

NEHİR HAVZALARININ MORFOLOJİK KARAKTERİSTİKLERİNİN CBS DESTEKLİ NÜMERİK MODELLER KULLANILARAK ANALİZİ

A.Kutukcu ^{a,*}, S.Kaya ^b, S. Kabdaslı ^c, C. Gazioglu ^d

^{a,*} Gümrük ve Ticaret Bakanlığı, 06420 Kızılay Ankara, Türkiye - kutukcuarzu@gmail.com

^b ITU Geomatik Mühendisliği, 8062 Maslak İstanbul, Türkiye - kayasina@itu.edu.tr

^c ITU, İnşaat Mühendisliği, 80626 Maslak İstanbul, Türkiye - kabdaslis@itu.edu.tr

^d İÜ, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, 34134 Vefa Fatih, İstanbul, Türkiye - cemga@istanbul.edu.tr

ANAHTAR KELİMELER: Havza morfolojisi, drenaj yoğunluğu, çatallanma oranı, sinüzoidal indeks

ÖZET:

Su havzalarının karakteristiklerinin belirlenmesi, havzalardan maksimum düzeyde yararlanma olanaklarının yaratılması açısından son derece önemlidir. Havza yapılarının ve morfolojik özelliklerinin hidrolojik süreç üzerinde oluşturduğu etkinin bilinmesi havza üzerinde yapılacak birçok çalışma için önemli parametrelerdir. Ayrıca havzalar üzerinde yapılan morfolojik analizler, niceliksel bilgiler elde etmemizi, bu bilgiler yardımıyla da incelenen havzanın hidrolojik yapısı hakkında bilimsel anlamda fikir sahibi olabilmemizi sağlarlar. Bu çalışmada, uzun bir vadi boyunca uzanan ve Ege denizine dökülen Büyük Menderes havzası çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışmada özellikle drenaj yoğunluğu, çatallanma oranı, sinüzoidal indeks gibi parametrelerin hesaplanmasında bize büyük kolaylık sağlayan ArcGIS 9.3 yazılımı ile Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (Soil and Water Assessment Tool- SWAT) kullanılmıştır. Analizlerin büyük kısmı ArcGIS desktop yazılımına bir uzantı olarak yüklenen ArcSWAT grafiksel kullanıcı arayüzü üzerinden yapılmıştır. Çatallanma oranının hesaplanmasında kullanılan akarsu toplanma alanları, akarsu yönü, akarsu dizinleri gibi verilerin elde edilmesinde ArcToolbox altındaki Hidroloji araç setinden, sinüzoidal indeksin hesaplanmasında ise DEM verisi kullanılarak çıkartılan akarsu drenaj ağı derinlik ve genişlik değişiminin üretilebildiği ArcSWAT arayüzünden yararlanılmıştır. Havzaya ait bu parametrelerin hesaplanmasında en önemli altlık 10 m mekansal çözünürlüklü Sayısal Arazi Modeli (SAM) verileridir. Yapılan çalışmanın sonuçları, havzaların morfolojik yapılarının hidrolojik karakteristiklerine olan etkisinin anlaşılması ve havza yönetimi konularında yararlı olacaktır.

KEYWORDS: Basin morphology, drainage density, bifurcation ratio, sinusoidal index

ABSTRACT:

Determining characteristics of water basins is extremely important in terms of creating opportunities to benefit from the basins to the highest level. The effect the basin structures and their morphologic characteristics have on the hydrologic process to be known is a very important parameter for many studies to be done on the basin. Besides, morphologic analyses done on basins enable us to obtain quantitative data and by means of these data have a scientific opinion about the hydrologic structure of the analysed basin. In this study, Büyük Menderes basin which extends across a long valley and flow into the Aegean Sea is chosen as the field of study. In this study ArcGIS 9.3 software and Soil and Water Assessment Tool (SWAT) which provides a big convenience for us on calculating parameters especially like drainage density, bifurcation ratio and sinusoidal index have been used. The large part of the analyses have been done through ArcSWAT graphical user interface which is loaded as an extension to ArcGIS desktop software. To obtain data like flow accumulation, flow direction and flow patterns used to calculate the bifurcation ratio, the hydrologic tool set under ArcToolbox is used, as for calculating sinusoidal index, the ArcSWAT interface where the changes of depth and width of watercourse drainage network can be deducted by using the DEM data has been exploited. The most important base to calculate the parameters concerning the basin is the data of the 10 m Digital Elevation Model (DEM) with spatial resolution. Results of the executed study will be useful on the subjects of understanding the effect of the morphologic structures of basins on their hydrologic characteristics and watershed management.

1. GİRİŞ

Su havzalarının oluşumunun ve gelişiminin daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikle bu çalışmanın ilerleyen bölümlerindeki terimlerin açıklanması gerekir.

Morfoloji, şeklin incelenmesini ifade eden bir terim olup, dilbiliminden astronomiye kadar birçok bilim dalının konusu olan nesnelerin yapılarının incelenmesini ifade eder. Söz konusu, yerkağı olunca bu kadar kapsamlı bir terim olan morfoloji yerine yerkağıyını ifade etmesi bakımından jeomorfoloji terimi kullanılmıştır. Jeomorfoloji (geomorphology), karalar üzerinde ve denizaltında yerkağıyının yüzeyinde görülen şekilleri (landforms)

inceleyen, oluşum ve evrimlerini açıklayan, bunları kendi metodolojisi içerisinde sınıflandıran, coğrafi dağılım ve gruplandırmalarını, nedenleriyle birlikte araştıran bir bilim dalıdır [Prof.Dr. K.Dirik]. Morfometri terimi ise şeklin ölçülmesi anlamına gelmekte olup, büyüklük, uzunluk, genişlik gibi niceliksel özelliklerin değerlendirilmesi anlamını taşır. İncelenen şeklin matematiksel olarak tanımlanması sonucu elde edilen parametrelere de morfometrik parametreler denir. Jeomorfoloji ise matematiksel hesaplamalar yardımıyla karalar üzerinde ve denizaltında yerkağıyının yüzeyinde görülen şekillerin (landforms) ölçülmesini ifade eder [Prof.Dr. K.Dirik]. Su ile ilgili çalışmalarda sıkça gördüğümüz disiplinlerarası bir ifade olan hidromorfoloji ise hidrolojinin bir alt dalı olup, Avrupa Birliği su çerçeve direktifindeki tanımıyla

su kütlelerinin morfolojik yapısı ve hidrolojik rejiminin değerlendirilmesi yanında, doğal çevre etkileşimini de ifade eder. Hidromorfoloji, hidroloji ve jeomorfoloji disiplinlerinin her ikisinden de yararlanır.[1] Son dönemlerde bu alanda yapılan çalışmaların artmasıyla sıkça karşımıza çıkan hidrojeomorfoloji terimi ise, su kütleleri sebebiyle oluşan ya da değişen arazi şekillerini inceler. Bu çalışmada, Büyük Menderes Havzası incelenirken hidromorfoloji ve jeomorfoloji disiplinlerinin her ikisini de kapsayan analizler yapılmış olup yapılan analiz çalışması genel olarak morfolojik analiz, çıkartılan metrik değerler için de morfometrik parametre ifadesi kullanılmıştır. Havza veya nehir havzası; yüzey ve yeraltı sularını içeren ve tüm yüzey sularının dereler, nehirler aracılığı ile taşınarak tek bir nehir ağzı, delta veya haliçten denize ulaştığı kara parçasıdır. Havza denildiğinde nehir havzasına atıfta bulunmaktadır. Bazı durumlarda yüzeysel sular denize çıkışı olmayan göl veya doğal çukurlarda son bulabilir. Bu tip havzalar ise kapalı havza olarak isimlendirilir. Kısaca havza, suların yer çekimi ile toplandığı ve boşaldığı doğal coğrafi sınırlarla tanımlanmış bir bölgedir. [2] Arazi şekline bağlı olarak, tanımlanan havzaların morfolojik özelliklerinin hidrolojik karakteristikleri üzerinde etkisi kaçınılmazdır. Bu sebeple, seçilen Büyük Menderes Havzasının morfolojik özellikleri belirlenmiş olup, bu veriler kullanılarak havzanın hidrolojik karakteristiği değerlendirilmiştir. Çalışmada, ArcGIS 9.3 Desktop yazılımı ile Toprak ve Su Değerlendirme Aracı(Soil and Water Assessment Tool- SWAT) kullanılarak analizler yapılmıştır. ArcGIS yazılımı altında bulunan Data Management Tool kullanılarak çalışmaya altlık olan vektör ve raster formatındaki veriler işlenmiş, Spatial Analyst Tool'u altında yer alan Hydrology aracı kullanılarak drenaj ağının ve akarsu ağı hiyerarşisinin çıkartılması için yüzeysel akış miktarı (Flow Accumulation), akış yönü (Flow Direction) gibi araçlar kullanılmıştır. Önemli morfolojik parametrelerin hesaplanabilmesi için ArcSWAT yazılımı Watershed Delineator menüsü altında bulunan yazılım parçaları kullanılmıştır. Bu sayede ihtiyaç duyulan havza drenaj ağı ve akarsu kesitleri çıkartılabilmektedir.

2. METODOLOJİ VE MATERYALLER

Çalışma, morfolojik parametrelerin hesaplanması ve bunların değerlendirilmesi amacıyla modelleme aşamalarından oluşmaktadır. Ancak, bu bildirinin kapsamı morfolojik parametrelerin elde edilmesi olup, modelleme aşaması çalışmanın nasıl devam ettirildiğinin anlaşılması açısından anlatılmıştır.

Çalışmada öncelikle Büyük Menderes Havzası 10 m mekansal çözünürlüklü SAM verisi kullanılarak drenaj ağı çıkartılmıştır. Bu işlem ArcGIS Desktop yazılımı ile gelen ArcToolbox kullanıcı arayüzü altında bulunan Hidroloji araç seti içinde yer alan yüzeysel akış miktarı(Flow Accumulation), akış yönü(Flow Direction) gibi araçlar kullanılarak yapılmıştır. Çıkan sonuçlar DSİ Genel Müdürlüğünden alınan 1:100 000 ölçekli vektör formatındaki gerçek akarsu ağı ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra, çıkartılan drenaj ağı Strahler yöntemi kullanılarak segmentlere ayrılmıştır. Akarsu frekansı, çatallanma oranı, drenaj yoğunluğu gibi birçok morfometrik parametre segmentlere ayrılan bu drenaj ağı kullanılarak hesaplanmıştır. Önemli lineer morfometrik parametreler arasında yer alan Hidrolik Kıvrımlılık İndeksi, Topografik Kıvrımlılık İndeksi ve Standart Kıvrımlılık İndeksi gibi parametrelerin hesaplanmasında nehir yataklarına ait kesitlerin elde edilmesi gerektiği için bu verileri ölçüm yapmadan üretebilmemizi sağlayan Toprak ve Su Değerlendirme Aracı(Soil and Water

Assesment Tool- SWAT) kullanılmıştır. Bu yazılıma altlık olarak 10 m mekansal çözünürlüklü SAM verileri kullanılmıştır. Alansal morfometrik parametreler arasında yer alan havza uzunluğu, havza şekli, havza çevresi ve havza alanı gibi parametreler ise Büyük Menderes ve Gediz havzalarına ait DSİ Genel Müdürlüğü tarafından üretilmiş 1:100 000 ölçekli vektör veri formatındaki shape dosyaları kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmada ulaşılmak istenen morfolojik özelliklerden çıkan ve havzanın hidrolojik rejimi hakkında ulaştığımız sonuçların testlerinin yapılmasında ArcGIS desktop yazılımına bir uzantı olarak kolayca ekleyebildiğimiz, ArcSWAT yazılımı altında var olan araçlardan yararlanılmıştır. ArcSWAT yazılımı üzerinde testlerin yapılabilmesi için, yazılım ilk yüklenen veri SAM verisidir. Hidrolojik simülasyon yapılmak istenilmesi durumunda arazi kullanım, toprak ve yağış verilerine de ihtiyaç bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan 1:100 000 ölçeğindeki CORINE arazi kullanım verileri Tarım Reformu Genel Müdürlüğü'nden alınmış olup, Corine arazi kullanım verilerinin sınıflandırma sistemi ArcSWAT aracının arazi sınıflandırma sisteminden farklı olduğu için bu konu ile ilgili farklı disiplinlerdeki kişilerin de desteği ile sınıflar arasında eşleştirme yapılarak modele giriş yapılmıştır. Toprak verileri için Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organisation, FAO) - Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO) tarafından üretilmiş Dünya sayısal toprak haritalarından yararlanılmıştır. Sıcaklık, yağış, rüzgar, güneş ışıması ve bağıl nem gibi veriler de SWAT modelinin çalıştırılmasında kullanılan verilerdir. Bu veriler U.S. National Weather Servisine bağlı National Centers for Environmental Prediction tarafından saatlik tahminler yapılarak Yeniden Analiz İklim Tahmin Sistemi(Climat Forecast System Reanalysis ,CFSR) veri setleri şeklinde elde edilip, SWAT yazılımı için gereken formatta <http://globalweather.tamu.edu/web> adresi üzerinden sunulmaktadır. Özellikle gözlem istasyonlarının bulunmadığı bölgeler için bu veri setleri çok kullanışlı olmaktadır.

Bu çalışmada Büyük Menderes Havzasını kapsayan istasyonlar için son 26 yıllık (1988 - 2014) veriler indirilmiştir. Bu verileri, indirilen metin formatında kullanmak mümkün olduğu gibi, SWAT ana sayfasında(<http://swat.tamu.edu/>) bulunan ve WGN Excel Macro olarak geçen makro dosyası indirilerek de SWAT modeli için gerekli veritabanı tablosu hazırlanabilmektedir.

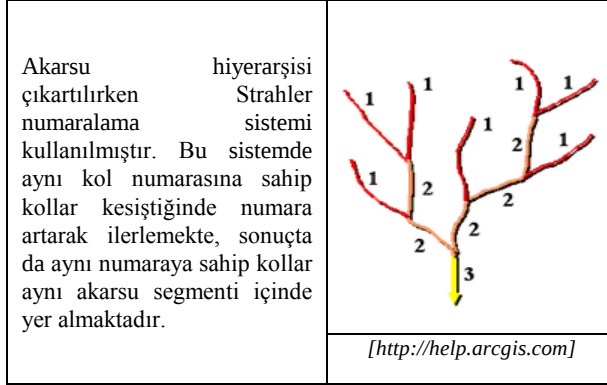
3. LINEER MORFOMETRİK PARAMETRELER

Bu çalışmada incelenen lineer parametreler; Akarsu Hiyerarşisi (Stream Order), Çatallanma Oranı (Bifurcation Ratio), Ortalama Yüzeysel Akış Uzunluğu (Length of Overland Flow), Ana Kanal Uzunluğu (Length of Main Channel), Kanal İndeksi (Channel Index), Vadi İndeksi (Valley Index), Hidrolik Kıvrımlılık İndeksi (Hydraulic Sinuosity Index), Topografik Kıvrımlılık İndeksi (Topographic Sinuosity Index), Standart Kıvrımlılık İndeksi (Standard Sinuosity Index) olarak belirlenmiştir.

3.1. Akarsu Ağının Mertebelendirilmesi/Hiyerarşisi (Stream Order)

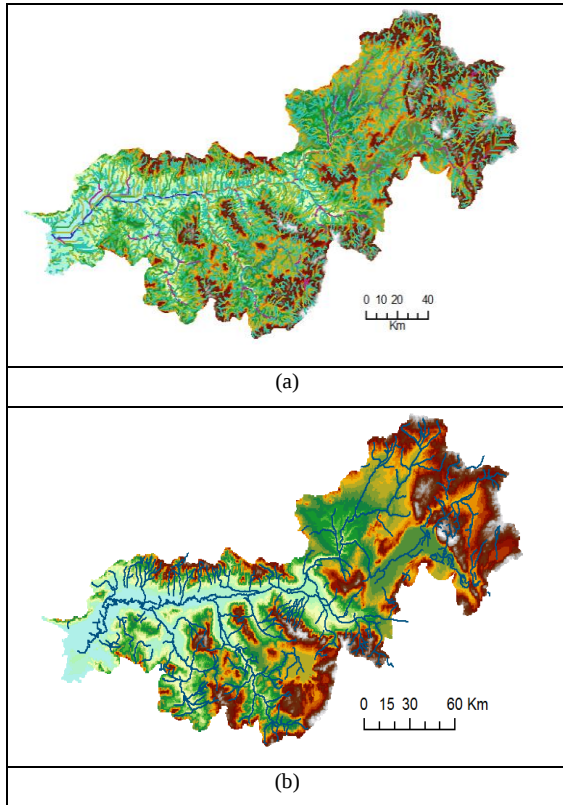
Drenaj havzalarının morfolojik analizi ilk olarak Horton (1945) tarafından yapılmış olup, ondan sonra da birçok jeomorfolojist tarafından geliştirilmiştir. Horton tarafından ilk olarak temelleri atılan akarsuları kollarının sınıflara ayrılması Strahler(1952, 1957, 1958, ve 1964) tarafından geliştirilmiştir.

Akarsu hiyerarşisinin çıkartılması diğer lineer parametrelerin hesaplanması için gerekli ilk adımdır. Bu işlem için öncelikle 10 m mekansal çözünürlüklü DEM verisi kullanılarak ArcGIS 9.3 Desktop uygulaması içinde bulunan Hidroloji aracı yardımıyla havzaya ait drenaj ağı çıkartılır. Bu işlem, Flow Accumulation, Flow Direction, Stream Order araçları kullanarak yapılabilmektedir.



Şekil 1. Strahler Akarsu Hiyerarşisi Metodu

Büyük Menderes Havzası için ArcGIS yazılımı Hidroloji araç seti altında mevcut olan araçlar kullanılarak elde edilen drenaj ağı ve havzaya ait gerçek drenaj ağı Şekil 2.'de görülmektedir.



Şekil 2. (a) Büyük Menderes Havzası için ArcGIS Desktop yazılımı tarafından çıkartılan modeli ,(b)Büyük Menderes Havzası Gerçek Akarsu Ağı

3.2 Ortalama Yüzeysel Akış Uzunluğu

Yüzeysel Akış, yağmur veya erime ile oluşan suyun yokuş aşağı bir şekilde kanal halini almadan akmasıdır. Bu su ile en yakın kanal arasındaki mesafe, yüzeysel akış uzunluğu(Horton, 1945) olarak adlandırılır. Taşkın sürecinde toplanma zamanının belirlenmesinde önemli bir değişkendir. Yüzeysel akış, günlerce devam edebilen akarsu akışının aksine yağmurdan sonra kalan suların toprak tarafından emilmesi veya buharlaşma yoluyla ortam değiştirir. Drenaj yoğunluğunun fazla olması, dolayısıyla kanallar arası mesafenin kısa olması sebebiyle Yüzeysel Akış Uzunluğu küçük çıkmaktadır. Bu durumda, suyun toplanma süresi de kısalmaktadır. Büyük Menderes Havzası için hesaplanan Yüzeysel Akış Uzunluğu Tablo 1.'de görülmektedir.

3.3. Çatallanma Oranı(Bifurcation Ratio)

Drenaj havzalarının hidrolojik rejimlerinin ön tahmininde aradaki en önemli bağlantı Çatallanma Oranıdır (Gravelius 1914, Horton 1945, Strahler 1957, Scheidegger 1970). Havzanın şekli ve akış karakteri hakkında bilgiler vermektedir. Çatallanma oranı, bir segment grubunda bulunan akarsu kollarının sayısının(S_i), bir üst grup segmentteki kolların sayısı toplamına (S_i+1) oranı olarak tanımlanır. Bu oranın, 3-5 aralığında olması havza jeolojisinin homojen bir yapıda olduğunu ifade eder. Düşük çatallanma oranı, 3 ve altı değerler almakla birlikte yüksek drenaj yoğunluğunu ifade eder. Alüvyonlu bölgelerde çatallanma oranı nispeten düşük değerler almaktadır. Yüksek çatallanma oranı 5 ve üstü değerleri ifade etmekle birlikte, bu alanlarda drenaj yolu üzerinde yapısal kontroller olduğu şeklinde de yorumlanabilmektedir.

Akarsu segmentleri birbirine yakın çatallanma oranlarına sahip olduğu ve bunun sonucu olarak da suyun daha etkin ilerlediği havzalarda, taşkın hidrografi yavaş bir şekilde artmasına rağmen yüksek pikler yapmaktadır. Akarsu segmentleri birbirinden uzak çatallanma oranı değerine sahip havzalarda ise, taşkın hidrografi hızlı bir şekilde artmasına rağmen yüksek pik değerlerine ulaşmamaktadır [3]. Büyük Menderes Havzası, Tablo 1.'de de görüldüğü üzere birbirine yakın çatallanma oralarına sahip olup, yukarıda bahsedilen ilk grup özelliklerini göstermektedir.

Havza Adı		Büyük Menderes
Havza Alanı (A, km ²)		25 062
Akarsu Segmentleri	S1	3 511
	S2	1 675
	S3	920
	S4	400
	S5	170
	S6	237
	S7	60
Toplam Segment Sayısı(ΣS)		6 973
Segment Uzunluğu (ΣL , km)		15 214.2
Çatallanma Oranları ($R_b = S_i / (S_i + 1)$ (boyutsuz))		2.10, 1.82, 2.3, 2.35, 0.72, 3.95
Ortalama Çatallanma Oranı		2.206
Ortalama Yüzeysel Akış Uzunluğu($l_o = 1/2D$, km)		0.83

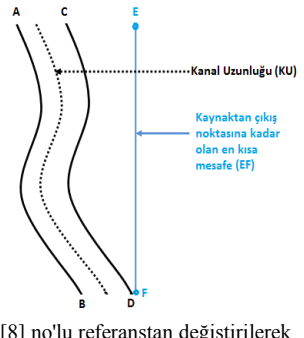
Tablo 1. Lineer morfometrik Parametreler

3.4. Kıvrımlılık İndeksi (Sinuosity Index)

Kıvrımlılık indeksi, havzadaki drenaj ağı yapısının yorumlanmasında kullanılan bir metrik olup, morfolojik çalışmalarda önemli bir parametredir. Bu çalışmada Mueller (1968) tarafından geliştirilen model kullanılarak kıvrımlılık indeksi hesaplanmıştır. İndeks akarsu havzasının topolojik ve hidrolojik karakteristiği hakkında bilgi verir.

Akarsu vadisi eğiminde değişikliğe neden olan bazı tektonik hareketler sebebiyle kanal kıvrımlılığı değişebilir (Keller ve Pinter,1996). Bu sebeple, kıvrımlılık indeksi tektonik hareketlerin kanal morfolojisi üzerindeki etkisini ölçmek amacıyla da kullanılmaktadır.[4]

Bu çalışmada Büyük Menderes nehri için kıvrımlılık indeksinin elde edilmesi için ArcSWAT arayüzü altında bulunan Watershed Delineator aracı yardımı ile 10 m SAM verisi altlık olarak kullanılarak akarsu segmentlere ayrılmış ve ArcGIS yazılımı da kullanılarak gerekli parametreler elde edilmiştir. Parametrelerin hesaplanma yöntemleri ise Tablo 2'de Hesaplama kullanılan parametreler ise Tablo 3'de görülmektedir.

Vadi Uzunluğu(VU)= $ AB + CD /2$	 [8] no'lu referanstan değiştirilerek
Kanal İndeksi/Toplam Kıvrımlılık İndeksi(Kİ)= $KU/ EF $	
Vadi İndeksi(Vİ)/Toplam Topografik Kıvrımlılık İndeksi = $VU/ EF $	
Standart Kıvrımlılık İndeksi(SSİ)= $Kİ/Vİ$	
Hidrolik Sinüzoidal İndeks(HSİ)= $((Kİ-Vİ) / (Kİ-1))*100$	
Topografik Sinüzoidal İndeks (TSİ)= $((Vİ-1) / (Kİ-1))*100$	

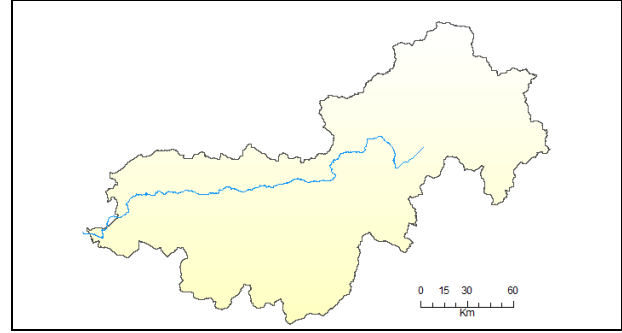
Tablo 2. Kıvrımlılık İndeksi, kullanılan diğer Parametreler ve hesaplanma yöntemleri

Havza	Kİ	Vİ	SSİ	HSİ	TSİ
Büyük Menderes	1.54	1.36	1.13	36	64

Tablo 3. Kıvrımlılık İndeksi, kullanılan diğer Parametre değerleri [6]

Üzerinde çalışan Büyük Menderes Nehri Şekil 3.'de görülmektedir.

Kıvrımlılık indeksi değeri 1 ile 4 aralığında değişen değerler almakta olup, bu değerin 1.5' den daha büyük olması akarsuyun menderes karakteristiği gösterdiği (Richards 1982 ve Singh 1998), 1.05 ile 1.3 arasında değerler alması ise kıvrımlı yapıya sahip olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 3. Büyük Menderes Nehri Ana Kanal Görünümü

Akarsu vadisi uzunluğunun kanal uzunluğuna eşit olduğu durumda havza genç evrede ve topografik faktörler etkili olmaktadır. Bu durumda TSI yüzde 100 olmakta, yani vadi başlangıcı ile kanal arasında bir boşluk bulunmamaktadır (Davis,1913). Havza gençlikten olgunluğa geçerken ise HSI ve mendereslenme artmakta, havzada hidrolojik faktörler etkin olmaya başlamaktadır. Bu durumda Kanal Kıvrımlılık İndeksinde mendereslenme görülsede, Standart Kıvrımlılık İndeksinde görülmemektedir. Büyük Menderes nehri için yapılan hesaplamalarda da Tablo 3.'de görüldüğü gibi, Kanal İndeksi (1.54), yani Topografik ve Hidrolik Kıvrımlılığın toplamını ifade eden indeks mendereslenme gösterse de, Standart Kıvrımlılık İndeksi (1.13) sadece kıvrımlı bir yapıyı işaret etmektedir. Ayrıca Topografik Kıvrımlılık İndeksi de yüzde 100'den uzaklaşmış, etkisini tam olarak olmasa da Hidrolojik etkenlere bırakmaya başlamıştır. Bu bağlamda, Büyük Menderes nehri için yaptığımız parametre hesaplarından havzanın bu bölümünde yapının olgunluk evresinin başında, hidrolojik ve topografik faktörlerin her ikisinin de etkili olduğu, menderes yapısının görüldüğünü söyleyebiliriz.

4. ALANSAL MORFOMETRİK PARAMETRELER

Bu parametreler, havza yönetimi için de önemli parametreler olup, bu çalışma kapsamında Havza alanı, Havza uzunluğu, Havza çevresi, Form faktörü, Dairesellik oranı, Uzama oranı, Tekstür oranı, Akarsu sıklığı, Drenaj Yoğunluğu parametreleri incelenmiştir.

4.1. Havza Alanı

Havzanın büyüklüğü su toplanma zamanını da önemli derecede etkileyen bir parametredir. Havzanın alanı ne kadar büyükse su toplanma zamanı da o kadar uzamaktadır.

4.2. Havza Çevresi

Havza büyüklüğü ve şeklinin hesaplanmasında önemli bir parametre olan Havza çevresi, havzanın sınırları olarak belirlenen çizginin çevresidir. Tabo 4.'de Büyük Menderes Havzası Alansl morfometrik parametreleri arasında gösterilmiştir.

4.3. Havza Uzunluğu

Havza uzunluğu için çeşitli hesaplama yöntemleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, Tabo 4.'de de görülen Büyük Menderes havzasının uzunluğu, havzada en uzun drenaj çizgisine paralel olarak çizilen çizgi uzunluğu ölçülerek bulunmuştur.

4.4. Drenaj Yoğunluğu (Drainage Density)

Havzanın akarsular tarafından parçalanma derecesini gösteren bir parametre olup, toplam akarsu uzunluğunun (ΣL) havza alanına (A) bölünmesiyle elde edilir (Horton, 1932). Çalışmalar, Drenaj Yoğunluğunun arazinin jeolojik yapısından etkilenen bir hidrolojik olay olduğunu göstermektedir. (Christofolletti and Oka-Fiori, 1980). Çok düşük değerler alması havza toprak yapısının iyi bir sızma oranına sahip olduğu, sık ormanlık alanların olduğu ve yüzey akışı toplanma zamanının da bunlara bağlı olarak uzun olacağını ifade etmektedir. Drenaj yoğunluğu yüksek havzalarda konsantrasyon zamanı da daha kısa olmaktadır. Büyük Menderes havzası için hesaplanan Drenaj yoğunluğu parametresi değeri Tablo 4.'de görülmektedir.

4.5. Akarsu Sıklığı (Stream Frequency)

Akarsu sıklığı (Horton, 1945), havza alanında bulunan akarsu kolları sayısı toplamının Havza alanına bölünmesi ile elde edilmekte olup, birim alana düşen akarsu kolu sayısını ifade etmektedir. Akarsu sıklığının yüksek olması, zeminin geçirgen olmadığı ve düşük rölyef yapısının hakim olduğunu ifade etmektedir. Büyük Menderes havzası için hesaplanan akarsu sıklık değeri düşük olmakla birlikte, geçirimli zemine işaret etmektedir. Tablo 4.'de Büyük Menderes havzası için bulunan sıklık değeri görülmektedir.

4.6. Havza Şekli /Form Faktörü (Form Factor)

Havza şekli (Horton, 1932) konsantrasyon zamanını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Form faktör değerinin düşük değerler aldığı yani 0'a yaklaştığı havzalar dar ve uzun havzalar olarak nitelendirilmektedir. Dar ve uzun şekle sahip havzalarda toplanma süresi daha uzun olacağı için daha düşük akımlar oluşmaktadır. Yüksek form faktör değerine sahip yani 1'e yaklaşan havzalar ise daha kısa veya orta uzunlukta, yani daireselliğe yaklaşan havzalar olarak nitelendirilir. Daireselle yakın olan havzalarda toplanma zamanı da kısa olacağından, kısa sürede yüksek akımlar oluşacaktır.[3] Büyük Menderes havzası Form Faktör değeri Tablo 4.'de görülmekte olup, havzanın dar ve uzun bir havza olarak belirlendiği, buna bağlı olarak da su toplanma süresinin daha uzun olacağı ve ani taşkın oluşma ihtimalinin bu morfolojik parametre değerlendirildiğinde daha düşük olacağını göstermektedir.

4.7. Dairesellik Oranı (Circularity Ratio)

Dairesellik oranı (Miller, 1960), havza uzama oranı ile birlikte havzanın şeklini anlayabildiğimiz önemli alansal morfometrik parametrelerdendir. Havza alanının, havzanın çevre uzunluğuna eşit çevre uzunluğuna sahip bir dairenin alanına oranlanması ile elde edilir. Havza alanının aynı dairesellikte olup olmadığını gösteren bir orandır. Değer 1'e yaklaştıkça dairesellik artar. Büyük Menderes havzası Dairesellik Oranı Tablo 4.'de görülmektedir.

4.8. Uzama/Uzunlaşma Oranı (Elongation Ratio)

Havza alanına eşit alana sahip dairenin çapının, havzanın maksimum uzunluğuna bölünmesiyle hesaplanır. Uzama Oranı (Schumm, 1956) değerinin düşük olması yani 0'a yaklaşması havzanın daha uzun bir şekle sahip olduğunu, 1'e yaklaşması ise daha dairesel bir şekle sahip olduğunu ifade eder. Tablo 4'de Büyük Menderes havzası Uzunlaşma Oranı görülmektedir.

4.9. Tekstür Oranı (Texture Ratio)

Havzanın morfolojik özellikleri değerlendirilirken bakılması gereken önemli parametrelerden biri de Tekstür Oranı'dır. Bu oran, Havza akarsu ağı 1. dizin (order) kol sayısının (S_1), havza çevresine oranlanması ile elde edilir ve Smith (1950) tarafından geliştirilen, kanalların birbirine yakınlığını tanımlayan bir orandır. Litolojik yapı, arazi engebeliliği gibi faktörler bu oranı etkiliyor olup, oranın yüksek olması yüksek rölyef, dik yamaçlar ve düşük geçirgenliği ifade etmektedir.

Dolayısıyla, tekstür oranının yüksek olması havzaya düşen yağışın yüksek oranda akışa geçtiğini göstermektedir. Tekstür oranının 2'den düşük olması çok kaba, 2 ve 4 arası kaba, 4-6 arası orta, 6-8 arası ince, ve 8'den daha yüksek çıkması çok ince drenaj yapısına sahip olduğunu göstermektedir. Bu oran drenaj yoğunluğu ve akarsu sıklığı parametreleri ile birlikte değerlendirilmelidir.

Büyük Menderes havzası için bulunan Tekstür oranı Tablo 4.'de görülmektedir.

Parametre	Formül	Değeri
Havza Alanı (A, km ²)		25 062
Havza Çevresi (P, km)		1 723.220
Havza Uzunluğu (L, km)		305.554
Toplam Segment Sayısı (ΣS)		6 973
Segment Uzunluğu (ΣL , km)		15 214.2
Akarsu Sıklığı (Frekans)	$\Sigma S/A$	0.28
Drenaj Yoğunluğu (km/ km ²)	$\Sigma L/A$	0.60
Form Faktörü (F)	$F=A/P^2$	0.27
Dairesellik Oranı (Rc)	$Rc = 12.57 * (A / P^2)$	0.10
Uzunlaşma Oranı	$Re=2 * (A / \pi)^{1/2} / P$	0.6
Tekstür Oranı (T)	$T = S_1 \times (1/P)$	2.04

Tablo 4. Alansal Morfometrik Parametreler

5. SONUÇ

Bu çalışmada bir akarsu havzasının morfolojik analizini yapmak amacıyla seçilen başlıca parametreler, ArcGIS Desktop yazılımı ve ArcSWAT aracı kullanılarak hesaplanmıştır. Morfometrik parametreler tüm havza ya da alt havzalar için hesaplanabilmekte olup, özellikle 10 m SAM verisi kullanılarak havzanın hidrolojik karakteristiği hakkında önceden önemli değerlendirmeler yapabilmemize imkan vermiştir.

Büyük Menderes Havzası için elde edilen parametrelerden drenaj yoğunluğunun çok düşük bulunması, akarsu sıklık değerinin düşük olması ve bulunan tekstür oranı değerinden havza yapısının geçirgen bir yapıya sahip olduğunu ve havzaya

düşen yağışın direkt akışa geçmediği anlaşılmaktadır. Ayrıca Form faktör değeri ile de bu yorum desteklenmektedir. Büyük Menderes havzası için hesaplanan dairesellik ve uzunlaşma oranları ile havzanın dar ve uzun bir yapı gösterdiğini, dolayısıyla da su toplanma zamanının uzun olacağını, taşkın hidrografi incelendiğinde de pik değerlerinin ani değil belirli bir süre geçerek oluşabileceği sonucu çıkarılmaktadır. Büyük Menderes havzası kıvrımlılık indeksi ArcSWAT arayüzü yardımı ile hesaplanmış olup; havzanın olgun evrenin başında, hidrolojik rejimde topografik yapının da etkilerini gösterdiği, özellikle mansab'a doğru mendereslenme özelliğinin oluştuğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, SAM verisi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımı ile havzaya ait morfolojik özelliklerin çıkartılması, bu parametrelerden yararlanarak arazi hakkında önceden hidrolojik değerlendirmelerin yapılabilmesinin çalışmalarındaki etkinliği ve verimliliği artıracak Büyük Menderes Havzası için yapılan bu hesaplama ve değerlendirmelerin tüm havzalar için kullanılması, yeni parametrelerin de eklenerek geliştirilmesinin yararlı olacağı sonucuna varılmıştır.

REFERANSLAR

1. Hydromorphological Alterations And Pressures In European Rivers, Lakes, Transitional And Coastal Waters Etc/Icm Technical Report 2/2012, Peter Kristensen (Eea) And Etc/Icm Members: János Fehér, Judit Gáspár, Kinga Szurdiné Veres, András Kiss (Vituki), Lidija Globevnik, Monika Peterlin, Tina Kirm (Iwrs), Ulf Stein (Ecologic), Theo Prins, Claudette Spiteri (Deltares), Ekaterina Laukkonen, Anna-Stiina Heiskanen (Syke), Kari Austner (Niva), Silvie Semerádova, Anita Künitzer (Cenia)
2. Türkiye'nin Su Gündemi Su Yönetimi ve AB Su Politikaları, Özden Bilen, Ankara 2008
3. Water Resources: Process and Management, Victoria Bishop, Robert Prosser, Collins Educational an imprint of HarperCollins Publishers, 2001
4. Hydgeomorphology: Fundamentals, Applications and Techniques-2005 Md. Babar Professor, Department of Geology, Dnyanopasak College, Parbhani, Maharashtra, India, 2005
5. Morphometry of Drainage Basins, I. Zavoianu, January 1985, Elsevier, ISBN: 978-0-444-99587-2
6. Mueller, J. E. (1968). An Introduction to the Hydraulic and Topographic Sinuosity Indexes. Annals of the Association of American Geographers, Vol.58, No.2, pp. 371-385.
7. Quantitative Geomorphological Analysis of a Watershed of Ravi River Basin, H.P. India, Dr Kuldeep Pareta, and Upasana Pareta, International Journal of Remote Sensing and GIS, Volume 1, Issue 1, 2012, 47-62
8. Hydrogeomorphic Significance of Sinuosity Index in relation to River Instability: A Case Study of Damodar River, West Bengal, India, Sandipan Ghosh, Biswaranjan Mistri, International Journal of Advances in Earth Sciences, Volume 1, Issue 2, 2012, 49-57
9. Drainage Density and Streamflow: A Closer Look, S. Lawrence Dingman, Water Resources Research, Vol. 14, No. 6, December 1978
10. Hidroloji, Prof. Dr. Mehmetçik Bayazıt, Birsan Yayınevi, 2011, ISBN 975113647
11. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology, Robert E. Horton, Geological Society of America Bulletin, 1945
12. Fluvial Processes in Geomorphology Luna B. Leopold, M. Gordon Wolman, John P. Miller, Dover Publications; New edition June 28, 1995
13. Geomorphological Hazards and Disaster Prevention, Irasema Alcantara-Ayala and Andrew S. Goudie, Cambridge University Press, July 2014, 978-0-521-76925-9
14. ArcSWAT Interface for SWAT 2009 User's Guide, M. Winchell, R. Srinivasan, M. Di Luzio, J. Arnold, August 2010