Havzaların jeomorfolojik oluşumu ve gelişiminin açıklanmasındaki en önemli unsurlardan biri havzalarının drenaj özellikleri ve drenaj şebekesinin gelişim süreçleridir. Akarsuların geçmiş ve günümüz iklim koşullarına bağlı olarak önemli bir aşındırma, taşıma ve biriktirme unsuru olması topografik görünümde jeomorfolojik değişimlere yol açmaktadır (Erinç, 2001: 375). Dış dinamik etken olan akarsuyun etkisi sonucu meydana gelen değişimler tektonizma, karstik birimler vb. diğer jeomorfolojik unsurlarla da etkileşime geçerek havzalarının rölyef özelliklerinde etkili olmakta ve havzaların jeomorfolojik gelişim süreçlerinin açıklanmasında önemli bir bilgi kaynağını oluşturmaktadır (Özşahin, 2015: 140; Karaaslan ve Karataş, 2017: 128).

Jeomorfolojik oluşum ve gelişim süreçleri ile drenaj şebekesinin kuruluş ve gelişimi arasında sıkı bir ilişki vardır. Zira bu ilişki rölyef hakkında önemli bilgiler ihtiva ederken havzalarının litolojik yapısı ve topografik görünümü için de analiz ve değerlendirme yapma imkânı sağlamaktadır. Yine farklı sistem ve şekilsel özellikler sunan drenaj tipleri, oluşum ve gelişim süreçlerini etkileyen ve yön veren süreçler hakkında da önemli bilgiler sunmaktadır (Karaaslan ve Karataş, 2017: 128).

Havzalarının drenaj şebekesi yerleşimi ve bu sistemlerin jeomorfolojik gelişimindeki etkenlerin açıklanmasında kantitatif yöntemlerin kullanılması, sonuçların daha kesin, objektif, kanıtlara dayanan ve karşılaştırma imkanı yapan veriler sağlaması bakımından oldukça önemli bilgiler sunmaktadır (Pike, 2000: 2; Turoğlu, 1997: 355). Morfometrik analizler ve indisler günümüzde uzaktan algılama (UA) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) vasıtasıyla daha kolay, hızlı ve karşılaştırılabilir sonuçlar ortaya koymakta ve bu bakımdan havzaların oluşum ve gelişim süreçlerinin açıklanmasında oldukça fazla kullanılmaktadır. Havza morfometrisi, havzaların oluşum ve gelişimini sayısal verilerle ve yapılan analizlerle açıklamaktadır. Bu bakımdan havzaların jeomorfolojik olarak bütün süreçlerini açıklamak, drenaj özelliklerini ve gelişimlerini değerlendirmek için günümüzde birçok çalışmada morfometrik analizler ve indisler kullanılmaktadır (Turoğlu, 1997: 357; Cürebal ve Erginal, 2007: 204; Cürebal, 2006: 72; Özşahin, 2010: 139, Özdemir, 2011: 509; Karataş ve Ekinci 2013: 577; Avcı ve Sunkar, 2015: 93; Öztürk vd., 2019: 4).

Bu çalışmada Kocaeli platosunda yer alan ve İzmit Körfezi'ne dökülen Dilderesi ve hidrografik havzası incelenmiştir. İnceleme alanının seçilmesinde sahanın önemli bir aktif tektonik kuşak içerisinde olması, jeomorfolojik görünümün özellikle neo-tektonik dönemde oluşması, havzadaki drenaj özellikleri, jeomorfolojik yapı ve gelişimlerin flüvyal süreçler ile tektonik etmenlerin ortak etkisi ile meydana gelmiş olması etkili olmuştur. Aynı zamanda jeomorfolojik açıdan önemli rölyef özelliklerinin görüldüğü Ballıkayalar Tabiat Parkının bu alanda bulunması, geniş yerleşim alanları ile sanayi tesislerinin havza çevresinde yer alması özellikleri de etkili olmuştur. Bu kapsamda Dilderesi havzasının drenaj şebekesinin oluşumu ve gelişiminin morfometrik analizler ile belirlenmesi ve elde edilen bulgular sonucunda sahadaki flüvyal süreçlerin, jeomorfolojik görünüm, süreç ve etkilerinin açıklanması çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

MATERYAL VE METOD

Çalışmada materyal olarak yazılı kaynaklar, haritalar, uydu görüntüleri, arazi gözlemleri sonucu elde edilen bilgiler kullanılmıştır. Araştırmada, coğrafi prensipler ve araştırma yöntemleri ele alınarak işleyiş ve inceleme çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda ilk olarak çalışma alanı belirlenmiş, inceleme alanı ve yakın çevresiyle ilgili literatür detaylıca araştırılmış ve incelenmiştir. Çalışmadaki haritalar, analizler ile rölyef ve yükselti özellikleri için METI&NASA ortak yapımı olan AsterGDEM verileri (30x30m) kullanılmıştır. Elde edilen DEM verisi ArcGIS 10.3 paket programına aktarılmış ve burada ilk olarak ArcToolbox üzerinden hidrolojik analiz yapılmış ve havza sınırı tespit edilmiştir. Daha sonra MTA'dan temin edilen 1:50.000 ölçekli G22b ve G22a jeoloji paftaları yine ArcGIS'e aktarılmış ve sahanın jeoloji haritası üretilmiştir. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kapsamında ArcGIS yazılımı üzerinden havzanın sayısal yükselti modeli üretilmiş daha sonra eğim, baki, eğrisellik, yükselti kademeleri, jeomorfoloji, hidrografya, drenaj yoğunluğu, aşınım parçalanma haritaları üretilmiştir. Çalışmanın temel bulgularını oluşturmak için inceleme sahasına morfometrik analizler uygulanmıştır. Uygulanan morfometrik indisler alansal parametreler, çizgisel parametreler ve yüzeysel (rölyef) parametreler olmak üzere üç gruba ayrılarak analizleri yapılmıştır.

Çalışmada morfometrik analizler için alansal parametreler kapsamında; havza alanı, havza çevresi, biçim katsayısı, akarsu sıklığı, tekstür oranı, drenaj yoğunluğu, havza şekli, dairesellik oranı kullanılmıştır. Çizgisel parametreler; havza uzunluğu, maksimum havza genişliği, ana akarsu uzunluğu, akarsu uzunluk oranı, çatallanma oranı, yüzeysel akış uzunluğu, uygunluk oranı yatak eğim oranı, yatak kıvrımlığı oranı kullanılmıştır. Yüzeysel (rölyef) parametrelerde; eğim, baki, yükselti, havza asimetrisi, havza reliefi, relief oranı, engebellik değeri, vadi tabanı-vadi genişliği oranı, akarsu boy-gradyan indeksi, hipsometrik eğri ve integral, gravelius katsayısı (indeksi), kurvatür derecelendirmesi, transverse topografik simetri faktörü ile aşınım ve parçalanma şiddet derecelendirmesi indisleri kullanılmıştır.

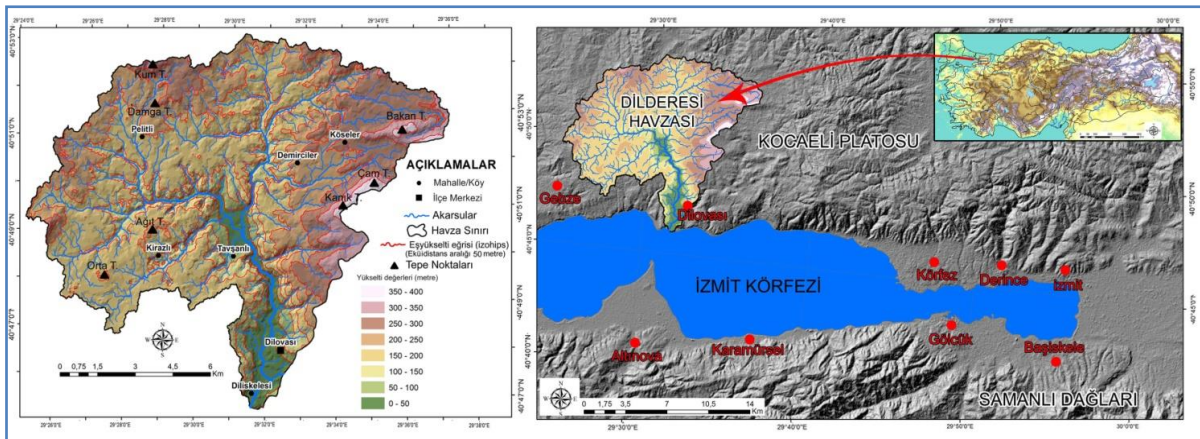
Yukarıda belirtilen ve kullanılan indislerin daha anlamlı veriler sağlaması için inceleme sahasındaki ana akarsu olan Dilderesi'nin başlıca iki kolunu meydana getiren Ballıkaya Dere ve Değirmendere'nin havza sınırları da belirlenerek

incelenmiştir. Bu kapsamda belirtilen havzalar içinde yukarıdaki morfometrik analizler uygulanmış, birbiriyle ve ayrıca bütün havza geneliyle karşılaştırılarak değerlendirilmeler yapılmıştır.

Yapılan çalışmalar ve analizler sonucu, saha ile ilgili geçmiş kaynaklardan, üretilen haritalardan, uygulanan morfometrik indislerden ve tüm bulgulardan, drenaj şebekesinin yerleşimini etkileyen unsurlar, havzanın jeomorfolojik durumu ve bu durumu etkileyen süreçler ile havzadaki flüvyal etkenler ve tektonizma hakkında yorum ve değerlendirmeler yapılarak çalışmanın nihai sonucu ortaya konulmuştur.

ÇALIŞMA ALANININ KONUMU VE JEOLJİK - JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Dilderesi havzası Marmara Bölgesi'nin kuzeydoğusunda bulunan Kocaeli Platosunda yer almaktadır. Çalışma alanı, kaynaklarını Kocaeli platosundaki aşınım yüzeylerinden ve tepelik alanlardan alarak daha çok güneye yönelen akarsuların drenaj gösterdiği hidrografik havzadan oluşur. Havzanın bulunduğu sahada ve kuzeyinde Kocaeli Platosu, güneyinde İzmit Körfezi yer almaktadır. Havzanın doğusunda Enarca dere, batıda ise Çayırova dere ve kısa boylu mevsimlik akarsu havzaları bulunmaktadır. Çalışma alanında kuzeyden gelen Balıkaya Dere ve kolları K-G doğrultusunda akış göstererek, havzanın batı ve kuzeybatısından Değirmendere ve kolları B-D doğrultusunda akış göstererek Tavşanlı yakınlarında Dilderesi'ne (Tavşanlı) bağlanarak havzanın ana hidrografik yapısını oluşturmaktadır. Dilderesi de K-G doğrultusunda akış göstererek İzmit Körfezi vasıtasıyla Marmara Denizi'ne dökülür. Havzanın sınırlarını drenaj sistemini oluşturan akarsularının su bölümü çizgisi meydana getirmektedir (Şekil 1). Bu sınırlar içerisinde çalışma alanı 40°45'-40°55' enlemleri ile 29°24'-29°36' boylamları arasında yer alır. Bu haliyle havza toplam 131,54 km²'lik alan kaplamaktadır. İdari bölünüş açısından havzanın tamamı Kocaeli ili sınırlarında yer almakta olup Dilovası ilçe merkezinin tamamı ile Gebze ilçesinin yerleşim alanının kuzeydoğu kesimi havza sınırları içerisine girer.

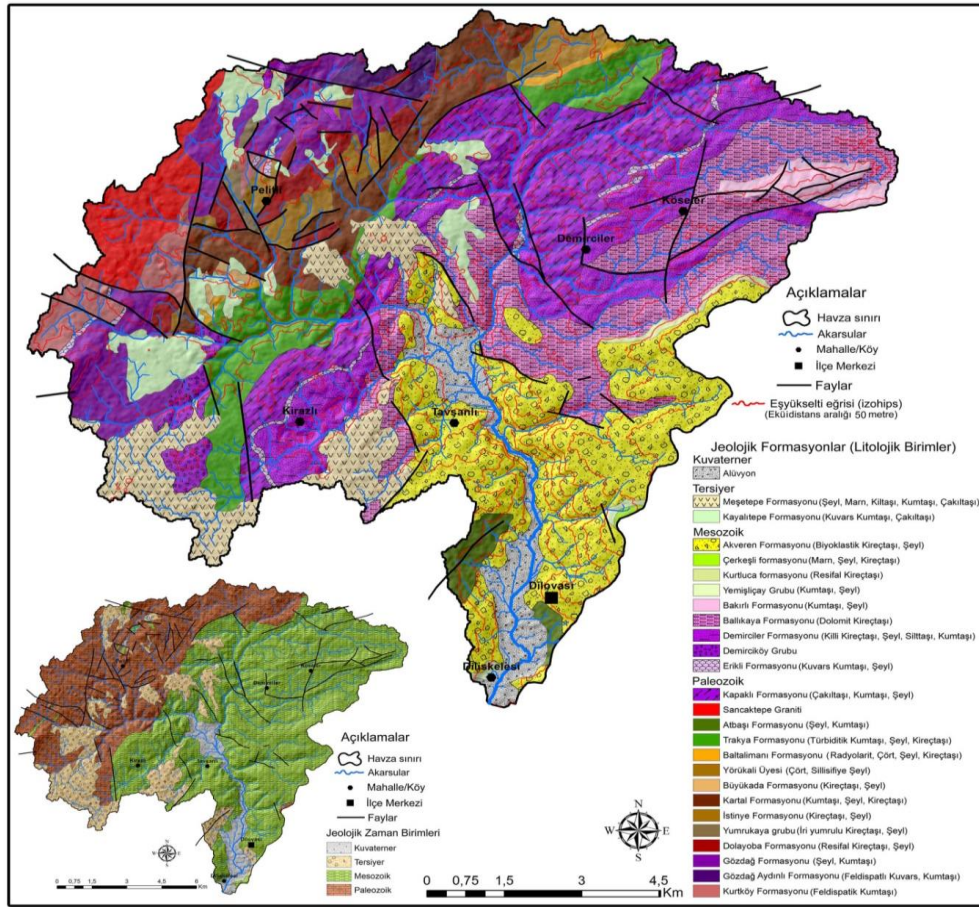


Şekil 10: Çalışma Alanının Lokasyon ve Topografya Haritası

Dilderesi Havzasının Jeolojik Özellikleri

Dilderesi havzası zamansal olarak ve litolojik bakımdan farklı jeolojik birimlerden oluşmaktadır (Şekil 2). İnceleme alanının batı ve kuzeybatısında Paleozoik yaşlı birimler bulunmaktadır. Bu alandaki en yaşlı birimleri Alt-Orta Ordovisiyen yaşlı Kurtköy ve Gözdağ formasyonu oluşturmaktadır. Kuvars ve kumtaşından müteşekkil olan bu formasyonlarla birlikte aynı sahada kalker, şeyl ve kumtaşı litolojilerindeki Dolayoba, İstinye, Kartal, Büyükada, Yörükali ve Baltalimanı formasyonları yer alır. Daha çok Tavşanlı ve Kirazlı'nın batı ve kuzeybatısında bu birimlere rastlanılmaktadır. Bu sahada birimlerin oldukça karmaşık bir dağılışı gösterdiği ve faylarla parçalanmış süreksizlikler şeklinde bulunduğu da görülmektedir. Pelitli batısındaki Sancaktepe graniti sahadaki volkanik litolojiyi meydana getirir. Paleozoik arazilerden Alt Karbonifer yaşlı Trakya formasyonu ile Üst Permiyen yaşlı Kapaklı formasyonu diğer birimlere nazaran KD-GB doğrultusunda yer yer parçalı ancak belli oranda süreklilik arz eden bir dağılışı göstermektedir. Bu bölümde önemli bir fay hattı ile sınırlanan bu birimler aslında havzanın doğusunda geniş yer kaplayan Mesozoik yaşlı birimlerle de sınır teşkil eder. Mesozoik yaşlı birimler çalışma alanının doğu kesiminde faylarla KD-GB yönünde sınırlanmış olarak geniş yer kaplamaktadır. Bu bakımdan Dilderesi ana akarsu yatağının doğu kesimi neredeyse tamamen bu birimlerden müteşekkildir. Bu alanda sahanın kuzeyindeki yüksek kesimlerde Demirciler formasyonu ve Balıkaya formasyonu özellikle kalker mostralılarıyla jeolojik yapıyı oluşturmaktadır. Bu alandaki orta kalın katmalı kalkerler dolomitik özellikte olup oldukça serttirler (Turoğlu vd., 1994: 319). Tavşanlı'nın güneyinden itibaren ise Üst Kretase yaşlı Akveren formasyonu bulunmaktadır. Havzanın bu kesiminde de litolojik birimler faylarla kesilmiş ve sınırlanmıştır. Havzadaki Tersiyer yaşlı birimler akarsuyun aşağı çığırında ve ana akarsuyun batısında bulunmaktadır. Bu alanlarda şeyl, marn, kumtaşından oluşan Kayalıtepe ve Meşetepe

formasyonları görülmektedir. Çalışma alanında Kuvaterner yaşlı birimleri alüvyonlar meydana getirmektedir. Bu birimler havzanın aşağı çığırında gözlemlenmektedir. Özellikle Tavşanlı'da geniş bir alan kaplayan alüvyonlar dar vadilerin tabanını oluşturarak güneye yönelmekte ve akarsuyun denize döküldüğü alanlarda yayılış göstermektedir.

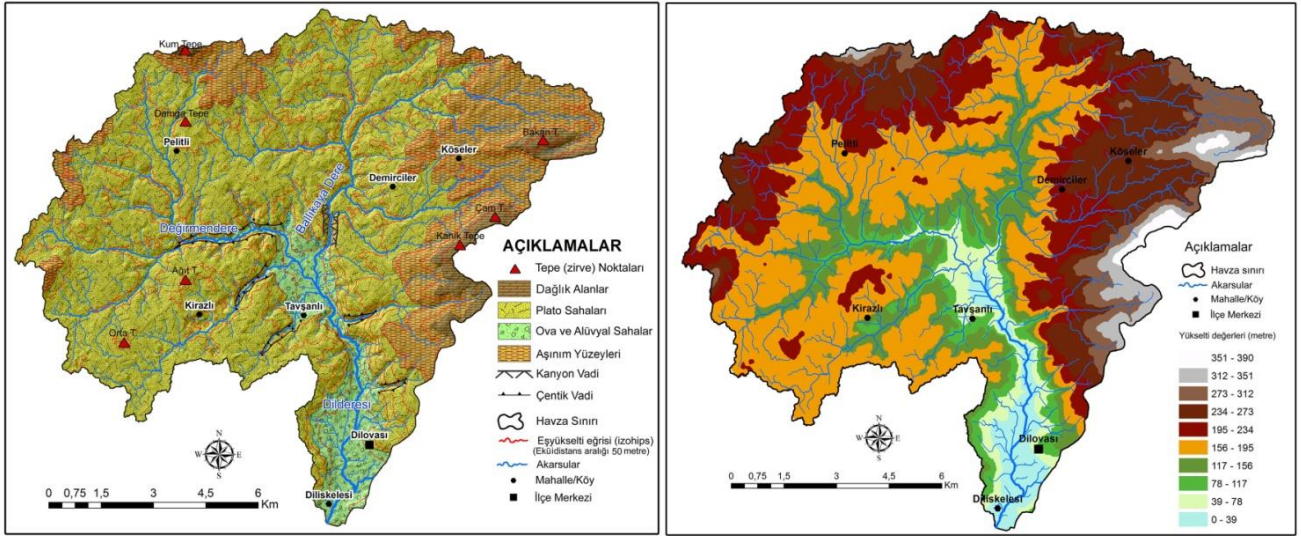


Şekil 11: Dilderesi Havzasının Jeoloji Haritaları

Araştırma sahası tektonik açıdan oldukça aktif olan Kuzey Anadolu Fay Zonu içerisinde yer almaktadır. Bu bakımdan tektonik etkenlerin yoğun şekilde tezahür ettiği alanda, yerel faylar da bulunmakta ve tektonik yapının detaylarını meydana getirmektedir. Çalışma alanındaki faylar doğrultu bakımında heterojen bir özellik gösterir. Ancak havzanın doğusunda bulunan faylar ağırlıklı olarak KB-GD doğrultusunda süreklilik arz etmektedir (Şekil 2).

Dilderesi Havzasının Jeomorfolojik Özellikleri

Havzanın jeomorfolojik özellikleri incelendiğinde, genel olarak havzanın Kocaeli Platosu üzerinde yayılış gösterdiği görülmektedir. Havzada ana rölyef birimleri olan dağlık-tepelik alanlar, plato sahaları ile ovalar topografik görünümün temel unsurlarını oluşturmaktadır. Havzanın doğusundaki Kanık Tepe (380 m), Çam Tepe (398 m) ve Bakan Tepe (372 m) havzanın en yüksek kesimlerini meydana getirmektedir. Bu alanların dışında havzanın kuzeybatısında Pelitli civarındaki Damga Tepe (248 m), Ceviz Tepe (289 m) ve Kum Tepe (295 m) gibi alanlar diğer yüksek kesimleri teşkil etmektedir (Şekil 3). Havzanın büyük çoğunluğu 150-250 m. arasındaki yükseltide yer alır ve bu alanlar akarsular tarafından parçalanmış bir plato özelliği göstermektedir. Bu alanlardaki hafif yüksek tepelik alanlar daha çok aşınım yüzeylerine tekabül eder. Havzada flüvyal etkenlerin rölyef üzerinde büyük etkisi olmuş ve birçok vadi oluşumuna sebebiyet vermiştir. Flüvyal etkenlerin özellikle litoloji ve tektonik yapının da katkısıyla etkili aşındırma yaptığı alanlarda boğaz ve kanyon vadilere rastlanılmaktadır (Ballıkaya boğaz vadisi). Bunun dışında havzadaki birçok akarsu çentik vadi (V şekilli vadi) özelliği göstermektedir (Şekil 3). Ayrıca Dilderesi'nin mansap kısmına doğru yatak derinliğinin azalması ve yana aşındırma sonucu geniş tabanlı vadi şeklinde bir görüntü bu alanda hâkim olmaktadır. Bu alan aynı zamanda çalışma sahasındaki alüvyal ova özelliği gösteren bölümü oluşturmaktadır. Dilovası çevresindeki saha topografik görünümün daha sade bir hal aldığı, eğim değerlerinin azaldığı alüvyal tabanlı ova alanı özelliğindedir. Bu alanın dışında Tavşanlı yakınlarındaki ana akarsu yatağına karışan Değirmendere ve Ballıkaya Dere'nin taşıdığı malzemeleri getirip biriktirdiği alan da önemli bir ova özelliği taşımaktadır.



Şekil 12: Dilderesi Havzasının Jeomorfoloji Haritası ve Sayısal Yükselti Modeli

Dilderesi havzası ve yakın çevresini oluşturan Kocaeli Yarımadası, Üst Miyosen'de aşınım alanı halinde kalarak plato niteliği kazanmıştır. Bu özelliği ile penneplen sahası olan plato alanı Geç Pliyosen'den itibaren fay hatlarının etkisi ile makaslama zonunun gelişimi ve İzmit Körfezi'nin açılmasıyla parçalanmış ve Karadeniz'e doğru eğilimlenerek asimetrik bir yapı kazanmıştır (Tari ve Tüysüz, 2008: 19). Pliyosen - Pleyistosen arasında ve Kuvaterner başlarında vuku bulan hareketler havza ve çevresinde epirojenik karakterde olmuştur. Bu hareketlerin tesirleri, Neojen depolarını tesviye eden Üst Pliosen aşınım yüzeyinin bir parçası olan Kocaeli platosunda yükselme, İzmit Körfezi'nde alçalma şeklinde meydana gelmiştir. Üst Pliyosende de aşınmaya devam eden sahada aşınım yüzeyleri 100-300 m. arasındaki seviyelerde bulunurken, morfolimatik bakımdan etkili olan flüvyal etkenler plato yüzeyini daha da aşındırmış ve bazı alanlarda dar derin vadiler meydana getirmiştir. Dilderesi havzası ve yakın çevresi, aktif fay kuşağı olan ve İzmit Körfezi'nin güneyine yakın sahadan geçen Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun hareketliliğinden de etkilenmiştir. Özellikle neo-tektonic etkenler çalışma alanı çevresinde yükselme ve alçalmaların görülmesine neden olmuştur (Hoşgören, 1995: 344; Ekinci ve İlze, 2015: 22-41). Havzanın yukarı çığırlarında yükselme, aşağı çığır ve özellikle akarsuyun ağız kesiminde ise çökmeler söz konusudur. Dilderesi havzasında Kuvaternerde aktif olarak flüvyal etkenler ve tektonik unsurlar etkili olmakta ve günümüzde de rölyefin şekillenmesi bu doğrultuda devam etmektedir.

BULGULAR

Dilderesi havzasındaki drenaj şebekesinin oluşum ve gelişimini etkileyen unsurlar, jeomorfolojik görünüm ve gelişim ile havzadaki flüvyal süreçler; alansal parametreler, çizgisel parametreler ve yüzeysel (rölyef) parametreler olmak üzere üç grup morfometrik indis uygulanıp sonuçları analiz edilerek yorumlanmıştır (Tablo 1).

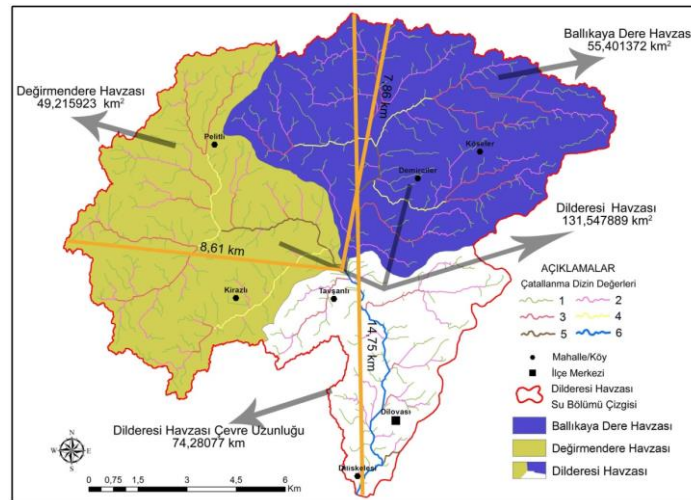
Tablo 4: Dilderesi Havzası ile Alt Havzalarında Uygulanan Morfometrik İndisler ve Elde Edilen Değerler

MORFOMETRİK İNDİSLER		Formül	Dilderesi Havzası	Değirmendere Havzası	Ballıkaya Dere Havzası
Alansal Parametreler	Havza Alanı (A)		131,547889km ²	49,215923 km ²	55,401372km ²
	Havza Çevresi (P)		74,28077 km	42,062255 km	39,199132 km
	Havza Şekli (R _f)	$R_f = A/Lb.2$	0,60	0,66	0,81
	Dairesellik Oranı (R _c)		0,30	0,35	0,45
	Biçim Faktörü (R _f)	$R_f = A/(B \times L)$	0,50	0,43	0,48
	Biçim Katsayısı (R _d)	$R_d = L^2/A$	1,65	1,50	1,11
	Akarsu Sıklığı (F _s)	$F_s = N/A$	7,001	7,21	6,69
	Tekstür Oranı (R _t)	$R_t = Nui \times (1/P)$	6,18	4,25	4,77
	Drenaj Yoğunluğu (D _d)	$D_d = \Sigma L/A$	2,50	2,62	2,43
Çizgisel Parametreler	Havza Uzunluğu (L)		14,75 km	8,61 km	7,86 km
	Maksimum Havza Genişliği (W)		15,52 km	10,72 km	12,03 km
	Ana Akarsu Uzunluğu (L _m)		18,080137 km	10,665207 km	9,513485 km
	Akarsu Uzunluk Oranı (R _L)	$R_L = L_u/L_{u+1}$	Top9,3 ort1,86	Top7,74 ort1,93	Top7,79 ort1,94
	Çatallanma Oranı (R _b)	$R_b = N_u/N_{u+1}$	1,75	1,83	1,94
	Yüzeysel Akış Uzunluğu (ℓ _o)	$\ell_o = 1/2D$	0,25	0,26	0,24
	Uygunluk Oranı (R _u)	$R_u = L_m/P$	0,24	0,25	0,24
	Yatak Eğim Oranı (R _m)	$R_m = (H_{max}L_m) - (H_{min}L_m) / L^m$	0,011	0,015	0,018
	Yatak Kıvrımlığı Oranı (R _s)	$R_s = L_m/L_d$	1,22	1,23	1,20
Yüzeysel (rölyef) Parametreler	Havza Reliifi (B _h)	$B_h = H_{max} - H_{min}$	398	334	371
	Relief Oranı (R _n)	$R_n = H/Lb$	0,026	0,031	0,039
	Engelibellik Değeri (R _n)	$R_n = D_d \times B_h$	0,78	0,87	0,90
	Vadi Tabanı- Genişliği Oranı (V _f)	$V_f = 2.V_{fw} / (E_{ld-Esc}) + (E_{rd-Esc})$	Ort 2,43	Ort 2,1	Ort 0,95
	Akarsu boy-gradyan indeksi (SL)	$SL = (\Delta H/\Delta L)L$	Ort 70,9	Ort 82,3	Ort 90,9
	Hipsometrik Eğri (Hc)	$h/H \text{ a/A}$			
	Hipsometrik İntegral (Hi)	$H_i = H - H_{min}/H_{max} - H_{min}$	0,46	0,44	0,51
	Gravelius Katsayısı (indeksi) (Kg)		1,77	1,73	1,40
	Kurvatur Derecelendirmesi (D _c)				
	Havza Asimetrisi (AF)	$AF = 100 (A_r/A_t)$	0,71	1,09	2,37
	Transverse Topografik Simetri (T)		Ort 0,21	Ort 0,19	Ort 0,13
	Aşınım ve Parçalanma Şiddet Derecelendirmesi (E _c)		Min=3 Max=243		

Alansal Parametreler

Havza Alanı (A): En eski morfometrik unsurlardan biri olan havza alanının genişliği yani havzanın büyüüp küçülmesi, akış ve erozyon faaliyetleri üzerinde etkili olmakta ve bu konu hakkında bilgiler vermektedir (Karataş, 2017: 120). Schumm (1956) ve Strahler'in (1952) çalışmalarından ise havzaların dizin sayısı kapsamında karşılaştırılması ile yapılacak analizlerin flüvyal etkilerin anlaşılması ve alt havzalar için farklılıkların daha belirgin ortaya konulması açısından önemli olacağı savunulmuştur (Strahler, 1952: 1120; Shumm, 1956: 603).

Dilderesi toplam havza alanı 131,54 km²'dir. Bu alan itibarıyla 250 km²'den az olduğu için havza "büyük havza" kapsamında yer almamaktadır. Daha çok orta büyüklükte olan Dilderesi havzası içerisinde iki temel akarsuyu da barındırıp bunlar da kendi havza alanlarını oluşturmaktadır. Değirmendere havzası 49,21 km² iken Ballıkaya dere havzası 55,40 km²'dir (Şekil 4). Bu durum alt havzalardan Değirmendere ve Ballıkaya dere havzalarının daha kuvvetli akış ve erozyon etkileri oluşturduğunu ve Dilderesi havzasının tamamına da etki ettiğini göstermektedir.



Şekil 13: Dilderesi Havzası ve Alt Havzalarının Sınırları ile Bazı Alansal ve Çizgisel Değerleri

Havza Çevresi (P): Havzaların çevre uzunluğu ve girinti-çıkıntı durumu havza alanı ile havzanın su bölümü çizgisindeki engebe durumu hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca çevre uzunluğu farklı morfometrik indis formüllerinde kullanılması bakımından önemlidir (Karataş, 2017: 122).

Dilderesi havzasının çevre uzunluğu 74,28 km olarak tespit edilmiş ve su bölümü çizgisinin havzanın kuzey ve batı kesiminde nispeten daha girintili-çıkıntılı olduğu görülmüştür (Şekil 4). Havza çevre uzunluğunun alt havzalardan Değirmendere havzasında 42,06 km, Ballıkaya Dere havzasında 39,19 km olduğu tespit edilmiştir. Bu durum Değirmendere havzasının su bölümü çizgisinin Ballıkaya Dere havzasına göre daha uzun olduğunu göstermektedir.

Havza Şekli (R_f): Horton (1932) tarafından bulunmuş olan bu indis havza alanının maksimum havza uzunluğunun karesine oranı şeklindeki formülle hesaplanır. İndis sonucu elde edilen bilgiler bize havzanın dairesel ya da uzunlamasına olup olmadığı hakkında bilgi vermektedir (Horton, 1932: 355). Bu durumda havzanın aşındırma gücü ve etkisinin de dolaylı yoldan yorumlanabilmesini sağlamaktadır.

Dilderesi havzasında, havza şekli indisi 0,60 iken alt havzalardan Değirmendere havzasında 0,66 ve Ballıkaya Dere havzasında 0,81 değerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu indis verisi çalışma alanının tamamında dairesel bir yapının olduğu göstermektedir. Ancak alt havzalarda havza şeklinin daha dairesel olduğu sonucunu da vermektedir. Bundan dolayı alt havzalarda yan kollardaki akımın da ana akarsu yatağındaki akım kadar etkili olduğu ve aşındırma faaliyetlerine büyük katkı sağlayarak drenaj şebekesinin oluşmasında temel etmenleri teşkil ettiğini göstermektedir. Dilderesi havzasının tamamında ise yan kollarda akış ve aşındırma gücünün var olduğu ancak ana akarsu yataklarında (Dilderesi, Değirmendere, Ballıkaya dere yatakları) aşındırmanın daha etkili olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Dairesellik Oranı (R_c): Havza alanı ve havza ile aynı çevre uzunluğuna sahip bir dairenin alanının oranlanmasıyla hesaplanır. Bu indis sonucu havzaların şekli ile yapısal özellikler tarafından denetlenme oranı hakkında yorum yapılabilmektedir (Karataş, 2017: 122). Ayrıca havzalarının dolaylı olarak engebelilikten etkilenme durumu da tespit edilebilmektedir.

Dilderesi havzasında R_c oranı 0,30 olarak tespit edilmiştir. Alt havzalar içerisinde Değirmendere havzasında 0,35 ve Ballıkaya Dere havzasında 0,45 seviyesinde dairesellik oranı değerlerine ulaşılmıştır. Bu değerler inceleme havzasının tamamı ve alt havzalarda da yapının hidrografik havza sınırına etkisinin fazla olduğunu göstermektedir.

Biçim Faktörü (R_f): Havza alanının en geniş yeri ile akarsu uzunluğunun çarpılması sonucu elde edilen bu indis havzalarının flüvyal erozyondan ne ölçüde etkilendiği hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca havzanın aşınma etkisinin boyutu yanında strüktür tarafından denetlenme durumu hakkında da fikir elde edilebilmektedir (Karataş, 2017: 124).

Dilderesi havzasında biçim faktörü 0,50 olarak hesaplanmıştır. Alt havzalardan Değirmendere havzasında 0,43 iken Ballıkaya Dere havzasında 0,48 olarak hesaplanmıştır. Değerler havzada flüvyal süreçlerin etkili olduğunu göstermektedir. Havza genelinde ve alt havzalarda değerlerin birbirine yakın çıkması havzadaki faylardan kaynaklanmaktadır. Özellikle Dilderesi ve Ballıkaya Dere havzalarında değerlerin daha yüksek çıkması ise ana akarsu yatağını etkileyen fayların drenaj şebekesinin oluşmasında etkili olduğunu ve bu sistemi nispeten yönlendirdiğini göstermektedir.

Biçim Katsayısı (R_d): Havza uzunluğunun karesinin havza alanına oranlanması sonucu bulunur. İndis havza şeklinin geometrik durumunun sayısal ifadesi olarak da belirtilmektedir (Karataş, 2017: 125). Biçim katsayısı havzalarının dairesel mi yoksa uzunlamasına mı yapıya sahip olduğunu belirtmektedir. Bu durumda yan kollardan kısa veya uzun sürede gelebilecek akım hakkında ve pik noktasına ulaşan akımın etkisi hakkında bilgi verebilmektedir.

Dilderesi havzasında biçim katsayısı 1,65 olarak hesaplanmıştır. Değirmendere havzasında bu değer 1,50 Ballıkaya Dere havzasında ise 1,11'dir. Değerler havzanın geometrisinin dairesel benzer olduğunu ve bu durumun nispeten flüvyal aşındırma ile oluştuğunu göstermektedir.

Akarsu Sıklığı (F_s): Bu indis havzadaki toplam akarsu dizin sayısının havza alanına oranını ifade eder. Bu değer drenaj yoğunluğu ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Havzalardaki yüksek değerler zeminin geçirimsiz olduğunu ve yüksek rölyef özelliklerini gösterirken, düşük değerler jeolojik açıdan geçirgen zemin özelliklerini ve alçak rölyef durumunu göstermektedir (Özdemir, 2011: 463; Karataş, 2017: 127). Drenaj yoğunluğu ve akarsu sıklığı indisleri havzalardaki drenaj yapısı, sistemi ve dağılışı hakkında yorum yapabilmemizi sağlamaktadır.

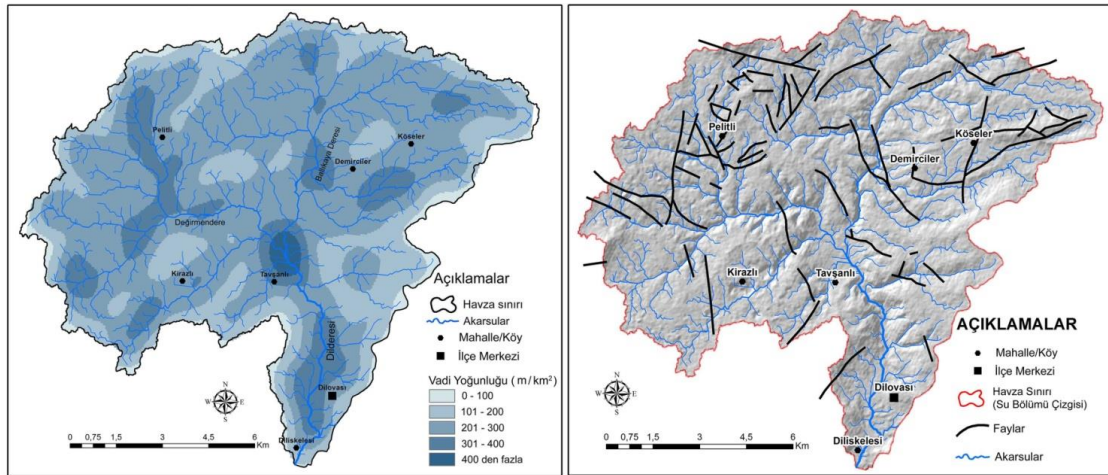
Dilderesi havzasında akarsu sıklığı oranı 7,001 olarak hesaplanmıştır. Alt havzalar olan Değirmendere havzasında 7,21 ve Ballıkaya Dere havzasında 6,69'luk değerler bulunmuştur. Havzanın batısı ve doğusunu oluşturan ve genel olarak jeolojik açıdan farklılıklar gösteren iki alt havza bize drenaj yoğunluğunun batıda daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu durumda Değirmendere havzasında genel olarak Paleozoik birimlerin olduğu ve geçirimsiz özellik gösterdiği anlaşılmaktadır. Ballıkaya dere havzasında ise Mesozoik yaşlı birimlerin olması drenaj yoğunluğunu batıya göre azaltmıştır.

Tekstür Oranı (Rt): Bu indis, havzaların litolojisi, zeminin geçirimsizliği, havzanın bakı durumu, rölyef ve infiltrasyon kapasitesi hakkında yorum yapabilmemizi sağlamaktadır (Karataş, 2017: 131). İndis değerinin yüksek çıkması, ana akarsu koluna su gönderen 1. düzeydeki kolların fazla olduğunu, az çıkması ise bu kolların az olduğunu gösterir. Bu değer dairesel havzalarda daha yüksek çıkarken, uzunlamasına havzalarda daha düşük değerler göstermektedir (Özdemir, 2011: 461).

Dilderesi havzasında tekstür oranı 6,18 olarak hesaplanmıştır. Alt havzalardan Değirmendere havzasında 4,25 ve Ballıkaya dere havzasında 4,77 olarak sonuçlar bulunmuştur. Genellikle tekstür oranı havza alanlarıyla doğru orantılı olduğu için alt havzalarda değer havzanın tamamına göre düşük çıkması normal karşılanabilmektedir. Dilderesi havza genelinde ortaya çıkan değer bize ana akarsu yatağı dışında 1. dizinden gelen kollarında drenaj şebekesine büyük katkı yaptığı ve flüvyal süreçlerde etkili olduğunu göstermektedir.

Drenaj (Vadi) Yoğunluğu (D_d): Bu indis sonucu elde edilen veriler havzaların akarsular tarafından parçalanma derecesi hakkında bilgi edinmemizi sağlamaktadır. Bu nedenle aşınım ve parçalanmada önemli bir etkiye sahip olan jeoloji, jeomorfoloji ve klimatolojik özellikler hakkında bilgi vermektedir (Patton, 1988: 54). Drenaj yoğunluğun fazla veya az olması yüzeysel akışı, su ve sediment miktarını etkileyeceğinden yarıma derecesi hakkında önemli bilgiler de sağlamaktadır. İndis sonucu düşük değerler havzaların yüzeysel sularının yeraltına sızdığını buna karşın yüksek değerlere sahip havzalarda yüzeysel akışlarla aşındırmanın ve parçalanmanın fazla olduğunu göstermektedir (Özdemir, 2011: 463, Avcı ve Sunkar, 2015: 104). Aynı zamanda bu indis ile birim alandaki drenaj ve vadi yoğunluğu belirlenmektedir. Bu durumda akarsu sisteminin drenaj özellikleri ile ilgili önemli bilgiler sunmaktadır (Özşahin, 2008: 310).

Dilderesi havzasında drenaj yoğunluğu 2,50 olarak hesaplanmıştır. Alt havzalarda değerlerin havza geneline yakın olması, drenaj yoğunluğu açısından havzanın tamamında benzer özelliklerin ve etkilerin olduğunu göstermektedir (Şekil 5). İndis sonucu havzada yer altına sızmanın az ve yüzeysel akışının yoğun olduğunu görülmektedir. Bunun neticesinde erozyonel faaliyetlerinin de fazla olmasını tetiklediği yorumu yapılabilmektedir.



Şekil 14: Çalışma Havzasının Drenaj Yoğunluğu Haritası ile Akarsu, Vadi ve Fay Hatlarının Dağılışı

Çizgisel Parametreler

Havza Uzunluğu (L): Ana akarsuyun ağız ve kaynak noktaları arasına paralel çizilen doğrudur. Bu uzunluk havzanın maksimum uzunluğuna daima karşılık gelmeyebilir (Karataş, 2017: 132). Havza uzunluğu verisi tek başına yorum yapma imkânı sağlamaz, daha çok diğer çizgisel morfolojik analizlerde kullanılarak havzalar hakkındaki verileri sağlamaktadır.

Dilderesi havzasında yukarıda belirtilen yöntem uygun olarak yapılan ölçümlerde havza uzunluğunun 14,75 km olduğu hesaplanmıştır. Alt havzalardan olan Değirmendere havzasında 8,61 km ve Ballıkaya Dere havzasında 7,86 km olarak tespit edilmiştir.

Maksimum Havza Genişliği (W): Havzada uzun eksene dik olarak hesaplanan en büyük genişlik değerini ifade eder. Flüvyal aşındırma ve yapının havza üzerindeki etkisi hakkında veriler sağlamaktadır (Karataş, 2017: 133).

Dilderesi havzasında maksimum havza uzunluğu 15,52 km olarak hesaplanmıştır. Bu değer Değirmendere havzasında 10,72 km ve Ballıkaya Dere havzasında 12,03 km olarak ölçülmüştür. Değerler bize inceleme havzasında havza uzunluğu ile maksimum havza uzunluğunun benzer değerler gösterdiğini ve nispeten dairesel bir yapı oluşturduğunu göstermektedir. Ancak alt havzalarda maksimum genişliğin ana akarsu yatağı doğrultusunda olmaması ve havza uzunluğundan daha yüksek değerler göstermesi havzanın kısmen de olsa dairesel özelliğinden biraz uzaklaştığı yorumuna sebep olmaktadır.

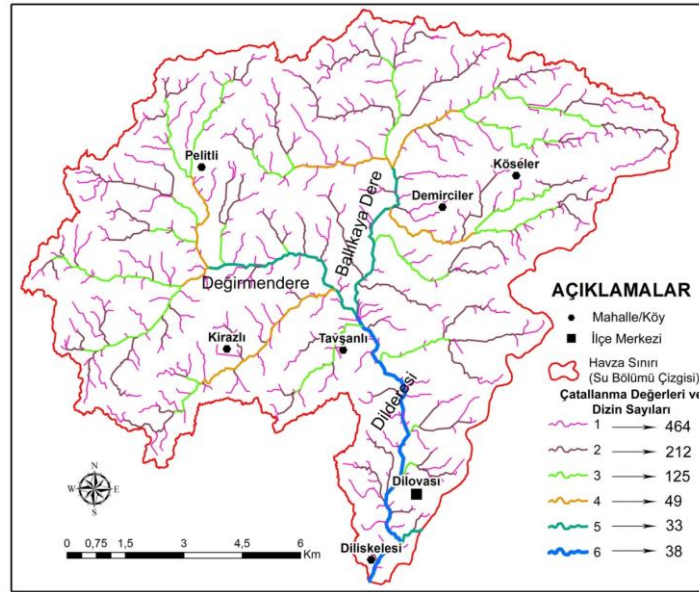
Ana Akarsu Uzunluğu (L_m): Yapılan hidrolojik analiz sonucu ortaya çıkan dizilerden 1. dizi yatağının başlangıcından itibaren ağız ve kaynak kısmı arasındaki uzunluğunu ifade etmektedir.

Dilderesi'nin ana akarsu uzunluğu 18,08 km olarak ölçülmüştür. Değirmendere 10,66 ve Ballıkaya Dere 9,51 km olarak tespit edilmiştir. Değerler havza uzunluğu ile arasındaki mesafenin çok fazla olmadığı bu da ana akarsuların çok fazla kıvrım ve menderes özelliğinde olmadığı yorumunu yapmamızı sağlamaktadır. Bu durumda diğer indislerle beraber yorumlandığında, akış durumu ve aşındırma faaliyetleri hakkında bazı ipuçlarını da sağlamaktadır.

Akarsu Uzunluk Oranı (R_L): Bu indis belirli bir dizinin toplam uzunluğunun bir sonraki dizinin toplam uzunluğuna oranıdır. Uzunluk oranı, akarsu kollarındaki suyun uzunluklarına bağlı olarak tutulma oranları hakkında fikir vermektedir (Patton, 1988: 53). Taşkın ve akım toplanma süreleri hakkında bilgi veren indis bu verilere bağlı olarak akarsuyun aşındırma etkisi hakkında yorum yapabilmemizi sağlamaktadır (Özdemir, 2011: 460).

Dilderesi havzasında akarsu uzunluk oranı 9,3 olarak hesaplanmıştır. Bu değer alt havzalarda daha düşük miktarlar (Değirmendere havzası 7,74 Ballıkaya Dere havzası 7,79) göstermektedir. Yüksek olarak hesaplanan değer havza genelinde taşkın riski barındırdığı ve flüvyal süreçler açısından ise erozyonel faaliyetlerin yoğun olarak yaşandığını göstermektedir.

Çatallanma Oranı (R_b): Her bir dizindeki akarsu sayısının bir üst dizindeki akarsu sayısına oranı şeklinde ifade edilmektedir (Strahler, 1952: 1137; Schumm, 1956: 603). İndis sonucunun değerlendirilmesi, sabit bir değer üzerinden olmayıp, daha çok farklı havzalara ait sonuçların karşılaştırılmasıyla anlam kazanmaktadır. Düşük değerler havzalarda akımlara ait hidrografın daha keskin olduğunu gösterirken, yüksek değerler hidrografın daha düşük ve devamlı olabileceğini göstermektedir (Verstappen, 1983: 74; Özdemir, 2011: 459). Çatallanma oranı topografyanın akarsular tarafından parçalanma durumu ve flüvyal süreçlerin etkisi hakkında da önemli bilgiler sunmaktadır (Karataş, 2017: 137).



Şekil 15: Dilderesi Havzasında Akarsu Ağının Strahler Yöntemine Göre Dizilişi ve Çatallanma Oranı

Dilderesi havzasında Strahler yöntemi ile yapılan analiz sonucu çatallanma oranı 1,75'dir. Değerler Değirmendere havzası için 1,94 ve Ballıkaya Dere havzasında 1,94 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen veriler inceleme sahasında drenaj şebekesinin daha keskin ve belirgin olduğunu göstermektedir. Özellikle 1. dizinde fazla akarsuların bulunması flüvyal aşınmanın havza genelinde etkili olduğunu belirtisidir (Şekil 6).

Yüzeysel Akış Uzunluğu (R_o): İlk olarak Horton (1945) tarafından üretilen bu indis havzaların drenaj yoğunluğuna bağlı olarak, yüzeysel erozyonları kontrol eden faktörler arasındaki ilişkiyi ortaya koymada kullanılmaktadır (Horton, 1945: 245; Özdemir, 2011: 461). Genel olarak havzalardaki seyelan durumu hakkında bilgi verir ve flüvyal süreçlerin etkileri hakkında yorum yapmamızı sağlar (Karataş, 2017: 1240).

Dilderesi havzası için bu değer 0,25'dir. Alt havzalarda çok yakın değerler hesaplanmıştır. Vadi yoğunluğu ile benzer özellikler gösteren bu indis sonucu havzada belli alanlarda yüzeysel akışın yoğun olduğu ve bu durumun erozyonel faaliyetleri hızlandırarak flüvyal süreçlerin havza üzerindeki etkisini arttırmıştır. Özellikle Tavşanlı çevresi ve Ballıkaya Dere kanyonu civarındaki alanlar bu durumu kanıtlayan alanlardır.

Uygunluk Oranı (R_i): Ana akarsuyun toplam uzunluğu ile havza çevresinin uzunluğu arasındaki orandır. Bu indis genel olarak strüktürün bertaraf edilerek ne ölçüde olgunlaşma aşamasına geldiğinin niceliksel olarak açıklanması hakkında bilgi vermektedir (Karataş, 2017: 141).

Uygunluk oranı Dilderesi havzasında 0,24'dir. Alt havzalar olan Değirmendere (0,25) ve Ballıkaya Dere (0,24) havzasında da ana havzada tespit edilen indis değerine yakın ölçümler bulunmuştur. Değerler havzaların yarı olgun bir karakterde olduğunu göstermektedir. Aşınmanın ve flüvyal süreçlerin havza genelinde etkin olduğu yorumu da yapılabilmektedir.

Yatak Eğim Oranı (R_m): Ana akarsu yatağının maksimum ve minimum yükselti farkının yatak uzunluğuna bölünmesiyle bulunur. İndisin hesaplanması sonucu flüvyal aşındırma durumu ve jeo-tektonik yapısının havza ve özellikle vadi oluşumlarına etkisi açısından yorumlar yapılabilmektedir (Karataş, 2017: 139).

Dilderesi havzasında yatak eğim oranı 0,011'dir, Bu değer havza genelinde ortalama bir değer göstermekle beraber aşınmanın yaşandığı ve havzanın düzleştirildiğine delalet etmektedir. Nispeten daha yüksek değerlerin görüldüğü ve genel anlamda havzanın yukarı çığırını oluşturan Değirmedere (0,015) ve Ballıkaya Dere (0,018) havzalarında değerlerin az da olsa artması engebelliğin göstergesi durumundadır.

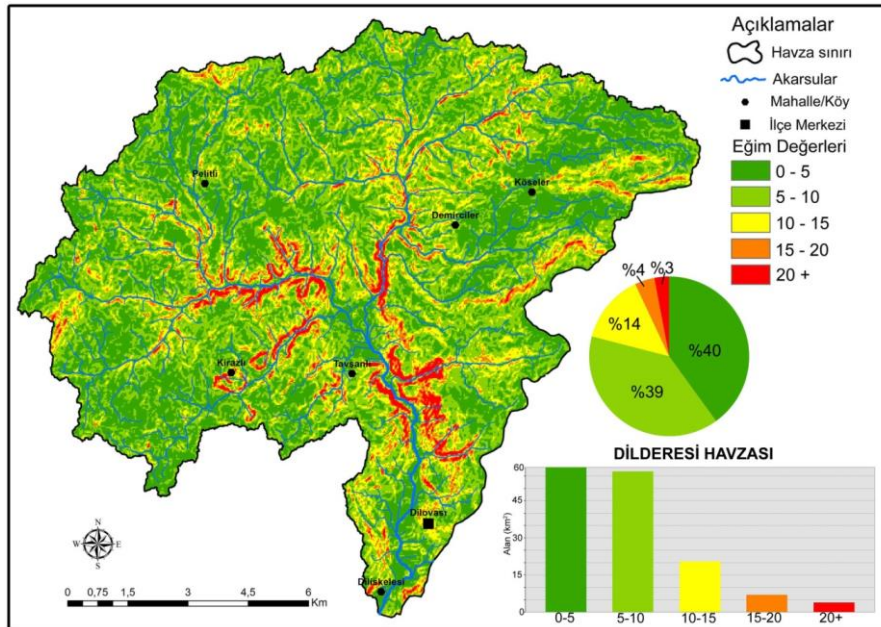
Yatak Kıvrımlılığı Oranı (R_{si}): Ana akarsu yatak uzunluğu ile kuş uçuşu ana vadi uzunluğunun oranı şeklinde ifade edilmektedir. Topografik, hidrolik ve akarsu kıvrımlılığı olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Genel olarak eğim, tektonik etkenler ve litolojinin vadi üzerindeki etkileri hakkında yorum yapabilmemizi sağlamaktadır (Karataş, 2017: 139).

Bu indis değer Dilderesi havzasında 1,22 olarak hesaplanmıştır. Alt havzalarda da aynı değerlerin bulunması, havzada kıvrımlılığın düşük değerlerde olduğunu göstermektedir. Değerlerin bu seviyede olması havza kaide seviyesine yakın alanların çok fazla olmamasını, akarsuların daha çok vadi tabanlarına yerleştiğini ve derine aşındırmanın olduğunu, bu durum da havzadaki vadilerin fay hatları ile uyumlu yerleşmiş olduğunu göstermektedir. Ayrıca kıvrımlılığın belli alanda artması havzadaki tektonik etkenlerde litolojinin etkisinin de olduğunu göstermektedir.

Yüzeysel (rölyef) Parametreler

Eğim (S_i): Havzalardaki eğim değerleri, akış doğrultusu, aşındırma etkisi, flüvyal süreçler üzerindeki etkisi, kütle hareketlerine etkisi ve drenaj sisteminin dağılımına etkileri bakımından morfometrik olarak önemli ipuçları sağlamaktadır.

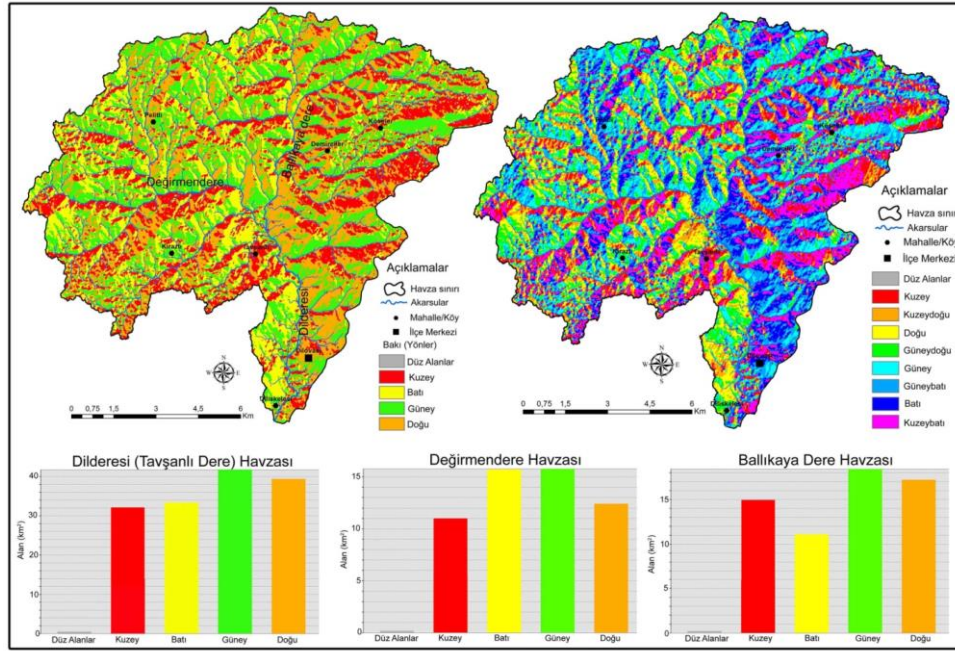
Dilderesi havza genelinde eğim değerlerinin % 79 oranında 0-10° arasında olduğu tespit edilmiştir. Eğim, en düşük değer olarak eğimin sıfır olduğu düz ve düze yakın alanlar ile en yüksek değer olan 60° arasında değişmektedir. Büyük alan kaplayan az eğimli sahalardan dışında çok eğimli alanlar havza genelinde % 3 oranında görülmektedir. Havzadaki düz alanlar ve az eğimli sahalardan vadi tabanları ve Dilderesi'nin aşağı çığırında, geniş tabanlı vadi kısımlarında gözlemlenmektedir (Şekil 7). En yüksek eğim değerlerine Değirmendere ve Ballıkaya Derelerinin Mesozoik yaşlı kalkerleri yaparak dar ve derin vadiler oluşturduğu sarp dikliklerde rastlanılmaktadır.



Şekil 16: Dilderesi Havzasının Eğim Haritası

Eğim değerlerinin inceleme sahasındaki dağılışı flüvyal aşındırma, tektonizma ve jeolojik yapının ortak etkisinde yorumlanması gereken bir durum arz etmektedir. Bu bakımdan çalışma alanında faylarla vadilerin paralellik gösterdiği Ballıkaya Dere, Değirmende ile Tavşanlı'nın güneyinden itibaren Dilderesi'nin aşağı kesimlerinde oldukça güçlü bir aşındırmanın olduğu görülmektedir. Bu durum akarsuların yukarı çığırından aşağı çığırlarına doğru güçlenerek geldiği özellikle akarsuların birleştiği Tavşanlı civarında aşındırma gücünü arttırarak derin vadiler oluşturduğu anlaşılmaktadır. Burada sediment birikimi yaptıktan sonra tekrar kireçtaşlarını aşındırarak dar ve derin bir vadi oluşturduğu eğim durumunun dağılışından saptanmaktadır.

Bakı (As): Bakı etkisi havzalardaki iklimik unsurlardan birçok faktörü etkilemesi bakımından oldukça önemlidir. Özellikle yağış, güneşlenme süresi, karın yerde kalma süresi gibi drenaj şebekesini etkileyen unsurları barındırması bu durumun önemini vurgulamaktadır. Ayrıca yamaçların eğim yönlerinin tespitinin bilinmesi akış ve erozif süreçler hakkında bilgiler de sağlamaktadır.



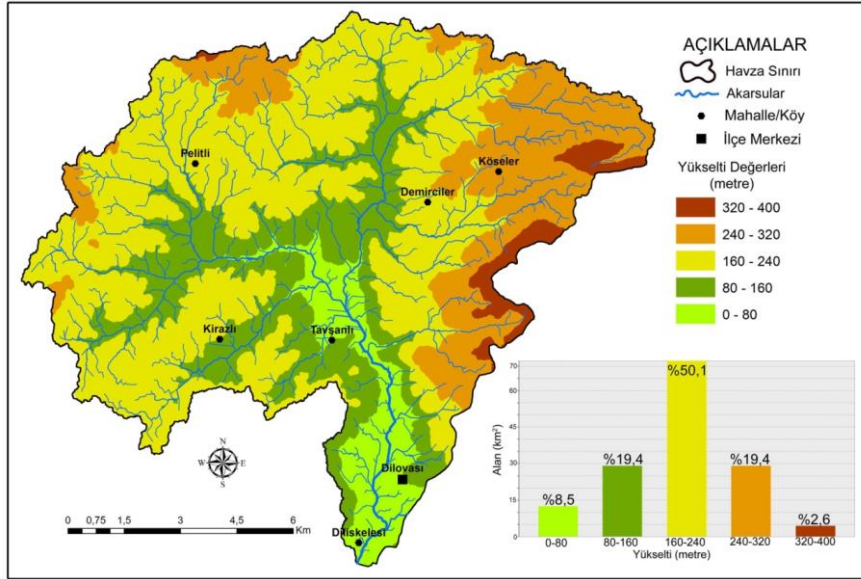
Şekil 17: Dilderesi Havzasının Bakı Haritası (Ana ve Ara Yönler) ve Alt Havzalarla Birlikte Bakı Yönlerinin Oransal Grafiği

Dilderesi havzasında bakı değerlerinin genel olarak birbirine çok yakın değerler gösterdiği tespit edilmiştir. Bakı yönleri, güney yönünde %29, doğu yönünde %27, batı %23 ve kuzey yönünde ise %21 oranında görülmektedir. En çok güney yönlü yamaçların yer alması akarsuların daha çok kuzeyden kaynaklarını alarak kabaca güney istikametinde çarpılmış bir platoda Marmara Denizi'ne doğru akış göstermesinden kaynaklanmaktadır (Şekil 8). Ayrıca yamaç yönlerinin birbirine yakın değerler göstermesi havzada flüvyal aşındırmanın oldukça etkili olduğu yorumunu yapmamızı sağlar. Alt havzalar için bakı değerlerinin dağılımı Değirmendere havzasında batı ve güney yönünde, Ballıkaya Dere havzasında doğu ve güney yönünde en fazla gözlemlenmektedir. Bu durum belirtilen havzalarda ana akış ve ikinci kollardaki akış yönlerinden kaynaklanmaktadır. Veriler havza genelinde subsekant akarsuların batıdan ve doğudan gelen akışlarla havza ortasında konsekant akarsuda birleştiği ve burada kuzeyden güneye doğru akış gösterdiğini doğrulamaktadır. Ayrıca bu durum sahada konsekant akarsuların fazla, obsekant akarsuların ise oldukça az olduğunu ortaya koymakta ve drenaj durumu ile flüvyal süreçlere etkisi hakkında yorum yapabilmemize imkân vermektedir.

Yükselti (E): Havzalardaki önemli parametrelerden biri olan yükselti ve yükselti kademelerinin dağılış durumu havzaların topografik yapısı hakkında önemli bilgiler vermektedir. Ayrıca iklimik unsurlar, eğim ve bakı gibi diğer birimlerle olan ilişkisi ile havzalardaki aşınmanın dağılışı ve yamaç eğimlerinin işleniş hakkında ipuçları da vermektedir.

Dilderesi havzasında en düşük yükselti deniz seviyesi olup 0 m. iken, en yüksek değer ise 398,7 m. dir. Bu değerler havzada yükselti amplitüdünün 398 m. olduğunu göstermektedir. Havzada tespit edilen ortalama yükselti değeri 187 m.dir. Havzanın 80 m. aralıklarla belirlenen yükselti kademelerinde en fazla alan kaplayan değerler 160-240 m. aralığında olup havzanın % 50,1'ini oluşturmaktadır. Havzada 80-160 m. ve 240-320 m. aralığındaki yükselti kademeleri ise neredeyse aynı orana sahip olup iki farklı yükselti aralığı da havzanın % 19,4'ünü meydana getirmektedir. En alçak yerlerin bulunduğu 0-80 m. aralığı havzanın % 8,5'ni, en yüksek alanların yer aldığı 320-400 m. kademeleri ise havzanın % 2,6'sını oluşturmaktadır. Genel olarak havzada deniz seviyesinden itibaren Dilderesi ana yatağını takiben vadi tabanları Dilovası ile Tavşanlı

civarında yer alan sahalar en alçak alanların yayılış gösterdiği yerlerdir (Şekil 9). En yüksek yerler ise havzanın doğu sınırını teşkil eden Kanık Tepe (380 m), Çam Tepe (398 m) ve Bakan Tepe (372 m) dir. Havzanın büyük çoğunluğunun takribi 100-300 m. kademesinde yer alması, havzada aşınım yüzeylerinin ve plato sahalarının geniş yer kapladığını göstermektedir.



Şekil 18: Dilderesi Havzasının Yükselti Kademeleri Haritası ve Grafiği

Havza Reliifi (B_h): Havzanın en yüksek noktası ve en alçak noktası arasındaki en büyük dikey uzaklığı ifade etmektedir. İndisin hesaplanması sonucu havzalardaki drenaj gelişimi, akış durumu, zeminin geçirimsizliği, topografyanın gelişimi ve aşınım faaliyetleri hakkında yorum yapılmaktadır (Özdemir, 2011: 465).

Dilderesi havzasında bu indis değeri 398 olarak hesaplanmıştır. Alt havzalardan Değirmendere havzasında 334, Ballıkaya Dere havzasında 371 değerleri bulunmuştur. Havza genelinde önemli bir eğimin olduğu ve yüzeysel akışla aşındırma etkeninin havza gelişiminde etkili olduğu elde edilen değerlerden anlaşılmaktadır. Ana havzanın batısını oluşturan Değirmendere havzasında Ballıkaya Dere havzasına göre eğim durumunun ve yüzeysel akışın daha düşük olması dikkat çekmektedir. Bu durumda havzanın batı kesiminin daha geniş alan kaplamasına rağmen havza rölyefi ile beraber yüzeysel akışın aşındırma etkisinin doğuda daha hızlı olduğu anlaşılmaktadır.

Relief Oranı (R_h): Bu parametre ile havzadaki eğim, aşındırma etkisi ve havza içi dağılış karşılaştırması hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Dolayısıyla havzalardaki drenaj yoğunluğu, akarsu yatak eğimi, uzunluk oranı ve taşınan sediment hacmi arasındaki ilişki de bu indis sonucu yorumlanabilmektedir (Schumm, 1956: 608; Özşahin, 2015: 110).

Dilderesi havzasında relief oranı 0,026 olarak hesaplanmış ve eğim oranı ile mukayese edildiğinde bu oranın oldukça düşük olduğu anlaşılmıştır. Ancak alt havzalarla karşılaştırma yapıldığında Ballıkaya Dere havzasının (0,039) relief oranı ile birlikte eğiminin Değirmendere havzasına (0,031) göre daha yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır.

Engebelilik Değeri (R_n): İndis sonucu havzalardaki rölyef ve yarılmının etkileşimi yorumlanabilmektedir. Alçak rölyefe sahip havzalar yüksek yarılmayı gösterirken, yüksek rölyefin olduğu havzalarda daha az yarıлма ve engebelilik görülmektedir (Melton, 1957: 28). Drenaj havzalarının engebelilik değeri arttıkça, pik akımlarda artma meydana gelir ve havzadaki aşınım ile parçalanma faaliyetleri hız kazanmaktadır (Özdemir, 2011: 465).

Dilderesi havzasında engebelilik değeri oranı 0,78 iken alt havzalardan Değirmendere havzasında 0,87 ve Ballıkaya Dere havzasında 0,90 olduğu hesaplanmıştır. Sonuçlar bize havzanın doğu-kuzeydoğu alanında engebeliliğin yüksek olduğu ve akışların bu alandan yüksek enerji ile gelerek bu sahalarda daha çok yarıлма meydana getirdiğini göstermektedir. Dilderesi havzası aşağı çığırlı ile havzanın batısında ise engebe ve yarılmının daha az olduğu anlaşılmaktadır.

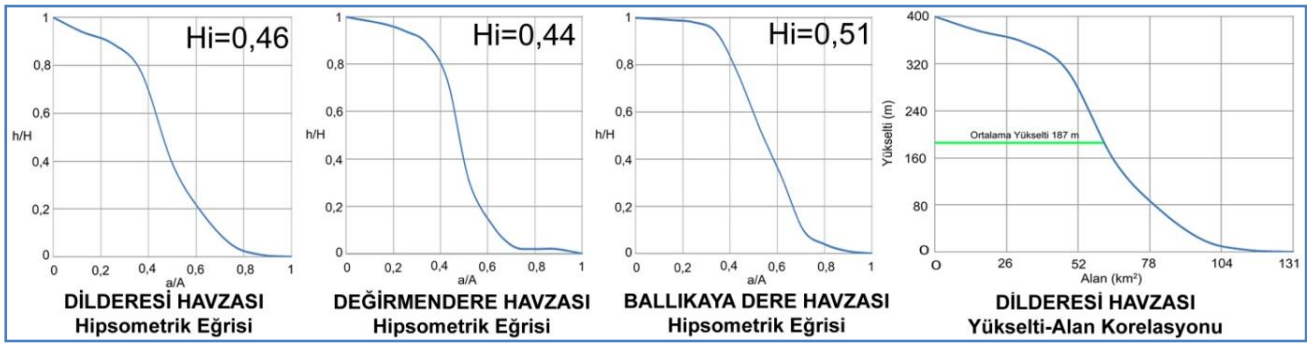
Vadi Tabanı-Vadi Genişliği Oranı (V_f): İndis tektoniğin vadi yamaç profilleri üzerindeki etkileri hakkında bilgi vermektedir. İndise göre yüksek sonuçlar düşük yükselme oranını ve dolayısıyla yamaç işlenmesini gösterirken, düşük sonuçlar tektonik yükselme paralelinde kazılan ve aşındırılan vadileri göstermektedir. Bunun neticesinde tektonizma ve vadi oluşumu, aşınımı hakkında yorum yapılabilmektedir (Öztürk ve Erginal, 2008: 65).

Dilderesi havzasında vadi yönünü dik kesen 17 farklı noktada V_f indis analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucu V_f değerleri en düşük 0,15 ve en yüksek 4,34 ile bu değerler arasında tespit edilmiştir (Şekil 10). İndis değerlerinin dağılışına

Alt havzalardan Değirmendere talveg hattındaki 2 ve 5 numaralı yerlerdeki sırasıyla 171,4 ve 108,3'lük değerler kireçtaşı birimlerinde gözlenmesi ve faylarla ilişkisi tektonizmanın bu alanlardaki etkisini göstermektedir. Ballıkaya Dere talveg hattındaki 2 numaralı alanda ise 198,8'lik indis değeri de bu alanda faylar tarafından denetlendiği ve vadinin litolojik birimlerden etkilendiği anlaşılmaktadır.

Hipsometrik Eğri (Hc) ve İntegral (Hi): Hipsometrik eğri, havzaları etkileyen erozyonal süreçlerin etki dereceleri ve bu etkilerin sonucunda oluşan rölyefin jeomorfolojik gelişim açısından hangi evrede olduğu hakkında yorum yapabilmemizi sağlamaktadır (Karataş, 2017: 149). Bu indis farklı drenaj havzalarının karşılaştırılmasını da sağlamaktadır. Aynı zamanda bu özellik havzaların farklı büyüklük ve yükseklik özelliklerini ortadan kaldırarak jeomorfolojik gelişimi hakkında daha belirgin yorumlar yapabilmemizi sağlamaktadır. Nispi yükselti ve nispi alanının oranlanmasıyla elde edilen grafikte eğrinin dışbükey olması havzadaki topografyanın daha genç olduğunu, içbükey olması havzanın daha yaşlı ve olgun olduğunu göstermektedir (Strahler, 1952: 1121; Özdemir, 2011: 466).

Dilderesi havzasının hipsometrik eğrisi incelendiğinde topografyanın olgun bir durum arz ettiğine delil teşkil etmektedir. Ayrıca alt havzalarında eğri olarak çok benzer yapıda olması havzanın tamamında olgun bir jeomorfolojik safhanın söz konusu olduğunu göstermektedir. Dilderesi havzası hipsometrik eğrisi detaylıca incelendiğinde nispi yükseltinin 1'e yakın olduğu alanlar genç oluşumlu sahaları meydana getirmektedir. Bu alanlar havzadaki yüksek kesimler ve tepelik alanları oluşturmaktadır. Eğri 0,8-04 arasındaki alanların olgun topografik gelişimin göstergesi olduğu anlaşılmaktadır. Ancak havzadaki litolojik yapı ve neo-tektonik etkenler havzanın yarı olgun bir özelliğe sahip olduğunu da göstermektedir. Yükselti-alan korelasyonu değerlendirildiğinde de havzanın yarı olgun bir jeomorfolojik gelişim döneminde olduğu görülmektedir. Bu eğride 240 m. üzerindeki alanlar flüvyal etkenlerin çok etkili olduğunun, 80 m. altındaki yerlerde görülen iç bükey eğri ise aşınmanın ve yamaç işlenmesinin göstergesidir (Şekil 12).



Şekil 21: Dilderesi, Değirmendere ve Ballıkaya Dere Havzalarının Hipsometrik Eğrileri ile İntegral Değerleri ve Dilderesi Havzasının Yükselti-Alan Korelasyonu

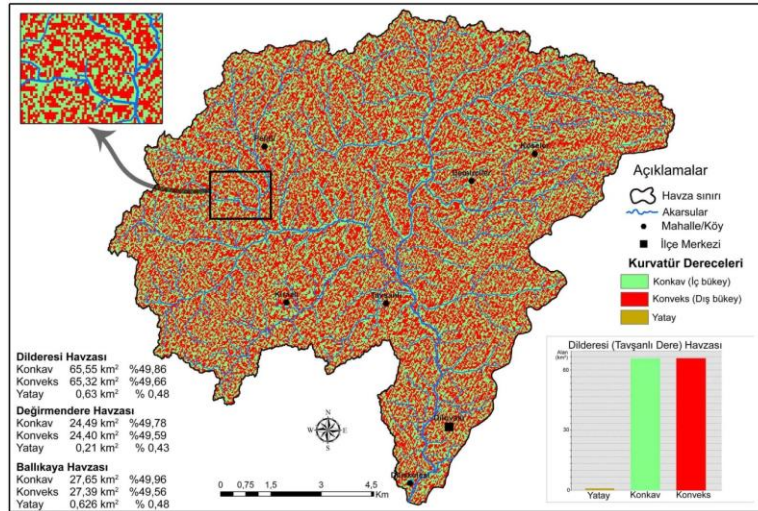
Hipsometrik eğrinin sayısal ifadesi olan integral değeri, havza topografyalarının aşınım döngüsü hakkında bilgiler sağlamaktadır (Strahler,1952: 1118). Bu parametre, havza topografyasının aşınma ve parçalanma derecesi ile aşınım döngüsü içindeki safhasını ortaya koyması açısından oldukça önemlidir. Hipsometrik integral değerinin yüksek olması topografyanın yüksekliğinin bir göstergesi iken değerlerin orta ve düşük çıkması ise oldukça aşındırılmış ve parçalanmış bir topografyayı gösterir. (Özdemir, 2011: 467; Karataş, 2017: 149).

Dilderesi havzasında hipsometrik integral değeri 0,46 olarak hesaplanmıştır. Bu değer alt havzalardan Değirmendere havzasında 0,44 ve Ballıkaya Dere havzasında 0,51'dir (Şekil 12). Veriler bize havzanın olgun bir yapı olduğunu göstermektedir. Ancak diğer indis sonuçları da değerlendirildiğinde havzadaki ve havzanın bulunduğu Kocaeli Platosundaki tektonik aktiviteler sahanın yarı olgun bir jeomorfolojik evreye tekabül edebileceğine kanıt olmaktadır.

Gravelius Katsayısı (İndeksi) (Kg): Havza çevre uzunluğunun havza ile aynı alana sahip bir dairenin çevre uzunluğuna oranlanması ile tespit edilir. Bu indis neticesinde havza rölyefinin havzadaki aşınım faaliyetleri hakkında bilgi sahibi olunmaktadır (Karataş, 2017: 151).

Dilderesi havzasında gravelius indeksi değeri 1,77 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen değer havzanın su bölümü çizgisinin %100'ü üzerinde uzadığına delalettir. Bu durumda girintili çıkıntılı bir yapı arz eden su bölümü hattının aynı zamanda flüvyal süreçlerin, rölyefin etkisiyle birlikte havzanın yapısından çokça etkilendiği kuvvetle muhtemeldir.

Kurvatür Derecelendirmesi (Dc): Bu indis havzalarda topografik yüzeyin içbükey (konkav), dışbükey (konveks) ve yatay olma durumları hakkında bilgi vermektedir. İndis verileri sonucu havzalar, rölyef özellikleri, erozyonal gelişimler ve zemin yapısı bakımından yorumlanabilmektedir (Karataş, 2017: 147).

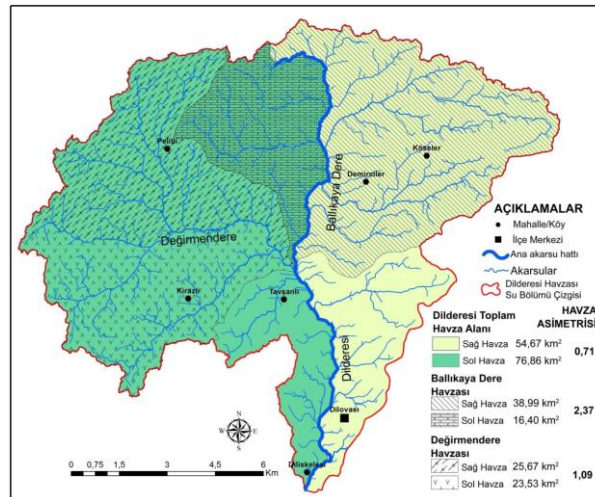


Şekil 22: Dilderesi Havzasının Kurvatür Dereceleri Haritası ve Dağılım Grafiği

Dilderesi havzası genelinde yapılan kurvatür analizi sonucu havzanın % 49,86'sı konkav, % 49,66'sı konveks, % 0,48'i ise yatay durumunda bulunmaktadır. Alt havzalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 13). Tespit edilen kurvatür verilerinden iç bükey ve dış bükey alanların birbirine çok yakın değerlerde olması havzada olgun ve genç sahaların birlikte yer aldığını göstermektedir. Ayrıca bu durum flüvyal süreçlerin havzadaki erozyonal etkisine kanıt olabilmektedir. Havzada vadi tabanları ve havzanın aşağı kesiminde iç bükey alanlar yer alırken, derin vadiler ve yamaçlarında dış bükey topografya gözlemlenmektedir.

Havza Asimetrisi (AF): Bu indis drenaj havzalarında akışa dik bir doğrultu boyunca tektonik etkilerin bulunup, bulunmadığını göstermek amacıyla üretilmiştir (Gardiner, 1990: 75; Keller ve Pinter, 2002: 93). İndis sonucu topografyanın tektonik olarak şekillenmesinin ve gelişim süreçlerinin yorumlanması sağlanmaktadır (Öztürk ve Erginal, 2008: 66; Özşahin, 2010: 147).

Dilderesi havzasında ana akarsu talveg hattının batısında (sol kesim) kalan saha 76,86 km², doğusunda (sağ kesim) kalan saha ise 54,67 km²lik alan kaplamaktadır. Bu değerler sonucunda Dilderesi havzasının drenaj havzası asimetri oranı 0,71 olarak hesaplanmıştır (Şekil 14). Bunun sonucunda havzada asimetrik bir yapının olduğu görülmektedir. Ayrıca havzanın sol kesimden daha fazla akaçlama alanına sahip olduğu görülmekte ve buradan gelen kollarla daha güçlü beslenmektedir. Alt havzalardan Değirmendere havzasında havza asimetrisi oranı 1,09 olarak hesaplanmıştır. Bu havzada sağ kesim sol kesime göre biraz daha güçlü olsa da elde edilen sonuç ve verilerden nispeten bir simetrik yapının olduğu anlaşılmaktadır. Ballıkaya Dere havzasında ise 2,37'lik oran hesaplanmıştır. Ballıkaya Dere havzasında sağ kesimin akaçlama alanı olarak sol kesime göre çok geniş alan kapladığı ve akarsuyun bu alandan güçlendiği görülmektedir. Ayrıca Ballıkaya Dere havzasında oldukça yüksek bir asimetrisinin varlığı dikkat çekmektedir. Dilderesi havzasında bu durum, havzanın batısında Paleozoik, doğusunda ise Mesozoik yaşlı birimlerin bulunması ve fayların etkisinden kaynaklanmaktadır.

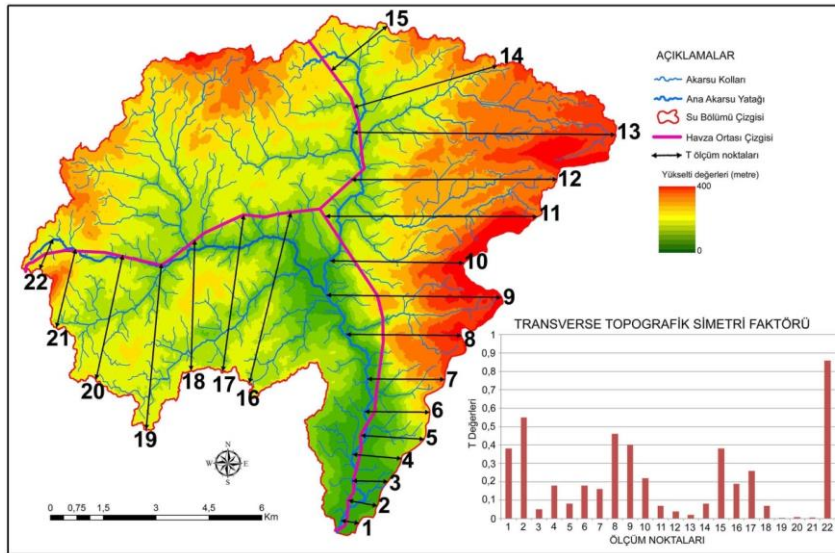


Şekil 23: Dilderesi Havzası ve Alt Havzalarının Drenaj Havzası Asimetrisi

Transverse Topografik Simetri Faktörü (T): Talvegden havza ortası çizgisine olan uzaklığın su bölümü çizgisinden havza ortası çizgisine olan uzaklığa oranıdır (Karataş, 2017: 152). Bu indis havza gelişimi üzerindeki tektonik etkinliğin yorumlanmasını sağlamaktadır. Havzadaki bu oranın "0" olması çok mümkün değildir. Tam simetri "0" ve kuvvetli asimetri "1" olarak tanımlanan bu oran, havzadaki asimetrinin matematiksel değerini yansıtmaktadır (Özşahin, 2015: 113). Yani değer "0" yaklaştıkça havza nispeten simetrik özelliği gösterirken, "1"e yaklaştıkça asimetrik özellik göstermektedir (Karataş, 2017: 152).

Transverse topografik simetri faktörünün ortaya konulması için Dilderesi su bölümü çizgisi ArcGIS ortamında vertexlere dönüştürülmüş daha sonra ise Thiessen poligonları yöntemi ile havzadaki karşılıklı çizgiler ortaya konulmuştur. Bu işlemten sonra Dilderesi ana akarsu yatağı hattı ve Değirmendere ana akarsu yatağı hattı boyunca havza ortası çizgisi çizilmiştir. Ardından belli aralıklarla talvegden havza ortası çizgisine ve havza ortası çizgisinden su bölümü çizgisine olan uzaklıklar ölçülmüş ve formülde yerlerine konularak T değerleri hesaplanmıştır.

Dilderesi havzasında transverse topografik simetri faktörü değerleri ana akarsu talveg hattı boyunca 15 Değirmendere talveg hattı boyunca ise 7 farklı noktadan hesaplanmıştır. Bu ölçümler sonucu Dilderesi'nde T değeri ortalama 0,21 Değirmendere'de ise 0,19 olarak tespit edilmiştir (Şekil 15). Ancak havzada çok farklı değerler ortaya çıkmıştır. Dilderesi'nin mansap kısmında simetriye yakın eğilimler görülmektedir. Ancak Tavşanlı'ya yakın kesimler de ölçülen değerler (8, 9, 10 no'lu yerler) yarı asimetrik yapıyı göstermektedir. Havzanın yukarı kesimlerinde ise aynı özellikler görülmektedir. Değirmendere havzasında ise simetrik ve asimetrik yapılar farklı alanlarda görülmektedir. Bu durum sahadaki faylar ve ötelenmenin olduğuna delalettir.



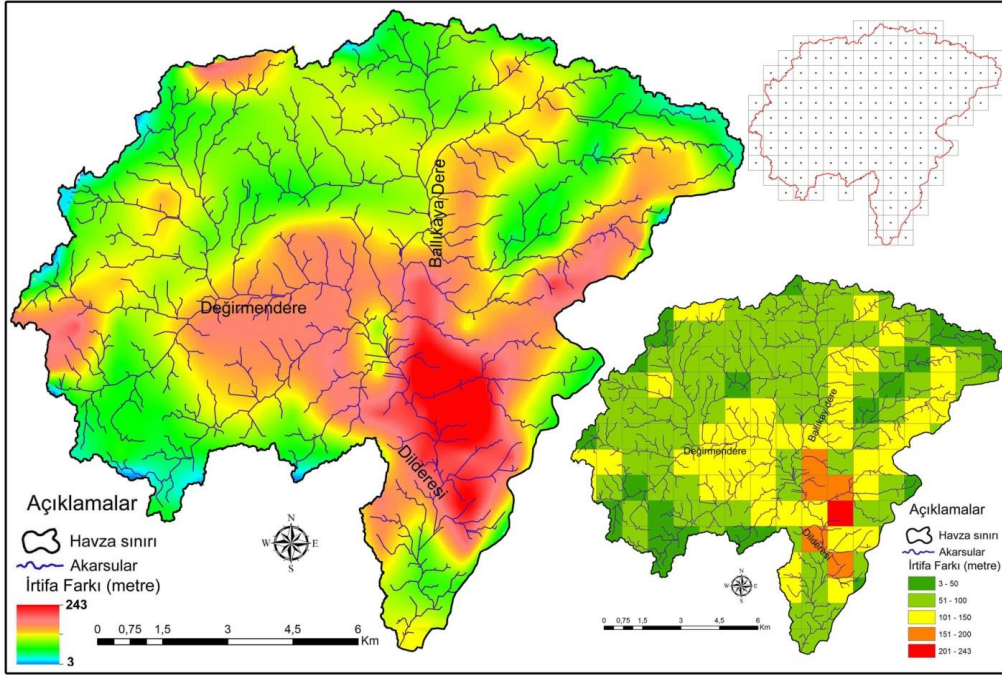
Şekil 24: Dilderesi Havzasının Transverse Topografik Simetri Faktörü Bileşenleri

Aşınım ve Parçalanma Şiddet Derecelendirmesi (E_c): Bu indis havzaların belli değerdeki karelere bölünmesi ve bu alanlardaki irtifa farkının tespit edilmesi ile bulunmaktadır. Bu indis sonucu şiddetli erozyonel faaliyetler havzalar içerisinde tespit edilmektedir. Bunun sonucunda aşınım ve parçalanmanın dağılışı ile tektonik ve flüvyal unsurlarla ilişkisi hakkında yorum yapılabilmektedir (Karataş ve Ekinci, 2013: 11; Karataş, 2017: 155).

Bu indisin uygulanması için Dilderesi havzası ArcGIS ortamında 1x1 km'lik karelere bölünerek karelej yöntemi uygulanmıştır. Bunun için ArcToolbox üzerinden Cartography Tools-Data Driven Pages ve sonra Grid Index Features'da gerekli yerlere veriler girilerek karelere ayırma işlemi yapılmıştır. Ardından her bir kare için poligon üretilmiş, DEM verisi her bir kare için teker teker kesilmiş ve bu karelerdeki en yüksek, en alçak değer ile aradaki irtifa farkı tespit edilmiştir. Daha sonra ise gridlerin (karelerin) merkezine konulan referans noktalarına elde edilen değerler girilmiştir. Daha sonra hem gridsel değerler hesaplanmıştır. En son olarak natural neighboring yöntemi ile interpolate edilmiş ve aşınım parçalanma haritası üretilmiştir.

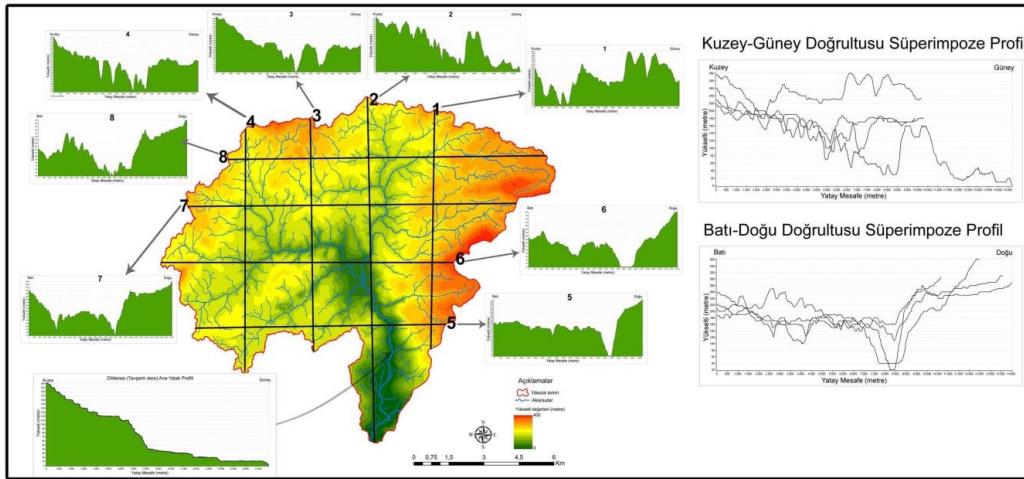
Dilderesi havzasında aşınım ve parçalanma şiddet dereceleri 1 km²'lik 161 grid için 3m ile 243m arasında değişen sonuçlar ortaya çıkmıştır. Havzanın batı kesiminde genel olarak daha düşük değerler gözlemlenirken, havzanın doğusu, Dilovası-Tavşanlı arasında en yüksek değerler görülmektedir (Şekil 16). Bu alanda flüvyal etkenler özellikle kalker formasyonlarını derince aşındırarak ve kanyon vadiler ortaya çıkmıştır. Özellikle Ballıkaya Tabiat Parkı alanındaki oluşumlar ve derin vadiler aşınımın en yüksek seviyede görüldüğü sahalara oluşturmaktadır. Özellikle Ballıkaya Dere ile Gürlek Dere, Değirmendere

ve Pınarcık Derelerinin ana akarsu yatağı olan Dilderesi'ne katılım noktalarının flüvyal etkenlerin yoğun aşındırmasına maruz kaldığı ve buralarda derin vadiler oluştuğu gözlemlenmektedir. Ayrıca havzanın batı kenarındaki fay diklikleri ve bu diklikler boyunca oluşan drenaj şebekesinin etkisi ile aşınım değerlerinin artış gösterdiği görülmektedir. Havzadaki en düşük değerlere havzanın güneyinde su bölümü çizgisine yakın alanlarda rastlanılmaktadır. Ancak bu sahaların karelej yönteminde küçük alanlara tekabül etmesi yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Bu bakımdan en düşük aşınım ve parçalanma değerleri, Tavşanlı civarındaki akarsuların birleşim noktasında oluşan sedimantasyon alanı ile havzanın ağız kısmına yakın geniş vadi tabanlı sahalarda görülmektedir.



Şekil 25: Dilderesi Havzasının Aşınım ve Parçalanma Şiddet Dereceleri Haritası, Karelej Durumu ve Referans Noktaları

İnceleme alanındaki en ve boy profilleri ile diğer profil hatları sahanının drenaj yapısı ve havzanın jeomorfolojik gelişimindeki etkenler hakkında bilgiler sunmaktadır. Profil hatları değerlendirildiğinde havzanın aşağı kesiminin aşınım yüzeyleri ile sınırlandığı ve bu sınırı aşan Dilderesi vadisi ile İzmit Körfezi'ne ulaştığı anlaşılmaktadır. Havzanın aşağı kesimlerinden kuzeye gidildikçe arızalı yapının arttığı görülmektedir (Şekil 17). Bu alanda akarsuların erozyonal faaliyetlerinin etkisi sonucu aşınmanın arttığı derin vadi yataklarına rastlanılmaktadır. Ana akarsu yatağına katılan yan kollarda erozyonal etkinin varlığı, plato alanlarının parçalanmasını sağlamıştır. Bu durumda flüvyal etkenlerin başrol oynadığı görülse de özellikle havzanın batısında fayların yoğun olduğu alanda tektonizmanın jeomorfolojik görünümde ve drenaj ağının gelişmesinde önemli rol oynadığı da anlaşılmaktadır.



Şekil 26: Dilderesi Havzasının En ve Boy Profilleri ile Aynı Doğrultudaki Süperimpoze Grafikleri

daireysel olduğunu ortaya koymakta ancak alt havzalar bazında yapıların tektonik etkenler ve çarpılma nedeniyle biraz değiştiği görülmektedir.

Yapılan çalışmalarla elde edilen diğer bulgu ise aslında bağımsız gibi görünen iki güçlü kolun (Değirmendere ve Ballıkaya Dere) Tavşanlı'dan itibaren tek bir akarsu olarak yoluna devam etmesi neticesinde havzanın yukarı ve aşağı çığı arasında ciddi bir asimetrinin ortaya çıktığıdır. Ayrıca Tavşanlı kuzeyindeki alüvyal dolgular da göz önüne alındığında Tavşanlı'nın doğu ve güneydoğusunda derince yarılan karbonat birimlerinin antedant etkisinde olgunlaştığı ve havzanın yukarı çığınının bu hattan deşarj olanağı bulduğunun kuvvetle muhtemel olduğu tespit edilmiştir. Özellikle Ballıkaya Dere civarındaki boğaz vadiler, şelale oluşumları fayların ve yapının etkisiyle flüvyal süreçlerin işlediğini ortaya koymaktadır.

Sahanın genel anlamda olgunluk evresine yakın bir topografik görünüme sahip olmasına karşın, litolojik farklılıklar ve aktif tektoniğin etkisiyle drenaj hatlarının henüz tam anlamıyla olgun bir profil sergilemekten uzak olduğu anlaşılmaktadır. Hisprometrik integral değerinin 0,46 çıkması havzanın olgun bir yapı göstermesine neden olmuştur. Ancak havza genelinde drenaj yoğunluğunun fazla olması, yükselti kademelerindeki dengesiz dağılışı, aşınım ve parçalanma yapısındaki arızalı topografik veriler aslında havzanın olgun bir yapıya henüz ulaşamadığı yorumunu yapmamızı sağlamaktadır. Havzanın batısında doğuya göre daha eski litolojik birimlerin bulunması havza genelinde tam anlamıyla olgun bir yapının olmadığını diğer bir delili olarak görülmektedir. Aynı zamanda yakın jeolojik mazide bariz bir şekilde canlanmış veya zaman zaman canlanma eğilimi gösteren flüvyal süreçler, erozyonal etkilerle karstik birimlerin yoğun olduğu alanlarda dar ve derin vadiler meydana getirmiştir. Bu unsurlar havzanın özellikle neo-tektonik dönemde tektonizma ile denetlendiğini, yapının önemli bir unsur olmasına karşın sahada flüvyal süreçlerin jeolojik mazide iklim salınımlarıyla devresel olarak etkisini arttırdığı yorumunu yapmamızı sağlamıştır. Bu nedenle Dilderesi havzasında olgunlaşma devresine ulaşmamış bir görünüm olduğu düşünülmekte ve bu durumun flüvyal süreçlerle sahadaki drenaj sistemini etkilediği anlaşılmaktadır. Ayrıca son yıllarda çalışma alanının büyük kesiminde görülen antropojenik etkenler (yerleşme, sanayi ve ulaşım odaklı etkiler) jeomorfolojik yapıda ve drenaj ağının akış istikametinde bazı değişikliklerde neden olmuştur. Dilderesi ağız kısmına yakın alandaki ıslah çalışması, bu alandaki sanay tesislerinin varlığı, ulaşım hatları ve Dilovası ilçesi yerleşim alanının genişlemesi son yıllarda havzanın drenaj yapısında antropojenik etkenlerinde söz konusu olduğunu göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın başlangıç, olgunlaşma ve nihai sonuca ulaşma kısımlarında yardım ve destekleriyle makaleye büyük katkısı olan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Atilla KARATAŞ'a çok teşekkür ederim.

To Cite This Article: 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.

Submitted: June 01, 2019

Revised: June 18, 2019

Accepted: June 27, 2019

EXTENDED ABSTRACT

EVALUATION OF FLUVIAL PROCESSES AND FORMATION OF DRAINAGE NETWORK WITH MORPHOMETRIC INDICES IN DILDERESI BASIN (KOCAELI)

INTRODUCTION

One of the most important elements in explaining the geomorphological formation and development of basins is the drainage characteristics of the basins and the development processes of the drainage network. Due to the climatic conditions of the past and present due to a significant erosion, transport and accumulation of elements in the topographical view leads to morphological changes (Erinç, 2001: 375). The changes that occur as a result of the effect of the external dynamic factor stream tectonism, karstic units etc. it is also effective in the relief features of the basins by interacting with other geomorphological elements and is an important source of information in explaining the geomorphological development processes of the basins (Özşahin, 2015: 140; Karaaslan ve Karataş, 2017: 128).

The use of quantitative methods to explain the drainage network settlement of the basins and the factors affecting the geomorphological development of these systems provides very important information in terms of providing more accurate, objective, evidence-based and comparative data (Pike, 2000: 2; Turoğlu, 1997: 355). Morphometric analyzes and indices are now easier, faster and comparable with remote sensing and geographic information systems (GIS), and are used to explain the formation and development processes of basins. In this respect, morphometric analyzes and indices are used in many studies in order to explain the geomorphological processes of basins and to evaluate drainage properties and their development (Turoğlu, 1997: 357; Cürebal ve Erginal, 2007: 204; Cürebal, 2006: 72; Özşahin, 2010: 139; Özdemir, 2011: 509; Karataş ve Ekinci, 2013: 577; Avcı ve Sunkar, 2015: 93; Öztürk vd., 2019: 4).

MATERIAL AND METHOD

In the study, written sources, maps, satellite imagery and information obtained from field observations were used as materials. In this context, firstly the study area was determined and the literature related to the study area and its surroundings was examined and examined in detail. AsterGDEM data (30x30m) was used for maps, analyzes and relief features. The obtained DEM data was transferred to the ArcGIS 10.3 package program and firstly hydrological analysis was performed via ArcToolbox and the basin boundary was determined. The geological maps of G22a and G22a were then transferred to ArcGIS and the geological map of the site was produced. Morphometric analysis was applied to the study area to form the main findings of the study. The morphometric indices were divided into three groups: spatial parameters, linear parameters and superficial (relief) parameters. The basin boundaries of Ballıkaya Dere and Degirmendere which constitute the main two branches of Dilderesi, which are the main streams in the study area, have been determined and examined to provide more meaningful data for the indices used. In this context, the above-mentioned morphometric analyzes were applied, and the evaluations were made by comparing with each other and also with the whole basin.

As a result of the studies and analyzes, the past results related to the field, the maps produced, the morphometric indices and all findings, the factors affecting the layout of the drainage network, the geomorphological situation of the basin and the processes affecting this situation, has been put forward. In this context, the formation and development of drainage network of Dilderesi basin is determined by morphometric analysis and the results of the study are the aim of this study to explain the morphological appearance, process and effects of the fluvial processes in the field.

LOCATION AND GEOMORPHOLOGICAL PROPERTIES OF THE STUDY AREA

The Dilderesi basin is located in the Kocaeli Plateau to the northeast of the Marmara Region. The study area consists of a drainage basin formed by streams directed towards the south by taking its resources from the overlying surfaces and hilly areas in the Kocaeli plateau. Izmit Bay is located to the south of the basin. The watershed forming the drainage system of the basin forms the water section line. Within this range, the working area is between $40^{\circ}45'$ - $40^{\circ}55'$ s and $29^{\circ}24'$ - $29^{\circ}36'$ longitudes. In this form, the basin covers an area of 131,54 km². In terms of administrative division, the entire basin is located within the borders of Kocaeli province.

The Dilderesi basin consists of geologically and temporally different geological units. There are Paleozoic aged units in the west and northwest of the study area. The oldest units in this area are the Lower-Middle Ordovician aged Kurtkoy and Gozdag formations. These formations, which are composed of quartz and sandstones, together with the limestone, shale and sandstone lithologies in the same area, include Dolayoba, Istinye, Kartal, Büyükağa, Yörükali and Baltalimanı formations. The Mesozoic units occupy a wide area in the eastern part of the study area with the faults in the NE-SW direction. In this respect, the eastern section of the main stream bed of Dilderesi is almost entirely composed of these units. In this area, the Demirciler formation and the Ballıkaya formation form the geological structure with the limestone outcrops. Tertiary units in the basin are located in the lower part of the stream and west of the main stream. Kayalıtepe and Meşetepe formations of shale, marl and sandstone are observed in these areas. Quaternary units form alluviums in the study area. These units are observed downstream of the basin. The research area is located in the North Anatolian Fault Zone which is very active tectonically. In this respect, in the area where the tectonic factors are manifested intensively, local faults also take place and constitute the details of the tectonic structure. Faults in the study area show a heterogeneous feature in direction maintenance. However, faults in the east of the basin are mostly continuous in the NW-SE direction.

The Dilderesi basin is generally distributed on the Kocaeli Plateau. The mountainous-hilly areas, plateau fields and plains, which are the main relief units in the basin, constitute the main elements of the topographic view and geomorphological structure. Kanık Tepe (380 m), Çam Tepe (398 m) and Bakan Tepe (372 m) to the east of the basin form the highest sections of the basin. Outside these areas, such as Damga Tepe (248 m), Ceviz Tepe (289 m) and Kum Tepe (295 m) in the northwest of the basin are the other high sections. The vast majority of the basin is 150-250 m. It is located in the elevation between the rocks and shows a plateau feature that is fragmented by rivers. Slightly high hilly areas in these areas mostly correspond to older wear surfaces. Fluvial factors in the basin had a great impact on the relief and caused many valleys. Throat and canyon valleys are encountered in the areas where fluvial factors effectively erode with the contribution of lithology and tectonic structure. Apart from this, many streams in the basin show a notch valley feature. The area around Dilovası is characterized by an alluvial-based lowland area where the topographic view becomes more simple and the slope values decrease. Apart from this area, the area where Değirmendere and Ballıkayadere carry the materials that are included in the main stream bed near Tavşanlı and carries a significant plain in the area.

FINDINGS

The total catchment area of Dilderesi is 131,54 km². The Dilderesi basin, which is mostly of medium size, contains two main rivers and they form their own basin areas. The perimeter of the Dilderesi basin was found to be 74.28 km, and the water section line was relatively indented in the north and west of the basin. In the Dilderesi basin, while the basin shape index was 0,60, it was found to be 0.66 in the Değirmendere basin and 0.89 in the Ballıkaya Creek basin from the lower basins. This index data shows that there is a structure close to the circle in the whole study area. The Rc ratio in the Dilderesi basin was 0,30. These values indicate that the structure has a greater effect on the hydrographic basin boundary in the entire basin and in the lower basins. Form factor was calculated as 0,50 in the Dilderesi basin. It was calculated as 0,43 in the Değirmendere basin and 0,48 in the Ballıkayadere basin. The values show that fluvial processes are effective in the basin. The frequency of streams in Dilderesi basin was calculated as 7,001. The texture ratio in the Dilderesi basin is calculated as 6.18. Drainage density in Dilderesi basin was calculated as 2.50. As a result of the index, it is observed that the infiltration of the underground and the surface flow is intense. As a result, it can be interpreted that the erosion activities are triggered.

The stream length ratio in the Dilderesi basin was calculated as 9.3. The high calculated value shows that flood risk is present throughout the basin and erosional activities are intense in terms of fluvial processes. In the Dilderesi basin, the bifurcation rate of the strahler method is 1,75. The values were calculated as 1,94 for Değirmendere basin and 1,94 for Ballıkayadere basin. The data obtained shows that the drainage network is sharper and more evident in the study area. The presence of excess rivers, especially in the 1st knee, indicates that fluvial wear is effective throughout the basin. The compliance rate is 0,24 in the Dilderesi basin. The values show that the basins are semi-mature. It can also be said that erosion and fluvial processes are effective throughout the basin. The bed slope ratio in the Dilderesi basin is 0,011. This

value indicates an average value throughout the basin and indicates that the basin has been eroded and the basin is flattened. The Bed Fold Rate index value is calculated as 1,22 in Dilderesi basin. This level of values shows that there are not too many areas near the basin base level, the rivers are more in the valley floors and deeper erosion, and this is in line with the fault lines of the valleys in the basin.

It was found that the slope values in Dilderesi basin were between 0-10° in 79%. Flat areas in the basin and low slope areas are observed in the valley floors and in the lower parts of Dilderesi, in the wide-based valley sections. The highest slope values of Değirmendere and Ballıkayadere are found in steep steepness where the Mesozoic aged limestones are formed by forming narrow and deep valleys. It has been determined that the values in the Dilderesi basin are generally very close to each other. The direction of aspect is 29% in the south, 27% in the east, 23% in the west and 21% in the north. The most south-oriented slopes take place due to the fact that the rivers flow from the north to the Sea of Marmara in a plateau which is roughly slammed in the south. The lowest elevation in the Dilderesi basin is sea level and is 0 m. while the highest value is 398,7 m. d. These values are 398 m. show that it is. The average height of the basin is 187 m. 80 m. The maximum area in the elevation levels determined by the intervals is 160-240 m. It is 50,1% of the basin.

In Dilderesi basin, the rate of unevenness was 0.78 while in the Değirmendere basin it was calculated to be 0,87 and in the Ballıkayadere basin 0.90. The results show us that in the east-northeast area of the basin the roughness is high and the flows come from this area with high energy and cause more splits in these areas. Vf index analysis was performed at 17 different points which cut the direction of the valley in Dilderesi basin. As a result of these analyzes, Vf values were found to be between 0.15 and 4,34, respectively. The value, which is 213,5 at point 6 in the Dilderesi SL indices, indicates the presence of the deeply excavated valley in this area as well as the tectonic factors in this area. In other areas, low values indicate that tectonism is not very effective. When the hipsometric curve of the Dilderesi basin is examined, the topography represents a mature situation. In addition, a very similar structure as a curve in the lower basins shows that there is a mature morphological phase in the whole basin. However, the lithological structure and neo-tectonic factors in the basin show that the basin has a semi-mature characteristic. Hipsometric integral value was calculated as 0,46 in Dilderesi basin. The data show us that the basin is a mature structure. However, when the results of other indices are evaluated, tectonic activities in the basin are evidence that the site can correspond to a semi-mature morphological phase. In the Dilderesi basin, the gravelius index value was calculated as 1,77. The value obtained is evident that the waterline line extends over 100%. The area remaining to the west of the main stream talveg line in the Dilderesi basin is 76,86 km² while the area to the east (right section) covers an area of 54,67 km². As a result of these values, the ratio of drainage basin asymmetry of Dilderesi basin was calculated as 0,71. As a result, an asymmetric structure appears in the basin. The mean T value in Dilderesi was 0,21 in Değirmendere and 0,19 in Dildiresi. The erosion and fragmentation severity levels of the Dilderesi basin ranged from 3 m to 243 m for the 161 grid of 1 km². In the western part of the basin, generally lower values are observed, while the highest values are observed between the east of the basin and Dilovasi-Tavşanlı. Fluvial factors in this area have eroded deeply limestone formations and canyon valleys have emerged. In particular, the formations and deep valleys in the area of Ballıkaya Natural Park form the highest level of erosion. In particular, it is observed that the points of participation of Dilderesi, which is the main stream bed of Ballıkayadere and Gürlükdere, Değirmendere and Pınarcık Creek, are exposed to intense erosion of fluvial factors and deep valleys are formed here.

CONCLUSION

The development of the drainage network in the basin was caused by the common effect of the fluvial and tectonic factors. Therefore, although the dendritic drainage network system has been developed in the basin, morphometric studies show that the basin has different drainage networks. It is noteworthy that the dendritic drainage network seen in homogeneous areas is seen in the Dilderesi basin, where there are quite different lithological units. This is due to the fact that the drainage network is formed from the Neogene cover units and developed after it has developed from the underlying basement under the influence of tectonic movements and is accelerated by stream erosion. The effect of the lower drainage network similar to the geological structure in time has become more effective in this case, the formation of multiple drainage motifs in the basin. It is also understood that Dendritic drainage network develops in some areas of fault control and in building control. The valley orientation in the Dilderesi basin and the coordination between the faults are noteworthy in some areas. In the areas directed by tectonic factors, the fluvial processes strengthen the erosion effect in the direction of the faults and the type of hook drainage appears. It is observed that the fault density is more in the northeast of the study area and the valleys are developed in this direction. The hook drainage network seen in this area is presented as evidence of the effect of the tectonic structure on the fluvial processes in the basin. In the study area, different drainage systems have been developed in micro scale. The parallel drainage network, especially in the areas where the slope is dense, is observed in the upstream of the main stream in the north of Pelitli. In addition, in the

west of the Dilderesi Basin, the rivers flowing from the high cuts such as Çamtepe and Bakantepe illustrate the development of the radial drainage network.

Although the watershed in the Dilderesi basin has an asymmetric structure, it has been found that it has a long structure towards the lower ground even though it has a circular appearance. The fact that the characteristic aspects are south-sector slopes indicate that the basin was slammed towards the south according to the general flow direction on the Kocaeli plateau. The fact that two strong arms (Değirmendere and Ballıkayadere), which appear to be independent in the Dilderesi basin, continue as a single stream from Tavşanlı; In addition, when alluvial deposits in the north of Tavşanlı are taken into consideration, it is found that the carbonate units of the eastern and southeastern parts of Tavşanlı have matured in antedant effect and that the upstream of the basin is likely to be discharged from this line.

Although it has a topographic view close to the general stage of the site, it is understood that drainage lines are far from exhibiting a fully mature profile due to lithological differences and active tectonics. At the same time, the near-geological history of the revitalized or fluctuating fluvial processes of the past, the erosional effects of the limestone in the dense and deep valleys have created narrow areas. These elements, especially in the neo-tectonic period of the basin is controlled by tectonics, although the structure is an important element in the field of fluvial processes with geological period of time has led to the interpretation of the cyclical effect of the climate. For this reason, it is thought that the Dilderesi basin has not reached the maturation period and it is understood that it affects the drainage system in the field with fluvial processes.

Kaynakça / References

- 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.
- Cürebil, İ. & Erginal, A. E. (2007). Mıhlı Çayı Havzası'nın jeomorfolojik özelliklerinin jeomorfik indislerle analizi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 19, 126-135.
- Cürebil, İ. (2004). Madra Çayı Havzasının hidrografik özelliklerine sayısal yaklaşım. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11, 11-24.
- Cürebil, İ. (2006). Strahler yöntemiyle komsu akarsu havzalarının karşılaştırmalı analizi: Mıhlı ve Şahin Dereleri. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8 (2), 71-84.
- Ekinci, D. & İlze, S. (2015). *İzmit Körfezi ve Çevresinde Tektonik Jeomorfoloji Değerlendirmeleri*. UJES 2015, IV. Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu. Samsun. 19-56.
- Erginal, A. E. & Cürebil, İ. (2007). Soldere Havzasının jeomorfolojik özelliklerine morfometrik yaklaşım: Jeomorfik indisler ile bir uygulama. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17, 203 – 210.
- Eriç, S. (2001). Jeomorfoloji I (Güncelleştirenler; Ahmet ERTEK, Cem GÜNEYSU). İstanbul: Der yayınları 3.Basım,.
- Gardiner, V. (1990). Drainage basin morphometry, In Goudie AS (Ed) *Geomorphological techniques*. London: Unwin Hyman, pp 71-81.,
- Horton, R. E. (1932). Drainage basin characteristics. *Trans. Am. Geophys. Union*, 13, 350-361.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull Geol Soc Am*, 56, 275- 370.
- Hoşgören, M. Y. (1995). *İzmit Körfezi Havzasının Jeomorfolojisi, İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi* (Edt: Engin MERİÇ). 343-348, Kocaeli.
- Karaaslan, S. & Karataş, A. (2017). Istanca Dağlarında Drenaj Şebekesinin Kuruluş ve Gelişimi. *Uluslararası Jeomorfoloji Sempozyumu Bildiriler Kitabı* içinde (s.127-133). Elazığ.
- 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.
- Karataş, A. (2017). *Karasu Çayı Havzasının Hidrografik Planlaması*. İstanbul: Çantay Kitabevi.
- Keller, E. A. & Pinter, N. (2002). *Active Tectonics Earthquakes, Uplift, and Landscape*. (2nd Ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Köle, M. M. (2016). Devrez Çayı Vadisinin tektonik özelliklerinin morfometrik indisler ile araştırılması. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi*, 33, 21-36.
- 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.
- Özdemir H. & Bird, D. (2009). Evaluation Of morphometric parameters of drainage networks drived from topographic maps and DEM in point of floods. *Environmental Geology*, 56, 1405-1415.
- Özdemir, H. (2011). *Havza Morfometrisi ve Taşkınlar, Fiziki Coğrafya Araştırmaları; Sistemik ve Bölgesel* (s. 457-474). İstanbul: Türk Coğrafya Kurumu Yayınları.

- Özşahin, E. (2008). Keçi Dere (Gönen Çayının Bir Kolu) havzasının hidrografik özelliklerine sayısal yaklaşım, *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5 (10), 302-317.
- 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). Ganos (Işıklar) Dağı ve yakın çevresindeki (Tekirdağ) akarsuların drenaj özellikleri. *International Journal of Social Science*, 35, 139-162.
- Öztürk, B. & Erginal, A. E. (2008). Bayramdere Havzasında (Biga Yarımadası-Çanakkale) havza gelişiminin morfometrik analizler ve jeomorfoik indislerle incelenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 50, 61-68.
- Öztürk, M. Z., Özkan, D. & Şimşek, M. (2019). Kapadokya Bölgesinin drenaj özellikleri. *Coğrafya Dergisi, Journal of Geography*, 38, 1-12.
- Patton, P. C., (1988) Drainage basin morphometry and floods. In: Baker VR, Kochel RC, Patton PC (eds) Flood geomorphology. Wiley, USA, pp 51-65.
- Pike, R. J. (2000). Geomorphometry - diversity In quantitative surface analysis, *Progress in Physical Geography*, 24 (1), 1-20.
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geol. 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 Am Geophys 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, NY.
- Strahler, A. N. (1973). Akaçlama Havzalarının Jeomorfoloji İncelemelerinde Nicel Çözümler. (Çev: Arpat, E. & Güner, Y.). *Jeomorfoloji Dergisi*, 5, 103-118.
- Strahler, A. N. (1996). *Introducing Physical Geography*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Tarı, U. & Tüysüz, O. (2008). İzmit Körfezi ve çevresinin morfotektoniği. *İTÜ Mühendislik dergisi*, 7 (1), 17-28.
- Turoğlu, H. (1997). İyidere Havzasının hidrografik özelliklerine sayısal yaklaşım. *Türk Coğrafya Dergisi*, 32, 355-364.
- Turoğlu, H., Güneysu, C., Ertek, A. & Mater, B., (1994). Tabiat Parkı çalışmalarında bir uygulamalı jeomorfoloji örneği: Ballıkayalar Vadisi (Gebze-Kocaeli). *Türk Coğrafya Dergisi*, 29, 315-346.
- Verstappen, H. T. H. (1983). *Applied Geomorphology*. ITC, Enschede.