



# Mekânsal otokorelasyon ve kümeleme analizi yaklaşımı ile Göksu Çayı Havzası'nın (Sakarya Nehri Havzası) bütünleşik ve sürdürülebilir havza yönetim modeli<sup>1</sup>

## Integrated and sustainable watershed management model of Göksu River Basin (Sakarya River Basin) with spatial autocorrelation and cluster analysis approach<sup>2</sup>

Murat Uzun <sup>a\*</sup> Nuriye Garipağaoğlu <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Bölümü, İstanbul, Türkiye.

<sup>b</sup> Marmara Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul, Türkiye.

ORCID: M.U. 0000-0003-2191-3936; N.G. 0000-0003-4967-8536

### BİLGİ / INFO

Geliş/Received: 10.09.2022

Kabul/Accepted: 04.10.2022

#### Anahtar Kelimeler:

Havza Yönetimi  
Kümeleme analizi  
Sürdürülebilirlik  
Mekânsal otokorelasyon

#### Keywords:

Watershed (Basin) Management  
Cluster analysis  
Sustainability  
Spatial autocorrelation

\*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(M.Uzun) [murat\\_uzun53@hotmail.com](mailto:murat_uzun53@hotmail.com)

DOI: 10.17211/tcd.1173420



#### Atf/Citation:

Uzun, M., & Garipağaoğlu, N. (2022). Mekânsal otokorelasyon ve kümeleme analizi yaklaşımı ile Göksu Çayı Havzası'nın (Sakarya Nehri Havzası) bütünleşik ve sürdürülebilir havza yönetim modeli. *Türk Coğrafya Dergisi*, (81), 23-38. <https://doi.org/10.17211/tcd.1173420>

### ÖZ / ABSTRACT

Doğal ve beşeri ortam koşullarının yoğun etkileşim halinde olduğu havzalarda birçok kapsamda çeşitli modellerle yönetim çalışmaları uygulanmaktadır. Bu araştırmanın amacı, coğrafi çeşitliliği, etkileşimleri ve potansiyel riskleri barındıran Göksu Çayı Havzası'nın farklı değişkenler üzerinden mekânsal otokorelasyon ve kümeleme analizine dayalı havza yönetim modelinin oluşturulmasıdır. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) etkin kullanıldığı çalışmada, deterministik, kantitatif, korelasyon ve dağılım analizi yöntemleriyle çok basamaklı sistematik oluşturulmuştur. Havzanın bütün coğrafi unsurlarını, etkileşimleri, doğal dinamik işleyiş yapısını ortaya koymak ve ilişkisel olarak kümelenme dağılımını oluşturmak için birçok parametrenin analizleri ile dört ana değişken (alt model) üretilmiştir. Ana değişkenler, jeomorfolojik uygunluk-elverişlilik, yağış akış, çoklu-risk ve arazi kullanım modellerinden oluşur. Her bir model karşılıklı olarak mekânsal korelasyona tabi tutulmuş ve havzanın kümeleme analizi dağılım verisi üretilmiştir. Beş farklı kümenin tespit edildiği veri, sorun-risk potansiyeli ve sürdürülebilir-uygun kullanım potansiyeli açısından da analiz edilmiştir. Daha sonra dağılım verisi, Lokal Moran's I-Anselin testi ve Getis-Ord G<sub>i</sub> istatistiği ile anlamlılık ve kümelenme açısından test edilmiştir. Analizlerden, havzanın yüksek çerçevesini oluşturan sahaların sürdürülebilir-uygun kullanım potansiyeline sahip kümelenme gösterdiği, İnegöl Ovası, Yenişehir kuzeyi ve Göksu Vadisi'nde sorun-risk potansiyeli yüksek kümelenmenin olduğu tespit edilmiştir. Havzada sürdürülebilirliğin sağlanması için, ekolojik sahaların korunması, sel, taşkın, erozyon, heyelan tedbirlerin artırılması, akarsulardaki su kalitesinin kontrol edilmesi ve antropojenik baskı yoğunlaşmasının daha uygun alanlara yönlendirilmesi gerekmektedir.

*In the basins where natural and human environmental conditions are in intense interaction, management studies are carried out with various models in many contexts. In this study, it is aimed to create a watershed management model based on spatial autocorrelation and clustering analysis over different variables of the Göksu River Basin, which has geographical diversity, interactions and potential risks. In the study, in which Geographical Information Systems (GIS) was used effectively, a multi-step system was created with deterministic, quantitative, correlation and distribution analysis methods. Four main variables (sub-models) were produced by analyzing many parameters in order to reveal all the geographical elements, interactions, natural dynamic functioning of the basin and to establish the cluster distribution as relation. The main variables consist of the geomorphological suitability-availability model, the precipitation runoff model, the multi-risk model, and the land use model. Each model was subjected to spatial correlation and cluster analysis distribution data of the basin were produced. The data, in which 5 different clusters were identified, were also analyzed in terms of problem-risk potential and sustainable-appropriate use potential. Then, the distribution data was tested for significance and clustering with the Local Moran's I-Anselin test and the Getis-Ord G<sub>i</sub> statistic. From the analyzes, it has been determined that the areas forming the high frame of the basin show a cluster with sustainable-appropriate use potential, and there is a cluster with high problem-risk potential in İnegöl Plain, north of Yenişehir and Göksu Valley. In order to ensure sustainability in the basin, it is necessary to protect ecological areas, increase flood, overflow, erosion, landslide measures, control water quality in streams and direct anthropogenic pressure concentration to more suitable areas.*

<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 basins, sub-basins or clusters of certain sizes, which have similar characteristics in terms of physical and human geography conditions, various differences and concentrations may exist in terms of distribution (Daeghouth vd., 2008). Spatial concentrations in the basins may affect the dynamic operation in the entire basin or may cause different events to develop around the concentration. For this reason, detailed analyzes are made as a result of the effective use of Geographic Information Systems (GIS) in the management of watersheds (He, 2003). The findings obtained as a result of the analyzes are examined with different methods and contribute to the watershed management. In particular, the interaction correlation of different watershed elements and the distribution data revealed by quantitative analysis can also be analyzed in terms of spatial clustering. Spatial clustering analysis is based on the assumption that every data and distribution is related to each other, and that any data is more related to data close to it (Tobler, 1970; Anselin, 1995; Lee & Wong, 2001). The stated assumption can reveal the interaction and relationship of the problems, risks, suitable areas of use, and the close and distant environment of the areas with danger in terms of watershed management. Thus, the situations to be determined through different variables will be evaluated in terms of both distribution and impact size within the scope of management of the basin. In this study, it is aimed to create an integrated-sustainable watershed management model of Göksu River Basin, which forms the west of Sakarya River Basin and has intense interaction of physical and human geography features, with spatial auto-correlation and cluster analysis approach over different variables.

### Material and Method

In the study, written, printed, statistical and cartographic data from many sources were used as material. First, many base maps were produced from the digital elevation model of the basin and other vector data. Then, a multi-stage system was created in which various methods and techniques were used to create the model of the basin. In this context, first of all, four main variables to be used in the management modeling of the watershed were determined by spatial auto-correlation and clustering analysis. These variables are geomorphological suitability-availability model, precipitation-flow distribution model, multi-risk model and land use model. The main reasons for the selection of these variables were to show the geographical structure of the basin in many respects with multi-criteria sub-models, the potential to reflect the common points of anthropogenic activities and effects with its natural dynamic functioning and to show the directions of various hazard susceptibility, risk distribution and future usage areas. Then, the correlation matrix between the main variables was created in the model. The correlation status of the distribution of sub-criteria classified categorically with each other in each main variable model was analyzed. In this respect, the subcategories were subjected to statistical tests and spatial auto-correlation in terms of positive and negative correlations with values between 0-1. The resulting clusters were also evaluated as problem-risk potential and sustainable-appropriate use potential in terms of watershed management. Then, cel-

lular-based clustering analysis data were subjected to Moran's I-Anselin test and Getis-Ord GI statistics. The statistical levels and significance of clustering analyzes based on the quantitative results obtained were interpreted in terms of watershed management. Finally, all the findings were evaluated, and the precautions and suggestions to be taken in terms of integrated-sustainable watershed management were stated at the last stage of the study.

### Findings and Results

Five different clusters were identified by cellular-based clustering analysis of the basin. While the areas in the first cluster correspond to the high parts of the basin and the forest areas, the areas in the second cluster correspond to the agricultural areas, meadow-pasture areas and plateau areas. It was determined that the plain floors and low plateau surfaces in the third cluster, the transition areas from the plateaus to the İnegöl and Yenişehir plains in the fourth cluster, the İnegöl plain and its western part in the fifth cluster, the plateau areas in the north of the Yenişehir Plain and long river edges. If the details of the cluster analysis are evaluated by combining them hierarchically, it is noteworthy that while the 4th and 5th clusters are located in the plateau area in the İnegöl plain base, north of Yenişehir, the 1st and 2nd clusters are concentrated in the high mountain areas and high plateau areas. This situation shows that the relationship between land use, geomorphological suitability analysis, hydrographic-climatic conditions and multi-risk data reveals regular spatial clusters in certain areas. It has been determined that the sustainable appropriate use potential is high in certain parts of Uludağ, Domaniç Mountains, Ahi Mountain and Avdan Mountains, which form the frame of the basin, and the problem risk potential is high in the north of Yenişehir Plain, Göksu Stream valley and most of İnegöl Plain. According to the Local Moran's I-Anselin test and Getis-Ord GI statistics, it was observed that the obtained findings also created significant clusters and hot spots in quantitative terms. For an integrated and sustainable watershed management in the Göksu Stream Basin, absolute precautions should be taken in terms of anthropogenic activities, especially in the plains, and measures against disasters should be increased.

### 1. Giriş

Havzalar, doğal ortam koşullarının belirlediği sınırlar içerisinde birçok fiziki ve beşeri coğrafya unsurlarını, bunlar arasındaki karşılıklı etkileşimi barındırmaktadır (Daeghouth vd., 2008). Artan dünya nüfusu ve talepler, antropojenik koşulların doğal ortam özelliklerinin dağılışı ve dinamik işleyiş yapısında değişimlere neden olmaktadır (Katusiime & Schütt, 2020) Çeşitli coğrafi özellikleri barındıran havzalar, meydana gelen antropojenik baskıdan farklı boyutlarda etkilenmekte ve birçok alanda sorun, risk, afet ve değişimler yaşanmaktadır (Montgomery vd., 1995; Grigg, 1999; Pande, 2020; Mudliar & Koontz, 2021). Bu tür sorunların azaltılması, önlenmesi, havzaların doğal dinamik yapısının, ekolojik dengesinin korunması, hidrolojik döngünün devam etmesi ve sürdürülebilir kullanımların yaygınlaşması için birçok havza yönetim modeli ortaya konmuştur (Vulević & Dragović, 2017; Garipağaoğlu & Uzun, 2019). Geçmişten günümüze havza yönetimi çalışmalarında bütüncül, ekolojik, fiziksel tabanlı, ekosistemsel, teknolojik, hidrografik, sosyo-ekonomik, morfometrik ve süreç tabanlı modeller uygu-

lanmaya çalışılmıştır (Wang vd., 2006; Prodanovic & Simonovic, 2010; Koontz & Newig, 2014; Bremer vd., 2020).

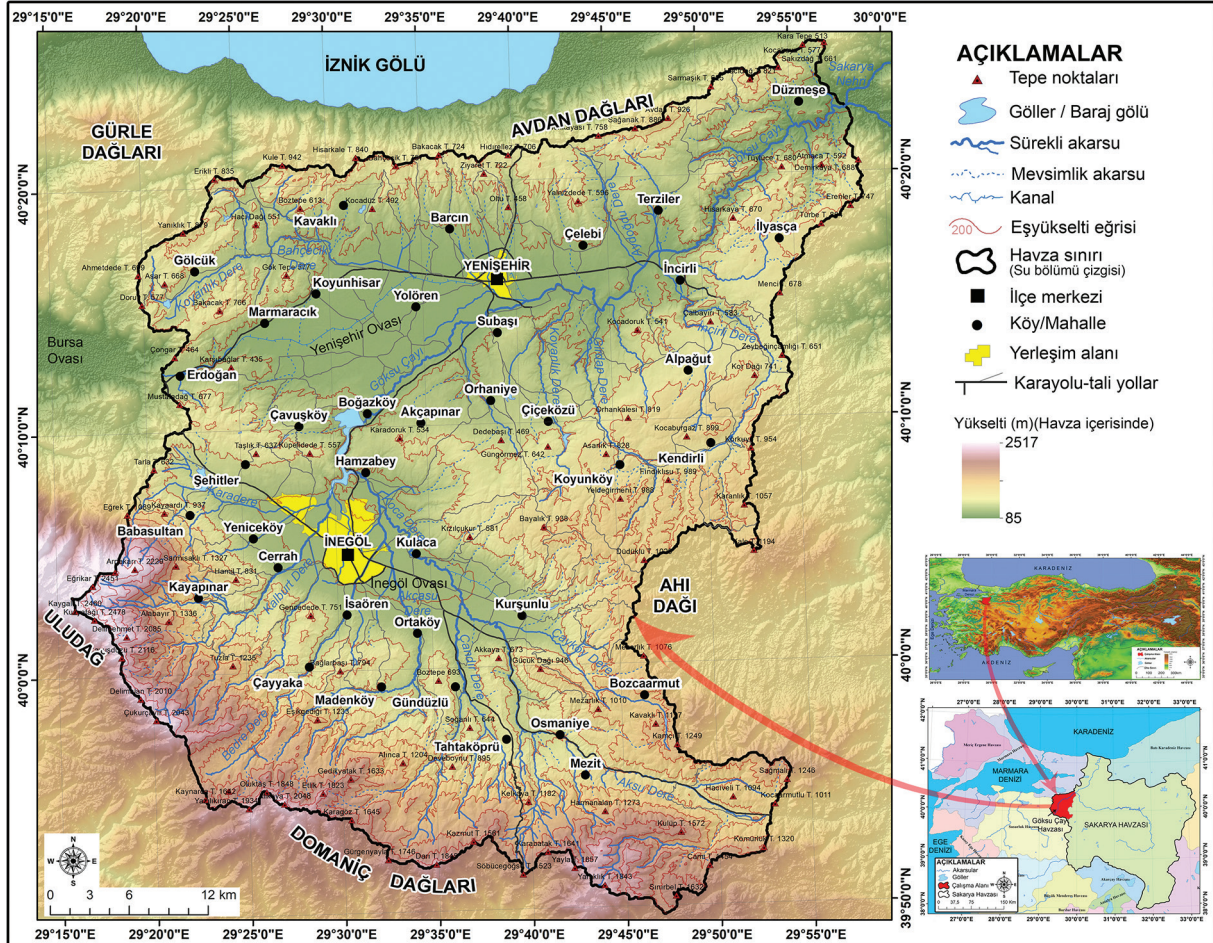
Fiziki ve beşeri coğrafya koşulları açısından benzer özellikleri barındıran havzalarda, alt havza ya da belli boyutlardaki kümelerde çeşitli farklılıklar ve yoğunlaşmalar görülebilmektedir. Havzalardaki mekansal yoğunlaşmalar, havzanın tamamındaki dinamik işleyişi etkileyebilmekte ya da yoğunlaşma çevresinde farklı hadiselerin gelişmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle havzaların yönetilmesi ve sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) tekniklerinin etkin kullanımı sonucu detaylı analizler yapılmaktadır (He, 2003; Asgari, 2021). Analizler sonucu elde edilen bulgular ise farklı yöntemlerle incelenerek havza yönetimine katkı sağlamaktadır. Özellikle farklı havza unsurlarının etkileşim korelasyonu, kantitatif analizleri ile ortaya konan dağılış verileri mekansal kümelenme açısından da analiz edilebilmektedir. Mekansal kümelemede her verinin ve dağılımın birbiriyle ilişkili olduğu, herhangi bir verinin kendisine yakın veri ile daha fazla ilişkili olduğu varsayımı temel alınmaktadır (Tobler, 1970; Anselin, 1995; Lee & Wong, 2001). Bu varsayım, havza yönetimi açısından sorun, risk, uygun kullanım sahaları, tehlike alanlarının yakın ve uzak çevresi ile olan etkileşim ilişkisini ortaya koyabilmektedir. Böylece farklı değişkenler üzerinden tespit edilecek durumlar havzanın yönetilmesi kapsamında hem dağılış açısından hem de etki boyutu açısından değerlendirilebilecektir.

Bu çalışmada, fiziki, beşeri coğrafya özelliklerinin yoğun etki-

leşimini barındıran Göksu Çayı Havzası'nın, farklı değişkenler üzerinden mekansal otokorelasyon ve kümeleme analizi yaklaşımı ile bütünleşik, sürdürülebilir havza yönetim modelinin oluşturulması amaçlanmıştır. Havzanın kendi içerisindeki doğal ve beşeri unsurlarının çeşitliliği, havzadaki ekolojik yoğunlaşmalar, yoğun hidrografik unsurlar, bazı kesimlerin jeomorfolojik, klimatolojik ve toprak türü açısından beşeri faaliyetlere elverişli oluşu, İnegöl'deki artan nüfus ve sanayi, ova tabanlarından plato sahalarına genişleyen tarım alanları, su kaynaklarında kalite değişimi, jeomorfolojik koşulların deformasyonu, farklı kökenli risklerin varlığı, maden-taş ocaklarının alansal artışı, havzanın seçilmesindeki temel nedenlerdir. Ayrıca, çalışmanın yapılmasında, CBS ve UA teknikleri kullanılarak farklı alt modeller oluşturup, elde edilen verilerden kantitatif, kartografik, kümeleme ve korelasyon analizleriyle bütünleşik ve sürdürülebilir havza yönetim modeli ortaya koyma çabası diğer amaç ve nedeni oluşturmaktadır.

### 1.1. Araştırma Sahasının Konumu ve Coğrafi Özellikleri

Göksu Çayı Havzası, alt havzası konumunda olduğu Sakarya Nehri Havzası'nın batısında yer almaktadır. Havzanın güney sınırını Uludağ ve Domaniç Dağları, doğusunu Ahi Dağı, kuzeyini Avdan Dağları ve Gürle Dağları'nın uzantısındaki tepeler, batısını İnegöl ve Yenişehir ovaları-Bursa Ovası eşikleri oluşturmaktadır (Şekil 1). Belirtilen sınırlar dahilinde havzanın toplam alanı 2439 km<sup>2</sup>'dir. Coğrafi koordinat sistemine göre havza, 40°26'10"-39°48'2" kuzey enlemleri ile 29°59'0"-29°16'30" doğu boylamları arasında yer alır (Şekil 1).



Şekil 1. Araştırma sahasının lokasyon haritası.

Figure 1. Location map of study area.

Havza, farklı zamanlara ve litolojik birimlere ait birçok formasyonu barındırmaktadır. Genel olarak, yüksek çerçeveyi oluşturan güney kesimde daha yaşlı ve sert birimler, İnegöl ve Yenişehir ovalarına doğru genç çökel istifleri dağılım gösterir. Birçok kesimde faylarla dokanaklı yapılar bulunur ve her iki ova neo-tektonik hareketlerle şekillenmiştir. Havzanın en alçak yeri Göksu Çayı'nın Sakarya Nehri drenaj alanında 85 m olup en yüksek kesim Uludağ zirve düzlüğünde 2517 m'dir (Şekil 1). Doğuda ve kuzeyde geniş plato sahaları ve yer yer konsekant akarsularla parçalanmış yapı gözlemlenirken, güneyde derin vadiler ve tektonik yükselimlerle şekillenmiş arızalı bir topografya mevcuttur. İnegöl ve Yenişehir rasat verilerine göre havzanın yıllık ortalama sıcaklığı 130C, yıllık toplam yağışı 752 mm'dir (havza ortalamasında). Havzanın ana akarsuyu Göksu Çayı ve kolları oluşturur. Ana akarsuya, Uludağ ve Domaniç Dağları'ndan kaynaklarını alan birçok akarsu İnegöl ovasında tek kanal drenajı ile Boğazköy'den itibaren bağlanır. Avdan Dağları ve Ahı Dağı kesimden de birçok konsekant dere ana akarsuya drene olmaktadır. Havzanın genel drenaj tipini dandritik ağ oluşturur. İnegöl ve Yenişehir ovalarında alüviyal topraklar, ovalardan 800 m seviyesine kadar kahverengi orman toprakları, bu seviyeden sonra kireçsiz kahverengi orman toprakları görülmektedir. Havzanın doğal bitki topluluklarının % 92'sini orman, % 3'ünü maki ve % 5'ini ot formasyonları oluşturur. Uludağ ve Domaniç Dağları'nda kuşak halinde geniş yapraklı ormanlar bulunur. Havzanın şehir yerleşmesini İnegöl ve Yenişehir oluşturmaktadır. Bu ilçelere bağlı kırsal yerleşmelerin yanında, Kestel, Osmaneli, Bilecik, Bozüyük ve Pazaryeri'ne bağlı kırsal alanların bir kısmı da havzada yer alır. 2020 yılı havza toplam nüfusu 342.631 kişidir. Nüfusun % 78 şehirlerde, % 22'si kırsal alanlarda yaşamaktadır. Havzanın ekonomik yapısını, İnegöl ve Yenişehir'deki organize sanayi bölgeleri (OSB), diğer sanayi kolları, tarımsal faaliyetler, taş ve maden ocakları ile hayvancılık faaliyetleri oluşturur.

## 2. Materyal ve Yöntem

Araştırmada, materyal olarak, Harita Genel Müdürlüğünden (HGM) temin edilen 1:25.000 ölçekli topografya paftaları, Maden ve Tetkik Arama Genel Müdürlüğünden (MTA) 1:100.000 ölçekli jeoloji haritaları, heyelan envateri, Bursa ili Hidrojeoloji haritası, Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nden 1900-2020 yılları arası deprem verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden İnegöl ve Yenişehir istasyonlarına ait rasat verileri (1985-2020), Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarım-Toprak Reformu Genel Müdürlüğü'nden toprak türleri dağılışı ve bitki örtüsü dağılışı verileri, Devlet Su İşlerinden (DSİ) Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) verileri, United States Geological Survey'den (USGS) 10.07.2020 tarihli Landsat OLI verisi, CORINE 2018 verisi, openstreetmap üzerinden ulaşım ağı verileri kullanılmıştır. Elde edilen verilerin dışında yazılı kaynaklar ve arazi çalışmalarından sağlanan bilgilerde çalışmadaki verileri oluşturmuştur.

İlk olarak topografya paftalarından ArcGIS yazılımı kullanılarak havzanın 10 m çözünürlüklü Sayısal Yükselti Modeli (SYM) üretilmiştir. SYM üzerinden havzanın yükselti, eğim, bakı, yüzey eğriliği, topografik rölyef, hidrografi haritaları, vektörel verilerden jeoloji, fay, deprem, hidrojeoloji, toprak, bitki formasyonu dağılışı, ulaşım ağı haritaları ile temel veriler oluşturulmuştur. İnegöl ve Yenişehir meteoroloji rasat verileri üzerinden cokriging yöntemi ile sıcaklık, yağış, basınç, evapotranspirasyon haritaları üretilmiştir. Klimatolojik verilerin

oluşturulmasında Lapse Rate ( $Y=a\pm bX$ ) ve Schreiber formülü ( $Ph=Po+54h$ ) kullanılmıştır (Türkeş, 2018). Ayrıca iklim verileri üzerinden Thronthwaite yöntemine göre su bilançosu ve diğer sayısal veriler hesaplanmıştır. Landsat uydu görüntüsü üzerinden NDVI analizi ve kontrollü sınıflandırma yöntemi ile arazi kullanım haritaları üretilmiştir.

### 2.1. Ana Değişkenlerin (Alt Modellerin) Oluşturulması

Çalışmada temel verilerin üretilmesinden sonra farklı yöntemlerin kullanıldığı çok basamaklı işleyiş düzeni oluşturulmuştur. İlk olarak Göksu Çayı Havzası'nın doğal ve beşeri coğrafya koşullarının etkileşimini ele alan, mekansal otokorelasyon ve kümeleme analizi ile havzanın yönetim modellenmesinde kullanılacak dört ana değişken belirlenmiştir. Bu değişkenleri jeomorfolojik uygunluk-elverişlilik, yağış akış dağılışı, çoklu risk (multi-risk) ve arazi kullanımı/arazi örtüsü modelleri oluşturmaktadır. Bu değişkenlerin seçilmesinde, çok kriterli alt modellerle birçok açıdan havzanın coğrafi yapısının gösterilmesi, doğal dinamik işleyiş bütünü ile antropojenik faaliyet ve etkilerin ortak noktalarını yansıtmaya potansiyeli, havzanın jeomorfolojik, klimatolojik, hidrografik ve ekosistemsel yapıları ile insan faaliyetlerinin etkileşimini ortaya koyabilmesi, çeşitli tehlike duyarlılık dağılışı ile geleceğe dönük kullanım alanlarının doğrultularını, unsurlar arasındaki etkileşimini ve deterministik durumları göstermesi temel nedenler olmuştur. Çalışmada, hücresel tabanlı ana değişkenler 30x30 m çözünürlüklü hücreler şeklinde kartografik veri olarak üretilmiştir.

Jeomorfolojik uygunluk-elverişlilik modeli, havzalarda antropojenik faaliyetlerin belli jeomorfolojik özelliklerin sağladığı uygun koşullar neticesinde genel olarak dağılışı gösterdiği varsayımı temel alınarak oluşturulmuştur (Gupta & Ahmad, 1999; Adeli & Khorshiddoust, 2011; Cooper, 2011; Youssef vd., 2015; Garcia vd., 2020). Bu model, havzada antropojenik faaliyetlerin dağılışı sınırlılığını ortaya koymak için 11 ana kriter ve 69 alt kriterin bulanık mantık yöntemi analizi üzerinden uygulanmıştır (Zhang & Liu, 2006). Modeldeki ana parametreleri; jeomorfoloji, jeoloji, yükselti, eğim, bakı, yüzey eğriliği, topografik rölyef, SL indisi, VF indisi, DI indisi ve TRI indisi kartografik verileri oluşturmaktadır (Nir, 1957; Mark, 1975; Evans, 1980; Riley vd., 1999). Ana ve alt parametreler kategorik olarak sınıflandırılmış, 0-1 arasındaki değerlerle tekrar sayısallaştırılmış ve model ortaya konmuştur.

Yağış akış modelinin oluşturulmasında, havzanın tamamına ait akış ve verim değerlerinin üretilerek havzanın su bilançosu, miktarı ve dağılışı verilerin ortaya konması amaçlanmıştır. Farklı yağış akış verisi ortaya koyan birçok model ve çalışma bulunmaktadır (Özdemir, 2007; Vojtek & Vojtekova, 2016; Karataş, 2018). Havzada mansaba en yakın olan Göksu-Rüstemköy AGİ verisi, havzanın % 80'lik bölümünün hidrografik verilerini ortaya koymaktadır. Göksu Çayı Havzası'nda yüksek irtifa farkları, iklimik şartlar açısından havzanın içerisinde yağışın değişkenlik göstermesi, su kullanımının beşeri açıdan yoğun olması gibi nedenlerden dolayı ağırlıklı yağış akış modeli kullanılmıştır (Karataş, 2017). Model, yağış, evapotranspirasyon, hidrojeoloji, jeoloji, arazi kullanımı, toprak grupları ve eğim verileri ile alt parametrelerine 1-5 arasında etki değerlerinin atanması ile uygulanmıştır (Karataş, 2018). Havzadaki yağış akışın nisbi dağılışı gösteren verilerin reel sayısal karşılığı Thronthwaite yöntemi ve diğer verilerin etken çarpanlarının kalibre edilme-

siyle ortaya konmuştur. Ortaya konan akış, akım ve verim değerleri AGİ verisi ile karşılaştırılarak çalışmada kullanılmış ve havzanın yağış akış dağılışı modeli oluşturulmuştur.

Çoklu risk (multi-risk) modeli için ilk olarak havzanın deprem, erozyon, sel, taşkın, heyelan, kaya düşmesi, kuraklık, fırtına, orman yangını ve antropojenik kaynaklı tehlike duyarlılık haritalarının oluşturulması amaçlanmıştır. Bunun için havzanın doğal ve beşeri coğrafya özelliklerini ortaya koyan 35 ana kriter ve bunlara ait 236 alt kriter belirlenmiş, amaca uygun olarak Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ile sayısal veriler üzerinden haritalar oluşturulmuştur (Saaty, 2004; Liu vd., 2015). AHS ile oluşturulan ve 5 farklı risk derecesinin dağılışı gösteren haritalardan havzanın en riskli ve çoklu tehlikelere karşı maruz kalabilecek alanlarını belirlemek için çoklu risk analizi yapılmıştır (Selva, 2013; Swain vd., 2020). Bunun için her bir kartografik verinin duyarlılık düzeyi 0-1 arasındaki kantitatif değerlerle kategorik olarak sınıflandırılmış ve bulanık mantık yöntemi ile havzanın çoklu risk modeli üretilmiştir (Zhang & Liu, 2006). Çoklu risk modeli, tehlike duyarlılık dağılışı yanında havzanın sürdürülebilir kullanım sahalarını, en riskli ve antropojenik kullanıma en duyarlı alanları ortaya koymakta, havza yönetimi açısından Göksu Çayı Havzası'nın potansiyel durumunu açığa çıkarmaktadır.

Havzanın arazi kullanımı türü/arazi örtüsü (AKT/AÖ) modeli, 10.07.2020 tarihli Landsat-8 OLI (30 m çözünürlüklü) uydu görüntüsünün bant kombinasyonları üzerinden kontrollü sınıflandırma yöntemi ile üretilmiştir. Modelin üretiminde 863 referans noktası kullanılmış olup % 91'lik doğruluk oranı sağlanmıştır.

## 2.2. Mekânsal Otokorelasyon ve Kümeleme Analizi

Havzanın hücre tabanlı kümeleme analizini ortaya koymak için ilk olarak ana değişkenler arası korelasyon matrisi oluşturulmuştur. Her bir ana değişken modeli birbiri ile kategorik olarak sınıflandırılan alt kriterlerin dağılışının korelasyon durumu analiz edilmiştir. Bu bakımdan alt kategoriler 0-1 arasında değerlerle ilişki durumu açısından pozitif ve negatif yönlü olarak istatistiksel testlere ve mekansal otokorelasyona tabi tutulmuştur. Elde edilen kantitatif değerler ve ilişki düzeyi üzerinden ArcGIS yazılımı ile havzanın mekansal otokorelasyonu yapılmış ve kümeleme analizi oluşturulmuştur. Kümeleme analizi, herhangi bir veri veya matris üzerinde yer alan kümelerin birbiri ile benzer ya da farklı özelliklerine göre çeşitli kümelere ayırma, gruplama işlemi olarak nitelendirilmektedir (Neil, 2002; Atasoy & Sarış, 2021). Homojen ya da heterojen sınıflara ayırma işleminde kümelerin birbirleri arasındaki korelasyon, benzerlik, mesafe, komşuluk gibi farklı nitel ve nicel özelliklerine bakılarak gruplama işlemi yapılmaktadır (Gareth & Wheeler, 1998; Han vd., 2009). Göksu Çayı Havzası'nın mekansal otokorelasyon ile ortaya konan kümeleme analizi ayrıca havza yönetimi açısından sorun-risk potansiyeli ve sürdürülebilir-uygun kullanım potansiyeli şeklinde de değerlendirilmiştir. Daha sonra hücre tabanlı kümeleme analizi kartografik verileri Lokal Moran's I-Anselin testi ve Getis-Ord Gİ istatistiğine tabi tutulmuştur. Elde edilen kantitatif sonuçlar üzerinden ortaya konan kümeleme analizlerinin istatistiksel düzeyleri ve anlamlılıkları havza yönetimi açısından yorumlanmıştır. Havzanın kümeleme analizi dağılışı, anlamlılık boyutları, kantitatif

değerleri ile sorun-risk ve sürdürülebilir uygun kullanım potansiyeli coğrafi bakış açısıyla analiz edilmiş, bütünleşik, sürdürülebilir havza yönetimi açısından alınması gereken önlemler ve öneriler belirtilmiştir.

## 2.3. Lokal Moran's I - Anselin Testi

Lokal Moran's I-Anselin (Ii) testi mekansal otokorelasyonla üretilen verilerin konumu, değeri ve özellikleri üzerinden kümeleme durumunu ortaya koyan analizdir (Anselin, 1995; Lee & Wong, 2001; Tağıl, 2007; Requía & Roig, 2015; Anselin, 2019). Lokal Moran's I-Anselin testi aşağıdaki formüller üzerinden hesaplanmaktadır.

$$I_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1}^n W_{i,j} (X_j - \bar{X}) \quad S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Teste n toplam özellik sayısını,  $X_i$  belirli lokasyondaki değişken değeri,  $X_j$  farklı lokasyondaki değişken değeri,  $\bar{x}$  değişkenlerin ortalaması,  $W_{i,j}$  i ve j verileri arasındaki ağırlık matrisini,  $S_i$  ise komşu özelliklerinin ilişkisini ifade etmektedir (Anselin, 1995). Test sonuçları yüksek ilişki düzeyinde (pozitif yönlü) ise küme komşuları ile benzer değerlere sahip olduğunu gösterir (Anselin, 2019). Bu mekansal dağılışı, yüksek-yüksek ve düşük-düşük kümelerden oluşur. Sonuç negatif değer ise verilerin komşuları ile aykırı değerlere sahip olduğunu gösterir. Mekânsal aykırılıklar, yüksek-düşük ve düşük-yüksek değerlerinden oluşur.

## 2.4. Getis-Ord Gİ İstatistiği

Çalışmada kullanılan Getis-Ord Gİ istatistiği yüksek ya da düşük kümelemelerinin anlamlı olup olmadığı hakkında bilgi vermektedir (Ord & Getis, 1995; Tağıl, 2007). Çalışmada, mesafe analizi üzerinden Getis-Ord Gİ istatistiği aşağıdaki formül ile uygulanmıştır.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n W_{i,j} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n W_{i,j}}{n \sum_{j=1}^n W_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n W_{i,j})^2}}{\frac{n \sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{x})^2}}$$

Formülde,  $W_{i,j}$  i ve j verileri arasındaki ağırlık matrisini, n toplam özellik sayısını,  $X_i$  belirli lokasyondaki değişken değeri,  $X_j$  farklı lokasyondaki değişken değeri,  $\bar{x}$  değişkenlerin ortalamasını ifade etmektedir (Ord & Getis, 1995; Zhang vd., 2008). Sonuçların yüksek pozitif (sıcak nokta) ve düşük negatif (soğuk negatif) değerleri mekansal kümelemeyi ifade ederken, 0 değeri, rastgele dağılışı, kümelerin anlamlı olmadığını gösterir (Tağıl, 2007).

## 3. Bulgular

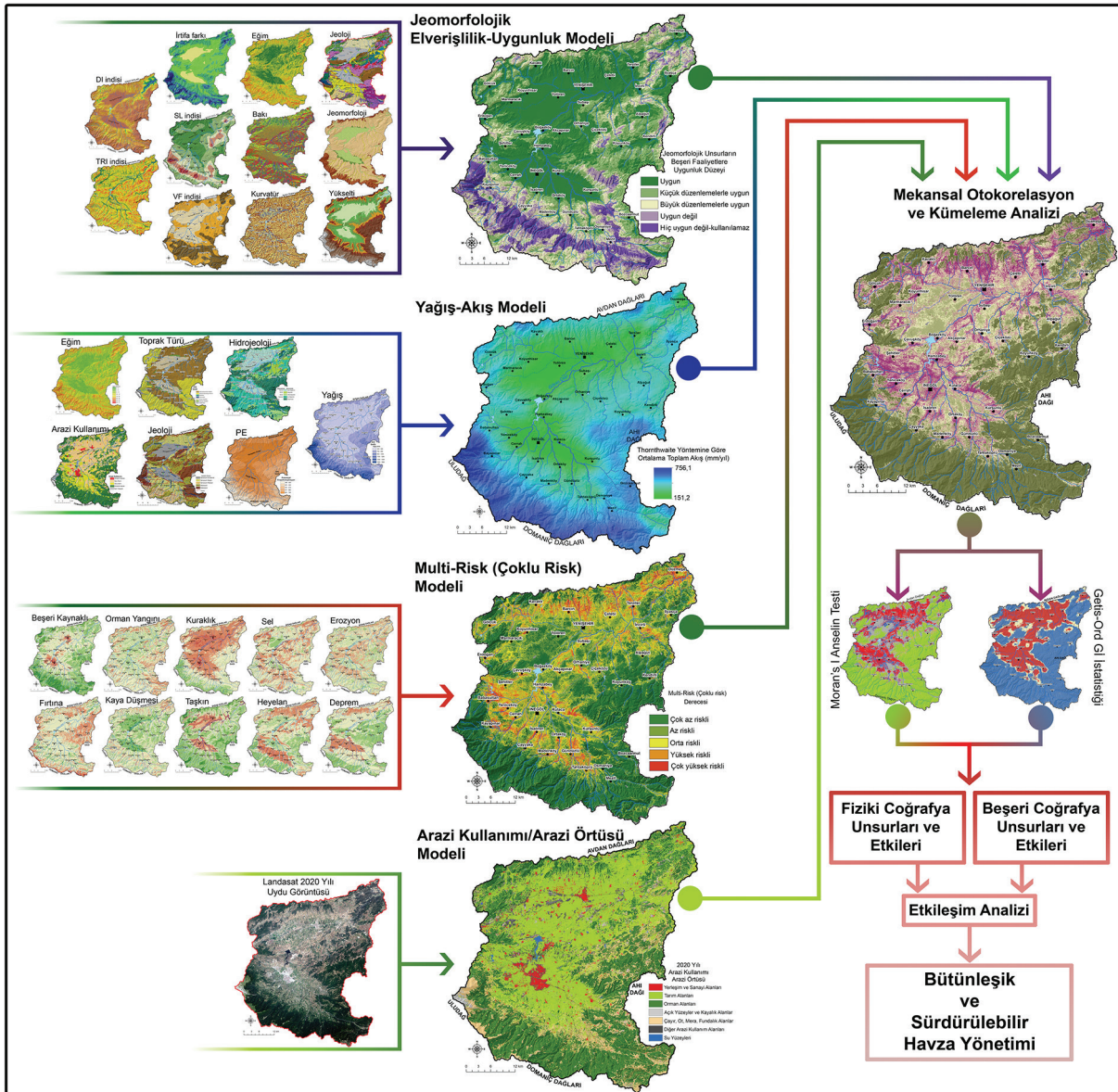
### 3.1. Göksu Çayı Havzası'nın Korelasyon ve Kümeleme Analizi Ana Değişkenleri

Jeomorfolojik uygunluk-elverişlilik modeli ile havzada beş farklı kategorik sınıf belirlenmiştir. (Şekil 2 ve 3). Jeomorfolojik etkenler kapsamında beşeri faaliyetlerin kullanımına uygun-elverişli koşullar oluşturan alanlar, havzanın % 42,8'ini kaplamaktadır. Göksu Çayı Havzası'nın her iki ovası (İnegöl ve Yenişehir ovaları) ile diğer alüviyal düzlükler, vadi tabanları, kuzeyindeki az

eğimli plato sahası ve İnegöl-Yenişehir havzaları arasındaki eşik sahasındaki düzlükler belirtilen alanı oluşturur. Analiz verilerine göre küçük düzenlemelerle yapılacak faaliyetler için uygun saharlar % 24,1'lik alan kaplamaktadır. Bu kategorideki alanlar havzanın plato saharlarında yoğunlaşmaktadır. Modelde büyük düzenleme yapılması gereken saharlar % 15,3'lük alan kaplar. Büyük düzenlemelerle uygun koşullar sağlayan alanlar, plato saharlarındaki eğimli alanlarda yoğunlaşmıştır. Model verilerine göre beşeri faaliyetler için uygun olmayan saharlar % 8,9'luk alan kaplamaktadır. Hiç uygun olmayan ya da jeomorfolojik olarak antropojenik açıdan kullanılması günümüz şartlarında mümkün olmayan alanlar % 8,9'luk sahaya tekabül eder. Bu alanlar, havzanın güneyindeki plato saharlarından Uludağ ve Domaniç Dağları'na geçiş alanları, zirvelerdeki arızalı topografyanın olduğu alanlarda yoğunlaşmaktadır. Jeomorfolojik uygunluk analizi verileri İnegöl ve Yenişehir alt havzaları olarak incelendiğinde, uygun koşulların Yenişehir Havzası'nda daha geniş alan kapladığı anlaşılmaktadır. Uygun alanlar, Yenişehir Havzası'nın % 57,7'sini oluşturmaktadır iken İnegöl Havzası'nın % 26,4'ünü kaplamaktadır. Uygun olmayan alanlar ve hiç uygun olmayan-kullanılamaz saharlar İnegöl Havzası'nda % 14,8 ile %

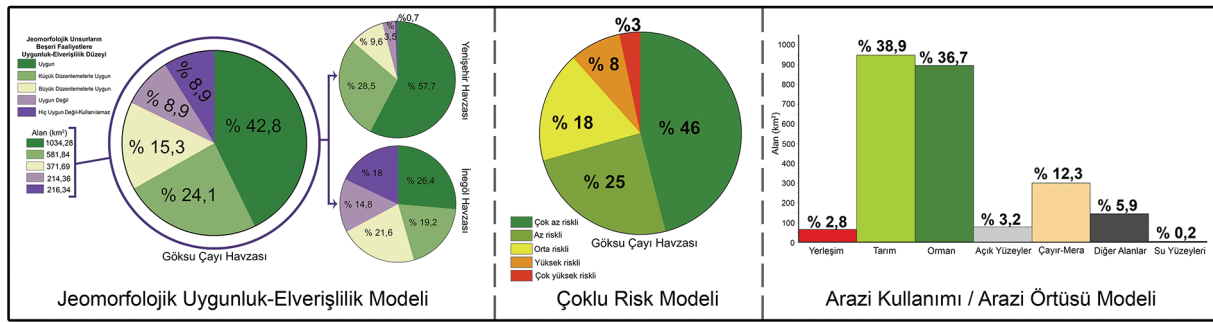
18 iken Yenişehir Havzası'nda % 3,5 ile % 0,7'dir (Şekil 3). Analiz verileri, havzanın kuzey kesiminde jeomorfolojik koşulların antropojenik faaliyetlerin kullanımına daha uygun olduğunu, güney kesimde İnegöl Ovası'nın jeomorfolojik uygunluğu açısından temel kullanım alanını oluşturduğunu, daha güneyde ise jeomorfolojik koşulların belli alanlarda antropojenik faaliyetleri sınırlandırdığını göstermektedir.

Havzanın yağış akış dağılışı modelinde, Göksu Çayı Havzası'nın maksimum ortalama toplam akışı 497.026 m<sup>3</sup>/yıl/km<sup>2</sup> ve minimumu 99.400 m<sup>3</sup>/yıl/km<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Göksu Çayı Havzası'nın akış yüksekliği ortalaması 403,41 mm olarak hesaplanmıştır. En düşük değer 151,2 mm en yüksek değer 756 mm'dir (Şekil 2 ve 4). Havzanın ortalama verim değeri Thront-hwaite yöntemine göre 12,74 l/sn/km<sup>2</sup>'dir. Göksu Çayı Havzası'nın meteorik su potansiyeli, yağış-akış modeli verilerine bağlı olarak 1.834.128.000 m<sup>3</sup> su girdisi şeklinde hesaplanmıştır (Şekil 4). Yağış akış modelinde en yüksek su girdisinin havzanın güneyindeki Uludağ ve Domaniç Dağları'ndan sağlandığı, ova tabanları ve havzanın deşarj noktası olan kuzeydoğusunda ise en düşük seviyelere indiği tespit edilmiştir (Şekil 4). Yağış



Şekil 2. Kümelenme analizinin dört ana değişkeni ve havza yönetim modelinin işleyiş sistematığı.

Figure 2. The four main variables of cluster analysis and the systematics of the watershed management model.



Şekil 3. Göksu Çayı Havzası ana değişkenlerinden (alt modellerinde) elde edilen kantitatif değerler.  
Figure 3. Quantitative values obtained in the main variables (sub-models) of Göksu River Basin.

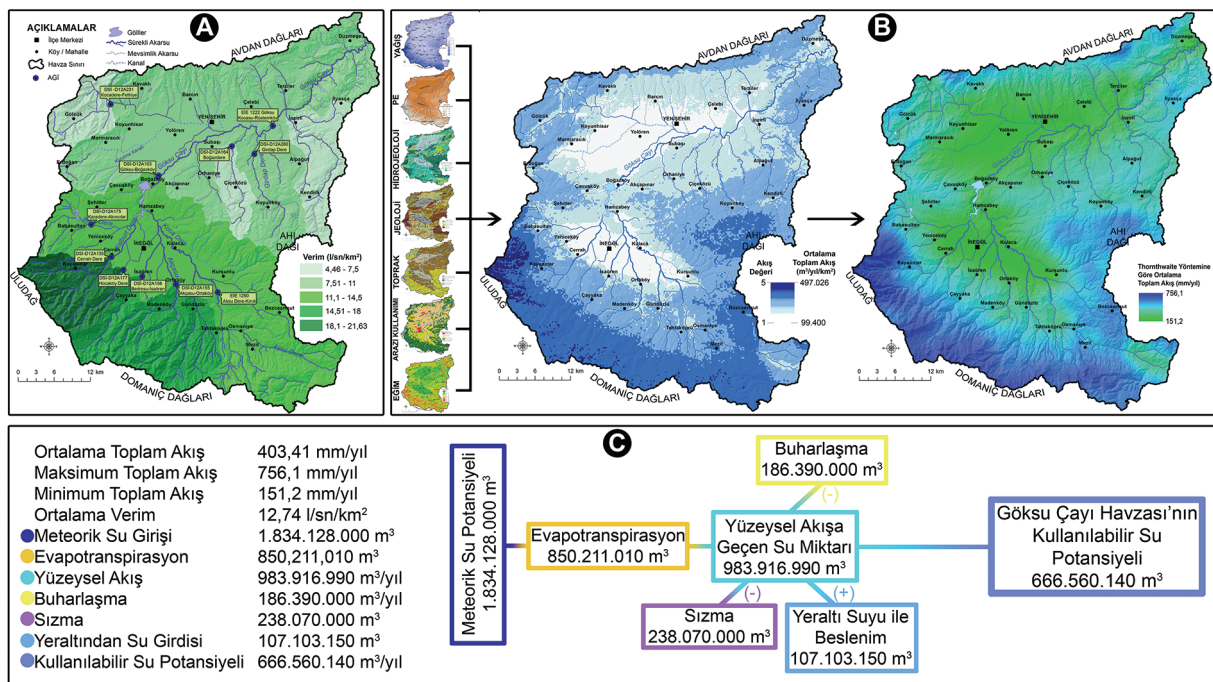
akış dağılışı verisi havzanın güney ve doğudaki yüksek kütlelerden yağmur ve kar sularıyla beslendiğini, kuzeyde ve ova tabanlarında ise yağmur ve yer altı sularıyla beslendiğini göstermektedir.

Havzanın su bilançosu, yağış akış modeli üzerinden meteorik su girdisi, akış, buharlaşma, sızma ve havza sınırları içerisinde yer altı suyu durumuna göre analiz edilmiştir. Mansaba en yakın olan Göksu-Rüstemköy AGİ verisine göre yüzeysel akış 543.380.000 m<sup>3</sup>/yıldır. Ancak belirtilen AGİ, Göksu Çayı Havzası'nın % 84'lük alanını kapsamaktadır. AGİ verisi temel alınarak yapılan korelasyonda havzanın tamamını kapsayan yüzeysel akış 655.776.000 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. Yağış akış modeli ile havzanın meteorik su girdisinden yüzeysel akışa geçen su miktarı 983.916.990 m<sup>3</sup>/yılılık olarak saptanmıştır. Havzanın su yüzeylerinden buharlaşma miktarı 186.390.000 m<sup>3</sup>/yıl olarak tespit edilmiştir. Kalan su miktarının bir kısmı yeraltına sızmaktadır. Bu değer hidrolojik yapı, eğim, topografik koşullar, su girdisi ve Sakarya Havzası verileri korele edilerek yapılan hesaplamada 238.070.000 m<sup>3</sup> sızmanın olduğu, bu miktarın yaklaşık % 40-45'nin kapilarite, basınç ve permaabilite durumuna göre tekrar yüzeyle çıktığı saptanmıştır. Böylece yeraltından yüzeysel akışa 107.103.150 m<sup>3</sup> su katılmaktadır. Yağış akış modeli üzerinden yüzeysel akıştan buharlaşma ve sızma

miktarı çıkarılmış, yer altı suyu katılımı eklenmiş ve Göksu Çayı Havzası'nın kullanılabilir su potansiyeli 666.560.140 m<sup>3</sup>/yıl olarak tespit edilmiştir (Şekil 4).

Havzanın çoklu risk (multi-risk) modeli verisine göre, havza toplam alanının % 46'sı çok az riskli, % 25'i az riskli, % 18' orta riskli, % 8' yüksek riskli ve % 3'ü çok yüksek riskli sahalara tespit edilmiştir (Şekil 2 ve 3). Havzada, İnegöl Ovası'nın güney, güneybatı ve kuzeydoğudan çevreleyen plato alanları ile Yenişehir Ovası'nın kuzeyi, Bahçecik, Koyanlık Dere alt havzaları, Göksu Çayı-Sakarya Nehri birleşim alanı ile kuzeyi yüksek riskli sahalara oluşturur (Şekil 2). Yoğun bitki örtüsü kuşağının olduğu antropojenik baskıdan uzak olan Uludağ, Domaniç Dağları, Ahı Dağı ve kuzeyindeki plato sahaları, Avdan Dağları, havzanın kuzeybatısındaki tepelik alanlar riskin en düşük olduğu alanlardır. Havzanın çoklu risk açısından en yüksek seviyede tehlike ihtiva eden alanlarının dağılışı da, eğim ve irtifa farkının yüksek olması, doğal bitki örtüsünün zayıflığı, litolojik birimlerin etkisi, sanayi, ulaşım ve maden-taş ocağı vb. antropojenik faaliyetlerinin yoğun olması temel etmenlerdir.

Arazi Kullanımı Türü/Arazi Örtüsü Modelinde, (AKT/AÖM) 2020 yılı Landsat uydusu görüntüsünün kontrollü sınıflandırması ile 7 farklı kullanım alanı belirlenmiştir. Havzanın arazi kul-



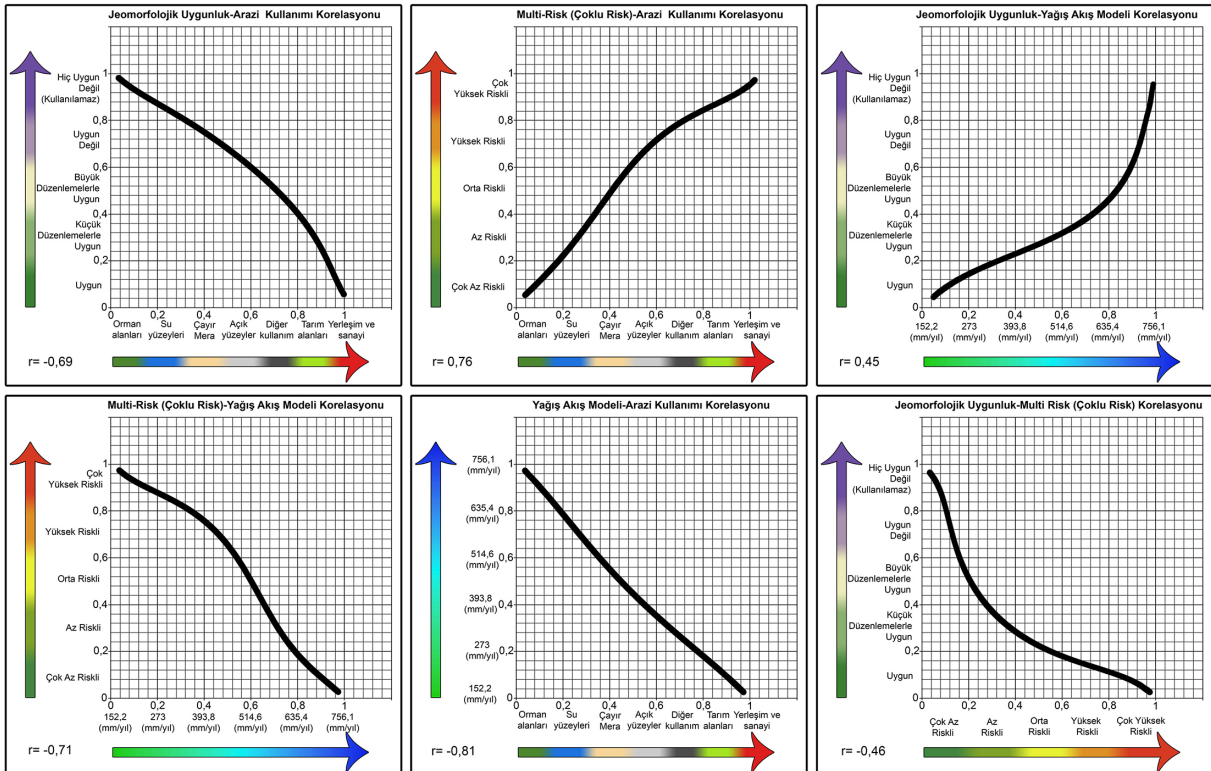
Şekil 4. A) AGİ bazlı verim dağılışı B) Ağırlıklı yağış akış modeli ve dağılışı haritası C) Yağış akış modeli ile elde edilen sayısal değerler.

Figure 4. (A) FOS based yield distribution B) Weighted precipitation flow model and distribution map C) Numerical values obtained with the precipitation flow model.

lanımında, tarım alanları 948,65 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümü ile havza toplam alanının % 38,9'luk kısmını kaplar. Orman alanları ise 897,01 km<sup>2</sup>'lik alan kaplar. Bu iki kullanım sınıfı toplam havza alanının % 75,6'sını meydana getirmektedir (Şekil 2 ve 3). 2020 yılında havzanın % 12,3'ünü çayır, ot, mera ve fundalık alanlar, % 2,8'ini yerleşim ve sanayi alanları, % 5,9'unu diğer arazi kullanım sınıfları, % 3,2'sini kayalık-açık alanlar ve % 0,2'sini su yüzeyleri oluşturmaktadır. Havzada, geniş yerleşim ve sanayi alanları İnegöl ve Yenişehir merkezlerinde toplanmıştır (Şekil 2 ve 3). İnegöl'de yerleşim alanları ovada, D-200 ve D-595 karayolu çevresi ile İnegöl OSB çevresinde, Yenişehir'de ise D-160 ve D-595 karayolu yöneliminde dağılışı gösterir. Diğer yerleşim alanları ise İnegöl ve Yenişehir ovaları çevresindeki kırsal alanlarda yoğunlaşmıştır. Tarım alanları, İnegöl ve Yenişehir ovalarındaki esas kullanımı meydana getirmektedir. Bu sahaların dışında diğer alüviyal düzlüklerde de kuru ve sulu tarım faaliyetleri sürdürülmektedir. Havzada ormanlık alanlar güneyde, Uludağ ve Domaniç Dağları'nda doğu-batı yönlü olarak bir kuşak oluşturmuştur. Batıda eşik sahası, kuzeybatıdaki yüksek kütleler, Avdan Dağları'nın belli bir bölümü, kuzeydoğuda Göksu Çayı çevresindeki plato alanı ve doğuda Ahı Dağı ve çevresinde de orman alanları bulunur. Havzada, çayır, ot, mera ve fundalık alanlar Uludağ-Arpaçkarı Tepe çevresi ve diğer tepelik alanlar, Domaniç Dağları'nın yüksek kesimleri ve eğimin fazla olduğu plato alanlarında, doğuda Ahı Dağı ve plato sahasında arazi örtüsünü meydana getirmektedir. Diğer arazi kullanım türlerini hava alanı, boş araziler, maden-taş ocakları ve karayolları meydana getirmektedir. Havzadaki su yüzeylerinin büyük bölümünü Boğazköy ve Babasultan barajları oluşturmaktadır. Bunun dışında havzada farklı noktalarda 30'a yakın gölet varlığı mevcuttur. Havzada kayalık yüzeyler Uludağ ve Domaniç Dağları'nın yüksek kesimlerinde gözlemlenirken diğer sahalarda açık yüzeyler münferit yükseltilerde bulunmaktadır.

### 3.2. Göksu Çayı Havzası'nın Hücresel Tabanlı Mekânsal Otokorelasyonu, Kümeleme Analizi ve İstatistiksel Testleri

Göksu Çayı Havzası'nın ana değişkenlerini oluşturan jeomorfolojik uygunluk, yağış akış, çoklu risk ve arazi kullanımı (AKT/AÖM) modellerinin ağırlık matrisi ve mekansal otokorelasyonu ile havza yönetimi açısından ilişki, etkileşim düzeyi saptanmıştır (Şekil 5). Ana değişkenler arasındaki mekansal otokorelasyon için 0-1 arasındaki değerler üzerinden ilişki düzeyi ve yönü (negatif ve pozitif) hesaplanmıştır (Şekil 5). Havzanın jeomorfolojik uygunluk-arazi kullanımı ilişkisi, havzada jeomorfolojik koşulların antropojenik faaliyetler açısından daha elverişli ve uygun koşullar ortaya koyduğu alanlarda beşeri kullanımın arttığını, yerleşim, sanayi, tarım ve diğer kullanım verilerinin yoğunlukta olduğu göstermektedir. Jeomorfolojik uygunluk-AKT/AÖM korelasyonu negatif yönlü (-0,69) bir eğilim ortaya koymaktadır. Havzanın çoklu risk-AKT/AÖM ilişkisi doğrusal korelasyona sahip olup pozitif yönlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir (0,76). Havzada risk alanların arttığı yerlerde, antropojenik faaliyetlerin artması, daha büyük sorunların ortaya çıkmasına neden olduğu varsayımı matris üzerinden tespit edilmiştir. Karşılaştırma matrisi ile ortaya konan korelasyonlarda çoklu risk-yağış akış modeli (-0,71), yağış akış modeli-AKT/AÖM (-0,81) ve jeomorfolojik uygunluk-çoklu risk (-0,46) korelasyonlarının ters yönelimli negatif ilişki düzeyine sahip olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen veriler havzanın İnegöl ve Yenişehir ovalarına doğru jeomorfolojik açıdan beşeri faaliyetlerin kullanımına daha uygun alanlarda antropojenik faaliyetlerin yoğunlaştığını ancak bu sahaların risk ve yağış akış açısından sorunlar barındırabileceği ve bütün risk verileri mekansal otokorelasyonunun bu alanlarda yoğunlaşacağını göstermiştir.



Şekil 5. Ana değişkenler arası mekansal otokorelasyon ve ilişki düzeyleri.

Figure 5. Spatial auto-correlation and relationship levels between main variables.



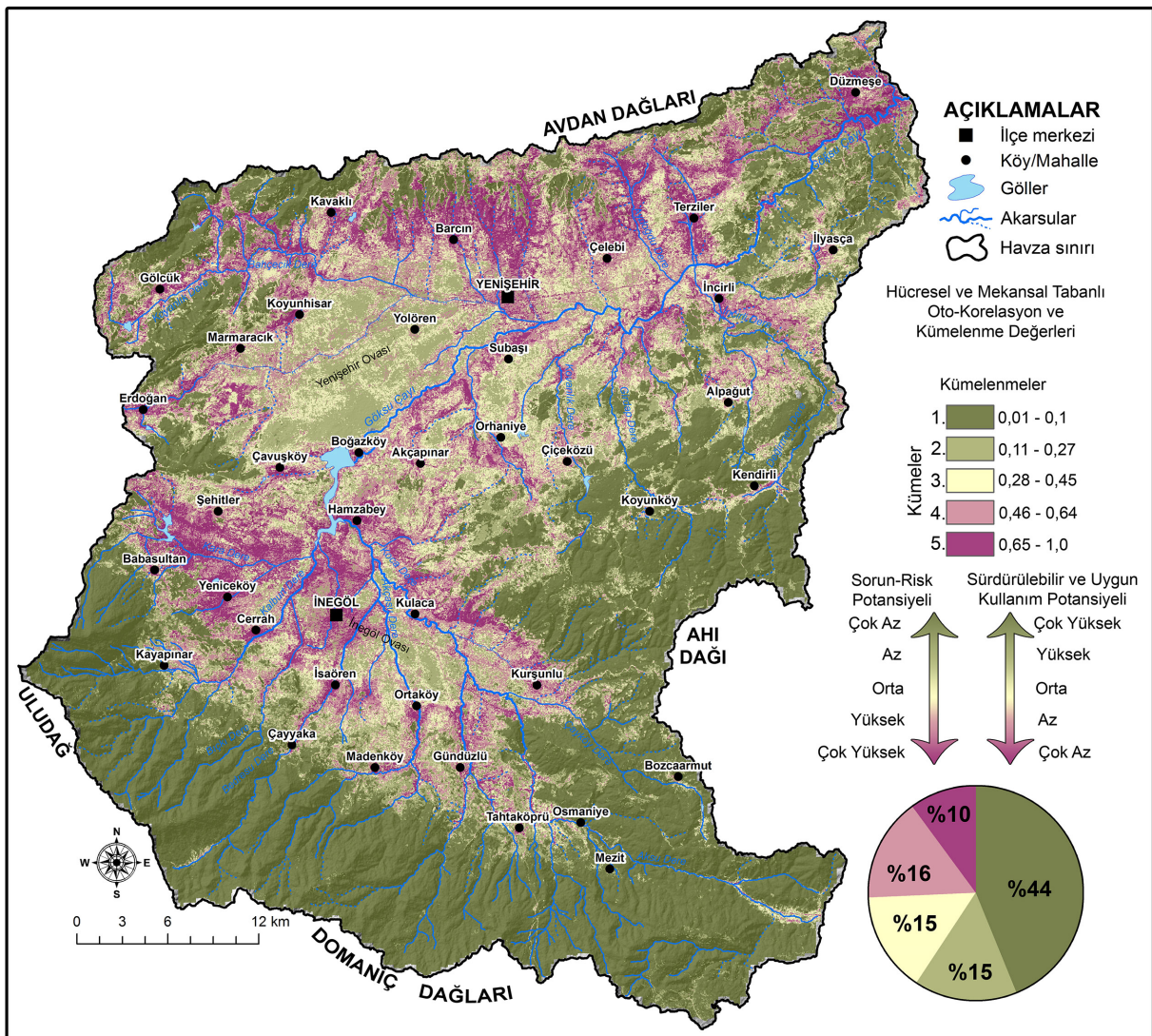
**Tablo 1.** Kümeleme analizi verilerinin dağılışı, sayısal değerleri ve farklı potansiyel düzeyleri.  
**Table 1.** Distribution, numerical values and different potential levels of cluster analysis data.

Küme	Kümelerin Havzadaki Genel Dağılışı	Alan (km <sup>2</sup> )	Alan (%)	Sorun-Risk Potansiyeli	Sürdürülebilir Uygun Kullanım Potansiyeli
1	Yüksek kesimler ile kuzey, doğu ve güneydeki ormanlık alanlar	1048,03	44	Çok Az	Çok Yüksek
2	Tarım alanları, çayır-mera alanları ve platolardaki muhtelif sahalar	368,9	15	Az	Yüksek
3	Yenişehir ve diğer ova düzlükleri ve alçak platolar	359,3	15	Orta	Orta
4	Platolardan İnegöl ve Yenişehir ovalarına geçiş sahaları, dar vadiler	373,1	16	Yüksek	Az
5	İnegöl Ovası ve batı kesimi, Yenişehir Ovası kuzeyindeki plato, vadiler ve akarsu kenarları	241,4	10	Çok Yüksek	Çok Az

Havzanın hücre tabanlı kümeleme analizi ile beş farklı küme tespit edilmiştir (Tablo 1 ve Şekil 6). Kümeleneceklerin dağılışı, belli coğrafi özellikler ve ana değişkenlerin ilişki düzeyi neticesinde farklı yoğunlaşma sahaları oluşturmuştur (Şekil 6). Havzada, kümeleneceklerin detayı hiyerarşik olarak birleştirilerek değerlendirilirse İnegöl ovası, Yenişehir kuzeyindeki plato sahalarında 4. ve 5. kümeler yer alırken, yüksek dağlık alanlar ve yüksek plato sahalarında 1. ve 2. kümelerin yoğunlaştığı dikkat çeker. Bu durum arazi kullanımı, jeomorfolojik uygunluk analizi, hidrografik-klimatik şartlar ile çoklu risk verileri arasındaki

ilişkinin belli alanlarda düzenli mekansal kümelenecekleri ortaya koyduğunu göstermektedir.

Göksu Çayı Havzası'nın kümelenecek dağılışı sorun-risk potansiyeli açısından analiz edildiğinde, antropojenik faaliyetlerin yoğun olduğu aynı zamanda jeomorfolojik koşullar başta olmak üzere doğal koşulların belli riskleri ihtiva ettiği alanlarda muhtelif sorunların meydana geldiği ya da gelecekte risklerin olabileceği saptanmıştır. Belirtilen varsayımın mekansal kümelenecekleri özellikle İnegöl Ovası'na geçiş sahalarında, Şehit-

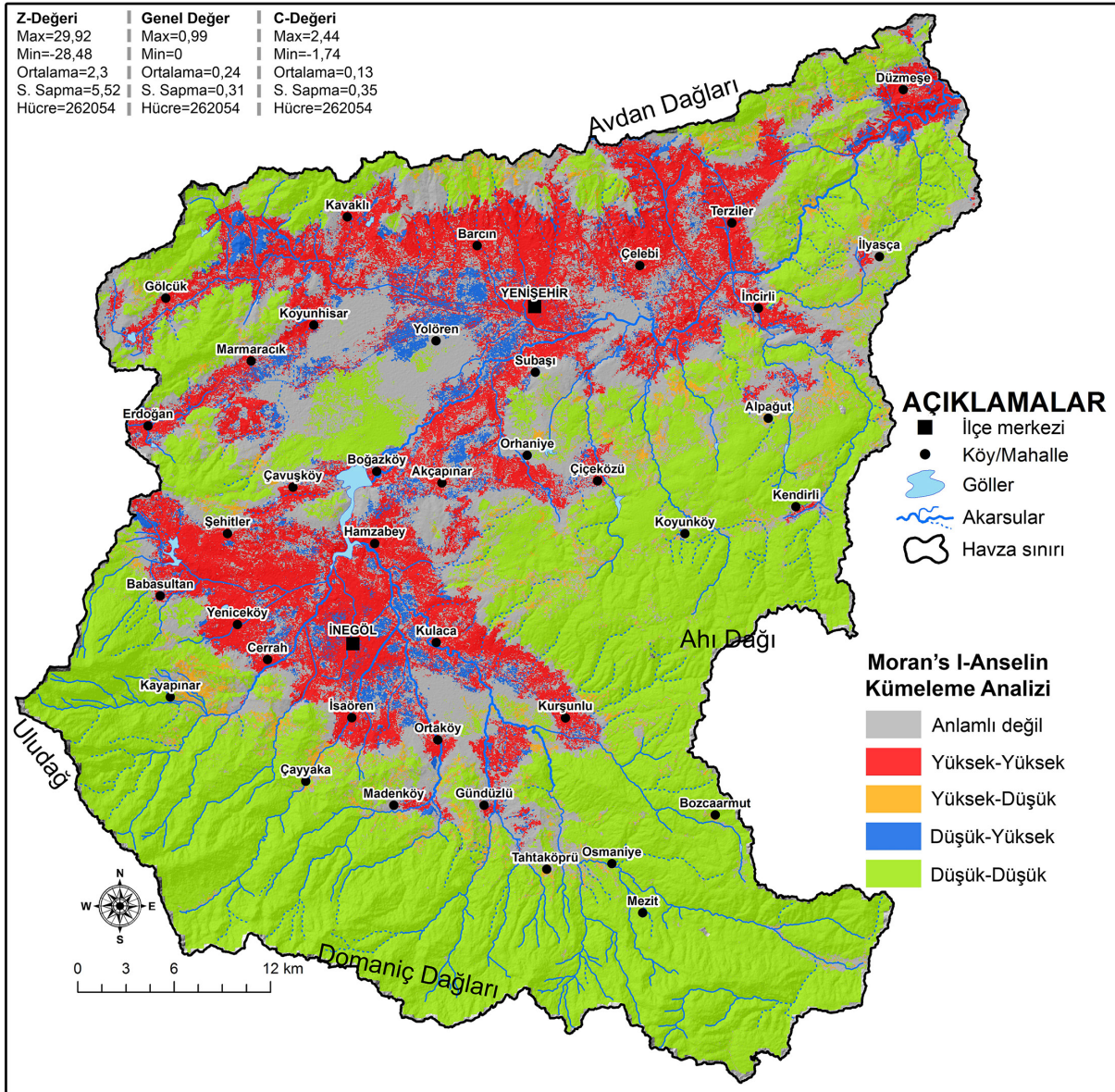


**Şekil 6.** Göksu Çayı Havzası'nın ana değişkenler üzerinden mekansal otokorelasyonu ile kümeleme analizi.  
**Figure 6.** Clustering analysis of Göksu River Basin with spatial auto-correlation over main variables.

ler-Babasultan-İnegöl üçgeninde, Yenişehir Ovası'nın kuzeyinde hafif eğimli plato sahasındaki açık yüzeylerde, alüvyal ova tabanları, Göksu Çayı'na Ahı Dağı'dan dökülen akarsuların deşarj noktaları ve Marmaracık-Erdoğan arasında yoğunlaşmıştır (Şekil 6). Havza yönetimi açısından bu alanların erozyon, sel, taşkın, heyelan riskleri taşıdığı, arazi kullanımı açısından özellikle İnegöl Ovası'nın antropojenik baskı altında olduğu, yağış akış ilişkisi ile su temini sorunlarının oluşabileceği, akarsularda kirlilik düzeyinin arttığı ve bu alanlarda mutlak suretle tedbir alınması gerektiği saptanmıştır. Yüksek derecede sorun ve risk açısından kümelenmenin olduğu alanlar havzanın % 26'sını oluşturmaktadır. Yüksek dağlık alanlarda belli risklerin olduğu ancak bu sahaların antropojenik kullanımdan uzak olması, orman varlığının Uludağ, Domaniç Dağları ve Ahı Dağı'nda geniş yer kaplaması risk potansiyelinin oldukça düşük düzeyde kümelenmesini sağlamıştır. Yenişehir Ovası, İnegöl Ovası'nın doğusu (Kulaca-Ortaköy arası), Ahı Dağı-Göksu Çayı arasındaki plato alanlarında da sorun-risk potansiyeli düşük kümelenme gösterir. Bu alanlarda jeomorfolojik uygunluğun beşeri faaliyetler için elverişsiz olması antropojenik baskıdan uzak sahaların genişliğini arttırmış, yağış akış ilişkisine müdahalenin olmaması doğal dinamik işleyişlerin devam etmesi, sorun-risk

potansiyelinin düşük seviyelerde olmasını sağlamıştır.

Havzanın kümeleme analizinde doğal ve beşeri ortam koşulları ilişkisine dayalı sürdürülebilir uygun kullanımların olduğu alanlar, orman varlığının yoğun olduğu yüksek dağlık sahalarda kümelenmiştir (Şekil 6). Belirtilen sahaların beşeri baskıya çok uzak olması, orman varlığı ile engebeli arazinin topografyayı oluşturması, sürdürülebilirlik ve havza yönetimi açısından mekanın potansiyelinden optimal ölçekte yararlanabileceğini göstermektedir. Sürdürülebilir-uygun kullanım potansiyelinin az (% 16) ve çok az (% 10) olduğu sahalar İnegöl Ovası ve Yenişehir Ovası'nın kuzey kesiminde yoğunlaşmıştır. İnegöl Ovası'nın yerleşim, ulaşım ve sanayi odaklı baskıya uğraması, erozif işleyişin yüksek olduğu Yenişehir Ovası kuzeyindeki eğimli arazilerde tarım faaliyetlerinin yapılması, sürdürülebilir bir havza yönetimi verisinin düşük olduğunu, bu alanlarda doğal-beşeri ortam koşulları arasındaki ilişkiden kaynaklanan sorunların bulunduğunu göstermektedir. Gölcük-Kavaklı-Barçın-Terziler-Düzmeşe arasındaki batı-doğu hattında erozyon riskinin tarımsal araziler üzerindeki uygun kullanımı düşürdüğü tespit edilmiştir. İnegöl Ovası'nın batısını oluşturan Cerrah Dere-Babasultan-Şehitler arasındaki sahada deprem, erozyon,



Şekil 7. Göksu Çayı Havzası'nın Lokal Moran's I-Anselin testi kümeleme analizi.  
Figure 7. Local Moran's I-Anselin test cluster analysis of Göksu River Basin.

sel, heyelan ve kuraklık riski oldukça yüksektir. Bu sahadan ana ulaşım güzergâhının geçmesi, antropojenik baskılar, bu alanda sürdürülebilir uygun kullanımın düşük olduğunu ve sorunların gelecekte de muhtemel olabileceğini ifade etmektedir. İnegöl yerleşim merkezi, antropojenik kullanım yoğunluğunun verimli topraklarda oluşturacağı baskının yanında, beşeri kaynaklı riskler, çevresel kirlilik, sanayi deşarjlarının akarsuların kalitesini etkilemesi ve sel, taşkın, kuraklık riskleri ile uygun kullanımının çok az olduğu kümelenme sahasını oluşturmuştur. Yenişehir Ovası, İnegöl Ovası'nın doğusu, Göksu Çayı'ndan Ahı Dağı'na uzanan plato sahasında doğal-beşeri ortam ilişkisinin sürdürülebilir ve uygun kullanım şeklinde olduğu bir kümelenme mevcuttur.

Göksu Çayı Havzası'nın hücre tabanlı kümelenme analizi, mesafe kapsamlı olarak Lokal Moran's I-Anselin istatistiği ile test edilmiştir. Test sonuçları, her bir kümenin çevresindeki küme ile korelasyon değeri ve öklid mesafesi üzerinden kümelenme-ayrılma özelliğine göre analiz edilmiştir. Test sonuçlarına göre Yüksek-Yüksek değerler, İnegöl Ovası'nın büyük bölümü, Yenişehir Ovası'nın kuzeyi, Boğazköy-İncirli arasında Göksu Çayı çevresi, Bahçecik ve Koyanlık Dere vadi tabanları ve Dümeşe'de kümelenmiştir (Şekil 7). Düşük-Düşük kümelenme, çerçeveyi oluşturan dağlık sahalar ile plato alanlarına geçiş sahalarında yoğunlaşmıştır. Çevresine göre daha farklı küme verisine sahip kümelenmenin olduğu Yüksek-Düşük kümelenme sahaları dağ-plato geçiş sahasında kümelenmiştir. Düşük-Yüksek değerlerdeki kümelenme İnegöl ve Yenişehir ovalarında görülür. Yenişehir Ovası'nda Büyükazmak güneyi, İnegöl Ovası doğusu ile birçok kısa boylu konsekt akarsu çevresindeki kümelenmenin anlamlı değerde bir kümelenme göstermediği tespit edilmiştir.

Moran's I-Anselin testi sonuçlarına göre havzanın, İnegöl Ovası ile Yenişehir Ovası'nın kuzeyindeki plato sahalarında sorun-risk potansiyeli yüksek kümelenmeler çevrelerindeki değerlerle eşleşerek geniş bir alanda mekansal birlik oluşturmuştur (Şekil 7). Çerçeveyi meydana getiren dağlık sahalar ile orman varlığının bulunduğu plato sahalarında ise düşük değerler mekansal kümelenmeyi oluşturur. Bu alanlarda sorun potansiyeli oldukça düşük olup sürdürülebilir uygun kullanım olduğu saptanmıştır. Dağınık kümelenmenin olduğu Yüksek-Düşük veriler, İnegöl Ovası kuzeyindeki eğimli arazilerde, çayır-mera sahalarında, akarsu vadileri çevresinde ve Avdan Dağları'nın yüksek kesimlerinde gözlemlenir. Bu sahalarda risk potansiyelinin yüksek olduğu ancak beşeri kullanım açısından baskının düşük olduğu yorumu yapılabilmektedir. Düşük-Yüksek olarak kümelenen alanlar, havzanın her iki ova tabanı ile alüvyal düzlüklerde yoğunlaşmıştır. Bu veriler ise belirtilen alanlarda sorun-risk potansiyelinin düşük ancak antropojenik baskının yüksek olduğunu göstermektedir.

Göksu Çayı Havzası'nın mekansal kümelenme verileri Getis-Ord Gİ istatistiği ile sıcak-soğuk nokta kümelenmesi açısından analiz edilmiştir. Test sonuçlarının % 99 güven aralığında tespit edilen sıcak noktaları İnegöl Ovası, Yenişehir Ovası'nın kuzeyindeki plato sahasının büyük bölümü, Dümeşe, Gölçük, Marmaracık, Alpağut ve Gündüzlü yerleşmeleri çevresinde kümelenmiştir (Şekil 8). Soğuk nokta sahaları % 99 güven aralığında test analiz sonuçlarına göre havzanın güney ve doğusundaki plato ve dağlık alanlarının tamamı ile kuzeydeki Avdan Dağları'nın bir bölümü ve Yenişehir Ovası'nın batısında

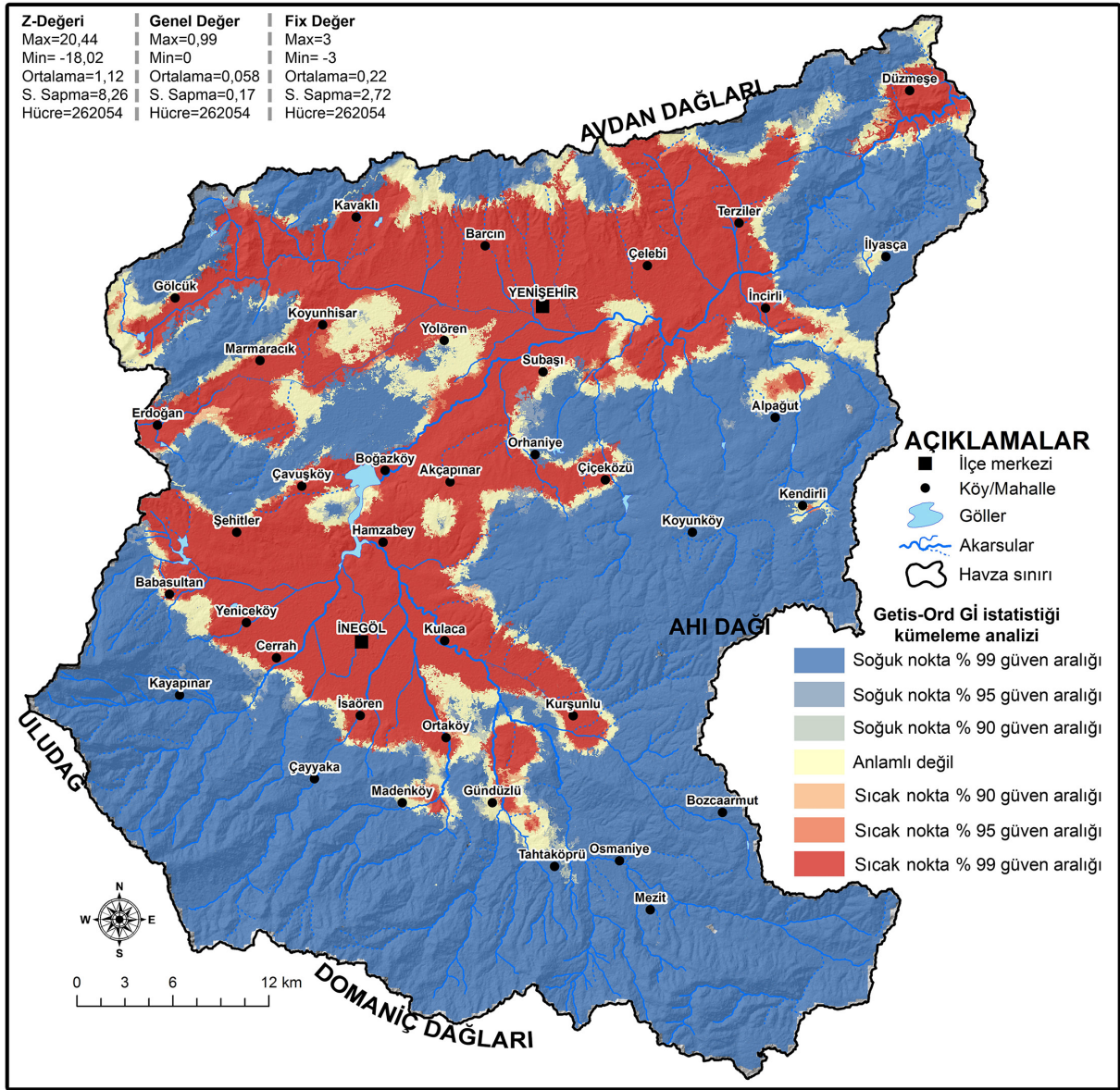
kümelendiği tespit edilmiştir. Sıcak ve soğuk noktaların % 99 aralığında tespit edilen kümelenmeler havzanın alansal olarak büyük bölümünü oluşturmaktadır. Sıcak ve soğuk noktalarının % 95 ve % 90 güven aralığındaki kümelenmesi belirtilen iki değer geçiş sahalarında gözlemlenir. Mekansal olarak dağınık bir kümelenmenin görüldüğü sahalar ise İnegöl Ovası çevresindeki birikinti konilerinde, Yenişehir Ovası'nın güneyi, İncirli Dere, Koyanlık Dere, Oylat Dere drenaj alanlarında görülmektedir (Şekil 8).

Getis-Ord Gİ istatistiği sonuçları, Göksu Çayı Havzası'nın özellikle antropojenik etkinin yoğun olduğu İnegöl Ovası ile erozyon riskinin fazla olduğu Yenişehir Ovası kuzeyindeki sahada sorunların olduğunu göstermektedir. Bu alanlardaki geniş kümelenmelerin kantitatif test sonuçları, belli alanlardaki sorunların aynı zamanda çevresinde de etkili olabileceği ve ortak bir kümelenme oluşturabileceğini açıklar. Orman alanlarının bulunduğu Uludağ, Avdan Dağları, Domaniç Dağları ve Ahı Dağı ile bu alanlara geçişteki plato sahalarında ise sorun-risk potansiyelinin az olduğu, uygun kullanımların sürdürülebilirlik açısından yüksek potansiyeli barındırdığı kümelenmeler mevcuttur (Şekil 8). Belirtilen koşullar, Getis Ord Gİ analizinin, Moran's I-Anselin testi ile benzer sonuçlar ortaya koyduğunu göstermektedir.

### 3.3. Göksu Çayı Havzası'nın Kümeleme Analizi Kapsamında Bütünleşik ve Sürdürülebilir Havza Yönetimi ile Yapılması Gereken Uygulamalar

Sürdürülebilir kullanım, havzaların doğal ortam özelliklerinin beşeri faaliyetlerle optimal derecede kullanılması, korunması ve geleceğe taşınması ile mümkün olmaktadır. Bu bakımdan Göksu Çayı Havzası'nın ana değişkenleri ile hücre tabanlı kümeleme analizi verileri değerlendirilmiş, havzanın doğal ve beşeri ortam koşulları ile etkileşim durumu analiz edilmiş ve bütünleşik, sürdürülebilir havza yönetimi için öneriler ortaya konmuştur (Şekil 9).

Kümeleme analizi sonuçları, Göksu Çayı Havzası'nın özellikle ova tabanları ve çevresinde havza yönetimi açısından önlemlerin alınması gerektiğini göstermektedir. Arazi kullanımının dağılışı ve risk teşkil eden sahalarının birleşim noktaları havzanın sürdürülebilir yönetimine negatif yönlü etki yapmaktadır. Bu alanlarda yerleşim, sanayi ve tarım alanlarının olması, muhtemel risklerden etkilenmemesi için tedbirlerin alınması, jeomorfolojik uygunluk dağılışına göre planlama yapılması ve antropojenik faaliyetlerin yoğunlaşacağı alanların planlanması gerekmektedir. Ayrıca sel, taşkın kontrolü için Göksu Çayı, Karadere, Koca Dere, Akçasu Dere, Kalburt Dere ve Bedresu Dere gibi uzun boylu akarsularda taşkın kontrol tesislerinin sayısının artırılması, var olanlarının revize edilmesi gerekir. Ayrıca 4373 sayılı kanun gereğince belirlenen taşkın ve su baskını koruma sınırının havza içerisinde gözden geçirilmesi gerekmektedir. Özellikle Göksu Çayı'nın 150 metrelik koruma sınırı belli alanlarda genişletilmeli, İnegöl Ovası'nda tek kanala deşarj olan akarsularda da mutlaka 50-100 metre tampon sınırı uygulanmalıdır. İnegöl ilçe merkezi batısı ile Yenişehir Ovası kuzeyindeki sahada erozyon riskinin azaltılması için tarım uygulamalarının mutlak suretle gözden geçirilmesi önerilir. Belirtilen alanlardaki antropojenik faaliyetlerin doğal ortam koşulları ile ilişkisi dikkate alınarak planlanmalı, tehlike duyarlılık dağılışı açısından bu sahalardaki orman, çayır-mera



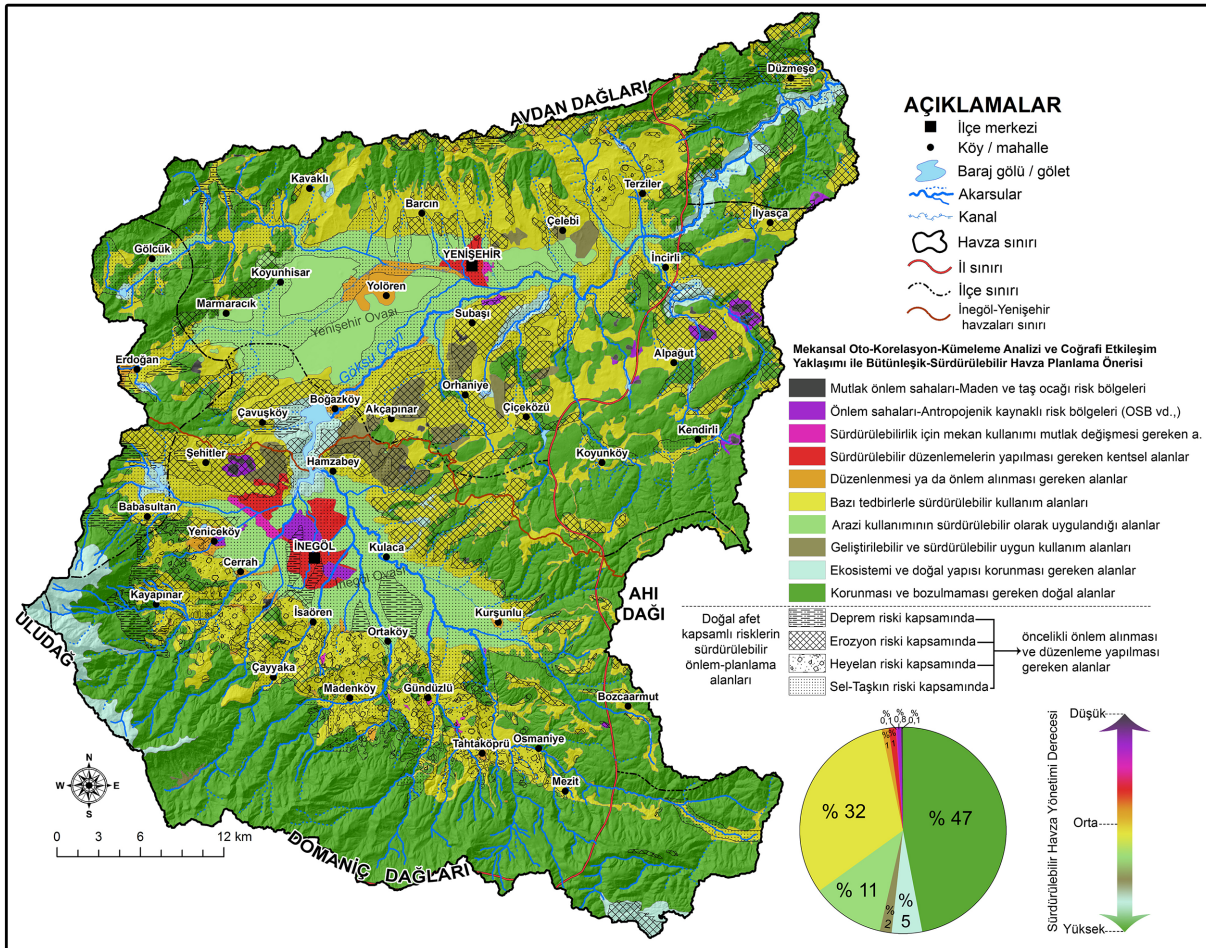
Şekil 8. Göksu Çayı Havzası'nın Getis-Ord Gi istatistiği kümeleme analizi.  
Figure 8. Getis-Ord Gi statistics cluster analysis of Göksu River Basin.

ve tarım alanları varlığı korunmalıdır. Havzanın doğusunda yoğunlaşan mermer-taş ocağı alanlarının oluşturduğu topografik ve ekolojik değişimlerin mutlaka kontrol altına alınması, revize ve ıslah çalışmalarının modellenmesi bütünleşik ve sürdürülebilir havza yönetimi açısından yapılması gerekenler arasında yer almaktadır.

Havza yönetiminde, doğal bitki örtüsünün korunması, doğal yapısı ve ekosistemi bozulmaması gereken alanların da aynı kapsamda değerlendirilmesi önerilmektedir (Şekil 9). Özellikle yüksek çerçevede kuşak halinde bulunan bu sahalar günümüzde korunmuş haldedir. Ancak İnegöl mobilya sanayisine hammadde sağlayan güneydeki nemli ormanların sürdürülebilir kullanımı geliştirilmelidir. Bu gelişim koruma, denetleme ve havzanın belli sahalarının da ağaçlandırılması ile sağlanabilmektedir. Ayrıca Boğazköy Barajı çevresi, İncirli-Düzmeşe arasındaki Göksu Çayı vadisi, güneydoğudaki dolin sahası, Kovanlık ve İncirli Dere vadileri jeomorfolojik ve ekolojik açıdan mutlak korunması gereken alanları oluşturur. Bu sahaların korunması, havzanın doğal koşulları ve dinamik işleyiş süreçlerinin sürdürülebilir şekilde devam etmesine destek verecektir. İnegöl ve Yenişehir ovaları ile diğer alüviyal düzlüklerde yapı-

lan tarımsal faaliyetler havzanın doğal ortam koşulları açısından sürdürülebilir kullanım alanlarını oluşturmaktadır. Ancak bu sahaların bir kısmı yoğun kentsel ve endüstriyel baskı altında bulunmakta ve gelecek açısından tehditleri barındırmaktadır. Bu nedenle havzadaki nüfus, yerleşim ve sanayi gelişimine paralel yeni yerleşim ve sanayi alanları açısından uygun sahalarda tespit edilmelidir (Şekil 9). Havzada antropojenik faaliyetler açısından uygun olan ve sürdürülebilirliği destekleyen sahalarda, daha çok havza ortası eşik alanında mevcuttur.

Havzanın doğal yapısının ve dinamik işleyiş süreçlerinin devam etmesi, sosyo-ekonomik yapının doğal-beşeri unsurlarla desteklenmesi ve geliştirilebilmesi, aynı zamanda havzanın ekosisteminin korunması orman, çayır-mera ve tarım alanlarının varlığına yüksek ölçüde bağlıdır. Bu veriler, Göksu Çayı Havzası'nın büyük çoğunluğunda sürdürülebilir kullanımın olduğunu göstermektedir (Şekil 9). Ancak lokal riskler, tehditler havzanın dinamik işleyiş süreçlerine bağlı olarak birçok fiziki coğrafya unsurunu etkileyebilmekte ve dolayısıyla beşeri etkenlerde de riskler oluşturabilmektedir (Fotoğraf 1). Havzanın % 32'si belli tedbirler alınarak sürdürülebilir kullanıma uygun hale getirilebilecek sahalardır. Bu alanlar, kırsal yerleşmeler, alüviyal



Şekil 9. Göksu Çayı Havzası'nın kümeleme analizi ve coğrafi veriler üzerinden bütünlük ve sürdürülebilir havza yönetimi.

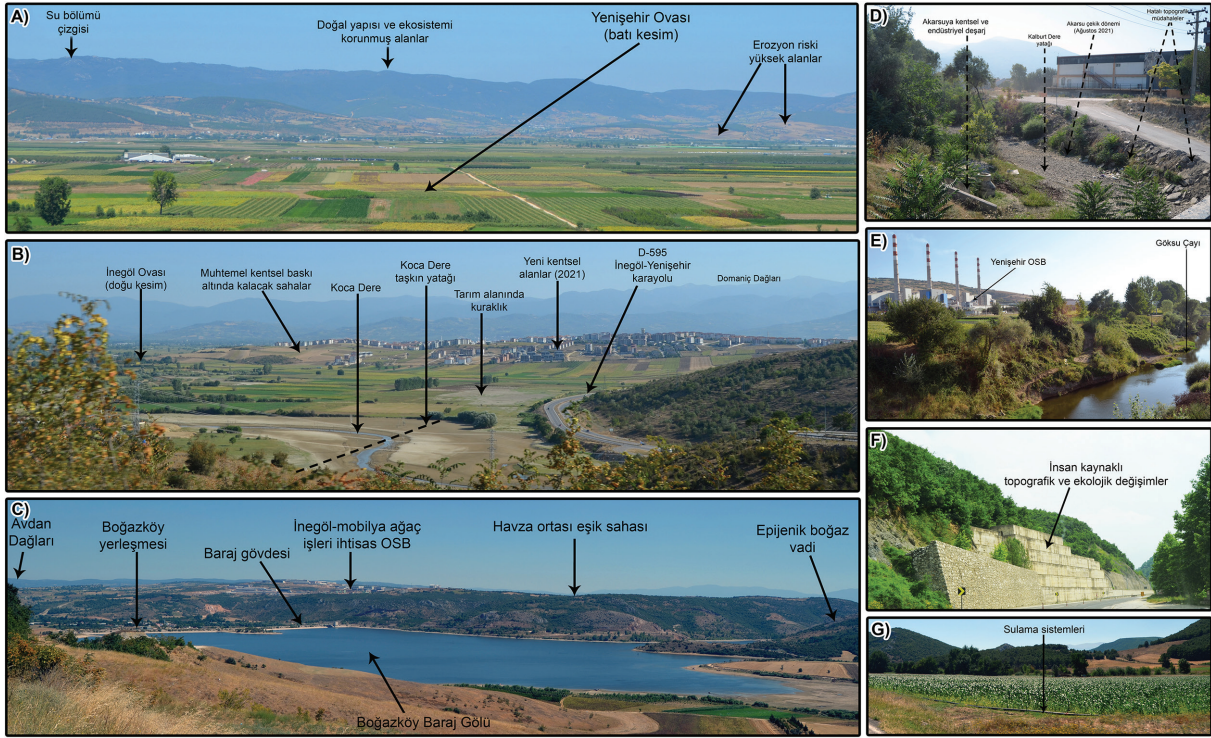
Figure 9. Integrated and sustainable watershed management through clustering analysis and geographical data of Göksu River Basin.

sahalar dışındaki kuru ve karışık tarım alanları ile çayır-mera alanlarından oluşur. Belirtilen sahalar, havzanın kuzeyinde Yenişehir Ovası çevresindeki birikinti konilerinden 700 m yükseltiye kadar, havzanın güneyinde 1400 m yükseltiye kadar olan geniş bir alanı kaplamaktadır (Şekil 9).

Havza, sürdürülebilirlik açısından mekan kullanımı doğal ortam koşullarına uygun olmayan, risk oluşturabilecek sahaları barındırmakta ve bu alanlarda düzenlemelerin yapılması gerekmektedir. Bu sahaları Yenişehir havalimanı çevresi, Ayaz, Söylemiş, Boğazköy, Köprühisar, Hayriye yerleşmeleri, Yeniceköy sanayi alanı, Cerrah yerleşmesi ve sanayi alanı, Kurşunlu yerleşmesi, Hocaköy, İsaören, Deydinler, Hayriye, Madenköy kırsal yerleşme alanları oluşturmaktadır (Şekil 9). Bu sahalar İnegöl güneyindeki kırsal yerleşmelerin tamamı aktif heyelan sahasında yer almakta ve risk altında bulunmaktadır. Bu nedenle belirtilen yerleşmelerde heyelan tedbirlerinin alınması önerilmektedir. Göksu Çayı vadisi kenarında yer alan Ayaz, Söylemiş, Boğazköy, Köprühisar ve Hayriye ise sel, taşkın riski altında bulunmaktadır. Bu yerleşmelerin 4373 sayılı Taşkın Sulara ve Su Baskınlarına Karşı Koruma Kanunu'na uygun olarak belirlenen Göksu Çayı koruma sınırı olan 150 m'lik bandı aşan alanlarda yer değişikliği uygulaması yapılması gerekmektedir (Fotoğraf 1). Yeniceköy, Cerrah ve Hocaköy yerleşmelerinde ise antropojenik etkenlerin doğal yapıyı değiştirdiği (vadilerin degradasyonu) bu nedenle heyelanı tetikleyici etkenlerin muhtemel olabileceği gözlemlenmiştir. Belirtilen alanlardaki heyelan tedbirlerinin alınması elzem bir öncelik olarak planlamada yer alır. Ayrıca Yeniceköy ve Cerrah'da sanayi baskısı son

10 yıllık dönemde artmış ve bu sahalarda endüstriyel atk deşarjı hidrografik, pedolojik unsurları etkilemeye başlamıştır. Bu nedenle endüstriyel atk arıtma tesislerinin (AAT) performans ve teknolojisinin artırılması, gelecek açısından endüstriyel büyüme nedeniyle yeni AAT'nin yapılması önerilmektedir.

Kentsel yerleşim alanlarının ovalarda yayılmış olması sürdürülebilirlik açısından birtakım sorunları beraberinde getirmektedir. Kent yerleşmelerinin yayıldığı bu alanlar verimli tarım arazileri için oldukça uygun sahalar iken aynı zamanda sel, taşkın, deprem riski açısından tehditleri içermektedir. İlçe merkezlerinde mühendislik yapılarının belirtilen risklere karşı güçlendirilmesi gerekir. Ovada kurulan ve genişleyen İnegöl'deki kentsel ve endüstriyel atk deşarjlarının Karadere, Kalburt Dere, Bedersu Dere, Akçasu Dere ve Koca Dere'ye karışması, bu derelerinin Boğazköy'den itibaren Göksu Çayı'na deşarjı daha sonra Yenişehir atk deşarjlarının Göksu Çayı'na karışması, birçok sorun ile özellikle çevresel kirliliğin artabileceğini göstermektedir (Fotoğraf 1). Bu bakımdan havzada kentsel AAT sayısı, teknolojisi ve performansı mutlak suretle artırılmalıdır. Ayrıca İnegöl'de uygulanan çamur arıtma tesisi örneğindeki gibi sürdürülebilir kullanım örneklerinin dışında, ileri biyolojik arıtma tesisi ve endüstriyel AAT sayısı ile teknolojisinin de artırılması gerekmektedir. Yapılacak alt-üst planlamalarda kentsel alanlarının ovaya genişlemesi engellemeli ve yeni kentsel alanının uygun sürdürülebilir kullanım alanlarına doğru planlanması önerilmektedir.



**Fotoğraf 1.** Havzanın doğal ve beşeri unsurları, A) Yenisehir Ovası, B) İnegöl Ovası, C) Boğazköy Barajı, D) Kalburt Dere'deki sorunlar, E) Göksu Çayı koruma hattındaki Yenisehir OSB, F) D-200 karayolunda insan kaynaklı değişimler G) sürdürülebilir faaliyetler (Burcun).

**Photo 1.** Natural and human elements of the basin, A) Yenisehir plain, B) İnegöl plain, C) Boğazköy dam, D) problems of Kalburt Stream, E) Yenisehir OIZ on the Göksu River protection line, F) human-induced changes on the D-200 highway, G) sustainable activities (Burcun).

Havzada, mekan kullanımı değişmesi gereken sahaları, antropojenik kaynaklı risk alanları ve maden-taş ocağı sahaları gibi sürdürülebilirliğe uygun olmayan alanlar oluşturur. Oldukça dar bir alanda mevcut olan bu kullanımların havzanın doğal koşullarına etkisi ise daha büyük boyutludur. Bütüncül yaklaşımla uygulanan havza yönetimlerinde küçük alanlarda meydana gelen sorunların havzanın tamamını etkilediği varsayımı temel alındığında belirtilen üç farklı kullanım alanlarında mutlak suretle tedbirlerin alınması gerekmektedir (Şekil 9). Özellikle İnegöl ilçe merkezinin batısında D-200 karayolu KB-GD hattındaki ticari ve yerel sanayi alanlarının tarım alanlarını ortadan kaldırması, mevcut tarım alanlarına inorganik kökenli etkilerde bulunması, bu sahanın mutlak değişim alanı olmasına neden olmuştur. Aynı şekilde Yenisehir ilçe merkezinin doğusunda bulunan küçük sanayi alanları da tarım sahalarını etkilemekte ve sürdürülebilir kullanımı ortadan kaldırmaktadır.

Havzada antropojenik faaliyetler neticesinde meydana gelebilecek riskleri oluşturan sahaları sanayi alanları oluşturur. Bu sahalarda İnegöl'de OSB, İnegöl sanayi alanı, İnegöl-Yeniceköy OSB ve Yenisehir OSB alanlarıdır (Şekil 9). Bu sahalarda endüstriyel atık deşarjlarının havzanın ana akarsu ağlarına karışması ve bu hidrografik kaynakların tarımda sulama amaçlı kullanılması büyük riskleri meydana getirir. Aynı zamanda bu alanlar hidrografik kirlilik ile hava kirliliğini de oluşturan temel antropojenik faaliyetlerdir. Sürdürülebilirlik açısından bu sahalarda endüstriyel atık arıtma tesislerinin teknoloji ve performansının artırılması, çevresel olarak ağaçlandırma faaliyeti ile tarım alanları arasındaki bağlantının kesilmesi, yüksek yoğunluklu denetimlerin artırılması alınacak tedbirlerin ilk sırasında yer almalıdır.

İnegöl ilçe merkezinin batısındaki maden sahası ile havzanın doğusunda birçok lokasyonda bulunan mermer-taş ocakları

sürdürülebilirlik açısından havzanın önlem alınması gereken diğer alanlarını meydana getirmektedir. Bu alanların havzanın jeomorfolojik koşullarının antropojenik olarak değiştirilmesine, akış yönlerinde değişimlere, bitki örtüsü tahribi, ekosistem bozulması ve dolayısıyla havza doğal dinamik süreçlerinin belli alanlarda değişmesine neden olmaktadır. Sosyo-ekonomik açıdan havzaya katkı sağlayan bu alanların havzanın doğal süreçlerine ise etkisi zararlara yol açmaktadır. Bu nedenle belirtilen sahalarda çevresine ağaçlandırma yapılmalı, mermer-taş ocaklarının yatay genişlemesi engellenmeli derinlemesine genişlemede modellemeler üretilmeli, çevrelerinde tarım alanlarına karışabilecek inorganik maddenin önlenmesi için gerekli tedbirler alınmalıdır. Bu alanların sürdürülebilirlik açısından havzaya verdiği zararın büyük olması nedeniyle alt-üst ölçekli planlamalarda yayılım alanları en aza indirilmeli, revize işlah çalışmaları planlanmalıdır.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Göksu Çayı Havzası'nın mekansal otokorelasyon ve kümeleme analizi için jeomorfolojik uygunluk, yağış akış, çoklu risk ve arazi kullanımı modelleri kapsamında dört ana değişken ile bunlar arasındaki ilişki tespit edilmiştir. Özellikle jeomorfolojik koşulların elverişli imkan sağladığı alanlarda arazi kullanımı açısından antropojenik faaliyetlerin arttığı, bu alanlarda yağış akış durumunun negatif yönlü eğilim gösterdiği aynı zamanda risk açısından pozitif yönlü artışların olabileceği görülmüştür. Yapılan korelasyonlar sonucu havzanın mekansal ve hücre tabanlı kümeleme analizi beş sınıf olarak tespit edilmiştir. Elde edilen kümelenme dağılımları ise sorun-risk ve sürdürülebilir-uygun kullanım potansiyelleri açısından belli yoğunlaşmalar oluşturmuştur. Özellikle havzanın çerçevesini oluşturan Uludağ, Domaniç Dağları, Ahı Dağı ve Avdan Dağları'nın belli kesimlerinde sürdürülebilir uygun kullanım potansiyelinin

yüksek olduğu, Yenişehir Ovası'nın kuzeyi, Göksu Çayı vadisi, İnegöl Ovası'nın büyük bölümünde ise sorun-risk potansiyelinin yüksek olduğu dağılışı açısından saptanmıştır. Elde edilen bulguların Lokal Moran's I-Anselin testi ve Getis-Ord G<sub>i</sub> istatistiğine göre kantitatif açıdan da anlamlı düzeyde kümelenmeler ve sıcak noktalar oluşturduğu görülmüştür. Havzanın mekansal otokorelasyon verileri, kümelenme dağılışı, kantitatif test sonuçları ile havzanın coğrafi özellikleri etkileşim açısından analiz edildiğinde bütünlük ve sürdürülebilir havza yönetimi için bazı önlemlerin alınması gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır. Özellikle ova tabanlarındaki antropojenik kaynaklı riskler açısından tedbirler alınmalı, havzanın flora ve faunistik kuşağı korunmalı, maden-taş ocakları sahasının etki alanları kısıtlanmalı, revize ıslah çalışmaları artırılmalıdır. Havzadaki heyelan ve sel-taşkın riski yüksek olan sahalarda tedbirler alınmalı, Yenişehir Ovası kuzeyindeki açık arazi ve tarım alanlarında erozyona karşı önleyici çalışmalar yapılmalıdır. Ovalarda yoğunlaşan kentsel ve endüstriyel baskının hidrografik etkisini azaltmak için AAT sayısı ve performansları mutlaka artırılmalıdır. Havzada son yıllarda yaygınlaşan yenilenebilir enerji çalışmaları desteklenmeli ve sayısı çoğaltılmalıdır. Çalışmada elde edilen bulguların yanında, mekansal otokorelasyon ve kümeleme analizleri ile ortaya konan modelin, havzaların fiziki ve beşeri unsurları ile etkileşimlerini temel alması, CBS ve UA tekniklerin etkin kullanımı ile daha doğru veriler sunması, kantitatif açıdan test edilebilmesi, güncel verilerin eklenebilmesi ve alt model kapsamında farklı ana değişkenlerin modele katılabilmesi, bütünlük, sürdürülebilir kapsamlı birçok havza yönetim çalışmasında bu modelin kullanılabilmesini ve fayda sağlayabileceğini düşündürmektedir. Bundan dolayı çalışmada kullanılan model, farklı alt havzalarda da uygulanabilir ve çeşitli havza yönetim modellerini destekleyebilir yapıya sahiptir.

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

**Veri Erişebilirliği/Data** : Arazi kullanım türü verileri için Çevresel Bilginin Koordinasyonu (CORINE) envanterinden <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018?tab=download> bağlantısı ile yararlanılmıştır. *For land use type data, the Coordination of Environmental Information (CORINE) inventory was used with the link <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018?tab=download>.*

**Yazar katkısı/Author contribution** : Çalışma konsepti ve tasarımı M. U. ve N. G. tarafından yapılmıştır. M. U. ve N. G. tarafından veriler toplanmış ve yorumlanması yapılmıştır. İlk yazım kısmı M. U. tarafından yapıp daha sonradan N. G. tarafından da okunmuş, en son gerekli düzeltmeler M. U. ve N. G. tarafından yapılmıştır. *The study concept and design were made by M. U. and N. G. Data were collected and interpreted by M. U. and N. G. The first writing part was made by M. U. and later read by N. G., the last necessary corrections were made by M. U. and N. G..*

## Kaynakça

- Adeli, Z., & Khorshiddoust, A. (2011). Application of geomorphology in urban planning: case study in landfill site selection. *Procedia, Social and Behavioral Sciences*, 19, 662-667. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.05.183>
- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93-115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- Anselin, L. (2019). A local indicator of multivariate spatial association: Extending Geary's C. *Geographical Analysis*, 51(2), 133-150. <https://doi.org/10.1111/gean.12164>
- Asgari, M. A. (2021). Critical review on scale concept in GIS-based watershed management studies. *Spatial Information Research*, 29, 417-425. <https://doi.org/10.1007/s41324-020-00361-7>
- Atasoy, F., & Sarıç, F. (2021). Kümeleme analizi ile Türkiye'nin biyoiklim bölgelerinin sınıflandırılması. *Türk Coğrafya Dergisi*, 77, 67-76. <https://doi.org/10.17211/tcd.835964>
- Bremer, L. L., Hamel, P., Ponette-González, A. G., Pompeu, P. V., Saad, S.I., & Brauman, K. A. (2020). Who are we measuring and modeling for? Supporting multilevel decision-making in watershed management. *Water Resources Research*, 56, 1-18. <https://doi.org/10.1029/2019WR026011>
- Cooper, A., H. Farrant, A. R., & Price S. (2011). The use of Karst geomorphology for planning, hazard avoidance and development in Great Britain. *Geomorphology, Elsevier*, 134(1-2), 118-131. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.06.004>
- Daeghouth, S., Ward, C., Gambarelli, G., Styger, E., & Roux, J. (2008). Havza Yönetim Yaklaşımları, Politikaları ve Faaliyetleri: Ölçek Büyütmeye Yönelik Dersler. Su Sektörü Kurulu Kararı Belge Serisi Belge No.11, Dünya Bankası, Washington, DC.
- Evans, I. S. (1980). An integrated system of terrain analysis and slope mapping. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband*, 36, 274-295.
- Garcia, P. M. B., Augustin, C. H. R. R., & Casagrande, P. R. (2020). Geomorphological index as support to urban planning, *Mercator, Fortaleza*, 19, 1-25 <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19003>
- Garipağaoğlu N., & Uzun, M. (2019). İznik Gölü Havzası'nda doğal ortam koşulları, değişimler ve muhtemel risklerin havza yönetimi ve planlamasına etkisi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 24(42), 1-15. <https://doi.org/10.17295/ataunidcd.621776>
- Gareth, S., & Wheeler, D. (1998). Statistical methods in geographical analysis, David Fulton Publishers Ltd, London.
- Grigg, N.S. (1999). Integrated water resources management: Who should lead, who should pay? *Journal of the American Water Resources Association*, 35(3), 527-534. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1999.tb03609.x>
- Gupta, A., & Ahmad, R. (1999). Geomorphology and the urban tropics: building an interface between research and usage. *Geomorphology*, 31, 133-149. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(99\)00076-8](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00076-8)
- Han, J., Lee, J.G., & Kamber, M., (2009). An overview of clustering methods in geographic data analysis, In Miller H.J., Han H. (Eds.) *Geographic Data Mining and Knowledge Discovery*, Taylor & Francis Group, LLC.
- He, C., (2003). Integration of geographic information systems and simulation model for watershed management. *Environmental Modelling & Software*, 18(8-9), 809-813. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(03\)00080-X](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00080-X)

- Karataş, A. (2017). Karasu Çayı Havzasının Hidrografik Planlaması, Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Karataş, A. (2018). Identifying surface runoff distribution and amount in stream basins: Ergene River Basin. *Turkish Journal of Water Science & Management*, 2(2), 40-83. <https://doi.org/10.31807/tjwsm.364011>
- Katusiime J, & Schütt B. (2020). Linking land tenure and integrated watershed management-a review. *Sustainability*, 12(4), 1667-1678. <https://doi.org/10.3390/su12041667>
- Koontz, T. M., & Newig, J. (2014). From planning to implementation: Top-Down and Bottom-Up approaches for collaborative watershed Mmanagement. *Policy Studies Journal*, 42(3), 416-442. <https://doi.org/10.1111/psj.12067>
- Lee, J., & Wong, D.W. (2001). *Statistical analysis with ArcView GIS*. John Wiley & Sons.
- Liu, Z., Nadim, F., Garcia-Aristizabal, A., Mignan, A., Fleming, K., & Luna, B. Q. (2015) A Three-level framework for multi-risk assessment. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 9(2), 59-74, <https://doi.org/10.1080/17499518.2015.1041989>
- Mark, D. M. (1975). Geomorphometric Parameters: A Review And Evaluation. *Geographical Annals*, 57(1), 165-177.
- Montgomery, D.R., Grant, G.E., & Sullivan, K. (1995). Watershed analysis as a framework for implementing ecosystem management. *Water Resources Bulletin*, 31, 369-85.
- Mudliar, P., & Koontz, T. M. (2021). Locating power in Ostrom's design principles: watershed management in India and the United States, *Society & Natural Resources*, 34(5), 35-45 <https://doi.org/10.1080/08941920.2020.1864535>
- Neil T.H. (2002). *Applied Multivariate Analysis*. Secaucus, Springer-Verlag New York.
- Nir, D. (1957). The ratio of relative and absolute altitude of Mt. Carmel. *Geographical Review*, 27, 564-569.
- Ord, J.K., & Getis, A. (1995). Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geographical Analysis*, 27, 286-306. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00912.x>
- Özdemir, H. (2007). SCS-CN yağış-akış modelinin cbs ve uzaktan algılama yöntemleriyle uygulanması: Havran Çayı Havzası örneği (Balıkesir). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5(2), 1-12. [https://doi.org/10.1501/Cogbil\\_0000000078](https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000078)
- Pande, C.B. (2020). Watershed Management and Development. In: Sustainable Watershed Development. *SpringerBriefs in Water Science and Technology*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-47244-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-47244-3_2)
- Prodanovic, P., & Simonovic, S.P. (2010). An operational model for support of integrated watershed management. *Water Resour Manage* 24, 1161-1194. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9490-6>
- Requia, W., & Roig, H., (2015). Analyzing spatial patterns of cardio-respiratory diseases in The federal district, Brazil, *Health*, 7(10), 1283-1290. <https://doi.org/10.4236/health.2015.710143>
- Riley, S. J., DeGloria S. D., & Elliot R. (1999). A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences*, 5, 1-4.
- Saaty, T. L. (2004). Decision making - the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 13(1), 1-35.
- Selva, J. (2013). Long-term multi-risk assessment: statistical treatment of interaction among risks. *Natural Hazards* 67, 701-722. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0599-9>
- Swain, S.S., Mishra, A., Sahoo, B., & Chatterjee, C. (2020). Water scarcity-risk assessment in data-scarce river basins under decadal climate change using a hydrological modelling approach. *Journal of Hydrology*, 590, 1-53. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125260>
- Tağıl, Ş. (2007). Balıkesir'de hava kirliliğinin solunum yolu hastalıklarının mekânsal dağılışı üzerine etkisini anlamada jeo-istatistik teknikler. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5(1), 37-56. [https://doi.org/10.1501/Cogbil\\_0000000070](https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000070)
- Tobler, W.R.A. (1970). Computer model simulating urban growth in the Detroit region, *Economic Geography*, 46, 234-240.
- Türkeş, M. (2018), *Genel klimatoloji: Atmosfer, hava ve iklimin temelleri*, (3. baskı) Kriter yayınevi.
- Vojtek, M., & Vojtekova, J. (2016). GIS-Based approach to estimate surface runoff in small catchments: a case study. *Quaestiones Geographicae* 35(3), 97-116. <https://doi.org/10.1515/qua-geo-2016-0030>
- Vulević, T., & Dragović, N. (2017). Multi-criteria decision analysis for sub-watersheds ranking via the PROMETHEE method. *International Soil and Water Conservation Research*, 5, 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.01.003>
- Wang, L., Meng, W., Guo, H., Zhang, Z., Liu, Y., & Fan, Y. (2006). An interval fuzzy multiobjective watershed management model for the Lake Qionghai Watershed, China. *Water Resour Manage* 20, 701-721. <https://doi.org/10.1007/s11269-005-9003-1>
- Youssef, A.M., Pradhan, B., Sefry, S.A., & Abdullah, M. M. (2015). Use of geological and geomorphological parameters in potential suitability assessment for urban planning development At Wadi Al-Asla. *Arab Journal Geoscience* 8, 5617-5630. <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1663-9>
- Zhang, C., Luo, L., Xu, W., & Ledwith, V., (2008). Use of Local Moran's I and GIS to identify pollution hotspots of Pb in urban soils of Galway, Ireland. *Science of the total environment*, 398(1-3), 212-221. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.03.011>
- Zhang, H., & Liu, D. (2006). Fuzzy modeling and fuzzy control. Springer Science & Business Media. Boston.