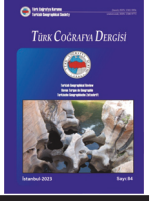




Basılı ISSN 1302-5856

**Türk Coğrafya Dergisi**  
**Turkish Geographical Review**  
 www.tcd.org.tr

Elektronik ISSN 1308-9773



## Taşkın duyarlılık analizinde kullanılan parametreler üzerine bir değerlendirme<sup>1</sup>

### An evaluation on the parameters used in flood susceptibility analysis<sup>2</sup>

İmren Kuşcu<sup>a\*</sup>  Hasan Özdemir<sup>b</sup> 

<sup>a</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye.

<sup>b</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Fiziki Coğrafya Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye.

ORCID: İ.K. 0000-0002-7810-3507; H.Ö. 0000-0001-8885-9298

#### BİLGİ / INFO

Geliş/Received: 18.08.2023

Kabul/Accepted: 10.09.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Taşkın hazırlayıcı parametreler  
 Taşkın duyarlılık analizi  
 Taşkın envanteri  
 Bursa

#### Keywords:

Flood causative factors  
 Flood susceptibility analysis  
 Flood inventory  
 Bursa

#### \*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(İ. Kuşcu) İmren.16@gmail.com

DOI: 10.17211/tcd.1345962



#### Atıf/Citation:

Kuşcu, İ., & Özdemir, H. (2023). Taşkın duyarlılık analizinde kullanılan parametreler üzerine bir değerlendirme. *Türk Coğrafya Dergisi* (84), 67-83.  
<https://doi.org/10.17211/tcd.1345962>

#### ÖZ / ABSTRACT

Taşkınlar her geçen gün artan büyüklük ve sıklıklarına bağlı olarak dünyada ve ülkemizde önemi giderek artan afetlerden birisidir. Bu çalışmadaki temel amaç, taşkın duyarlılık ile ilgili uluslararası ve ulusal literatürün değerlendirilmesi ve duyarlılık çalışmalarına yeni bir yaklaşım olarak sel ve taşkınların meydana geldiği yerleşmelerin su toplama havzaları temelli taşkın duyarlılık parametrelerinin belirlenmesini gerçekleştirmektir. Bu kapsamda çalışmada tarihsel taşkın envanterine bağlı olarak Bursa ili sınırları içerisinde vadi tabanı ve akarsu kenarında sel ve taşkınların yaşandığı yerleşmelerin havzalarına bağlı olarak taşkın duyarlılık analizi parametreleri belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan temel altlık verileri, Bursa iline ait 5m çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), 1956-2022 yılları arasında kapsayan envanter verileri, hidrolojik toprak grupları (HTG) ve yağış (WorldClim) verileridir. Bursa il sınırları içerisinde meydana gelen tarihsel sel ve taşkın envanterine bağlı olarak 28 yerleşme ve bu yerleşmelerin su toplama havzaları belirlenmiş ve bu havzalara sel ve taşkın oluşmasında hazırlayıcı 12 parametre uygulanmıştır. Taşkın hazırlayıcı parametreler sınıflandırma aşamasında 0-1 arasında normalize edilerek ortaya çıkan sonuca göre taşkın duyarlılık için parametre katsayıları oluşturulmuştur. Sonuç olarak envantere göre maksimum etkiye sahip parametreler; çatallanma oranı ( $R_b$ ), drenaj yoğunluğu ( $D_d$ ), akım toplanma zamanı ( $T_c$ ), eğim, topografik nemlilik indeksi, akarsu güç indeksi, hidrolojik toprak grupları olarak belirlenmiştir. Bu çalışma ile taşkın duyarlılık analizinde önceki çalışmalardan farklı olarak envantere bağlı ve yerleşim temelli havzalardan taşkın duyarlılık parametreleri belirlenmiştir.

*Floods are increasingly important disasters worldwide and Türkiye due to their increasing magnitude and frequency. The main purpose of this study is to evaluate the international and national literature on flood susceptibility and to determine the flood susceptibility parameters based on the watersheds of the settlements where floods occur, as a new approach to susceptibility studies. Accordingly, in study, depending the historical flood inventory, flood susceptibility analysis parameters were determined according to the basins of the settlements where floods are experienced on the valley floor and riverside within the borders of Bursa province. The primary data used in the study are inventory data covering the period between 1956-2022, 5m resolution Digital Elevation Model (DEM) of Bursa province, hydrological soil groups (HSG) and precipitation data (WorldClim). According to the historical flood inventory occurring within the borders of Bursa province, 28 settlements and their watersheds were identified and 12 flood causative parameters were applied to these basins. These flood causative parameters were normalised to between 0-1 in the classification stage and parameter coefficients for flood susceptibility were created according to the result. In this direction, bifurcation ratio, drainage density, time of concentrations, slope, topographic wetness index, stream power index and hydrologic soil groups were determined as the parameters with maximum effect according to the inventory. As a result, in this study, unlike previous studies in flood susceptibility analysis, flood susceptibility parameters were determined from the basins of the settlements where floods occur in the inventory.*

<sup>1</sup>Bu çalışma, birinci yazarın doktora tezinden üretilmiştir.

<sup>2</sup>This study was produced from the first author's doctoral thesis.

## Extended Abstract Introduction

In order to develop a methodology assessing susceptibility to flooding, it is necessary to identify the causal factors and their relationship to flood events (Liu & De Smedt, 2005). Factors that cause river flooding over an area are also known as flood causative parameters, which are essential in determining the parameters to be used in a susceptibility study. Depending on this, information can be obtained on the basis of which causative parameters a particular place may be flooded. Understanding the behaviour or characteristics of these parameters is crucial in flood management to assess current situations and risks, make predictions, create solutions, prevent negative impacts, take advantage of positive impacts and identify patterns or limits in flood management.

First of all, this study examined flood susceptibility studies comprehensively by focusing on the literature. Thus, it was determined that various methods and parameters were used to determine the causative parameters in flood susceptibility studies. For example, some studies focus only on parameters frequently used in the literature, while others use expert opinion to determine parameters, and some determine parameters according to the characteristics of the study area. However, in this study, the parameters were determined according to the flood inventory. In terms of identifying flood-prone areas, creating an inventory of flood events that occurred in the historical process for the study area is an important stage (Choubin vd., 2019; Merz vd., 2007). The flood inventory map shows the spatial distribution of flood hazards in the study area (Cao vd., 2016). Flood inventory maps created by identifying the floods that occurred in previous years and processing their locations are important as the first step in the process of preparing a reliable susceptibility map (Merz vd., 2007). Keeping available records of historical flood locations makes it easier to understand the mechanism of flooding in an area (Das & Gupta, 2021; Wang vd., 2018; Choubin vd., 2019; Janizadeh vd., 2021).

This study aims to evaluate the international and national literature on flood susceptibility and determine the flood susceptibility parameters based on the drainage watersheds of the settlements where floods occur as a new approach to susceptibility studies. With this approach applied to the determination of settlements and basins within the Bursa provincial boundary, the conditions that cause flooding from real events have been determined. According to the flood inventory, the features where the parameters are concentrated in the settlement basins will be used to determine the flood areas and settlements that will likely occur in Bursa province.

## Data and Method

This study used a new approach compared to the flood susceptibility studies in the literature regarding both the path followed while determining the parameters and the parameters considered. In most related studies (84%), parameters frequently used in the literature were preferred. In this study, depending on the inventory flood data determined within the borders of Bursa province for flood susceptibility, parameter determination was made according to the characteristics and densities of the settlement basins. Therefore, 12 parameters

of basin morphometry were applied to the 28 basins and weighted according to the Normalised Morphometric Flood Index values. Within the scope of the study, data obtained from State Hydraulic Works (SHW) and Disaster and Emergency Management Presidency, information available online, news and reports published in different newspapers were used as sources for the flood inventory of Bursa province. Events and inventory information that can clearly identify which river and its basin caused flooding to settlements were preferred in this study.

## Results and Discussion

This study reveals that different parameters are used in flood susceptibility studies based on literature reviews. The parameter preference in the studies was to focus on the parameters frequently used in the literature. These are slope (138 articles), altitude (120 articles), land cover (use) (110 articles), precipitation (98 articles), distance to stream (98 articles), Topographic Wetness Index (TWI) (91 articles), soil (84 articles), curvature (66 articles), drainage density (65 articles), Stream Power Index (SPI) (48). However, in this study, unlike the studies in the literature, the flood causative parameters were determined by analyzing the basins at the entrance of the settlements where floods are experienced on the valley floor and riverside within the borders of Bursa province according to the flood inventory. In this sense, the inventory basins, which were considered to determine parameters, were analyzed together with linear, areal, relief features and other (slope, TWI, SPI, precipitation, HSG) parameters. In the classification of the parameters, the values obtained were normalised between 0-1 and parameter coefficients for flood susceptibility were created depending on their intensity. As a result, bifurcation rate, drainage density, time of concentrations, slope, topographic moisture index, stream power index and hydrological soil groups were the most essential factors in flood susceptibility analysis. These parameters were chosen because of their importance in causing flooding in the study area. As a result of the study, it will be possible to perform flood susceptibility analysis of all other settlement basins in Bursa, thanks to the effective parameters determined depending on the inventory. In this sense, the point emphasized in the study is the method used in this study compared to the method used in determining the flood causative factors in the literature. This article presents observations and recommendations to improve current knowledge in future related studies and assist in flood susceptibility studies. The methodology and factors can also be used in other studies related to flood susceptibility analysis to ensure flood management, control and mitigation.

## 1. Giriş

Sel ve taşkınlar gerek ülkemizde gerekse dünyanın birçok yerinde küresel iklim değişikliğinin de etkisiyle artan sıklık ve büyüklüklerine bağlı olarak zararları giderek artan doğanın kendi dinamikleri içinde oluşan doğa olaylarından birisidir (Rahmati vd., 2020). Sel ve taşkınların zararlarını ölümler, yerleşim alanlarının su altında kalması, altyapının zarar görmesi ve çevresel olarak sıralayabiliriz. Bu da ülkelerin ve yerleşmelerin ekonomik faaliyetlerini ve kalkınmasını etkilemektedir. Bu tür etkileri önlemek için, afet gerçekleşmeden önce birtakım çalışmaların yapılması ve gerekli tedbirlerin alınmasının önemi büyüktür. Bu doğrultuda sel ve taşkın tehlikesinden kaynaklanan zararların azaltılması yönünde yapılan çalışmaların önemli ve başlangıç

aşamasını, çalışılan sahanın lokal veya bölgesel olarak duyarlılık analizlerinin yapılması oluşturmaktadır. Sel ve taşkına duyarlılık herhangi bir sel ve taşkın olayına karşı savunmasızlık, maruz kalmanın işlevi ve hassasiyet kapasitesi olarak açıklanabilmektedir (Vojtek & Vojtekova, 2019). Sel ve taşkına duyarlı alanların ve akarsu havzalarının belirlenmesi, taşkın tehlike ve risk analizlerinden önce akarsu havzalarının potansiyellerinin belirlenmesi açısından önemlidir. Bu nedenle duyarlılık haritaları şehir planlanması, afet risk değerlendirmesi, afet öncesi ve sonrası planlama çalışmaları gibi alanlarda büyük fayda sağlamakta olup bunun gerekliliği birçok çalışma ile de kanıtlanmıştır (Ahmadlou vd., 2018; Arabameri vd., 2019; Choubin vd., 2019; Hong vd., 2018; Khosravi vd., 2016; Lee vd., 2012; Moghadam vd., 2018; Rahmati vd., 2015; Tehrani vd., 2013; 2015). Sel ve taşkına duyarlı alanların tespit edilmesiyle bu alanlarda gerekli önlem ve zarar azaltma çalışmaları yapılarak can ve mal kayıpları büyük ölçüde azaltılmıştır (Cao vd., 2019; Su vd., 2019; Costache vd., 2020). Bu nedenle akarsu havzalarının taşkın duyarlılığının belirlenmesi, taşkınların insan yaşamı ve faaliyetleri üzerindeki etkilerini azaltmak için öncül çalışmalardır (Islam vd., 2021).

Taşkına karşı duyarlılığın değerlendirilmesine yönelik bir metodoloji geliştirmek için, neden olan faktörlerin ve bunların taşkın olaylarıyla ilişkisinin belirlenmesi gerekmektedir (Liu & De Smedt, 2005). Bir alan üzerinde akarsuyun taşmasına neden olan faktörler, aynı zamanda taşkın hazırlayıcı parametreler olarak da bilinir, bu da duyarlılık çalışmasında kullanılacak parametreleri belirlemede büyük önem taşır. Buna bağlı olarak belirli bir yerin hangi hazırlayıcı parametreler temelinde sel ve taşkına uğrayabileceği bilgisine ulaşılabilir. Taşkın yönetiminde mevcut durumları ve riskleri değerlendirmek, tahminlerde bulunmak, çözümler oluşturmak, olumsuz etkileri önlemek, olumlu etkilerden yararlanmak ve taşkın yönetiminde kalıpları veya sınırları belirlemek için bu parametrelerin davranışlarını veya özelliklerini anlamak çok önemlidir.

Bu çalışmada öncelikle literatüre odaklanarak taşkın duyarlılık çalışmaları kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Böylelikle taşkın duyarlılık çalışmalarında hazırlayıcı parametreleri belirlemek için çeşitli yöntemler ve parametrelerin kullanıldığı saptanmıştır. Örneğin bazı çalışmalar sadece literatürde sıklıkla kullanılan parametrelere odaklanırken (Choubin vd., 2019; Rahmati vd., 2015; Tehrani vd., 2015) bazıları uzman görüşüne başvurarak parametre belirlemede (Fang vd., 2021; Hategekimana vd., 2018; Mind'je vd., 2019), bazıları ise çalışma alanı özelliklerine göre parametre belirlemektedir (Tabarestani & Afzalimehr, 2022; Ali vd., 2020; Chen vd., 2019). Ancak bu çalışmada taşkın envanterine göre parametreler belirlenmiştir. Taşkına duyarlı alanların belirlenmesi bakımından çalışma alanı için tarihsel süreçte meydana gelen sel-taşkın olaylarına ilişkin envanterin oluşturulması önemli bir aşamadır (Choubin vd., 2019; Merz vd., 2007). Geçmiş yıllarda meydana gelen sel ve taşkınların belirlenip lokasyonlarının işlenmesi ile oluşturulan sel ve taşkın envanter haritaları, güvenilir bir duyarlılık haritası hazırlama sürecindeki ilk basamak olması bakımından önemlidir (Merz vd., 2007). Tarihi sel ve taşkın konumlarının eldeki kayıtlarının tutulması bir alandaki sel ve taşkın oluşum mekanizmasını anlamayı kolaylaştırmaktadır (Das & Gupta, 2021; Wang vd., 2018; Choubin vd., 2019; Janizadeh vd., 2021).

Bu çalışmanın amacı, taşkın duyarlılık ile ilgili uluslararası ve

ulusal literatürün değerlendirilmesi ve duyarlılık çalışmalarına yeni bir yaklaşım olarak sel ve taşkınların meydana geldiği yerleşmelerin su toplama havzaları temelli taşkın duyarlılık parametrelerinin belirlenmesini gerçekleştirmektir. Bursa il sınırı içerisindeki yerleşmelerin belirlenmesi ve havzalarına uygulanan bu yaklaşımla meydana gelen gerçek olaylardan sel ve taşkını oluşturan koşulların belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Taşkın envanterine göre yerleşme havzalarında parametrelerin yoğunlaştığı özellikler, bundan sonra Bursa ili özelinde gelecekte gerçekleşmesi muhtemel sel ve taşkın alanlarının ve yerleşmelerin belirlenmesinde kullanılacaktır. Bu durum olası tehlikenin önlenmesi ve hafifletilmesi açısından önemlidir.

### 1.1. Araştırma Sahasının Konumu ve Coğrafi Özellikleri

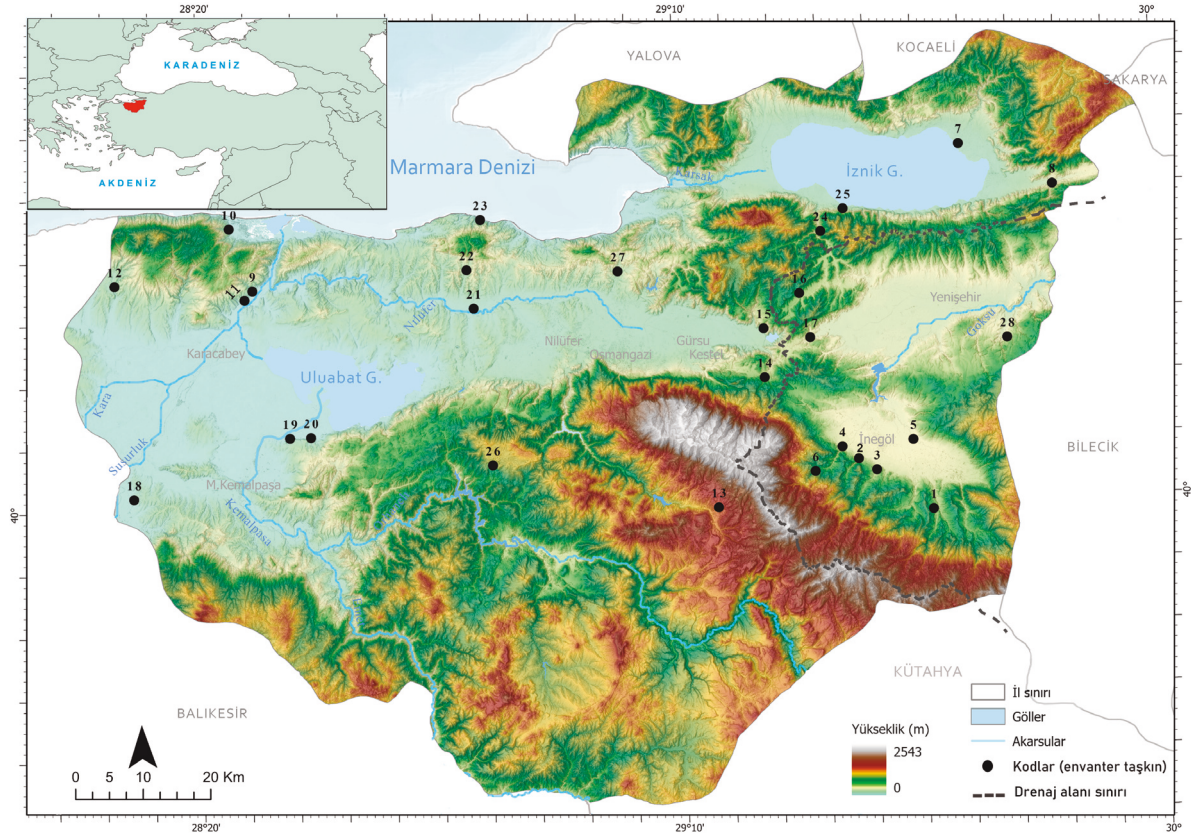
Çalışma alanı, Türkiye'nin kuzeybatısında 28° 10' ve 30° 10' kuzey enlemleriyle, 39° 35' ve 40° 40' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Marmara Denizi'nin güneyinde bulunan Bursa ili kuzeyde Kocaeli ve Yalova, doğuda Bilecik ve Sakarya, batıda Balıkesir, güneyde Kütahya illeriyle çevrilidir (Şekil 1). Büyükorhan, Gemlik, Gürsu, Harmancık, İnegöl, İznik, Karacabey, Keles, Kestel, Mustafakemalpaşa, Mudanya, Nilüfer, Osmangazi, Orhaneli, Orhangazi, Yenişehir, Yıldırım olmak üzere 17 ilçe ile toplam 10.886 km<sup>2</sup> yüzölçümüne sahip olan Bursa ilinin büyük bölümü Marmara Bölgesi sınırları içinde yer almaktadır.

Marmara bölgesinin ikinci büyük ili olan Bursa'nın jeolojik yapısı genel olarak Paleozoyik-Kuvaterner zaman aralığını temsil eden metamorfik, ofiyolitik, volkanik, plütonik ve sedimanter kaya türleri sunmaktadır (Ateş & Aktimur, 2019). İlde yerel küçük fay hatlarının yanı sıra, Kuzey Anadolu Fayı ile ilintili olarak meydana gelen büyük ölçekli faylar da bulunmaktadır. Yapısal olarak il Kuzey Anadolu Fayı etkisi altındadır. Marmara Bölgesi doğusu ve güneyinde Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey, orta ve güney kolunun hareketliliği, Geç Miyosen-Pliosen'den itibaren Bursa ili arazisini şekillendirmektedir. Bu tektonik yükselim ve havza yapılarının gelişimine olanak sağlamaktadır (Şengör & Yılmaz 1981; Yaltrak, 2002). İlin bu jeolojik ve tektonik özelliğine bağlı oluşan genel morfolojik yapısını dağ, plato ve ovalar ile taban düzlükleri oluşturmaktadır.

Köppen iklim sınıflandırmasına göre Akdeniz iklimini yansıtan "Csa" alt iklim tipi neredeyse ilin tümüne hakimdir (Akbaş & Özdemir, 2018). Bursa ili, Akdeniz ve Karadeniz ikliminin karakteristik özelliklerini taşır (Erinç, 1996). Bursa ovası ile Uludağ arasında kısa mesafede yükselti açısından belirgin farklılıklar bulunmakta dolayısıyla bu da iklimin çeşitlenmesine neden olmaktadır (Öztürk, 2010).

Bursa ilinin sahip olduğu bu jeolojik, tektonik ve klimatolojik özelliklere bağlı olarak genel topografik rölüf 0 ile 2543 m arasında değişen bir görünüm arz eder. Yükselti bakımından Marmara Bölgesi'nin en yüksek kesimini içinde barındıran ilde buzul ve buzul altı yüzey şekillerine de rastlanılmaktadır (Öztürk, 2010). Ancak ilde genel aşındırma süreçleri akarsular tarafından kontrol edilmektedir. Bu kapsamda il sınırları içindeki akarsular Marmara Denizi'ne drene olanlar ve Sakarya Nehri üzerinden Karadeniz'e drene olanlar olmak üzere iki temel drenaj alanına sahiptir (Şekil 1). Bunların haricinde İznik ve Uluabat Gölü gibi su toplama alanları da mevcuttur. Bunlardan İznik Gölü gideğininin DSİ tarafından kontrol altına alınmış olmasından dolayı kısmen kapalı drenaj formunda iken Uluabat Gölü sahip olduğu





Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası.

Figure 1. Work area location map.

devamlı gideğenle Susurluk Irmağı'na katılır ve Marmara Denizi'ne drene olur.

İldeki bu drenaj alanları içerisinde birtakım akarsular (Nilüfer Çayı, İznik Gölü drenaj havzasında bazı akarsular ve yamaçlardaki küçük boylu akarsular gibi) kaynaklarını il sınırları içerisinde alıp yine göl ve denize dökülürler. Kaynağını il sınırı içerisinde alıp il sınırı dışındaki başka kollara bağlanan Kocası Çayı, İnegöl ve Yenişehir üzerinden Sakarya Nehri'ne katılır. Bunların haricinde kaynağını il dışından alıp il sınırında dökülen Susurluk Irmağı, Orhaneli ve Emet Çayı birleşiminden Mustafakemalpaşa Çayı morfolojinin şekillenmesinde önemli rol oynayan akarsulardır.

Nüfus verilerine göre Bursa, Türkiye'nin en büyük dördüncü şehridir. Türkiye nüfusunun %3,71'i (3.187.166) Bursa il sınırlarında ikamet etmektedir. Bursa 1960'lardan bu yana kentteki sanayi yatırımlarındaki artış, hızlı iç göç ve nüfus artışına bağlı olarak kentsel genişlemenin yaşandığı bir il olmuştur (Aydın, 2014). Bursa ilinde nüfusun toplandığı alanlar genellikle ilçe merkezleri olmakla birlikte yerleşmelerin yoğunluğu dağ eteklerinde, vadilerde, su kaynakları yakınında ve ovalarda kurulmuştur (Köpük, 2003). Bursa il sınırları içerisinde ilçe, belde ve mahalle olarak toplam 735 yerleşme bulunmaktadır. Bunlardan 344 tanesi akarsu boyunca ve vadi tabanında konumlanmıştır. Bu yerleşmelerin de arasında toplam 28 tanesinde 1956 ile 2022 yılları arasında toplam 31 adet sel ve taşkın meydana gelmiştir. Yaşanan bu sel ve taşkınlarda toplam 19 kişi hayatını kaybetmiştir. Toplam maddi zarar açısından net bir bilgiye ulaşılamamakla birlikte sadece Dudaklı mahallesi taşkınında 500 bin TL maddi kayıp ortaya çıkmıştır (Seymen, 2020).

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Taşkın Hazırlayıcı Parametrelerin Belirlenmesi

Taşkın duyarlılık analizinde hazırlayıcı parametrelerin seçimi, birçok araştırmacı tarafından incelenen önemli bir konudur (Kia vd., 2012). Parametrelerin belirlenmesi ve sınıflandırılması taşkın planlaması ve azaltma önlemleri açısından önemlidir (Pir-nazar vd., 2017). Çalışmada taşkın duyarlılık analizlerinde parametre belirlerken izlenen yol hakkında genel bir çerçeve oluşturmak amacıyla çeşitli SCI/SCOPUS dergilerinde yayınlanan 150 makale değerlendirilmiştir. Buradan hareketle önceki çalışmalar temelinde parametre belirlerken izlenen yolun çalışmadan çalışmaya farklılık gösterdiği görülmüştür. Ancak incelenen 150 uluslararası ve ulusal çalışmanın 127 tanesinde parametre belirlerken literatürün dikkate alındığı tespit edilmiştir. Bu çalışmalarda literatürde yaygın olarak kullanılan parametreler tercih edilmiştir. Bunlardan atf oranı yüksek 10 çalışma Ahmadlou vd., 2018; Arabameri vd., 2019; Choubin vd., 2019; Hong vd., 2018; Khosravi vd., 2016; Lee vd., 2012; Moghadam vd., 2018; Rahmati vd., 2015; Tehrany vd., 2013; 2015 örnek olarak verilebilir (Tablo 1).

Literatüre başvurma dışında havzanın taşıdığı özelliğe (Afzali-mehr, 2021; Ali vd., 2020; Chen vd., 2019; Chapi vd., 2017; Khosravi vd., 2019; Tehrany vd., 2013, 2014, 2015), uzman görüşüne (Fang vd., 2021; Hategekimana vd., 2018; Mind'je vd., 2019; Sadat vd., 2019; Tang vd., 2018), ve kişisel tercihe (Costache, 2019; Desalegn & Mulu, 2020; Tehrany vd., 2015; Pham vd., 2020) göre de parametre belirleyen çalışmalar bulunmaktadır. Bunun dışında parametrenin güvenilir, ulaşılabilir ve hızlı bir şekilde değerlendirilebilir olması dikkat edilen bir diğer husus olmuştur (Lin vd., 2019).



**Tablo 1.** Literatüre göre atf oranı en yüksek taşkın duyarlılık parametresi kullanan yayınlar.**Table 1.** The publications using the flood susceptibility parameter with the highest citation rate according to the literature.

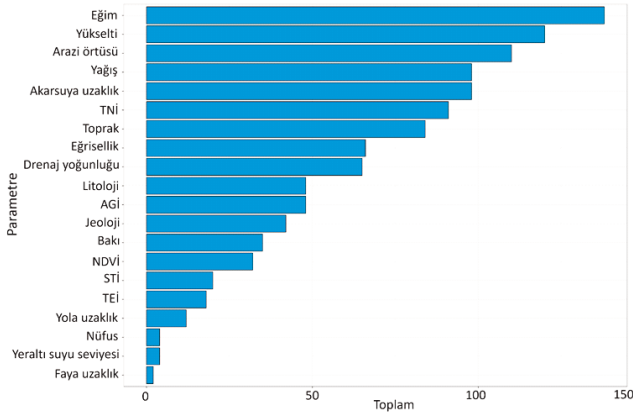
1	Yükselti, eğim, bakı, eğrisellik, akarsuya uzaklık, TNİ, D <sub>a</sub> , HTG, arazi kullanımı, litoloji.	10	437	Choubin vd., 2019
2	Litoloji, arazi kullanımı, akarsuya uzaklık, toprak, eğrisellik, TNİ, eğim.	7	366	Rahmati vd., 2015
3	Yükselti, eğrisellik, jeoloji, akarsuya uzaklık, AGİ, toprak, TNİ, eğim.	8	306	Tehrany vd., 2015
4	Litoloji, toprak, yükselti, eğim, bakı, TNİ, AGİ, STİ, eğrisellik, akarsuya uzaklık.	10	272	Hong vd., 2018
5	Yükselti, eğrisellik, jeoloji, yağış, akarsuya uzaklık, eğim, ağaç türü, ağaç çapı, ağaç yoğunluğu, AGİ, toprak.	11	225	Tehrany vd., 2013
6	D <sub>a</sub> , eğim, TNİ, arazi kullanımı, litoloji, eğrisellik, yükselti, NDVI, yağış, AGİ.	10	223	Moghadam vd., 2018
7	Eğim, eğrisellik, yükselti, TNİ, AGİ, akarsuya uzaklık, yağış, jeoloji, arazi kullanımı, NDVI.	10	198	Khosravi vd., 2016
8	Yükselti, bakı, eğim, eğrisellik, akarsuya uzaklık, toprak, litoloji, arazi kullanımı, yağış.	9	195	Ahmadlou vd., 2018
9	Yükselti, eğim, bakı, eğrisellik, TNİ, AGİ, akarsuya uzaklık, D <sub>a</sub> , NDVI, toprak, litoloji, arazi kullanımı.	12	169	Arabameri vd., 2019
10	Eğim, eğrisellik, jeoloji, arazi kullanımı, akarsuya uzaklık, ağaç yaşı, ağaç çapı, ağaç türü, ağaç yoğunluğu, toprak, yükselti.	11	167	Lee vd., 2012

Parametre belirlerken dikkate alınan özellikler dışında hangi parametrelerin kullanıldığı diğer araştırma konusu olmuştur. Taşkın potansiyelini değerlendirmek için kullanılacak parametreler adına kesin bir kural bulunmamakla birlikte her çalışmada yaygın olarak kullanılan parametreler de bulunmaktadır. Taşkın duyarlılık çalışmalarına bakıldığında genel itibarıyla literatürde sıklıkla kullanılan parametrelerin tercih edildiği görülmüştür. Buradan hareketle incelenen 150 taşkın duyarlılık çalışmasında en sık kullanılan parametreler ve adetleri; eğim (138), yükselti (120), arazi örtüsü (kullanımı) (110), yağış (98), akarsuya uzaklık (98), Topografik Nemlilik İndeksi (TNİ) (91), toprak (84), eğrisellik (66), drenaj yoğunluğu (65), litoloji (48) şeklindedir. Özellikle yükselti ve eğim faktörü kilit parametre olarak görülmektedir (Talukdar vd., 2020; Das, 2018). Bunlar haricinde etkin bir şekilde kullanılan diğer on parametre ise Akarsu Güç İndeksi (AGİ) (48), jeoloji (42), bakı (35), Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) (32), Sediman Taşınım İndeksi (STİ) (20), Topografik Engebelilik İndeksi (TEİ) (18), yola uzaklık (12), nüfus yoğunluğu (4), yeraltı suyu seviyesi (4), faya uzaklık (2) şeklindedir (Şekil 2).

Değerlendirilen bu çalışmalardan sadece 7 tanesinde (Özdemir & Bird, 2009; Ahmed vd., 2021; Alam vd., 2021; Bisht vd., 2016; Mahmood & Rahman, 2018; Jothimani vd., 2021; Özdemir & Akbaş, 2023) alansal, çizgisel ve relief morfometri kullanılarak duyarlılık analizi yapılmıştır. Diğer çalışmalardan farklı para-

metre kullanarak taşkın duyarlılık analizi yapan çalışmalara örnek olarak vadi derinliği parametresi ile Rezaie vd., (2021), Fournier indeksi (MFI), yatay yüzeysel akış mesafesi (HOFD), dikey yüzeysel akış mesafesi (VOFD) parametreleri ile Sadat vd., (2019), alüvyal fan parametresi ile Santangelo vd., (2011), çökme riski olan alan parametresi ile Cao vd., (2016), son olarak ise ağaç yaşı, çapı, türü, sıklığı parametresi ile Lee vd., (2012) ve Tehrany vd., (2013)'nin çalışmaları verilebilir. Bu doğal faktörlerin yanı sıra, rezervuarların ani sel oluşumu üzerindeki etkisi diğer farklı bir parametre olarak ele alınabilir (Zaharia vd., 2017). Taşkın hazırlayıcı parametrelerin seçimi birçok çalışmada farklılık gösterir. Bu nedenle, herhangi bir taşkın duyarlılık değerlendirmesi yapmadan önce taşkın oluşmasına katkıda bulunan birkaç faktörü göz önünde bulundurmamak çok önemlidir (Dutta vd., 2023).

Sel ve taşkın olayları birden çok nedene bağlı olarak meydana gelmektedir. Dolayısıyla bir yerin sel ve taşkın duyarlılığını analiz etmek için birden çok parametreyi dikkate almak gerekir. Bu nedenle çalışmalar tek bir parametreyle değil birden çok parametre kullanılarak sonuçlandırılmaktadır. Örneğin arazi kullanımı, toprak, litoloji, drenaj yoğunluğu, akarsuya uzaklık, topografya nemlilik indeksi (TNİ), yükselti, eğim, plan eğriliği gibi parametreler taşkın potansiyelini değerlendirmek için birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Skilodimou vd., 2003; Pradhan, 2010; Kia vd., 2012; Lee vd., 2012; Tehrany vd. 2013).



**Şekil 2.** Taşkın duyarlılık çalışmalarında kullanılan parametre dağılımı.

**Figure 2.** Parameter distribution used in flood susceptibility studies.

Ogato ve diğerlerinin (2020) çalışmasında taşkın hazırlayıcı parametre olarak eğim, arazi kullanımı, drenaj yoğunluğu, yükseklik, toprak tipi ve yağış dikkate alınmıştır. Kazakis vd., (2015), taşkına duyarlı olan alanları değerlendirmek için parametre olarak yağış, jeoloji, akarsuya uzaklık, eğim ve yükseltiyi seçmiştir. Youssef vd., (2016), parametre olarak eğrisellik, arazi kullanımı, jeoloji, toprak ve akarsudan uzaklığı ele almıştır. Hammami vd., (2019) ise taşkın tehlikesi için önemli parametreler olarak yükselti ve yağışa dikkat çekmiştir. Lin vd., (2019) taşkın hazırlayıcı parametre olarak eğim, yükselti, drenaj yoğunluğu, akarsuya uzaklık, arazi kullanımı, NDVI ve nüfus yoğunluğu parametrelerine dikkat çekerek çalışmalarında ele almıştır. Bu çalışmada nüfus yoğunluğu insan faaliyetlerinin taşkını tetiklemesi sebebiyle değerlendirmeye alınmıştır. Janizadeh vd., (2019), Bui vd., (2019), Chen vd., (2019), Arabameri vd., (2019) taşkın duyarlılık analizi için yükseklik, eğrisellik, baki, eğim, TEİ, TNİ, AGİ, STİ, arazi kullanımı / arazi örtüsü, akarsuya uzaklık, toprak ve yağış gibi taşkın hazırlayıcı 12 parametre seçmiştir.

Tella & Balogun (2020), çalışmalarında duyarlılık analiz sonucu yağış, akış ve akarsuya uzaklığı en yüksek etkiye sahip parametre olarak tespit etmiştir. Pradhan (2010), Rahmati & Pourghasemi (2016), Siahkamari vd., (2018), Tehrany vd.'ne (2013), göre en etkin parametre arazi kullanımı, yağış, akarsuya uzaklık, toprak, drenaj yoğunluğu olmuştur. Miller vd.'ne (1990) göre en önemli taşkın hazırlayıcı parametre litolojidir.

Souissi vd., (2020)'nin çalışmasında en etkili taşkın oluşum faktörleri arasında yükselti gösterilmiştir. Yapılan bu çalışmada akarsu yatağı ve çevresine yakın alçak kesimlerin daha yüksek taşkın riski taşıdığı ortaya konmuştur. Eğim ise yüzey akışını (Adiat vd., 2012) ve sızmayı (Youssef vd., 2011) kontrol ettiği için sel ve taşkın oluşumunu en fazla etkileyen diğer bir parametre olarak kabul edilmiştir (Mudashiru vd., 2021). Min'je vd., (2019), şiddetli yağmur alan bölgelerle seyrek bitki örtüsüne sahip alanların çok sayıda taşkın olayına maruz kalması nedeniyle bu koşullara sahip bölgelerin sel ve taşkın olaylarına karşı daha yüksek duyarlılığa sahip olduğunu ortaya koymuştur. Gerçekten sık ve kapalı oranı yüksek bitki örtüsü suyun hızını azaltmaya yardımcı olurken aksi durumda çok sayıda taşkın olayı gelişmektedir (Haque vd., 2021). Bunun yanında sel ve taşkın olayları genellikle akarsu yakınında kendini gösterdiği için akarsuya uzaklık parametresi (Natarajan vd., 2021), havzanın nemlilik durumunu tanımlamak için ve sel ve taşkınların belirlenmesinde TNİ, farklı arazi örtüsü türlerinin sel ve taşkın teh-

likelerini tetiklemedeki etki dereceleri nedeniyle arazi örtüsü (kullanımı) (Alam vd., 2021) sel ve taşkın duyarlılık çalışmalarında tercih edilen parametreler olmuştur.

Sonuç olarak ele alınan taşkın duyarlılık yayınlarında, değişik parametre ile değerlendirme yöntemlerinin olduğu tespit edilmiştir. Belirlenen parametreler ise çalışmanın amacı ve benimsenen analiz ölçeği ile ilişkili olduğu için kullanılan veri tabanı her çalışmada farklılık göstermekle birlikte hemen hemen her duyarlılık çalışmasında kullanılan temel parametreler de bulunmaktadır. Ancak bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan farklı olarak taşkın hazırlayıcı parametreler, taşkın envanterine göre Bursa ili sınırları içerisinde vadi tabanı ve akarsu kenarında sel ve taşkınların yaşandığı yerleşmelerin gerisindeki havzalarının analizi ile belirlenmiştir. Bu kapsamda önce envanter verisine bağlı havzalar belirlenmiş, bu havzaların sel-taşkın üretmedeki etkilerine bağlı olarak çalışma şekillendirilmiştir.

## 2.2. Taşkın Envanteri ve Metodoloji

Çalışma kapsamında Bursa iline ait sel ve taşkın envanteri için Devlet Su İşleri (DSİ) ve Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD)'ndan temin edilen veriler, çevrimiçi mevcut bilgiler ve farklı gazetelerde yayımlanmış haberler ve raporlar kaynak olarak kullanılmıştır. Özellikle yerleşmelerde hangi akarsuyun ve havzasının sel ve taşkına neden olduğu net olarak belirlenebilen olaylar ve envanter bilgileri bu çalışmada tercih edilmiştir. Buna bağlı olarak oluşturulan envanter verisi Tablo 2'de verilmiştir.

Çalışmada, envantere bağlı olarak belirlenen 28 yerleşme (Şekil 3), 5m çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), 1:25000 ölçekli hidrolojik toprak gurupları (HTG) ve raster yağış verileri (WorldClim) temel altlık verileri oluşturmaktadır. Bu verilerden 5m SYM verisi temelinde yerleşme noktaları havza çıkışı olarak kabul edilerek 28 su toplama havzası üretilmiştir.

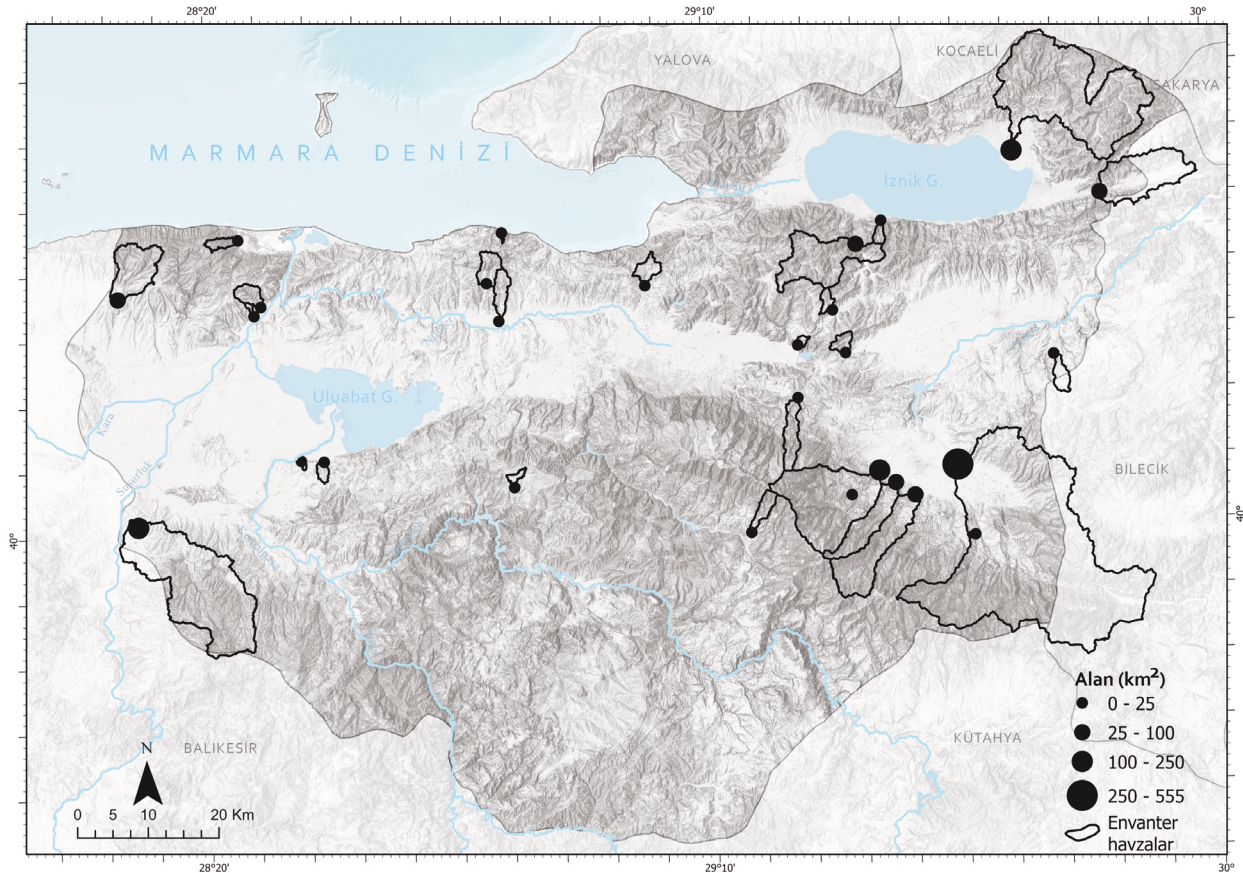
Bu havzalara ve 200 eşik değeriyle D8 yöntemi (Jenson & Domingue, 1988; Özdemir & Bird, 2009; Elbaşı & Özdemir, 2018) temelinde belirlenen akarsu ağlarına Tablo 3'te verilen çizgisel, alansal ve rölyef morfolojik parametreleri uygulanmıştır. Bunun yanında akımlar üzerinde belirleyici etkisi olması bakımından eğim, topografik nemlilik indeksi, akarsu güç indeksi, yağış, hidrolojik toprak gurupları gibi parametreler de havzalara uygulanmış ve sonuçları değerlendirilmiştir (Tablo 3).

Çok sayıda havzanın analizinin yapıldığı çalışmalarda, sonuçların sınıflara ayrılıp yorumların daha kolay yapılması sağlanabilmektedir. Her parametrenin farklı bir doğası ve büyüklüğü vardır ve bu nedenle elde edilen sonuçların normalleştirilmesi sonuçları daha kolay anlamlandırmak ve sübjektifliğin azaltılması bakımından önemlidir (Lin vd., 2019; Özdemir & Akbaş, 2023). Çalışmada belirlenen 12 temel parametre havzalara uygulandıktan sonra elde edilen sonuçlar Eşitlik 1'de verilen, Özdemir & Akbaş (2023) tarafından geliştirilen NMFİ kullanarak normalize edilmiştir. Böylelikle sınıflara ayırmadaki sübjektiflik ortadan kaldırılarak daha tutarlı ve güvenilir bir sınıflandırma imkanı sağlanmıştır.

$$NMFİ = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n \left( \frac{m_i - m_{i\min}}{m_{i\max} - m_{i\min}} \text{ ya da } \frac{m_i - m_{i\max}}{m_{i\min} - m_{i\max}} \right) \quad (1)$$

**Tablo 2.** Bursa ili 1956-2022 yılları arası sel ve taşkın envanteri.**Table 2** Flood inventory of Bursa province between 1956-2022.

İlçe	Mahalle	Hasarlı Konut	Oluşum Tarihi	Akarsu Adı	Kod
İnegöl	Gündüzlü	15 / 14	1961/1983	-	1
İnegöl	Hocaköy	1 / 24	1963/1968	Aliağa	2
İnegöl	İsaören ve Cerrah	1500ev boşatıldı	19.12.1962	Bedre	3-4
İnegöl	Kulaca	2 / 9	14.03.1968/21.06.1972	Koca	5
İnegöl	Sule	3	02.1987	-	6
İznik	Çakırca	27	25.06.1972	Karasu	7
İznik	Kaynarca	14	23.11.1967	Kıran	8
Karacabey	Akçasusurluk	10	29.07.1972	Sarp	9
Karacabey	Bayramdere	1	27.10.2014	Köy	10
Karacabey	Çarık	8	1972	Köy	11
Karacabey	Yeşildere	4	21.05.2021	Cambaz ve Karanç	12
Keles	Pınarcık	21	1968	Akdere	13
Kestel	Aksu	14	21.06.2020	Aksu	14
Kestel	Dudaklı	28	21.06.2020	Kadıncıkboğazı	15
Kestel	Gölcük	5	21.06.2020	Boğaz	16
Kestel	Seymen	15	21.06.2020	Köyboğazı	17
Mustafakemalpaşa	Adaköy	23	1956	Kara	18
Mustafakemalpaşa	Ayaz	1	18.12.1981	-	19
Mustafakemalpaşa	Karaoğlan	1	18.12.1981	Köy ve Kemer	20
Mudanya	Balabancık	1	18.12.1981	Çınarcık	21
Mudanya	Dereköy	20	22.12.1968	Kelek ve Değirmendere	22
Mudanya	Kumyaka	14	01.09.2022	Kışla	23
Orhangazi	Bayırköy	1	04.06.1972/21.06.2020	Fındıcak	24
Orhangazi	Paşapınarı	11	24.08.2022	Kuzuluk	25
Orhaneli	Başköy	1	07.07.2021	Akpınar	26
Osmangazi	Ovaakça	1	06.07.2021	Dürdane	27
Yenişehir	Günece	10	16.04.1984	Kaynaklar	28

**Şekil 3.** Çalışma alanı sel ve taşkın envanter haritası.**Figure 3.** Flood inventory map of the study area.



**Tablo 3.** Yerleşme havzalarına uygulanan taşkın duyarlılık parametreleri.  
**Table 3.** Flood susceptibility parameters applied to settlement basins.

Çizgisel Morfometri	Formül	Açıklama	Kaynak
Çatallanma Oranı ( $R_b$ )	$R_b = N_u / N_{u+1}$	$N_u$ = akarsu havzasındaki dizin sayısı. $N_{u+1}$ = bir sonraki toplam dizin sayısı.	Schumm, 1956.
Uzunluk Oranı ( $R_L$ )	$R_L = L_u / L_{u+1}$	$L_u$ = dizin sayısı toplam uzunluğunu m. $L_{u+1}$ = sonraki dizin sayısı uzunluğu m.	Patton, 1988.
Tekstür Oranı (T)	$T = N_{u1} * (1/P)$	$N_{u1}$ : 1.dizinlerin toplam sayısı. P: Havzanın çevre uzunluğu(km).	Horton, 1945.
Alansal Morfometri	Formül	Açıklama	Kaynak
Drenaj Yoğunluğu ( $D_d$ )	$(D_d) = \Sigma L / A$	$\Sigma L$ : Toplam akarsu uzunluğu (km). A: Havza alanı (km <sup>2</sup> ).	Horton, 1932, 1945
Havza Şekli ( $R_f$ )	$R_f = A / L_b^2$	A: Havza alanı (km <sup>2</sup> ). $L_b$ : Havza uzunluğu (km).	Horton, 1932.
Relief Morfometri	Formül	Açıklama	Kaynak
Engebelilik Değeri ( $R_n$ )	$R_n = B_h \times D_d$	$B_h$ : Havza reliefi (km). $D_d$ : Drenaj yoğunluğu.	Schumm, 1956.
Akım Toplanma Zamanı ( $T_c$ )	$T_c = 0.0195 * L^{0.77} / S^{-0.385}$	$T_c$ : Akım toplanma zamanı (dakika), L: Ana akarsu uzunluğu (m), S: Havza eğimidir (m/m) dir.	Kirpich, 1940.
Diger YüzeY Parametreleri	Formül	Açıklama	Kaynak
Eğim	$\tan \theta = \frac{\text{düşey mesafe}}{\text{yatay mesafe}}$	Yüksekliğin x ve y yönlerindeki değişiminin derece veya yüzde cinsinden hesaplanmasıdır.	Yalçın, 2012.
Topografik Nemlilik İndeksi (TNİ)	$TNİ = \frac{\ln(A_s)}{\tan \beta}$	( $A_s$ ) havza alanının akış birikimi. $\beta$ , eğim gradyanı (derece olarak)	Beven ve Kirkby, 1979.
Akarsu Güç İndeksi (AGİ)	$AGİ = A_s \times \tan \beta$	( $A_s$ ) havza alanının akış birikimi. $\beta$ , eğim gradyanı (yüzde olarak)	Moore vd., 1991.
Yağış	WorldClim, BIO12	BIO12 = Yıllık yağış	Fick vd., 2017
Toprak	Hidrolojik Toprak Grupları (HTG)	Grup Yüzeysel Akış Geçirgenlik A Düşük Yüksek B Normal Orta C Yüksek Düşük D Çok yüksek Çok düşük	Özer, 1990.

Denklemden; NMFI: Normalize edilmiş Morfometrik Taşkın İndeksi,  $m_i$ : parametre değeri,  $m_{imin}$ : i parametresinin minimum değerini,  $m_{imax}$ : i parametresinin maksimum değerini, n: dikkate alınan parametre sayısıdır (Özdemir & Akbaş, 2023). Ancak burada taşkın duyarlılık için kullanılan parametrelerin çıkan sonuçlarının maksimum ve minimum değerinin etkisine bağlı olarak denklem tersinden işletilebilmektedir. Örneğin drenaj yoğunluğuna normal formül uygulanırken çatallanma oranı ve akım toplanma zamanı gibi düşük değerlerin maksimum etki yaptığı analizlerde ters formül uygulanmaktadır. Objesele parametreler dışındaki alansal parametrelerde havzaların medyan değerlerine bağlı olarak normalize işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bunun nedeni ortalama gibi aşırı uç değerlerden etkilenip sapsalardan etkilenmemesidir. Çalışmada normalizasyon işlemi sonucu değerler 0 ile 1 arasında toplanmış ve daha sonra dört gruba ayrılarak düşük (0-0.25), orta (0.25-0.50), yüksek (0.50-0.75) ve (0.75-1) çok yüksek olarak sınıflandırılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada literatürdeki taşkın duyarlılık çalışmalarına kıyasla gerek parametre belirlerken izlenen yol gerekse değerlendirmeye alınan parametreler bakımından yeni bir yaklaşım kullanılmıştır. İlgili araştırmaların büyük bir çoğunluğunda (%84) literatürde sıklıkla kullanılan parametreler tercih edilmiştir. Bu çalışmada ise taşkın duyarlılık için Bursa il sınırları içerisinde

belirlenen envanter taşkın verilerine bağlı olarak yerleşme havzalarının sahip olduğu özelliklere ve yoğunluklarına göre parametre belirlemesi yapılmıştır. Bu nedenle belirlenen 28 havzaya havza morfometrisine ait 12 parametre uygulanmış ve NMFI değerlerine göre ağırlıklandırılmıştır.

#### 3.1. Çizgisel Morfometrik Özellikler

Havzaların ilk bakışta göze çarpan ve çizgilerden oluşan şekillerin değerlendirilmesiyle ortaya çıkan özellikleridir. Bu özellikler temelinde akarsu dizinlerinin sayısı, uzunluğu, havzanın çevre uzunluğu gibi parametreler vardır (Özdemir, 2011). Bu çalışmada çizgisel morfometrik özelliklerden Çatallanma Oranı ( $R_b$ ), Uzunluk Oranı ( $R_L$ ) ve Tekstür Oranı (T) analiz edilmiştir.

**Çatallanma Oranı ( $R_b$ ):** Horton tarafından Playfair yasası kullanılarak geliştirilen çatallanma oranı, Strahler akarsu metodu temelli havzadaki bir dizine ait akarsu kollarının toplam sayısının bir üst dizine ait akarsu kollarının toplam sayısına oranı olarak ifade edilmektedir (Elbaşı & Özdemir, 2018). Taşkına karşı daha yüksek duyarlılık, daha düşük çatallanma oranı ile doğrudan ilişkilidir. Bu anlamda envanter havzaların çatallanma oranı değerleri düşük olması sebebiyle taşkına karşı çok yüksek duyarlı olan sınıfta bulunmaktadır. Çalışmada tarihsel sel ve taşkın envanterini oluşturan havzaların çatallanma oranı değerleri normalize edildiğinde çoğunluğu çok yüksek ve yüksek sınıfın

oluşturduğu görülmüştür. Bu sınıflarda toplamda 19 havza çok yüksek ve yüksek sınıfta yer almıştır. Geriye kalan 9 havzadan 8 tanesi orta sınıfta 1 tanesi ise düşük sınıftadır (Şekil 4a). Normalize değerlerde tüm havzaların ortalama değeri 0.59 standart sapma değeri ise 0.20'dir.

**Uzunluk Oranı ( $R_l$ ):** Toplam akarsu uzunluğu Strahler yöntemine bağlı olarak belirli bir dizinin toplam uzunluğunun bir üst dizinin toplam uzunluğuna oranı olarak ifade edilmektedir (Patton, 1988). Değerlerin yüksek çıkması alt kollara su taşıyan üst kolların fazlalığını ve alt kolların da yetersiz olduğunu ortaya koyar. Bu bakımdan  $R_l$  değeri yüksek çıkan havzalar için düşük çıkan havzalara göre üst kolların fazlalığına bağlı olarak taşkın üretme potansiyeli daha yüksektir denilebilmektedir. Çalışmada tarihsel sel ve taşkın envanterini oluşturan havzaların uzunluk oranı değerleri normalize edildiğinde çoğunluğu 0.00 – 0.25 arasında olan düşük sınıfın oluşturduğu görülmüştür. Bu sınıfta toplamda 25 havza bulunmaktadır (Şekil 4b). Geriye kalan 3 havzadan 2 tanesi orta sınıfta 1 tanesi ise çok yüksek olan sınıftadır. Normalize değerlerde tüm havzaların ortalama değeri 0.07 standart sapma değeri ise 0.19'dur.

**Tekstür Oranı ( $T$ ):** Strahler yöntemine bağlı olarak 1. dizinlerin toplam sayısı ile havzanın çevre uzunluğu arasındaki oranın sonucunu vermektedir. Taşkın riski yüksek olan dairesel havzalarda  $T$  değeri daha yüksek değere sahipken, taşkın riski düşük olan uzunlamasına havzalarda  $T$  değeri daha düşük değerler gösterir (Özdemir, 2011). Çalışmadaki havzaların tekstür oranı değerleri normalize edildiğinde çoğunluğu 0.00 – 0.25 arasında olan düşük sınıfın oluşturduğu görülmüştür. Bu sınıfta toplamda 19 havza bulunmaktadır (Şekil 4c). Geriye kalan 9 havzadan 5 tanesi orta, 3 tanesi yüksek, 1 tanesi ise çok yüksek olan sınıftadır. Normalize değerlerde tüm havzaların ortalama ve standart sapma değeri ise 0.24'tür.

### 3.2. Alansal Morfometrik Özellikler

Çizgisel morfometri ile sadece drenaj ağlarıyla ilgili değerlendirmeler yapılırken alansal morfometri ile hem drenaj ağı hem de tüm havza yüzeyi değerlendirilmektedir (Ritter vd., 1995). Havzaların alansal özelliklerine bağlı morfometrik parametreler, havzaya düşen yağışların toplanması ve yüzeysel akışın birikimi bakımından önemlidir (Özdemir, 2011). Bu çalışmada değerlendirilmiş olan başlıca alansal morfometri parametreleri drenaj yoğunluğu ( $D_d$ ) ve havza şekli ( $R_f$ )'dir.

**Drenaj Yoğunluğu ( $D_d$ ):** Horton tarafından üretilmiş olup sahanın genel itibarıyla strüktürel yapısının bir yansıması olarak karşımıza çıkmaktadır. ( $D_d$ ) değeri, havzaların akarsular tarafından parçalanma derecesini verir. Drenaj yoğunluğu ile taşkınlar arasında pozitif bir ilişki görülmektedir (Carlston, 1963). Daha fazla yüzey akışının olduğunu gösteren yüksek drenaj yoğunluğu, daha yüksek sel ve taşkın riskiyle önemli ölçüde bağlantılıdır (Mahmoud & Gan, 2018). Çalışmada tarihsel sel ve taşkın envanterini oluşturan havzaların drenaj yoğunluğu değerleri normalize edildiğinde çok yüksek ve yüksek sınıfta 12 havza, orta sınıfta 12 havza geriye kalan 4 havza ise düşük sınıftadır (Şekil 4d). Normalize değerlerde tüm havzaların ortalama değeri 0.48 standart sapma değeri ise 0.25'tir.

**Havza Şekli ( $R_f$ ):** Havzanın dairesel ya da uzunlamasına olup olmadığı hakkında bilgi verir (Utlu & Özdemir, 2018). Düşük de-

ğerler (0'a yaklaşan) dar ve uzun havzalar olarak nitelendirilmektedir. Yüksek değerler (1'e yaklaşan) ise daha kısa veya orta uzunlukta, yani daireselliğe yaklaşan havzalar olarak nitelendirilir (Horton, 1932). Bu çalışmada tarihsel sel ve taşkın envanterini oluşturan havzaların  $R_f$  değeri normalize edildiğinde çoğunluğu 0.00 – 0.25 arasında olan düşük sınıfın oluşturduğu görülmüştür. Bu sınıfta toplamda 14 havza bulunmaktadır (Şekil 4e). Öte yandan orta sınıfta 9 havza yüksek sınıfta 4, çok yüksek sınıfta ise 1 havza bulunmaktadır. Normalize değerlerde tüm havzaların ortalama değeri 0.29 standart sapma değeri ise 0.23'tür.

### 3.3. Relief Morfometrik Özellikler

Bir havzanın relief morfometrisi havzanın eğim ve yükselti değerlerinin içinde bulunduğu üç boyutlu özelliklerini yansıtır (Withanage vd., 2014). Relief morfometrisinde havzanın yükseklik özelliklerine ek olarak birtakım çizgisel ve alansal özellikleri kullanılarak havzayı karakterize edebilecek relief parametreleri hesaplanır. Bu çalışmada relief morfometrik parametrelerden engebellik değeri ( $R_n$ ) ve akım toplanma zamanı ( $T_c$ ) kullanılmıştır.

**Engelibellik Değeri ( $R_n$ ):** Havzanın sızma, su akım gravitesi, yüzeysel akış şartları ve erozif faaliyetleri hakkında bilgi vermektedir (Reddy vd., 2004). Genel olarak yüksek taşkın potansiyeline sahip havzalar, yüksek engebellik değeriyle iyi drene olmuş, vadi yamaçlarındaki yüzeysel akışın minimum düzeyde olduğu ve yüksek kanal eğimine sahip havzalardır (Patton & Baker, 1976). Bu çalışmada envanter havzalarının  $R_n$  değeri çoğunlukla 0.00 – 0.25 arasındaki düşük sınıfta elde edilmiştir. Bu sınıfta toplamda 16 havza bulunmaktadır (Şekil 4f). Orta sınıfta 5 havza, yüksek sınıfta 4, çok yüksek sınıfta ise 3 havza tespit edilmiştir. Normalize değerlerde tüm havzaların ortalama değeri 0.30 standart sapma değeri ise 0.29'dur.

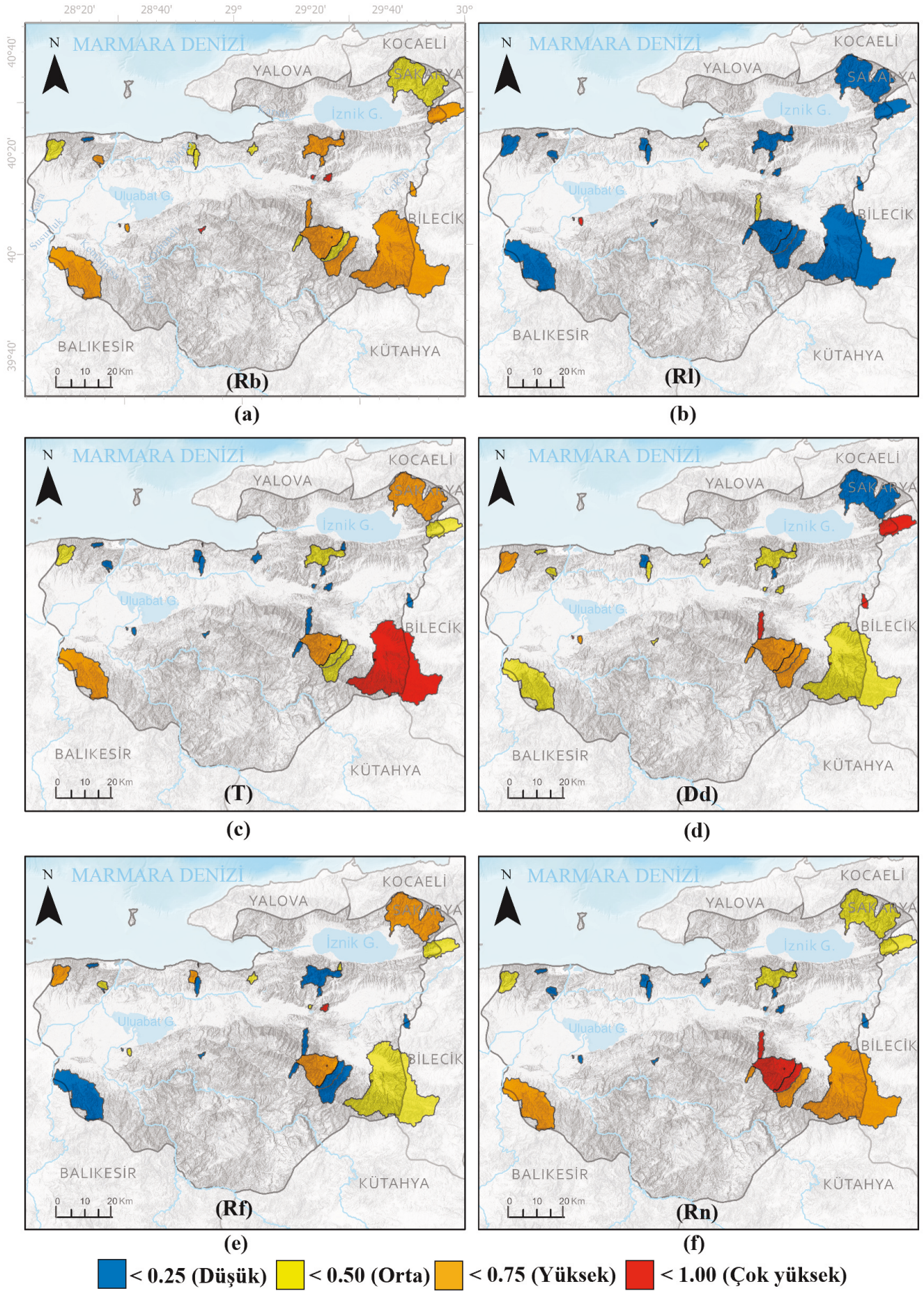
**Akım Toplanma Zamanı ( $T_c$ ):** Suyun havzanın en uzak noktasından ana kola veya denize döküldüğü yere kadarki geçen zamanı ifade eder (Fang, 2007). Akım toplanma zamanının kısa olması üst havzadan havza çıkış noktasına suların çok hızlı bir şekilde ulaştığını göstermektedir. Çalışmada envanter havzaların akım toplanma zamanı değerlendirildiğinde 17 havzanın 0.75 – 1.00 arasında olan çok yüksek sınıfta yer aldığı görülmüştür (Şekil 5g). Bununla birlikte yüksek sınıfta 3 havza, orta sınıfta 4, düşük sınıfta ise 4 havza bulunmaktadır. Normalize değerlerde tüm havzaların ortalama değeri 0.66 standart sapma değeri ise 0.31'dir.

### 3.4. Diğer Yüzey Parametreleri

**Eğim:** Eğim belirli iki nokta arasındaki düşey mesafenin yatay mesafeye oranının tanjant açısıyla ifadesidir. Taşkın meydana getiren su, daha yüksek kotlardan alçak kotlara doğru akar. Su akışının hızını ve yüzey akışının sızmasını doğrudan etkilemesi sebebiyle taşkın duyarlılık analizinde önemli bir parametredir (Kazakis vd., 2015). Bu çalışmada tarihsel sel ve taşkın envanterini oluşturan havzaların eğim değerleri medyanlarına (ortanca) göre normalize edildiğinde çoğunluğu çok yüksek ve yüksek (%68) sınıfın oluşturduğu görülmüştür. Bu sınıflarda toplamda 19 havza bulunmaktadır (Şekil 5h). Öte yandan orta sınıfta 5 havza düşük sınıfta ise 4 havza bulunmaktadır. Normalize değerlerde tüm havzaların ortalama değeri 0.60 standart sapma değeri ise 0.26 olarak elde edilmiştir.

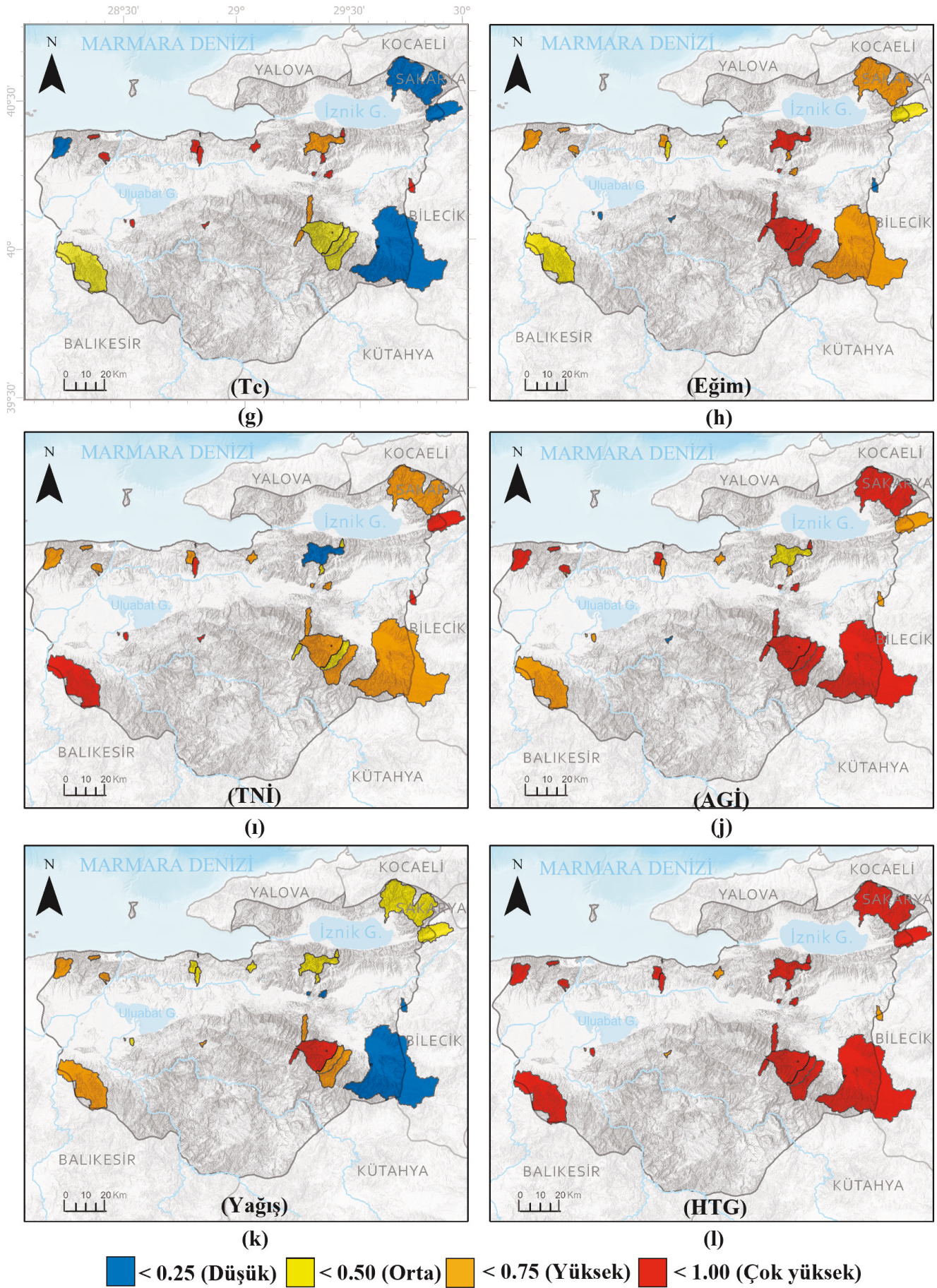
**Topografik Nemlilik İndeksi (TNI):** Topografik Nemlilik İndeksi (TNI) ilk olarak Beven ve Kirkby (1979) tarafından geliştirilmiştir.





Şekil 4. Havzaların taşkın duyarlılığı için değerlendirilen morfolometrik parametrelerin normalleştirilmiş değer dağılımları.  
 Figure 4. Normalized value distributions of morphometric parameters assessed for flood susceptibility of the catchments.





Şekil 5. Havzaların taşkın duyarlılığı için değerlendirilen parametrelerinin normalleştirilmiş değer dağılımları.  
 Figure 5. Normalized value distributions of parameters assessed for flood susceptibility of the catchments.



Bir hücrenin su biriktirme eğilimini tanımlayan hidroloji temelli bir topografik indekstir (Mattivi vd., 2019). Yüksek TNİ değerleri daha yüksek toprak nemi içeriğini ve taşkın olasılığını gösterir (Shit vd., 2020). Bu çalışmada tarihsel sel ve taşkın envanterini oluşturan havzaların TNİ değerleri medyanlarına göre normalize edildiğinde çoğunluğu yüksek ve çok yüksek (%75) sınıfın oluşturduğu görülmüştür. Bu sınıflarda toplamda 21 havza bulunmakta olup geri kalan 6 havza orta sınıfta, 1 havza ise düşük sınıfta yer almaktadır (Şekil 5). Normalize değerde tüm havzaların ortalama değeri 0.59 standart sapma değeri ise 0.20 olarak bulunmuştur.

**Akarsu Güç İndeksi (AGİ):** Akarsu güç indeksi akarsuyun sediman taşıma ve akışın yatağı aşındırma gücünü ifade eder. Nehir sistemleri üzerinde oldukça etkilidir (Tehrany vd., 2015). Yüksek değer, nehirlerin daha fazla taşma potansiyeline sahip olduğunu gösterir (Seydi vd., 2022; Mitra & Das, 2022). Çalışmada envanter havzaların akarsu güç indeksi değerleri medyanlarına göre normalize edildiğinde 16 havzanın 0.75 – 1.00 arası çok yüksek sınıfta yer aldığı görülmüştür. Bunun yanında 9 havza yüksek sınıfta, 2 havza orta ve 1 havza da düşük sınıfta olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5j). Normalize değerde tüm havzaların ortalama değeri 0.74 standart sapma değeri ise 0.21'dir.

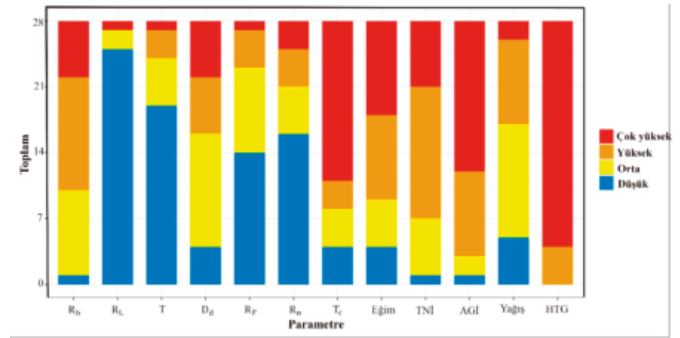
**Yağış:** Yağış taşkın oluşumunda temel nedenlerden bir tanesidir. Sürekli yağış alan yerlerde toprak doymaya olacağı için su kütlelerinin emilimini azaltacak ve taşkın olasılığının artmasına sebep olacaktır. Yağışın alansal olarak dağılımına bakıldığında özellikle Uludağ çevresindeki havzalar 950-1463 mm ile en yüksek değerlere ulaşmaktadır (Akbaş & Özdemir, 2018). Çalışma sahasının yağış haritasını oluşturmak için 1970-2000 yılları arasındaki ölçümlere dayanan WorldClim verilerinden yararlanılmıştır. Çalışma sahası havzalarının yıllık ortalama yağış miktarı 467 mm ile 864 mm arasında değişiklik göstermektedir. Tarihsel sel ve taşkın envanterini oluşturan havzaların yağış değerleri medyanlarına göre normalize edildiğinde çok yüksek sınıfta 2, yüksek sınıfta 9, orta sınıfta 12, düşük sınıfta ise 5 havza bulunmaktadır (Şekil 5k). Normalize değerde tüm havzaların ortalama değeri 0.45 standart sapma değeri ise 0.22'dir.

**Hidrolojik Toprak Grubu (HTG):** Bir toprak grubunun hidrolojik özellikleri, su toplama havzasının analizinde temel parametrelerden biridir (Özer, 1990). Genel olarak toprak, sızma miktarını ve yüzeyel akışı etkiler (Nicholls & Wong, 1990). Çalışmada envanter havzalarının HTG verisi için Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nün hazırlamış olduğu 1/25000 ölçekli topografik haritaların özelliklerinden faydalanılmıştır. A, B, C ve D gruplarından oluşan HTG özellikleri kısaca şu şekildedir. Grup A düşük yüzey akış potansiyeli, Grup B normal yüzey akış potansiyeli, Grup C yüksek yüzey akış potansiyeli, Grup D çok yüksek yüzey akış potansiyelini gösterir. Şişme potansiyeli olan kil içeriğine sahip D grubu topraklarda yüzeydeki kil tabakasından dolayı su iletkenliği çok yavaştır. Tarihsel sel ve taşkın envanterini oluşturan havzaların hidrolojik toprak grupları baskın (dominant) gruba göre değerlendirildiğinde çoğunluğu D grubu (%86) toprakların oluşturduğu görülmüştür. Geri kalan %14 lük kısım ise C grubu topraklardan oluşmaktadır (Şekil 5l). C ve D gruplarının havzanın çoğunluğunu oluşturması gelen yağışın sızmadan ziyade akışa geçtiğini ifade etmektedir.

### 3.5. Envanter Havzaların Taşkın Duyarlılık Parametreleri

Sel ve taşkın envanter havzalarına göre yapılan tüm bu analizlerle en etkin parametre olarak Çatallanma oranı ( $R_b$ ), Drenaj yoğunluğu ( $D_d$ ), Akım toplanma zamanı ( $T_c$ ), eğim, Topografik Nemlilik İndeksi, Akarsu Güç İndeksi ve Hidrolojik Toprak Grupları belirlenmiştir (Şekil 6).

Öte yandan hem taşıdığı özellik bakımından düşük değer aldığı zaman pik oluşturma potansiyelinin düşük olması, hem de normalize değere göre düşük sınıfta daha fazla havzaya sahip olması nedeniyle etkisiz olan parametreler ise 25 havza ile Uzunluk oranı ( $R_l$ ), 19 havza ile Tekstür oranı (T), 14 havza ile Havza şekli ( $R_f$ ), 16 havza ile Engebelilik oranıdır ( $R_n$ ). Literatürde incelenen taşkın duyarlılık çalışmalarına göre her çalışmanın sonucunda sel ve taşkın neden olan etkili parametreler tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmayla ortak etkili parametrelere sahip çalışmalara örnek olarak Tablo 4' deki çalışmalar verilebilir. Taşkını tetikleyen etkili parametrelerin belirlenmesi, taşkın hidrolojisini anlamak ve çalışma alanı için taşkın azaltma politikası geliştirmek bakımından önemlidir (Alam vd., 2021). Özellikle uluslararası ölçekli literatürde taşkın duyarlılık analizlerinde etkili parametrelerinin belirlenmesi birçok bilim insanının araştırma konusu olmuştur.



Şekil 6. Normalize edilen parametrelerin envanter havzalarına göre dağılımı.

Figure 6. Distribution of normalized parameters by inventory basin.

Tablo 4. Literatürde taşkın neden olan etkili parametreler.

Table 4. Effective parameters causing flooding in the literature.

Kaynak	Etkili parametre
Wang vd., 2019	Eğim, yağış, TWI, AGİ, toprak.
Penki vd., 2022	Eğim, drenaj yoğunluğu, yağış, TNİ, AGİ.
Ahmadlou vd., 2020	Drenaj yoğunluğu, TNİ, yağış, toprak.
Saravanan vd., 2023	Eğim, TNİ, AGİ, toprak.
Swain vd., 2020	Eğim, drenaj yoğunluğu, yağış.
Al-aizari vd., 2022	Eğim, drenaj yoğunluğu, TNİ.
Das ve Gupta 2021	Eğim, drenaj yoğunluğu, TNİ.

## 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada literatür değerlendirmelerine bağlı olarak taşkın duyarlılık çalışmalarında değişik parametrelerin kullanıldığı ortaya konmuştur. Çalışmalardaki parametre tercihi literatürde sıklıkla kullanılan parametreler üzerinde yoğunlaşmak şeklinde olmuştur. Bunlar sırasıyla eğim (138 makale), yükselti (120 makale), arazi örtüsü (kullanımı) (110 makale), yağış (98 makale), akarsuya uzaklık (98 makale), Topografik Nemlilik İndeksi (TNİ)

#### 4. Sonuç ve Öneriler

(91 makale), toprak (84 makale), eğrisellik (66 makale), drenaj yoğunluğu (65 makale), Akarsu Güç İndeksi (AGİ) (48 makale) şeklindedir. Ancak bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan farklı olarak taşkın hazırlayıcı parametreler, taşkın envanterine göre Bursa ili sınırları içerisinde vadi tabanı ve akarsu kenarında sel ve taşkınların yaşandığı yerleşmelerin girişindeki havzaların analizi ile belirlenmiştir. Bu anlamda parametre belirlemek amacıyla ele alınan envanter havzalar, hem çizgisel, alansal, relief özellikler hem de diğer (eğim, TNİ, AGİ, yağış, HTG) parametrelerle birlikte analiz edilmiştir. Parametrelerin sınıflandırılmasında ise elde edilen değerler 0-1 arasında normalize edilerek yoğunluklarına bağlı olarak taşkın duyarlılık için parametre katsayıları oluşturulmuştur. Sonuç olarak Bursa il sınırları içerisinde ele alınan envanter havzalarda çatalanma oranı ( $R_D$ ), drenaj yoğunluğu ( $D_d$ ), akım toplanma zamanı ( $T_C$ ), eğim, topografik nemlilik indeksi, akarsu güç indeksi, hidrolojik toprak grupları taşkın duyarlılık analizinde en önemli faktörler olmuştur. Bu parametreler, çalışma alanında taşkına neden olmalarındaki önemleri nedeniyle seçilmiştir. Çalışma neticesinde envantere bağlı olarak belirlenen etkin parametreler sayesinde Bursa ilindeki diğer tüm yerleşme havzalarının taşkın duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesi mümkün olacaktır. Bu anlamda çalışmada vurgulanan nokta literatürde taşkın hazırlayıcı faktörleri belirlemede kullanılan yöntem nazaran bu çalışmada kullanılan yöntemdir. Bu makale, gelecekteki ilgili çalışmalarda mevcut bilgileri geliştirmek ve taşkın duyarlılık çalışmasında izlenecek yol hakkında yardımcı olmak için gözlemler ve öneriler sunmaktadır. Kullanılan metodoloji ve faktörler, taşkına duyarlılık analiziyle ilgili diğer çalışmalarda da taşkın hasarının yönetimi, kontrolü ve azaltılmasını sağlamak için kullanılabilir.

**Çıkar Çatışması/Conflict of Interest:** Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder. The authors declare that there is no conflict of interest.

**Yazar Katkısı/Author contribution:** Çalışma konsepti ve tasarımı İ. K. ve H. Ö. tarafından yapılmıştır. İ. K. ve H. Ö. tarafından veriler toplanmış ve değerlendirilmiştir. İlk yazım kısmı İ. K. tarafından yapıp daha sonra H. Ö. tarafından okunmuş, en son gerekli düzeltmeler İ. K. ve H. Ö. tarafından yapılmıştır. The study concept and design were made by İ. K. and H. Ö. Data were collected and evaluated by İ. K. and H. Ö. The first writing part was made by İ. K. and later read by H.Ö., the last necessary corrections were made by İ. K. and H. Ö.

**Teşekkür ve Katkı Belirtme:** Bu çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi SDK-2022-1081 nolu proje tarafından desteklenmektedir. Çalışma sırasında verdiği desteklerden dolayı Doç. Dr. Tolga GÖRÜM ve Dr. Öğr. Üyesi Abdullah AKBAŞ'a teşekkür ederiz.

#### Kaynakça

- Adiat, K. A. N., Nawawi, M. N. M., & Abdullah, K. (2012). Assessing the accuracy of GIS-based elementary multi criteria decision analysis as a spatial prediction tool—a case of predicting potential zones of sustainable groundwater resources. *Journal of Hydrology*, 440, 75-89. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.03.028>
- Ahmadlou M., Karimi M., Alizadeh S., Shirzadi A., Parvinnejhad D., Shahabi H., & Panahi M. (2018). Flood susceptibility assessment using integration of Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System (Anfis) and Biogeography-Based Optimization (BBO) and BAT algorithms (BA). *Geocarto International*, 34(11), 1252–1272. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.03.028>
- Akbaş, A., & Özdemir, H. (2018). Marmara Denizi havzasının hidroklimatolojik dinamiklerinin belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (70), 123-131. <https://doi.org/10.17211/tcd.401265>
- Al-Aizari, A. R., Al-Masnay, Y. A., Aydda, A., Zhang, J., Ullah, K., Islam, A. R. M. T., & Liu, X. (2022). Assessment analysis of flood susceptibility in Tropical Desert area: a case study of Yemen. *Remote Sensing*, 14(16), 4050.
- Alam, A., Ahmed, B., & Sammonds, P. (2021). Flash flood susceptibility assessment using the parameters of drainage basin morphometry in SE Bangladesh. *Quaternary International*, 575, 295-307. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.04.047>
- Ali, S. A., Parvin, F., Pham, Q. B., Vojtek, M., Vojteková, J., Costache, R., & Ghorbani, M. A. (2020). GIS-based comparative assessment of flood susceptibility mapping using hybrid multi-criteria decision-making approach, naïve Bayes tree, bivariate statistics and logistic regression: a case of Topľa basin, Slovakia. *Ecological Indicators*, 117, 106620. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106620>
- Arabameri A., Rezaei K., Cerdà A., Conoscenti C., & Kalantari Z. A. (2019). Comparison of Statistical Methods and multi-criteria decision making to map flood hazard susceptibility in Northern Iran. *Science of the Total Environment*, 660, 443–458. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.021>
- Ardel, A. (1943). Marmara bölgesinin güneydoğu havzalarının morfolojik karakterleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, (2), 160-173.
- Ardel, A. (1956). Marmara bölgesinde coğrafi müşahedeler. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 4(7), 1-16.
- Ardel, A. (1960). Marmara bölgesinin yapı ve reliefi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (20), 1-22.
- Ateş, Ş., & Aktimur T. (2019). Arazi kullanım planlaması yer bilim verileri ve araştırma yöntemleri: Bursa örneği, *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası*, 27. Dönem, 1. Çevre Jeolojisi ve Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Eğitim Semineri, 47-49.
- Aydın, M. (2014). Bursa ili jeomorfotuzizm özellikleri. *Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul*.



- Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological sciences journal*, 24(1), 43-69. <https://doi.org/10.1080/02626667909491834>
- Bisht, S., Sharma, S., & Chaudhry, S. (2016). Flash flood risk susceptibility in Gagas River Watershed–Kumaun Lesser Himalaya. *Int. J. Adv. Remote Sens. GIS*, 5(5), 1709-1725. DOI: <https://doi.org/10.23953/cloud.ijarsg.55>
- Bui, D. T., Ngo, P. T. T., Pham, T. D., Jaafari, A., Minh, N. Q., Hoa, P. V., & Samui, P. (2019). A novel hybrid approach based on a swarm intelligence optimized extreme learning machine for flash flood susceptibility mapping. *Catena*, 179, 184-196. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.04.009>
- Cao, C., Xu, P., Wang, Y., Chen, J., Zheng, L., & Niu, C. (2016). Flash flood hazard susceptibility mapping using frequency ratio and statistical index methods in coalmine subsidence areas. *Sustainability*, 8(9), 948. <https://doi.org/10.3390/su8090948>
- Cao, Q., Mehran, A., Ralph, F.M., & Lettenmaier, D.P. (2019). The role of hydrological initial conditions on Atmospheric River floods in the Russian River basin. *J. Hydrometeorol.*, 20, 1667–1686. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0030.1>
- Carlston, C. W. (1963). *Drainage density and streamflow*. US Government Printing Office.
- Chapi, K., Singh, V. P., Shirzadi, A., Shahabi, H., Bui, D. T., Pham, B. T., & Khosravi, K. (2017). A novel hybrid artificial intelligence approach for flood susceptibility assessment. *Environmental modelling & software*, 95, 229-245. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.012>
- Chen, W., Hong, H., Li, S., Shahabi, H., Wang, Y., Wang, X., & Ahmad, B. B. (2019). Flood susceptibility modelling using novel hybrid approach of reduced-error pruning trees with bagging and random subspace ensembles. *Journal of Hydrology*, 575, 864-873. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.089>
- Choubin, B., Moradi, E., Golshan, M., Adamowski, J., Sajedi-Hosseini, F., & Mosavi A. (2019). An ensemble prediction of flood susceptibility using multivariate discriminant analysis, classification and Regression Trees and Support Vector Machines. *Sci Total Environ*, 651(2), 2087–2096. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.064>
- Costache, R. (2019). Flood susceptibility assessment by using bivariate statistics and machine learning models—a useful tool for flood risk management. *Water Resources Management*, 33(9), 3239-3256.
- Costache, R., Pham Q. B., Sharifi, E., Linh N. T. T., Abba, S. I., Vojtek M., Vojteková J., Nhi P. T. T., & Khoi D. N. (2020). Flash-flood susceptibility assessment using multi-criteria decision making and machine learning supported by remote sensing and gis techniques. *Remote Sensing*, 12(1), 106. <https://doi.org/10.3390/RS12010106>
- Das, S. (2018). Geographic information system and AHP-based flood hazard zonation of Vaitarna basin, Maharashtra, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(19), 576.
- Das, S., & Gupta, A. (2021). Multi-criteria decision based geospatial mapping of flood susceptibility and temporal hydro-geomorphic changes in the Subarnarekha basin, India. *Geoscience Frontiers*, 12(5), 101206. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101206>
- Desalegn, H., & Mulu, A. (2021). Flood vulnerability assessment using GIS at Fetam watershed, upper Abbay basin, Ethiopia. *Heliyon*, 7(1).
- Dutta, M., Saha, S., Saikh, N. I., Sarkar, D., & Mondal, P. (2023). Application of bivariate approaches for flood susceptibility mapping: a district level study in Eastern India. *HydroResearch*, 6, 108-121. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2023.02.004>
- Elbaşı, E., & Özdemir, H. (2018). Marmara denizi akarsu havzalarının morfolojik analizi. *Coğrafya Dergisi*, (36), 63-84. <https://doi.org/10.26650/JGEOG418790>
- Eriñç, S. (1996). *Klimatoloji ve metodları* (4. Baskı). İstanbul: Alfa Basım Yayım Dağıtım.
- Fang, Z., Wang, Y., Peng, L., & Hong, H. (2021). Predicting flood susceptibility using LSTM neural networks. *Journal of Hydrology*, 594, 125734. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125734>
- Fang, X., Thompson, D. B., Cleveland, T. G., & Pradhan, P. (2007). Variations of time of concentration estimates using NRCS velocity method. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(4), 314-322. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-)
- Hammami, S., Zouhri, L., Souissi, D., Souei, A., Zghibi, A., Marzougui, A., & Dlala, M. (2019). Application of the GIS based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in the flood susceptibility mapping (Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, 12, 1-16.
- Haque, M. N., Siddika, S., Sresto, M. A., Saroar, M. M., & Shabab, K. R. (2021). Geo-spatial analysis for flash flood susceptibility mapping in the North-East Haor (Wetland) Region in Bangladesh. *Earth Systems and Environment*, 5(2), 365-384.
- Hategekimana, Y., Yu, L., Nie, Y., Zhu, J., Liu, F., & Guo, F. (2018). Integration of multi-parametric fuzzy analytic hierarchy process and GIS along the UNESCO World Heritage: a flood hazard index, Mombasa County, Kenya. *Natural Hazards*, 92, 1137-1153.
- Hong, H., Panahi, M., Shirzadi A., MA Tianwu, L., Junzhi, Z., A, Xing., Chen W., Kougiyas L., & Kazakis N. (2018). Flood susceptibility assessment in Hengfeng area coupling adaptive Neuro-Fuzzy Inference System with genetic algorithm and differential evolution. *Science of the Total Environment*, 621(15), 1124-1141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.114>
- Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Transactions, American geophysical union*, 13(1), 350-361. <https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350>
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantita-

- tive morphology. *Geological society of America bulletin*, 56(3), 275-370. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)
- Islam, A. R. M. T., Talukdar, S., Mahato, S., Kundu, S., Eibek, K. U., Pham, Q. B., & Linh, N. T. T. (2021). Flood susceptibility modelling using advanced ensemble machine learning models. *Geoscience Frontiers*, 12(3), 101075. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.09.006>
- Janizadeh, S., Avand, M., Jaafari, A., Phong, T. V., Bayat, M., Ahmadisharaf, E., ... & Lee, S. (2019). Prediction success of machine learning methods for flash flood susceptibility mapping in the Tafresh watershed, Iran. *Sustainability*, 11(19), 5426. <https://doi.org/10.3390/su11195426>
- Janizadeh, S., Vafakhah, M., Kapelan, Z., & Dinan, N. M. (2021). Novel Bayesian additive regression tree methodology for flood susceptibility modeling. *Water Resources Management*, 35, 4621-4646.
- Jenson, S. K., & Domingue, J. O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 54(11), 1593-1600.
- Jothimani, M., Dawit, Z., & Mulualem, W. (2021). Flood susceptibility modeling of Megech river catchment, lake tana basin, north western Ethiopia, using morphometric analysis. *Earth Systems and Environment*, 5, 353-364.
- Kanani-Sadat, Y., Arabsheibani, R., Karimipour, F., & Nasser, M. (2019). A new approach to flood susceptibility assessment in data-scarce and ungauged regions based on GIS-based hybrid multi criteria decision-making method. *Journal of hydrology*, 572, 17-31. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-)
- Kazakis, N., Kougias, I., & Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope-Evros region. Greece. *Science of the Total Environment*, 538, 555-563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.055>
- Khosravi, K., Nohani, E., Maroufinia, E., & Pourghasemi, H. R. (2016). A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: A comparison between Frequency Ratio and Weights-of-Evidence Bivariate Statistical Models with Multi-Criteria Decision-Making Technique. *Natural Hazards*, 83(2), 947-987. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2357-2>
- Khosravi, K., Shahabi, H., Pham, B. T., Adamowski, J., Shirzadi, A., Pradhan, B., & Prakash, I. (2019). A comparative assessment of flood susceptibility modeling using multi-criteria decision-making analysis and machine learning methods. *Journal of Hydrology*, 573, 311-323. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.073>
- Kia, M. B., Pirasteh, S., Pradhan, B., Mahmud, A. R., Sulaiman, W. N. A., & Moradi, A. (2012). An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia. *Environmental earth sciences*, 67, 251-264.
- Kirkby, E. A. (1979). Maximizing calcium uptake by plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 10(1-2), 89-113. <https://doi.org/10.1080/00103627909366881>
- Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil engineering*, 10(6), 362.
- Köpük, G. (2003). Bursa Ovası ve yakın çevresinin jeomorfolojisi. *Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul*.
- Lee, M.J., Kang, J., & Jeon S. (2012). Application of Frequency Ratio Model and validation for predictive flooded area susceptibility mapping using GIS Korea adaptation center for climate change. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), IEEE International. IEEE*, 1, 895-898. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6351414>
- Lin, L., Wu, Z., & Liang, Q. (2019). Urban flood susceptibility analysis using a GIS-based multi-criteria analysis framework. *Natural Hazards*, 97, 455-475.
- Liu, Y. B., & De Smedt, F. (2005). Flood modeling for complex terrain using GIS and remote sensed information. *Water resources management*, 19, 605-624.
- Mahmood, S., & Rahman, A. U. (2019). Flash flood susceptibility modelling using geomorphometric approach in the Ushairy Basin, eastern Hindu Kush. *Journal of Earth System Science*, 128, 1-14.
- Mahmoud, S. H., & Gan, T. Y. (2018). Urbanization and climate change implications in flood risk management: Developing an efficient decision support system for flood susceptibility mapping. *Science of the Total Environment*, 636, 152-167. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.282>
- Mattivi, P., Franci, F., Lambertini, A., & Bitelli, G. (2019). TWI computation: a comparison of different open-source GISs. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 4(1), 1-12.
- Merz, B., Thielen, A. H., & Gocht, M. (2007). Flood risk mapping at the local scale: concepts and challenges. *Flood risk management in Europe: innovation in policy and practice*, 231-251.
- Miller, A. J. (1990). Flood hydrology and geomorphic effectiveness in the central Appalachians. *Earth surface processes and landforms*, 15(2), 119-134. <https://doi.org/10.1002/esp.3290150203>
- Mind'je, R., Li, L., Amanambu, A. C., Nahayo, L., Nsengiyumva, J. B., Gasirabo, A., & Mindje, M. (2019). Flood susceptibility modeling and hazard perception in Rwanda. *International journal of disaster risk reduction*, 38, 101211. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101211>
- Mitra, S., & Das, M. (2022). Exploring the Impact of Robotisation on Economic Development. *International Journal of Economics, Business and Management Studies*, 9(1), 13-27. <https://doi.org/10.55284/ijebms.v9i1.626>
- Moore, I. D., Grayson, R. B., & Ladson, A. R. (1991). Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological processes*, 5(1), 3-30. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050103>
- Mudashiru, R. B., Sabtu, N., & Abustan, I. (2021). Quantitative

- and semi-quantitative methods in flood hazard/susceptibility mapping: a review. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(11), 941.
- Natarajan, L., Usha, T., Gowrappan, M., Palpanabhan Kasthuri, B., Moorthy, P., & Chokkalingam, L. (2021). Flood susceptibility analysis in chennai corporation using frequency ratio model. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49, 1533-1543.
- Nicholls, N., & Wong, K. K. (1990). Dependence of rainfall variability on mean rainfall, latitude, and the Southern Oscillation. *Journal of climate*, 163-170.
- Ogato, G. S., Bantider, A., Abebe, K., & Geneletti, D. (2020). Geographical information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West shoa zone, oromia regional State, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 27, 100659. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100659>
- Özdemir, H., & Bird, D. (2009). Evaluation of morphometric parameters of drainage networks derived from topographic maps and DEM in point of floods. *Environmental geology*, 56, 1405-1415. [10.1007/s00254-008-1235-y](https://doi.org/10.1007/s00254-008-1235-y)
- Özdemir, H. (2011). Havza morfometrisi ve taşkınlar, *Fiziki Coğrafya Araştırmaları Sistemik Bölgesel*. Babil Yayınevi.
- Özdemir, H., & Akbaş, A. (2023). Sayısal yükseklik modellerindeki mekânsal çözünürlük değişkenliğinin taşkın tehlike analizine etkileri. *Journal of Geography*, (46), [10.26650/JGEOG2023-1177718](https://doi.org/10.26650/JGEOG2023-1177718)
- Özdemir, H., & Akbas, A. (2023). Is there a consistency in basin morphometry and hydrodynamic modelling results in terms of the flood generation potential of basins? A case study from Ulus River Basin (Türkiye). *Journal of Hydrology*, 129926. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129926>
- Özer, Z. (1990). *Su yapılarının projelendirilmesinde hidrolojik ve hidrolük esaslar*, Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü.
- Öztürk, M. (2010). Uludağ (Zirve) ve Bursa Meteoroloji İstasyonlarının Karşılaştırmalı İklimi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (55), 13-24.
- Öztürk, M. Z. (2012). *Uludağ'daki periglasiyal süreçlerin, periglasiyal yerçekillerinin ve bunları denetleyen etmenlerin incelenmesi*. Nilüfer Akkılıç Kütüphanesi Yayınları.
- Patton, P. C. (1988). Drainage basin morphometry and floods. *Flood Geomorphology*. John Wiley & Sons New York. 1988. p 51-64. 11 fig, 1 tab, 67 ref.
- Patton, P. C., & Baker, V. R. (1976). Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls. *Water resources research*, 12(5), 941-952. <https://doi.org/10.1029/WR012i005p00941>
- Penki, R., Basina, S. S., & Tanniru, S. R. (2022). Application of geographical information system-based analytical hierarchy process modeling for flood susceptibility mapping of Krishna District in Andhra Pradesh. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-14.
- Pham, B. T., Avand, M., Janizadeh, S., Phong, T. V., Al-Ansari, N., Ho, L. S., & Prakash, I. (2020). GIS based hybrid computational approaches for flash flood susceptibility assessment. *Water*, 12(3), 683. <https://doi.org/10.3390/w12030683>
- Pradhan, B. (2010). Flood susceptible mapping and risk area delineation using logistic regression, GIS and remote sensing. *Journal of Spatial Hydrology*, 9(2).
- Rahmati, O., Nazari Samani, A., Mahdavi, M., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2015). Groundwater potential mapping at Kurdistan region of Iran using analytic hierarchy process and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 7059-7071.
- Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2016). Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. *Geocarto International*, 31(1), 42-70. <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.104155>
- Rahmati, O., Darabi, H., Panahi, M., Kalantari, Z., Naghibi, S. A., Ferreira, C. S. S., & Haghighi, A. T. (2020). Development of novel hybridized models for urban flood susceptibility mapping. *Scientific reports*, 10(1), 12937.
- Reddy, G. P. O., Maji, A. K., & Gajbhiye, K. S. (2004). Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India—a remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6(1), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2004.06.003>
- Rezaie, F., Bateni, S. M., Heggy, E., & Lee, S. (2021, July). Utilizing the sar, gis, and novel hybrid metaheuristic-gmdh algorithm for flood susceptibility mapping. In *2021 IEEE international geoscience and remote sensing symposium IGARSS (8612-8615)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.955>
- Ritter, D. F., Kochel, R. C., & Miller, J. R. (1995). *Process Geomorphology*. Wm. C. C. Brown, Dubuque, IA.
- Santangelo, N., Santo, A., Di Crescenzo, G., Foscari, G., Liuzza, V., Sciarrotta, S., & Scorpio, V. (2011). Flood susceptibility assessment in a highly urbanized alluvial fan: the case study of Sala Consilina (southern Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(10), 2765-2780. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-2765-2011>, 2011.
- Saravanan, S., Abijith, D., Reddy, N. M., Parthasarathy, K. S. S., Janardhanam, N., Sathiyamurthi, S., & Sivakumar, V. (2023). Flood susceptibility mapping using machine learning boosting algorithms techniques in Idukki district of Kerala India. *Urban Climate*, 49, 101503. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101503>
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological society of America bulletin*, 67(5), 597-646. <https://doi.org/10.1130/0016->
- Seydi, S. T., Kanani-Sadat, Y., Hasanlou, M., Sahraei, R., Chanusot, J., & Amani, M. (2022). Comparison of machine learning algorithms for flood susceptibility mapping. *Remote Sensing*, 15(1), 192. <https://doi.org/10.3390/rs15010192>
- Seymen İ. H. (2020, 24 Haziran). *Bursa'da sel bilançosu: 33 bina*



- ve 30 bin 500 dönüm tarım arazisi zarar gördü. Hürriyet Haber. <https://www.hurriyet.com.tr/gundem/bursada-sel-bilancosu-33-bina-ve-30-bin-500-donum-tarim-arazisi-zarar-gordu-41549066>
- Shafizadeh-Moghadam, H., Valavi, R., Shahabi, H., Chapi, K., & Shirzadi, A. (2018). Novel forecasting approaches using combination of machine learning and statistical models for flood susceptibility mapping. *Journal of environmental management*, 217, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.089>
- Shahiri Tabarestani, E., & Afzalimehr, H. (2022). A comparative assessment of multi-criteria decision analysis for flood susceptibility modelling. *Geocarto International*, 37(20), 5851-5874. <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1923834>
- Siahkamari, S., Haghizadeh, A., Zeinivand, H., Tahmasebipour, N., & Rahmati, O. (2018). Spatial prediction of flood-susceptible areas using frequency ratio and maximum entropy models. *Geocarto international*, 33(9), 927-941. <https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1316780>
- Skilodimou, H., Livaditis, G., Bathrellos, G., & Verikiou-Paspaspiridakou, E. (2003). Investigating the flooding events of the urban regions of Glyfada and Voula, Attica, Greece: a contribution to Urban Geomorphology. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 85(2), 197-204. <https://doi.org/10.1111/1468-0459.00198>
- Souissi, D., Zouhri, L., Hammami, S., Msaddek, M. H., Zghibi, A., & Dlala, M. (2020). GIS-based MCDM-AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia. *Geocarto International*, 35(9), 991-1017. <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1566405>
- Su, J., Lü, H., Zhu, Y., Cui, Y., & Wang X. (2019). Evaluating the hydrological utility of latest IMERG products over the Upper Huaihe River Basin China. *Atmos. Res.*, 225, 17-29. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.03.025>
- Swain, K. C., Singha, C., & Nayak, L. (2020). Flood susceptibility mapping through the GIS-AHP technique using the cloud. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(12), 720.
- Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Talukdar, S., Ghose, B., Shahfahad, Salam, R., Mahato, S., Pham, Q. B., & Avand, M. (2020). Flood susceptibility modeling in Teesta River basin, Bangladesh using novel ensembles of bagging algorithms. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 34, 2277-2300.
- Tang, Z., Yi, S., Wang, C., & Xiao, Y. (2018). Incorporating probabilistic approach into local multi-criteria decision analysis for flood susceptibility assessment. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 32, 701-714. <https://doi.org/10.1007/s00477-017-1431-y>
- Tehrany, M. S., Lee, M. J., Pradhan, B., Jebur, M. N., & Lee, S. (2014). Flood susceptibility mapping using integrated bivariate and multivariate statistical models. *Environmental earth sciences*, 72, 4001-4015.
- Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N. (2013). Spatial prediction of flood susceptible areas using rule-based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical model in GIS. *Journal of hydrology*, 504, 69-79. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.034>
- Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N. (2015). Flood susceptibility analysis and its verification using a novel ensemble support vector machine and frequency ratio method. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 29, 1149-1165. <https://doi.org/10.1007/s00477-015-1021-9>
- Tella, A., & Balogun, A. L. (2020). Ensemble fuzzy MCDM for spatial assessment of flood susceptibility in Ibadan, Nigeria. *Natural Hazards*, 104(3), 2277-2306.
- Utlü M., & Özdemir, H. (2018). Havza morfometrik özelliklerinin taşkın üretmedeki rolü Biga Çayı havzası örneği. *Coğrafya Dergisi*, (36), 49-62.
- Vojtek, M., & Vojteková J. (2019). Flood susceptibility mapping on a national scale in slovakia using the Analytical Hierarchy Process. *Water (Switzerland)*, 11(2), 364-391. <https://doi.org/10.3390/w11020364>
- Wang, Y., Hong, H., Chen, W., Li, S., Pamučar, D., Gigović, L., & Duan, H. (2018). A hybrid GIS multi-criteria decision-making method for flood susceptibility mapping at Shangyou, China. *Remote Sensing*, 11(1), 62. <https://doi.org/10.3390/rs11010062>
- Wang, Y., Hong, H., Chen, W., Li, S., Panahi, M., Khosravi, K., & Costache, R. (2019). Flood susceptibility mapping in Dingnan County (China) using adaptive neuro-fuzzy inference system with biogeography-based optimization and imperialistic competitive algorithm. *Journal of environmental management*, 247, 712-729. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.102>
- Withanage, N. S., Dayawansa, N. D. K., & De Silva, R. P. (2014). Morphometric analysis of the Gal Oya River Basin using spatial data derived from GIS. *Trop Agric Res*, 26(1), 175-188.
- Yalçın, M. (2012). Afet yönetimi-hazırlık bileşeni için konumsal veri altyapısı tasarlanması, sel ve taşkına duyarlı alanlar: İstanbul Avrupa yakası örneği. *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Yaltrak, C., (2002). Tectonic evolution of the Marmara Sea and its surroundings. *Marine Geology* 190(1-2), 493-529.
- Youssef, A. M., Pradhan, B., & Hassan, A. M. (2011). Flash flood risk estimation along the St. Katherine Road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery. *Environmental Earth Sciences*, 62(3), 611-623.
- Youssef, A. M., Pradhan, B., & Sefry, S. A. (2016). Flash flood susceptibility assessment in Jeddah city (Kingdom of Saudi Arabia) using bivariate and multivariate statistical models. *Environmental Earth Sciences*, 75(1), 12.
- Zaharia, L., Costache, R., Prăvălie, R., & Ioana-Toroimac, G. (2017). Mapping flood and flooding potential indices: a methodological approach to identifying areas susceptible to flood and flooding risk. Case study: the Prahova catchment (Romania). *Frontiers of Earth Science*, 11, 229-247.