

Kuzey Kıbrıs'taki Havzaların Morfometrik Parametreler Kullanılarak Kümelmesi

Hasan ZAIFOĞLU¹

ÖZ

Hidrolojik açıdan birbirine benzer havzaların sınıflandırılması özellikle bilginin ölçüm yapılmış havzalardan ölçüm yapılmamış havzalara taşınması açısından önemlidir. Bu çalışmada Kuzey Kıbrıs'ta yer alan havzalar bir takım temel, çizgisel, alansal ve rölyef morfometrik havza özellikleri göz önüne alınarak hibrid hiyerarşik k-ortalamar kümeleme yöntemi ile beş farklı kümede sınıflandırılmışlardır. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak elde edilen bu morfometrik parametreler ile havzaların ve oluşturulan havza kümelerinin hidrolojik ve morfolojik özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre havzaların büyük çoğunluğunda ana akarsu kollarının orta dereceli akarsulardan oluştuğu ve sadece Küme 1 içerisinde yer alan havzalar ile bazı Küme 4 havzalarının nehir olarak tanımlanabilecek ana akarsu kolları olduğu belirlenmiştir. Havzaların büyük çoğunluğunda ise iyi gelişmiş drenaj ağı ile düşük drenaj yoğunluklarının olduğu saptanmıştır. Ayrıca Küme 1 ve 3 içerisinde yer alan havzaların yüksek havza rölyef özellikleri ile taşkınlar gibi doğal afetlere karşı daha yatkın oldukları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuzey Kıbrıs, morfometrik parametreler, coğrafi bilgi sistemleri, hibrid hiyerarşik k-ortalamar kümeleme yöntemi.

ABSTRACT

Clustering of Basins in Northern Cyprus Using Morphometric Parameters

The classification of hydrologically similar basins is essential in transferring information from gauged basins to ungauged basins. In this study, the basins in Northern Cyprus were classified into five different clusters with the hybrid hierarchical k-means clustering method, taking into account some basic, linear, areal, and relief morphometric basin characteristics. With these morphometric parameters obtained using geographic information systems (GIS), the hydrological and morphological characteristics of the basins and the formed basin clusters were examined in detail. According to the results, it has been determined that the main stream branches in most of the basins are composed of medium streams. Only the basins in Cluster

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 30 Ekim 2022 günü ulaşmıştır. 26 Mayıs 2023 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 30 Kasım 2023 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• <https://doi.org/10.18400/tjce.1312155>

1 Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kuzey Kıbrıs Kampüsü, İnşaat Mühendisliği Programı, Güzelyurt, KKTC
zhasan@metu.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0003-2615-5097>

1 and some in Cluster 4 include streams that can be defined as rivers. It has been determined that most of the basins have a well-developed drainage network and low drainage densities. In addition, it has been determined that the basins in Clusters 1 and 3 are more prone to natural disasters, such as floods, with their high basin relief features.

Keywords: Northern Cyprus, morphometric parameters, geographic information systems, hybrid hierarchical k-means clustering method.

1. GİRİŞ

Dünya genelinde havzaların büyük çoğunluğunun hidrolojik ölçümlere sahip olmaması nedeniyle, su kaynakları sistemlerinin planlanması ve tasarımı, çoğunlukla doğrudan veya dolaylı bir şekilde ölçülen diğer havzalardan gelen veriler kullanılarak tahmin edilmektedir. Bu gibi durumlarda, ölçüm yapılmayan havzaların hidrolojik olarak bilgi sağlayan havzalara benzer olması beklenmektedir [1]. Bu bağlamda havzaların gelişen farklı meteorolojik olaylara benzer tepki veren gruplar halinde sınıflandırılması özellikle akım ölçümü yapılmamış havzalardaki akarsu akışı tahminleri açısından faydalı ve önemlidir. Ancak bugüne kadar geniş kabul gören bir havza sınıflandırma sistemi mevcut değildir [2]. Literatür incelendiğinde hidrolojik bölgeselleştirme farklı şekillerde yapılmakta ve genel olarak, üç kategori altında toplanmaktadır: benzerlik tabanlı, regresyon tabanlı ve hidrolojik imza tabanlı [3]. Benzerlik tabanlı yöntemlerde havzaların benzer mekansal ve fiziksel özelliklerinden yararlanılarak bir sınıflandırma gerçekleştirilmektedir [4, 5]. Regresyon tabanlı sınıflandırmada ise, regresyon model parametreleri ve havza parametreleri arasında belirli bir regresyon ilişkisi kurulmaktadır. Bu ilişki, hedef havzaların model parametrelerini tahmin etmek ve daha sonra ölçülmemiş havzalarda akım tahminleri için kullanılmaktadır [6]. Diğer taraftan hidrolojik imza tabanlı sınıflandırma yöntemlerinde ise havzaların hidrolojik özelliklerini farklı zaman periyotlarında yansıtabilen statik (ortalama akış akışı, taşkın frekansı vb.) ve dinamik (taban akış endeksi, akış değişim hızı vb.) göstergelerden yararlanılarak bir bölgeselleştirme yapılmaktadır [7].

Gerçekleştirilen bölgeselleştirme çalışmalarının ciddi bir kısmı kümeleme teknikleri kullanılarak havzaların sınıflandırılmasından oluşmaktadır. Sonrasında ise bölgesel frekans analizi ile belli dönüş aralıklarına karşılık gelen taşkın debileri ve tasarım yağışları tahmin edilmektedir. Kümeleme analizi ayrıca, aşırı yağışların mekansal ve zamansal değişimlerini incelemek, şiddet-süre-frekans bağlantılarını elde etmek, havza özelliklerinin akış üzerindeki etkilerini anlamak gibi farklı amaçlar için de yaygın olarak uygulanmaktadır [8, 9]. Örneğin Saf [10] çalışmasında Batı Akdeniz Havzası'nı üç homojen bölgeye ayırmış ve daha sonra yıllık maksimum taşkın serilerine bölgesel frekans analizi uygulayarak taşkınların çeşitli dönüş aralıklarına karşılık gelen değerlerini tahmin etmiştir. Diğer bir çalışmada ise Fırat vd. [11] Türkiye'de yıllık toplam yağışları uygulanan kümeleme analizi ile sınıflandırmış ve homojen bölgeleri belirlemiştir.

Hosking ve Wallis [12] çeşitli sınıflandırma yöntemlerinin kendilerine özgü bir takım avantajları ve dezavantajları olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle havzaların farklı özelliklerinin kullanılarak yapılacak kümeleme analizinin hidrolojik açıdan homojen havzaları elde etmenin en pratik yöntemi olduğunu öne sürmüştür. Bu noktada kümeleme, bir küme içindeki havzaların özellikleri bakımından mümkün olduğunca birbirine benzer ve

farklı kümelerdeki havzaların özelliklerindense mümkün olduğunca farklı olması için havzaların kümelere ayrıldığı bir yöntem şeklinde tanımlanabilir. Genellikle hidrolojide kullanılan kümeleme analizi havzanın fiziksel özellikleri, coğrafi konum özellikleri, havza tepki süresi ölçüleri, meteorolojik faktörler ve taşkın istatistikleri gibi havzayı betimleyici bir takım parametreler yardımıyla gerçekleştirilmektedir [13]. Literatürde yer alan çalışmaların çoğunda kullanılan küme analizi yöntemleri hiyerarşik kümeleme ve hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemleridir. Ayrıca bulanık küme teorisinin kullanıldığı bulanık kümeleme ve doğrusal olmayan, örneğin kendini düzenleyen haritalar yöntemi gibi diğer kümeleme yöntemleri de uygulanmaktadır.

Drenaj morfometrisi, herhangi bir drenaj havzasının çizgisel, alansal ve rölyef özelliklerinin bir ölçümü olarak tanımlanır [14]. Özellikle havzaların hidrolojik özelliklerinin araştırılması, havzanın geliştirilmesi ve yönetimi açısından havzaların morfometrik özelliklerinin bilinmesi önemlidir [15,16]. Son zamanlarda yapılan bazı çalışmalarda morfometrik parametreler yeraltı suyu potansiyelinin değerlendirilmesi, taşkın risk tahminleri, havza önceliklendirmesi, erozyon oranlarının tahmin edilmesi gibi konularda önemli faydalar sağlamıştır. Özellikle uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinin gelişmesiyle, sayısal yükseklik modelleri daha hızlı ve daha doğru havza analizleri sağlamaktadır. Bundan dolayı morfometrik analizlerde de bu gelişmeler sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır [17].

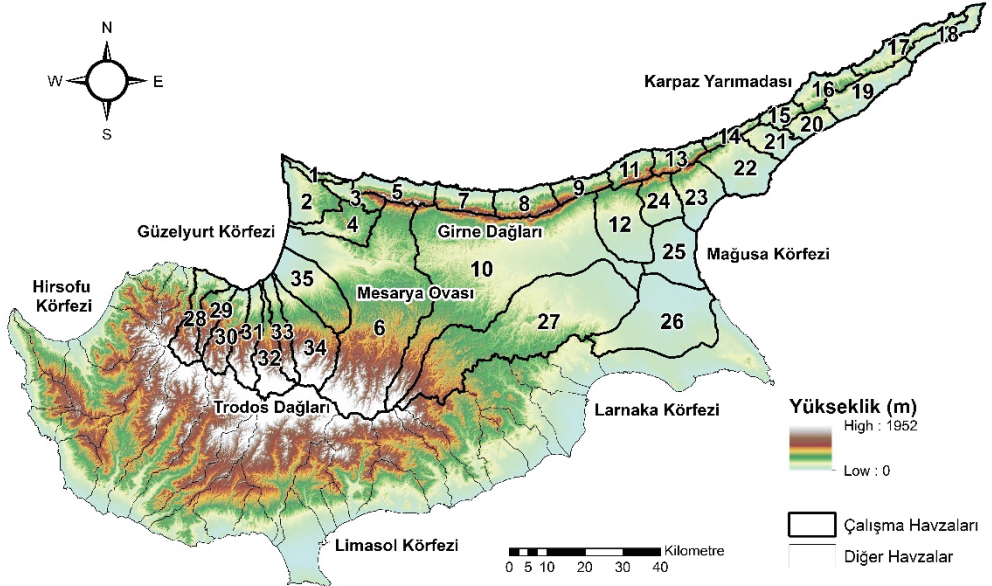
Kuzey Kıbrıs'ta bulunan havzaların belirlenmesi, bu havzaların özelliklerinin ve benzerliklerinin irdelenmesi ve neticede benzer havzaların kümelmesi ile bir bölgeselleştirmenin yapılması konularında literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Örneğin, Türker ve Hansen [18] Kıbrıs'ın kuzeyindeki meteorolojik koşulları ve topoğrafyayı dikkate alarak akarsu havzalarını dört ana havza altında toplamıştır. Ancak bu çalışmada herhangi bir kümeleme yaklaşımı kullanılmamıştır. Diğer bir çalışmada ise Nikolakis [19] Kıbrıs adasının tamamının belli yağış rejimleri ile karakterize edilen dört alt bölgeye ayrılabilceğini göstermiştir. Havza özelliklerinin dikkate alınmadığı bu çalışmada aylık ortalama yağış verilerinden elde edilen bir takım istatistiklere faktör analizi uygulanarak yağış temelli bir bölgeselleştirme yapılmıştır. Zaifoglu vd. [20] ise aylık yağış verilerine uygulanan zaman serisi kümeleme yöntemleriyle adanın kuzeyini beş farklı homojen bölgeye ayırmıştır. Buraki bölgeselleştirme de yine sadece benzer yağış davranışı gösteren istasyonların gruplanması şeklinde yapılmıştır. Bir başka deyişle yağış karakteristiğinin bölgeselleştirilmesidir. Dolayısıyla, bu çalışmada literatürde eksik olduğu saptanan, Kuzey Kıbrıs'ta yer alan havzaların morfometrik özelliklerinin incelenmesi ve ilgili havza özelliklerinin kullanılarak havza temelli bir bölgeselleştirmenin yapılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda hibrid hiyerarşik k-ortalama kümeleme yöntemi kullanılarak havzalar morfometrik yakınlık bakımından kümelmiş ve bölgeselleştirme gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı içerisindeki havzaların morfometrik analizi, havzalar içerisinde akım gözlem istasyonlarının bulunmaması ve geçmiş hidrolojik davranışları hakkında bilgi sahibi olunmaması nedeniyle özellikle önemlidir. Böylelikle uygulamacılar aynı homojen bölgede yer alan ve akım gözlem istasyonları ile ölçülen havzalarda gerçekleştirilen hidrolojik modelleri ve model parametrelerini ölçüm yapılmayan havzalardaki akım serilerini tahmin etmekte kullanabileceklerdir. Dolayısıyla bilgi daha hızlı şekilde ölçüm yapılmış havzalara aktarılıp buralardaki sorunlara çözüm arayışlarını hızlandıracaktır. Bunun yanı sıra elde edilen havza ve havza kümelerinin morfometrik özellikleri özellikle karar alıcılar tarafından incelenerek taşkınlara duyarlı havzalar belirlenip

önceliklendirilebilecektir. Benzer şekilde bu çalışmada elde edilen sonuçlar potansiyel erozyona eğilimli alanların belirlenmesi ve önceliklendirilmesi için de katkı sağlamaktadır.

2. ÇALIŞMA ALANI

Kıbrıs, Doğu Akdeniz'de yer alan ve yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılıman ve az yağışlı Akdeniz iklimi etkisi altında bir adadır. Yıllık ortalama yağış miktarı 470 mm civarındadır [21] ve su kaynaklarının çoğu ise adanın yaklaşık %30'unu kaplayan Trodos Dağları'ndan kaynaklanmaktadır [22]. Kıbrıs adası, kuzey kıyı şeridinde paralel uzanan Girne Dağları, Güney Kıbrıs'ta yer alan ve adanın ağırlıklı olarak merkez ve güneybatısında bulunan Trodos Dağları, iki dağ sırası arasında adanın merkezindeki düzlükleri içeren Mesarya Ovası ve Karpaz Yarımadası'ndan oluşan karmaşık bir topoğrafyaya sahiptir. Bu nedenle, yağış düzenleri dahil yerel meteorolojik özellikler büyük ölçüde farklılık göstermektedir.

Şekil 1'de de görüldüğü gibi çalışma alanı adanın kuzey kısmında yer alan ve adanın toplam havza alanının yaklaşık %54'ünü kaplayan havzalarla sınırlandırılmıştır. Adanın kuzey kısmındaki derelerin neredeyse tamamı yağışlı dönemlerde akan sürekli olmayan derelerdir. Çalışma alanı içerisindeki akarsuların çoğu Trodos Dağları'ndan adanın orta kısmına ve Güzelyurt Körfezi'ne doğru akmaktadır. Ancak Girne Dağları'ndan da kuzeye ve güneyde Mesarya Ovası'na doğru uzanan akarsular da vardır. Ayrıca iç kısımlardan Mağusa Körfezi'ne ve Girne Dağları'na doğru uzanan ve Karpaz Yarımadası içerisinde yer alan daha küçük akarsu havzaları da bulunmaktadır. Burada çalışma havzaları Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti (KKTC) sınırları içerisinde yer alan derelerin havzaları olarak tanımlanmıştır.



Şekil 1 - Çalışma alanının sayısal yükseklik haritası ve Kuzey Kıbrıs'taki çalışma havzaları

3. YÖNTEM

3.1. Havzaların Belirlenmesi

Çalışma alanını oluşturan havzaları ve drenaj ağını elde etmek için Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti Harita Dairesi'nden 1/25,000 ölçekli haritalardan üretilen 12.5 m çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. Bu model ArcGIS 10.5 coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı yazılıma aktarılmış ve yazılım içerisindeki çeşitli coğrafi veri işleme araçlarıyla Kuzey Kıbrıs'ta yer alan havzalar otomatik olarak üretilmiştir. Bu aşamada, öncelikle her hücre için hakim akım yönü saptanmıştır. Bununla birlikte akım toplamı haritası için, 0.0156 km²'ye karşılık gelen 100 hücrelik bir eşik değeri kullanılarak akarsu ağı oluşturulmuştur. Görece olarak küçük ve içerisinde akarsu ağı bulunmayan havzalar ise coğrafi ve fiziksel durumları değerlendirilerek kendilerine komşu havzalarla birleştirilmiş ve Şekil 1'de de görülebileceği gibi çalışma alanı toplamda 35 havzaya ayrılmıştır.

3.2. Morfometrik Parametrelerin Hesabı

Kuzey Kıbrıs'taki havzaların çeşitli morfometrik parametrelerini belirlemek için ArcGIS ortamında yer alan bir takım coğrafi işlem araçları kullanılmıştır. Parametre hesaplanmasında kullanılacak devamlı ya da geçici tüm akarsu kollarını içeren akarsu ağı oluşturulmuş ve akarsu ağının incelenmesi için ilgili kollar derecelendirilmiştir. Ayrıca eğim özelliklerinin elde edilmesi için ArcGIS'teki mekansal analiz araçlarından yararlanılmıştır. Böylece havzaların temel, çizgisel, alansal ve rölyef özelliklerinin değerlendirilmesi için ilgili morfometrik parametreler hesaplanmıştır. Bunlar havzaların temel özellikleri olan havza alanı (A), havza çevresi (P), havza genişliği (W), havza uzunluğu (L_b); çizgisel özellikleri temsil eden akış dizilimi (u), akış numarası (N_u), çatallanma oranı (R_b), toplam akış uzunluğu (L_u); alansal özellikleri gösteren biçim faktörü (F_f), uzama oranı (R_e), dairesellik oranı (R_c), drenaj yoğunluğu (D_d), tekstür oranı (R_t), akarsu sıklığı (S_f), kompaktlık katsayısı (C_c); rölyef özellikleri ifade eden havza rölyefi (H), rölyef oranı (R_h) ve engebelilik oranıdır (R_n). Tablo 1'de verilen formüller veya yaklaşımlar kullanılarak havzaların morfometrik özellikleri hesaplanmıştır.

Tablo 1 - Havzaların morfometrik parametreleri

Parametre	Formüller	Birim	Referans
Temel özellikler:			
Havza alanı (A)	CBS Araçları	km ²	[23]
Havza çevresi (P)	CBS Araçları	km	[23]
Havza genişliği (W)	CBS Araçları	km	[23]
Havza uzunluğu (L_b)	$L_b = 1.312 \times A^{0.588}$	km	[24]
Çizgisel özellikler:			
Akış dizilimi (u)	Hiyerarşik sıralama	-	[25]
Akış numarası (N_u)	$N_u = N_{u1} + N_{u2} + \dots + N_{un}$	-	[25]
Çatallanma oranı (R_b)	$R_b = N_u / N_u + 1$	-	[26]
Toplam akış uzunluğu (L_u)	$L_u = L_{u1} + L_{u2} + \dots + L_{un}$	km	[24]

Tablo 1 - Havzaların morfometrik parametreleri (devam)

Parametre	Formüller	Birim	Referans
Alansal özellikler:			
Biçim faktörü (F_f)	$F_f = A/L_b^2$	-	[24]
Uzama oranı (R_e)	$R_e = 2/L_b \times \sqrt{A/\pi}$	-	[26]
Dairesellik oranı (R_c)	$R_c = 4\pi A/P^2$	-	[25]
Drenaj yoğunluğu (D_d)	$D_d = L_u/A$	km ⁻¹	[24]
Tekstür oranı (R_t)	$R_t = N_u/P$	km ⁻¹	[24]
Akarsu sıklığı (S_f)	$S_f = N_u/A$	km ⁻²	[24]
Kompaktlık katsayısı (C_C)	$C_C = 0.282 \times P/\sqrt{A}$	-	[27]
Rölyef özellikleri:			
Havza rölyefi (H)	$H = R - r$	m	[26]
Rölyef oranı (R_h)	$R_h = H/L_b$	-	[26]
Engelibelik oranı (R_n)	$R_n = H \times D_d$	-	[26]

3.3. Kümeleme Analizi

Çalışmada hidrolojik açıdan benzer havzaların belirlenmesi için hibrid hiyerarşik k-ortalama kümeleme yöntemi kullanılmıştır. Burada denetimsiz öğrenme yöntemleri içerisinde yer alan birleştirici hiyerarşik Ward kümeleme yöntemi [28] ve hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemlerinden k-ortalama kümeleme yöntemi [29] birlikte uygulanmıştır. Böylece, hibrid kümeleme yaklaşımı kullanılarak her iki yöntemin bir takım dezavantajlarının giderilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca bu yaklaşım ile iki yöntemden en iyi şekilde faydalanılması amaçlanmıştır [30].

Hibrid yöntemin ilk kısmında hiyerarşik Ward yöntemi uygulanarak küme sayısı ve küme merkezleri belirlenmektedir. Başlangıç olarak havza sayısı kadar tek üyeli küme oluşturulmuştur. Başka bir deyişle her havza tek bir kümede ayrı ayrı konumlandırılmıştır. Ardından aralarındaki benzerlik uzaklığına göre en yakın iki küme birleştirilmektedir. Bu işlem neticede hiyerarşik yapıya dayalı tüm havzaları içeren tek bir küme elde edilene kadar tekrarlanmaktadır. Hiyerarşik Ward yöntemi uygulanırken mesafe matrisi adı verilen ve kümeler arası benzerlik uzaklıklarını gösteren bir matris oluşturulmaktadır. Buradaki değerler Karesel Öklid uzaklık ölçüsü (d_{ij}) kullanılarak şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2 \quad (1)$$

Burada $i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, n$; $k = 1, 2, \dots, p$ olmak üzere n nesne sayısını, p de değişken sayısını göstermektedir. Formül içerisinde yer alan x_{ik} i 'inci nesnenin k 'inci değışkendeki değerini, x_{jk} ise j 'inci nesnenin k 'inci değışkendeki değerini ifade etmektedir. Birbirine yakın olan havzalar mesafe matrisine göre aşamalı olarak birleştirilmekte ve adım adım yeni kümeler üretilmektedir. Her adımda, yeni küme ve diğer kümeler kullanılarak uzaklık matrisleri yeniden hesaplanmaktadır. Daha sonra ise tüm istasyonları içeren en büyük kümeye ulaşmak için birleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada yapılan

kümeleme analizinde havzaların benzerliği morfometrik parametreler ve coğrafi konum değişkenleri üzerinden değerlendirilmiştir. Ayrıca yöntem içerisinde kullanılan Öklid uzaklık ölçüsü, değişkenlerin farklı ölçü birimlerinden etkilenebileceğinden ilgili değişkenler analize sokulmadan önce standartlaştırılmıştır. Bu işlem değişkenlerin her bir değerinden ortalama değer çıkarılıp elde edilen farkın standart sapmaya bölünmesi ile gerçekleştirilmektedir.

Hiyerarşik Ward kümeleme yönteminde amaç tüm parametreler üzerinden hesaplanan iki küme merkezi arasındaki sapmanın (hatanın) karelerinin toplamının minimize edilmesidir. Bu bağlamda oluşturulan amaç fonksiyonu şu şekilde ifade edilebilir [31]:

$$E = \sum_{m=1}^g E_m \quad (2)$$

Burada $m = 1, 2, \dots, g$ olmak üzere E tüm kümelerin hata kareler toplamıdır. E_m ise küme içi hata kareler toplamıdır ve şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$E_m = \sum_{l=1}^{n_m} \sum_{k=1}^{p_k} (x_{m,l,k} - \bar{x}_{m,k})^2 \quad (3)$$

Burada $l = 1, 2, \dots, n_m$ olmak üzere $\bar{x}_{m,k}$ m 'inci kümedeki k 'inci değişkene ait ortalamayı ve $x_{m,l,k}$ ise m 'inci kümedeki l 'inci nesne için k 'inci değişkenin değerini göstermektedir.

Hiyerarşik kümelemenin sonuçları genellikle kümelerin hangi düzende birleştiğini gösteren ve dendrogram olarak bilinen diyagramlar kullanılarak verilir. Havzaların kümeleneceği dendrogramın istenilen yükseklikte kesilmesi ve düğümlerden kümeler oluşturacak şekilde ayrılmasıyla gerçekleştirilir. Ancak dendrogramın hangi düğüm noktasından ayrılacağı yani havzaların kaç küme altında sınıflandırılacağı belli değildir ve literatürde bu konuda genel kabul görmüş bir yöntem bulunmamaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada toplam havza kümesi sayısının belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan bir yaklaşım olan küme geçerlilik indekslerinden yararlanılmıştır. Kullanılan bu indeksler küme sayısı, benzerlik uzaklığı ölçüleri ve kümeleme yöntemlerinin tüm kombinasyonlarını deneyerek en uygun kümelemeyi önermektedir. Temelde bu indeksler küme içi ve kümeler arası varyans değerlerini birlikte dikkate alarak kümeleme analizi sonuçlarının veriye ne kadar uyumlu olduğunu değerlendirmektedir [32]. Bu aşamada NbClust R programlama paketi [33] kullanılarak 30 farklı indeks eş zamanlı olarak hesaplanmış ve indeksler tarafından en fazla önerilen küme sayısına göre optimum havza küme sayısı kararlaştırılmıştır.

Hibrid yöntemin ikinci kısmında ise hiyerarşik yöntem ile elde edilen kümelerin her biri için küme merkezleri hesaplanarak k-ortalamlar yönteminde başlangıç değer olarak kullanılmaları sağlanmıştır. Aslında bu adım hibrid yöntem kullanılarak yapılacak ikinci bir sınıflandırmanın sağlayacağı avantajı ortaya çıkarmak için gerçekleştirilmektedir. Böylece başlangıç aşamasında küme sayısı ve küme merkezlerinin bu rasgele seçimine karşı oldukça duyarlı olan ve sonuçları zaman zaman etkilenen k-ortalamlar yönteminin en önemli dezavantajı ortadan kaldırılmaktadır. Bunun yanında k-ortalamlar yönteminde özellik vektörleri bir kümeden diğerine amaç fonksiyonunu minimize etmek için dinamik bir şekilde değişebilmektedir. Buna karşın Ward yöntemi gibi hiyerarşik yöntemlerde belli kümeler atanmış özellik vektörleri kümeler arasında hareket edememektedir [34]. Hibrid yöntem uygulaması bu bağlamda her iki yaklaşımın olumlu yönlerini kullanıp sonuçların doğruluğunu olabildiğince artırmayı amaçlamaktadır.

Sınıflandırma algoritması içerisinde her havza önceden tanımlanmış sayıdaki kümeler, küme merkezlerine olan uzaklıklarına göre dahil edilmektedir. Daha sonra oluşturulan kümelerin yeni küme merkezleri hesaplanarak havzaların yeni merkezlere uzaklıkları güncellenmekte ve tekrar havzaların sınıflandırılması gerçekleştirilmektedir. Burada amaç fonksiyonunun değeri en aza indirilerek her bir özellik vektörünün ait olduğu kümenin merkezine olan uzaklığı minimize edilmektedir. Amaç fonksiyonu J şu şekilde hesaplanmaktadır [35]:

$$J = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \|X_i^{(j)} - C_j\|^2 \quad (4)$$

Burada $\|X_i^{(j)} - C_j\|^2$ bir veri noktası $X_i^{(j)}$ ve küme merkezi C_j arasındaki seçilen mesafenin ölçüsüdür. Her havza için küme merkezine olan mesafe hesaplanır ve en yakın küme merkezine göre sınıflandırma gerçekleştirilir. Bu işlem havza sınıflandırılmasında herhangi bir değişiklik olmayıncaya kadar devam etmektedir.

Literatürde hibrid kümeleme yöntemleri kullanılarak yapılan birçok hidroloji temelli çalışma bulunmaktadır. Örneğin Rao ve Srinivas [36] hibrid kümeleme analizinin bölgeselleştirme üzerindeki etkinliğini, Amerika Birleşik Devletleri Indiana eyaletinde yer alan havzalardan alınan veriler kullanarak araştırmıştır. Bu çalışma hibrid hiyerarşik Ward ve k-ortalama yönteminin amaç fonksiyonunu optimize etmedeki genel performansının, aynı algoritmaların ayrı ayrı çalıştırılarak elde edilen sonuçlarından daha iyi olduğunu ortaya koymuştur. Smith vd. [37] global ölçekte farklı dönüş aralıklarına karşılık gelen taşkın debilerinin tahmini için taşkın indeksi yöntemiyle birlikte hibrid kümeleme yaklaşımı kullanmıştır. Hibrid Ward ve k-ortalama yöntemleriyle uygun şekilde oluşturulmuş havza kümelerine uygulanan bölgesel taşkın frekans analizi ile, küresel ölçekte makul taşkın debisi tahminlerinin yapılabileceği gösterilmiştir. Diğer bir çalışmada ise Kebebew ve Awass [38] hibrid Ward ve k-ortalama yöntemleriyle çeşitli havza özelliklerini dikkate alarak Etiyopya'daki havzaların bölgeselleştirilmesini gerçekleştirmiştir ve taşkın istatistiklerini kullanarak bu bölgelerin hidrolojik açıdan homojenliği test edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

4.1. Havzaların Morfometrik Analizi

4.1.1. Temel Havza Özellikleri

Kuzey Kıbrıs'ta yer alan havzaların morfometrik parametreleri önceden belirtilmiş yöntemlerle hesaplanmış ve Tablo 2'de verildiği gibi bir takım istatistikler üzerinden özetlenmiştir. Buna göre öncelikle havzaların temel özellikleri incelendiğinde çalışma alanı içerisinde bulunan havzaların büyük bir kısmının 29.06 km² ile 176.38 km² arasında değişen havza alanlarına sahip olduğu, en büyük havzanın ise 1302.09 km²'lik havza alanıyla hem Girne Dağları'ndan hem de Trodos Dağları'ndan beslenen ve Kıbrıs'ın en uzun deresi olan Kanlıdere'yi de içerisinde barındıran 10 numaralı havza olduğu görülmektedir. Diğer temel havza özellikleri arasında yer alan havza çevresi, havza genişliği ve havza uzunluğu da, sırasıyla 254.00 km, 16.89 km ve 77.10 km değerleri ile yine bu havzada en yüksek değerlere sahiptir. Diğer havzalarla kıyaslandığında bu değerler ortalama değerlerin bir hayli üzerindedir. Bunların yanında 1 numaralı havzanın en küçük havza alanına, 15 numaralı

havzanın en küçük havza çevresine, 33 numaralı havzanın en küçük havza genişliğine ve 1 numaralı havzanın ise en küçük havza uzunluğuna sahip oldukları belirlenmiştir.

4.1.2. Havzaların Çizgisel Özellikleri

Çizgisel özellikler içerisinde incelenen akış dizilimi, akarsuların hiyerarşik sıralamasına dayalı Strahler yöntemi [25] kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre sadece toprak yüzeyinden gelen suları alan kollar birinci derece olarak numaralandırılmıştır. İkinci derece kol ise iki birinci derece kolun birleşmesiyle meydana gelmektedir. İki ikinci derece kol birleştiğinde üçüncü derece kolu oluşturur ve bu şekilde derecelendirme devam eder. Bu yöntemle göre çalışma alanı içerisindeki akarsu kolları üçüncü dereceden sekizinci dereceye kadar derecelendirilmiştir. Ortalama akarsu derecesi ise havzaların çoğunda görülen beşinci derece olarak saptanmıştır. Diğer bir taraftan, havzanın en büyük akış dizilimi değeri, havzanın ana akış kolunun türünü belirlemek için de kullanılabilir. Burada üçüncü dereceye kadar akış dizilimi değerine sahip olan akarsular memba suyu, dördüncü ile altıncı derece arası akarsu kolları orta dereceli akarsular ve altıncı dereceden büyük akarsu kolları ise nehirler olarak tanımlanabilir. Bu bağlamda Kuzey Kıbrıs'taki havzaların çoğunda yer alan akarsular orta dereceli akarsulardır. En büyük havzalar olan 6, 10 ve 27 numaralı havzalar ile 10 ve 27 numaralı havzaların içerisinde geçen akarsu kollarının daha mansabında yer alan Havza 25 ve 26'daki ana akarsu kolları altıncı dereceden büyük akış dizilimi değerleri ile nehir olarak tanımlanabilir.

Tablo 2 - Kuzey Kıbrıs'taki havzaların morfometrik parametre istatistikleri

Parametre	Minimum	1. Kartil (Q ₁)	Medyan	Ortalama	3. Kartil (Q ₃)	Maksimum
A (km ²)	29.06	80.80	120.38	214.89	176.38	1302.09
P (km)	38.45	48.47	65.55	76.43	72.86	254.00
W (km)	3.27	4.99	6.04	6.87	7.41	16.89
L _b (km)	8.89	15.89	19.94	24.47	24.74	77.10
u	3	4	5	4.97	5	8
N _u	141	416	643	1153	857	7155
R _b	1.67	2.06	2.52	3.78	4.00	13.21
L _u (km)	48.80	146.47	239.83	426.81	362.08	2664.33
F _f	0.22	0.28	0.30	0.30	0.32	0.37
R _e	0.53	0.60	0.62	0.62	0.64	0.68
R _c	0.16	0.30	0.38	0.40	0.52	0.69
D _d (km ⁻¹)	1.63	1.80	1.90	1.92	2.06	2.22
R _t (km ⁻¹)	3.05	7.67	10.24	11.94	14.11	29.65
S _f (km ⁻²)	4.06	4.96	5.30	5.20	5.47	6.08
C _c	1.20	1.39	1.62	1.67	1.83	2.48
H (m)	70	359	714	800	1138	1954
R _h	0.003	0.018	0.031	0.037	0.054	0.090
R _n	0.15	0.70	1.41	1.52	2.10	3.58

Akış numaraları incelendiğinde havzaların farklı derecelerde toplam 40,354 adet akarsu kolu içerdiği, en küçük havzanın 141 (Havza 1) en büyük havzanın (Havza 10) ise 7,155 adet akarsu koluna sahip olduğu görülmektedir. Bu drenaj ağı içerisinde yer alan akarsu kollarının %51.6'sı birinci derece, %23.6'sı ikinci derece, %12.3'ü üçüncü derece, %6.6'sı dördüncü derece, %3.8'i beşinci derece, %1.4'ü altıncı derece, %0.5'i yedinci derece ve %0.2'sinin sekizinci derece kollara sahip olduğu belirlenmiştir. Açık ki, akış dizilimi arttıkça akarsu kollarının sayısı azalmaktadır [24].

Çatallanma oranı, belirli bir derecedeki akış numarasının bir sonraki üst derecedeki akış numarasına oranını ifade etmektedir [26]. Bu da akış ağındaki dallanma miktarının bir ölçüsüdür. Bu parametre temelde drenaj ağının jeolojik yapılardan etkilenmediği anlamına gelen düşük sınıf ve jeolojik yapılar tarafından kontrol edildiği anlamına gelen yüksek sınıf şeklinde sınıflandırılır. Strahler [39] drenaj ağının iyi gelişmiş olduğu havzalarda ortalama çatallanma oranının 2 ile 5 arasında değiştiğini gözlemiştir. Çalışma alanını oluşturan 35 havzanın beş havzası hariç diğer tüm havzaları bu aralıkta olduğu için çalışma alanının genelinde drenaj ağının iyi gelişmiş olduğu söylenebilir. En düşük çatallanma oranı 1.67 olarak 4 numaralı havzada, en büyük çatallanma oranı ise 13.21 olarak 27 numaralı havzada hesaplanmıştır.

Toplam akış uzunluğu havza içerisinde derecelendirilen akarsu kollarının toplam uzunluğu olarak belirlenmektedir [24]. Havzalardaki toplam akış uzunluğu havza büyüklüğüne bağlı olarak 48.80 km ile 2664.33 km arasında değişmektedir. Mesarya Ovası içerisinde yer alan nispeten büyük havzalar haricinde genel olarak havzaların çoğunun 362.08 km'nin altında toplam akış uzunluğuna sahip oldukları görülmektedir. Toplam akış uzunluğunun yüksek değerler aldığı havzalarda ortalama akış değerlerinin diğer havzalara oranla daha yüksek olacağı söylenebilir.

4.1.3. Havzaların Alansal Özellikleri

Alansal morfometrik özellikler arasında bulunan biçim faktörü, havza alanının havza uzunluğunun karesine oranıdır. Dolayısıyla havzalardaki akış hidrografları her zaman havza formunun etkisi altındadır. Mükemmel dairesel bir havza için biçim faktörü değeri her zaman 0.7854'ten küçük olmalıdır. Havzanın daireselliğini belirten biçim faktörünün değeri ne kadar küçükse, havza o kadar uzun olacaktır [40]. Yüksek biçim faktörlü havzalar daha kısa süreli yüksek pik debili akımlara sahipken, düşük biçim faktörüne sahip uzun havzalarda daha uzun süreli ve daha düşük pik debiler gözlemlenmektedir. Kuzey Kıbrıs'taki havzaların 0.22 ile 0.37 arasında değişen biçim faktörü değerleriyle daha çok uzun ve orta daireselliğe sahip olduğu söylenebilir.

Diğer taraftan havza ile aynı alana sahip bir dairenin çapının maksimum havza uzunluğuna oranı olarak hesaplanan uzama oranı [26] sıfır (en yüksek uzama) ile bir (en yüksek dairesellik) arasında değişen bir morfometrik parametredir. Bire yakın uzama oranı değerleri havzada daha az jeomorfolojik kontrol olduğunu göstermektedir [25]. Çalışma alanı içerisinde yer alan havzalarda hesaplanan uzama oranları en düşük 0.53, en yüksek 0.68 ve ortalama ise 0.62 olarak bulunmuştur. Bu da havzaların kısmen dairesel havza özelliği taşıyabileceğini yani yüksek debili akım potansiyelini göstermektedir.

Dairesellik oranı havzanın alanının aynı çevreye sahip bir dairenin alanına oranı olarak tanımlanır [25]. Bu oran sıfır (en az dairesellik) ile bir (en fazla dairesellik) arasında değişir

ve yüksek, orta ve düşük olarak sırasıyla yaşlı, olgun ve genç jeomorfolojik gelişim evrelerini tanımlayacak şekilde sınıflandırılır. Adanın kuzeyinde yer alan havzaların çoğunluğunda dairesellik oranı 0.52 değerinin altında ve ortalama değer 0.40 olduğundan genel olarak havzaların jeomorfolojik açıdan daha çok genç veya olgun oldukları söylenebilir.

Drenaj yoğunluğu havza içindeki tüm akarsuların uzunluklarının toplamı ile toplam havza alanı arasındaki oran olarak tanımlanmıştır [24]. Herhangi bir havzanın drenaj kapasitesi, bu alanın drenaj yoğunluğuna bağlıdır. Yüksek drenaj yoğunluğu değeri, yağış olaylarına nispeten hızlı bir hidrolojik yanıtı sahip büyük ölçüde parçalanmış bir havzayı işaret eder. Nispeten düşük drenaj yoğunluğu ise, yavaş hidrolojik tepkiye sahip daha düşük drenaj kapasiteli bir havzayı gösterir [41]. Çalışma alanındaki havzaların ortalama drenaj yoğunluğu 1.92 km^{-1} , en düşük değer 1.63 km^{-1} ve en büyük değer ise 2.22 km^{-1} olarak hesaplanmıştır. Havzaların çoğu 2.06 km^{-1} değerinin altındadır. Bu sonuç havzaların çoğunun düşük drenaj yoğunluğuna sahip dolayısıyla yağış olaylarına yavaş hidrolojik tepki gösterdiklerini ortaya koymaktadır. Diğer bir grup havza ise orta derecede hidrolojik tepkiye sahip orta drenaj kapasiteli havzalardır.

Tekstür oranı akış numarasının havzanın çevresine oranı olarak tanımlanır ve herhangi bir havzanın drenaj ağının göreceli aralığını gösteren önemli bir morfometrik parametredir. Bu oranı etkileyen en önemli faktör havzanın sızma kapasitesidir [24]. Tekstür oranı 2'den küçükse çok kaba, 2 ile 4 arasında kaba, 4 ile 6 arasında orta, 6 ile 8 arasında iyi, 8'den büyük ise çok ince olarak nitelendirilir [42]. Çalışma havzalarının tekstür oranları 3.05 ile 29.65 km^{-1} arasında değişen değerler olduğundan Kuzey Kıbrıs'ta kaba ile çok ince arasında değişen çeşitli tekstür özellikleri görülmektedir. Ayrıca büyük alan kaplayan havzaların daha yüksek tekstür oranına sahip oldukları saptanmıştır. Bu yüksek değerler ayrıca havzaların düşük sızma kapasitelerini, kayalarının daha az geçirgenliğini ve yüksek rölyef özelliklerini işaret etmektedir.

Akarsu sıklığı birim alandaki toplam akarsu sayısıdır [24]. Çalışma alanındaki havzaların 4.06 ile 6.08 km^{-2} arasında değişen değerler aldıkları belirlenmiştir. Bu değerler adanın kuzeyinin yüksek akarsu sıklığına sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca akarsu sıklığının akış ile doğru, yıllık ortalama yağış ile ters orantılı olarak ilişkilendirildiği bilinmektedir [43, 44]. Dolayısıyla yüksek akarsu sıklığı değerleriyle havzaların daha düşük ortalama yıllık yağışa ve daha yüksek akış potansiyeline sahip olması muhtemeldir. En yüksek akarsu sıklığı Gazimağusa Körfezi'ne dökülen akarsu kollarıyla 25 numaralı havzadadır.

Kompaktlık katsayısı havzanın çevresinin havzaya eşdeğer alana sahip dairenin çevresine oranı olarak tanımlanabilir [27]. Bu parametrenin düşük olması ilgili havzanın daha uzun olduğuna ve düşük erozyon yatkınlığına işaret etmektedir. Diğer taraftan yüksek kompaktlık katsayısı havzanın daha az uzun ve yüksek erozyon özelliğini belirtmektedir. Çalışmada yer alan havzalarda bu parametre en yüksek 2.48 (Havza 17), en düşük ise 1.20 (Havza 24) olarak hesaplanmıştır.

4.1.4. Havzaların Rölyef Özellikleri

Havza rölyefi, havza içerisinde yer alan en yüksek nokta ile en düşük nokta arasındaki yükseklik farkıdır ve havzanın altında yatan jeoloji, jeomorfoloji ve bir takım drenaj özellikleri ile ilişkilidir. Dolayısıyla özellikle havzanın erozyon aşamalarının ve yatkınlığının

önemli bir göstergesi olarak düşünülebilir. Kuzey Kıbrıs'ta bulunan havzalar genellikle iki dağ kütlesi arasında ve Girne Dağları'nın kuzey yamaçlarında yer aldığından orta ve yüksek rölyef değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Havza rölyefi 70 ile 1954 m arasında ve ortalama 800.1 m olarak hesaplanmıştır. En yüksek havza rölyefi Trodos Dağları'ndan Güzelyurt Körfezi'ne uzanan 32 numaralı havzadadır. Yüksek rölyef jeomorfik gelişimin genç aşamalarını ve daha yüksek erozyon potansiyelini göstermektedir. Ayrıca ani rölyef değişiklikleri içeren, özellikle Girne ve Trodos dağlarından düzlüklere uzanan havzaların, taşkın gibi doğal afetlere jeomorfolojileri gereği daha yatkın oldukları söylenebilir.

Rölyef oranı havza rölyefinin havza uzunluğuna bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Bu parametre kayaç türleri ve havza eğimi ile ilişkilendirilebilir. Böylece yüksek rölyef oranı değerleri dağlık bölgeleri, düşük değerler ise vadi ve düzlükleri yansıtmaktadır [45]. Çalışma havzaları incelendiğinde rölyef oranının çok geniş bir aralıkta değerler aldığı görülmektedir. En düşük 0.003 rölyef oranı aynı zamanda en düşük havza rölyefine de sahip Mağusa Körfezi'nde bulunan 25 numaralı havzada hesaplanmıştır. En yüksek rölyef oranı 0.090 değeri ise en yüksek havza rölyefine de sahip 32 numaralı havzada bulunmaktadır. Genel olarak havzaların ortalama rölyef oranı ise 0.037 olarak bulunmuştur. Ayrıca yüksek rölyef oranları havzaların yüksek akış potansiyeline de işaret etmektedir.

Engebelilik oranı havza rölyefi ile drenaj yoğunluğunun çarpımı ile elde edilmektedir [26]. Çalışma alanındaki havzaların engebelilik oranları 0.15 ile 3.58 değerleri arasında ve ortalama 1.52 olarak hesaplanmıştır. Özellikle düşük engebelilik oranları daha çok eğimin düşük olduğu havzalarda, yüksek oranlar ise yamaçların dik ve uzun olduğu havzalarda gözlemlenmektedir. Diğer havza rölyef parametrelerinde olduğu gibi en büyük engebelilik oranı 32 numaralı havza için, en düşük oran ise 25 numaralı havza için hesaplanmıştır. Ek olarak yüksek engebelilik oranı pik debinin nispeten yüksek olabileceğini de göstermektedir.

4.2. Havzaların Kümelenmesi

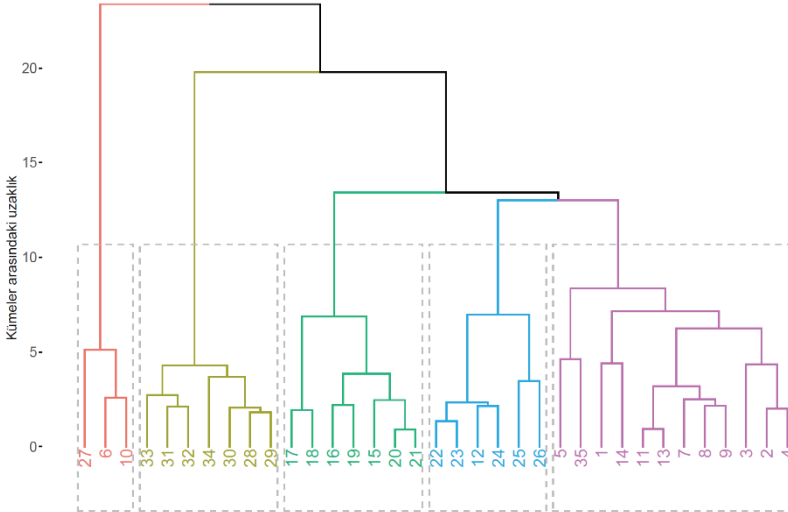
4.2.1. Kümeleme Analizi

Benzer morfometrik özelliklere sahip havzaların oluşturacağı kümelerin sayısını bulmak için 30 farklı indis değerlendirilmiş ve en anlamlı küme sayısının beş olduğu çoğunluk prensibi gözetilerek belirlenmiştir. Böylece morfometrik veriye uygulanan hibrid hiyerarşik k-ortalama yöntemini ile Kuzey Kıbrıs'ta yer alan tüm havzalar beş kümede gruplanmıştır. Şekil 2'de kümeleme analizinin dendrogramı görülmektedir. Dendrogram incelendiğinde Karpaz Yarımadası içerisinde yer alan 20 ve 21 numaralı havzaların birbirlerine en çok benzeyen havzalar oldukları görülmektedir. Ayrıca Girne Dağları'nın kuzeye bakan yamaçlarında bulunan 11 ve 13 numaralı havzaların da aralarındaki uzaklığın çok az olduğu dolayısıyla birbirlerine çok yakın morfometrik özellikler gösterdiği belirlenmiştir. Diğer taraftan oluşturulan kümeler incelendiğinde, Havza 27'nin daha yakın özellikler gösteren 6 ve 10 numaralı havzalar ile bir araya gelerek bir küme oluşturduğu ortaya çıkmıştır. Havza 28, 29, 30, 31, 32, 33 ve 34'ün yakın kümeler arası uzaklık değerleri ile benzer oldukları ve aynı küme içinde yer aldıkları belirlenmiştir. Aynı şekilde 15, 16, 17, 18, 19, 20 ve 21 numaralı havzalar da benzer havza morfometrisine sahip oldukları ortaya konmuştur. Burada Havza 17 ve 18 diğer havzalara göre görece olarak daha uzak bir mesafede kümeye dahil olmuşlardır. Bunun yanında Havza 12, 22, 23 ve 24 yakın morfometrik özellikler göstererek kendi içlerinde gruplanmış ve ardından Havza 25 ve 26 ile birleşerek yeni bir küme

oluşturmuşlardır. Bu kümedeki Havza 25 ve 26 öteki havzalara kıyasla daha uzak özelliklere sahiptir. Son olarak 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 13, 14 ve 35 numaralı havzaları içerisinde barındıran bir küme elde edilmiştir. Bu havzalar genel olarak yakın özellikler gösterip aynı küme içerisinde bulunsalar da küme içerisinde bir takım alt kümelerden de söz etmek mümkündür. Örneğin Havza 5 ve 35; Havza 1 ve 14; Havza 7, 8, 9, 11 ve 13; Havza 2, 3 ve 4 kendi içlerinde daha benzer havza karakteristiklerine sahip oldukları söylenebilir.

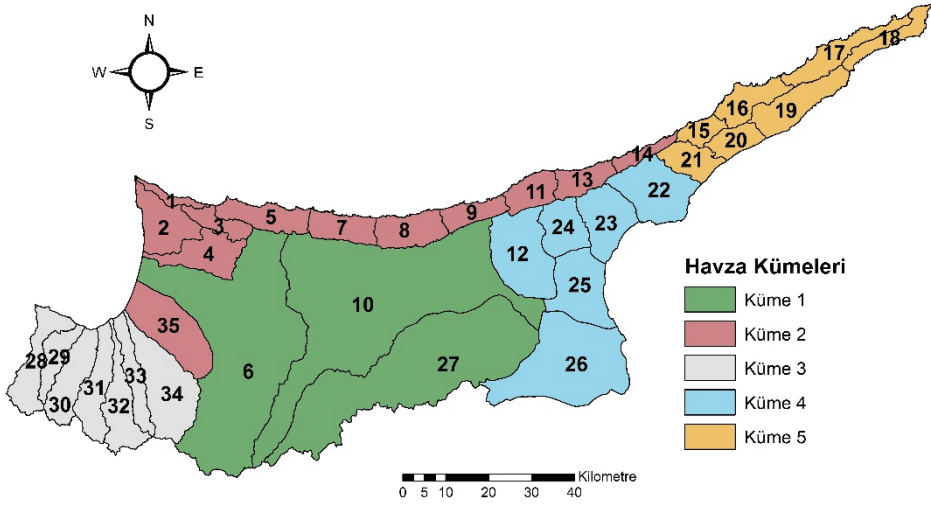
4.2.2. Havza Küme Özellikleri

Kümeleme analizi neticesinde elde edilen beş farklı havza kümesinin Kuzey Kıbrıs'taki mekansal dağılımı Şekil 3'te gösterilmektedir. Buna göre Küme 1, Girne ve Trodos Dağları arasında yer alan Mesarya Ovası'nın orta kısmını kapsayan üç havzadan meydana gelmektedir. Bu havzaların diğerlerine kıyasla havza alanlarının önemli ölçüde büyük olduğu görülmektedir. Küme 2 içerisinde ise 12 havza bulunmaktadır. Buradaki havzaların büyük çoğunluğu Girne Dağları'nın Kuzey'e bakan yamaçlarında yer almakta ve topladıkları suyu adanın kuzey sahilinden denize deşarj etmektedir. Bu noktada Havza 2, 4 ve 35 ise Güzelyurt Körfezi doğrultusundaki akış yönleriyle diğerlerinden farklılaşmaktadır. Küme 3'ü Trodos Dağları'ndan Güzelyurt Körfezi'ne doğru akan derelerin havzaları oluşturmaktadır. Burada birbirine çok benzeyen ve komşu yedi farklı havza söz konusudur. Küme 4'te gruplanan havzaların ise adanın doğusunda bulunan Mağusa Körfezi'ne doğru akış yönüne sahip oldukları belirlenmiştir. Bu kümedeki havzalar Mesarya Ovası'nın doğu kısmını oluşturmaktadır. Son olarak, Küme 5 ise esasen Karpaz Yarımadası'nı temsil eden havzaları içermektedir. Buradaki yedi adet havzanın ortak akış yönlerinden bahsetmek pek mümkün değildir. Havza 15, 16, ve 17'nin kuzeye, Havza 19, 20 ve 21'in ise güneye doğru akış yönlerinin olduğu görülmektedir.



Şekil 2 - Kuzey Kıbrıs'taki havzaların morfolojik özelliklerine uygulanan hibrid hiyerarşik k-ortalama küme analizinin dendrogramı

Diğer bir taraftan belirlenen havza kümelerinin kendilerine özgü morfometrik özelliklerinin belirlenmesi ve kümeler arasındaki farkların daha iyi anlaşılması adına oluşturulan kümelerin temel, çizgisel, alansal ve rölyef havza özelliklerinin medyan değerleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Örneğin Şekil 4'te kümelerin dört farklı temel havza özelliklerinin medyan değerleri verilmiştir. Buna göre açık bir şekilde Küme 1'in diğer kümelere kıyasla çok daha büyük havza alanı, havza çevresi, havza genişliği ve havza uzunluğuna sahip olduğu açıkça ortaya çıkmıştır. Diğer kümelerin ise birbirlerine daha yakın temel havza özellikleri taşıdıkları görülmektedir. Ancak bu noktada da Küme 2 içerisinde yer alan havzalar genellikle Girne Dağları ile kuzey kıyı şeridi arasına sıkışmış olarak bulunduğundan görece olarak en küçük temel havza özelliklerini taşımaktadır.

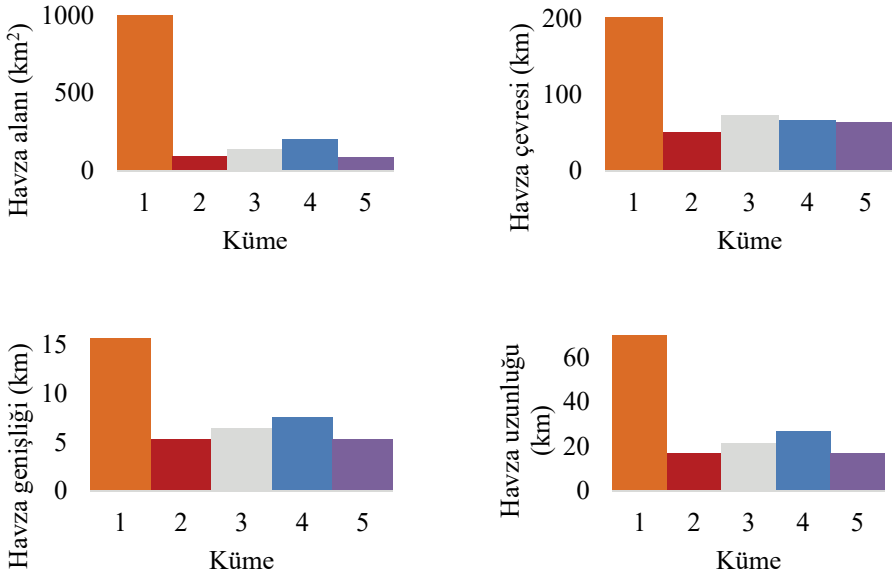


Şekil 3 - Kuzey Kıbrıs'taki havzaların morfometrik özellikleri temelinde oluşturulan havza kümeleri

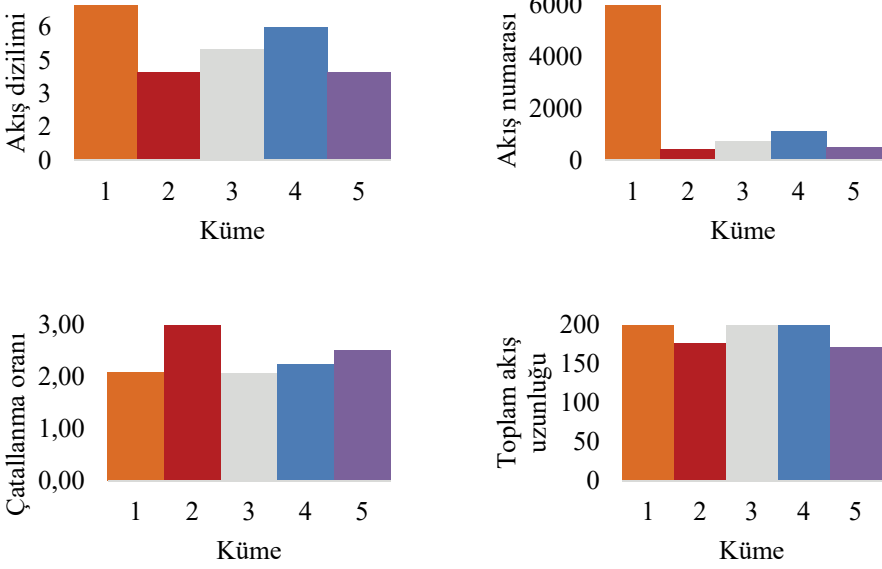
Şekil 5'te verilen kümelerin çizgisel havza özellikleri incelendiğinde Küme 1 havzalarının sahip oldukları büyük temel havza özelliklerinden dolayı akış numaralarının diğer kümelere kıyasla oldukça büyük olduğu açıkça görülmektedir. Benzer şekilde akış dizilimi de temel havza özellikleriyle doğru orantılı olarak Küme 1 için en büyük durumdadır. Küme 1 içerisinde bulunan akarsular detaylı incelendiğinde kolların altıncı derceden büyük akış dizilimine sahip oldukları saptanmıştır. Bu da ana akarsu tipinin nehir olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Geriye kalan kümelerde ise bahsedilen iki çizgisel havza özelliği için Küme 4'teki havzaların diğerlerinden daha büyük değerlere sahip oldukları saptanmıştır. Küme 4'te de yine nehir tipinde akarsular vardır. Diğer dikkat çekici sonuç ise en küçük temel havza özelliklerine sahip Küme 2'nin en büyük çatallanma oranına sahip olmasıdır. Bu noktada Küme 2'de yer alan havzaların kısa konsantrasyon süresine sahip oldukları ve dolayısıyla akışın daha erken pik debiye ulaşmasıyla taşkın yaratma olasılığının daha yüksek olduğu söylenebilir [46]. Toplam akış uzunluğu için ise kümeler arasında ciddi bir fark bulunmamaktadır.

Kümelerin alansal havza özellikleri Şekil 6'da verilmektedir. Bu bağlamda özellikler sorgulandığında Küme 1'deki havzaların tekstür oranlarının diğerlerine göre daha büyük olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç ilgili havzaların yüksek akış ve erozyon potansiyeline sahip oldukları şeklinde yorumlanabilir. Kıbrıs'ın en uzun ve en yüksek akış potansiyeline sahip deresi olan Kanlıdere de bu küme içerisinde yer almaktadır. Ancak havzaların biçim faktörü ve uzama oranları kıyaslandığında Küme 1'e dahil olan havzaların nispeten daha küçük değerler aldığı saptanmıştır. Bu da havzaların uzun ve gerçekleşecek akışlardaki pik debilerin genellikle daha geç meydana geleceği şeklinde yorumlanabilir [24]. Usul [47] havza şeklinin hidrograf şekli ve pik değeri ile ilişkili olduğunu belirtmiştir. Burada uzun havzaların dairesel havzalara oranla daha yayvan ve daha düşük pik değerlere sahip olacağını göstermiştir. Bu sayede uzun havzaların pike ulaşma süreleri de daha fazla olacaktır. Diğer taraftan Küme 4'ün diğer kümelerle kıyasla daha yüksek dairesellik oranı ve drenaj yoğunluğuna sahip olduğu görülmüştür. Genel anlamda bu küme içerisindeki havzaların daha yüksek akış hızı, daha düşük havza gecikme süresi ve daha yüksek pik debiye sahip olabilecekleri söylenebilir [48]. Kompaktlık katsayıları ise tüm kümelerde birbirine yakın olarak hesaplanmıştır. Sadece Küme 4 diğerlerine kıyasla daha küçüktür.

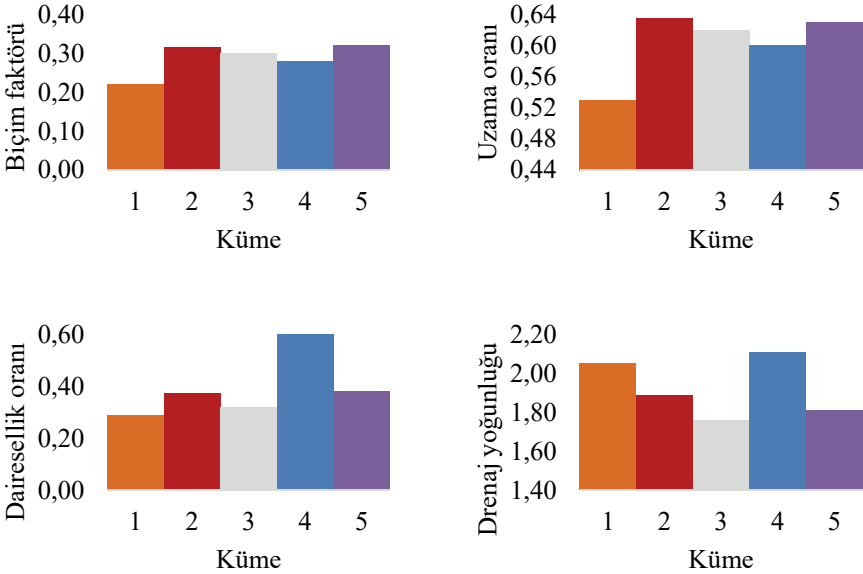
Şekil 7'de gösterilen kümelerin rölyef havza özelliklerine bakıldığında Küme 1 ve 3'ün havza rölyefi ve engebelilik oranlarının birbirlerine yakın olduğu, diğer kümelerden ise daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun yanında Küme 3'teki havzaların rölyef oranları da diğer havzalara oranla daha yüksek olarak hesaplanmıştır. Bu çerçevede, Trodos Dağları'ndan Güzelyurt Körfezi'ne doğru akan bu havzaların ayrıca yüksek sediment ve akış potansiyelleri taşıdığı söylenebilir. Küme 5 içerisindeki havzaların ise en düşük rölyef havza özelliklerine sahip oldukları belirlenmiştir.



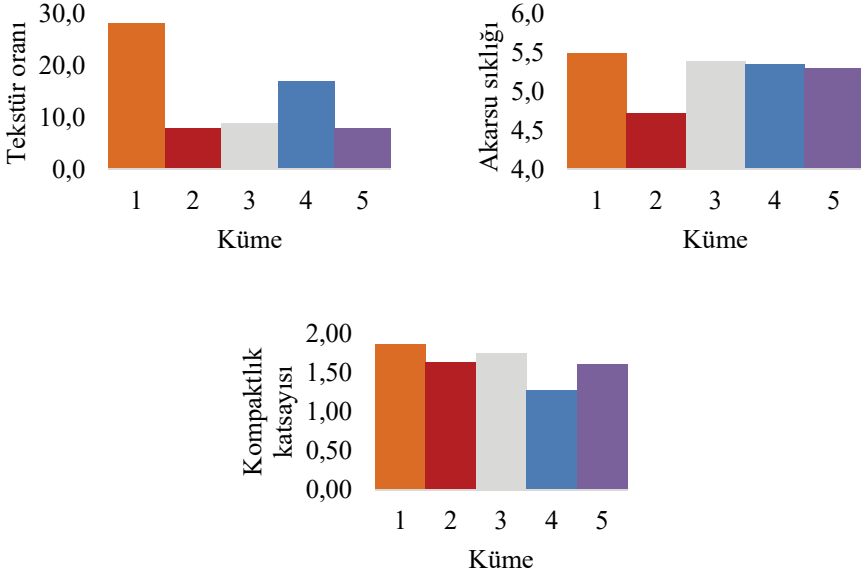
Şekil 4 - Kümelerin temel havza özelliklerinin medyan değerleri



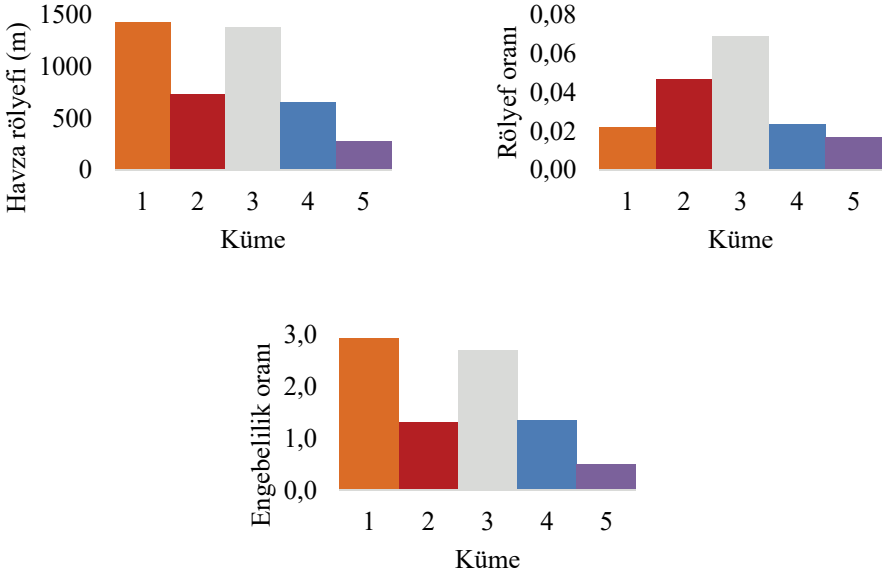
Şekil 5 - Kümelerin çizgisel havza özelliklerinin medyan değerleri



Şekil 6 - Kümelerin alansal havza özelliklerinin medyan değerleri



Şekil 6 - Kümelerin alansal havza özelliklerinin medyan değerleri (devam)



Şekil 7 - Kümelerin rölyef havza özelliklerinin medyan değerleri

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Kuzey Kıbrıs'ta yer alan havzaların temel, çizgisel, alansal ve rölyef morfometrik havza özellikleri coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak elde edilmiş ve detaylı bir şekilde incelenmiştir. Böylelikle havzaların esasen jeomorfoloji, jeoloji, rölyef ve hidrolojik açıdan özellikleri ve davranışları anlamaya çalışılmıştır. Tüm bunları bilmek havza bazlı yapılacak gelişim planları ve ortaya çıkabilecek sel ve taşkın olayları gibi olumsuz durumlara karşı plan ve strateji geliştirilmesi açısından da önem arz etmektedir. Bu nedenle havzalar önce teker teker, ardından ise kümelenebilen bölgesel olarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda gerek havza bazlı gerekse bölgesel bazda taşkın potansiyelleri morfometrik analiz sonuçlarına göre önceliklendirilmelidir. Böylelikle karar vericilerin önlem almaya bu sonuçlara bağlı olarak yapılacak öncelik sırasına göre başlamaları sağlanabilir. Ayrıca bu çalışmada elde edilen sonuçlar, taşkınların sorun olduğu ve veri eksikliği nedeniyle yapılacak taşkın tahminlerinin güvenilirliğinin sağlanamadığı KKTC'de sürdürülebilir bir taşkın yönetimi geliştirme çalışmaları için de oldukça önemlidir. Çalışma neticesinde ulaşılan homojen bölgelerde yer alan tüm istasyonlardaki verilerin bir arada dahil olduğu bölgesel analiz gerçekleştirilir. Bu da en sık karşılaşılan sorunlardan biri olan ölçüm istasyonlarındaki veri eksikliğinin ve yetersizliğinin aynı homojen bölgedeki diğer istasyonların katkısı ile giderilmesini sağlayacaktır.

Çalışma neticesinde şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Hibrid hiyerarşik k-ortalama kümeleme yöntemi ile gerçekleştirilen ve 18 morfometrik parametre ve havzaların coğrafi konumları temelinde yapılan kümeleme analizi neticesinde Kuzey Kıbrıs'taki 35 havza beş kümede sınıflandırılmıştır. Küme 1'de 3, Küme 2'de 12, Küme 3'te 7, Küme 4'te 6 ve Küme 5'te ise 7 havza morfometrik özellikler açısından birbirlerine benzer havzalar olarak belirlenmiştir. Burada orta Mesarya bölgesindeki havzalar Küme 1'i, Girne Dağları ile kuzey kıyı şeridi arasında kalan havzalar Küme 2'yi, Trodos Dağları'ndan Güzelyurt Körfezi'ne uzanan havzalar Küme 3'ü, Doğu Mesarya bölgesinden Mağusa Körfezi'ne uzanan havzalar Küme 4'ü ve Karpaz Yarımadası'nda yer alan havzalar ise Küme 5'i oluşturmuştur. Elde edilen havza kümeleri içerisinde bulunan havzaların hidrolojik açıdan benzer oldukları düşünüldüğünde az da olsa akım gözlem istasyonlarına sahip havzalardaki verilerinin bir araya getirilmesiyle belli bir havza kümesinin istatistiksel olarak davranışı modellenebilir. Böylece gerçekleştirilecek bölgesel analiz ile gözleme sahip olmayan veya sınırlı verisi olan bir istasyonun davranışı hakkında da bilgi sahibi olunabilir. Bu sonuçlar özellikle su kaynaklarının planlanması açısından önem arz etmektedir.
- Çalışma alanı içerisinde yer alan havzaların çok çeşitli havza alanlarına sahip oldukları görülmektedir. Özellikle orta Mesarya bölgesinde yer alan ve Küme 1'i de oluşturan havzaların havza alanı, havza çevresi, havza genişliği ve havza uzunluğu gibi temel havza özellikleri diğer havzalara kıyasla oldukça büyüktür. Bu havzalar Girne ve Trodos Dağları'ndan adanın batısına ve doğusuna su ileten havzalardır. Bunun yanında Girne Dağları ile kuzey kıyı şeridi arasında bulunan havzalar (Küme 2) ise nispeten küçük temel havza özellikleri taşımaktadır.
- Akış dizilimi ve özellikle akış numarası Küme 1'deki havzalarda diğerlerine göre daha yüksektir. Küme 1 içerisinde yer alan akarsu kollarının akış dizilimi altıncı dereceden büyük olduğundan ana akarsu kollarının tamamının nehirlerden oluştuğu belirlenmiştir.

Ayrıca Kuzey Kıbrıs'taki havzalar içerisinde geçen ve nehir olarak tanımlanabilecek akarsuların bir kısmı da Küme 4'te bulunmaktadır. Ancak tüm çalışma alanı dikkate alındığında havzaların büyük çoğunluğunun ana akarsu kolu orta dereceli akarsulardan oluşmaktadır. Bunlara ek olarak, yüksek çatlama oranları ile Küme 2'deki havzaların düşük konsantrasyon sürelerine sahip oldukları ve daha yüksek taşkın potansiyeli taşıdıkları söylenebilir. Genel olarak ise çatlama oranı temelinde çalışma alanı içerisindeki havzaların büyük çoğunluğunda drenaj ağının iyi gelişmiş olduğu görülmektedir. Buradan elde edilen sonuçlar ile hangi bölgelerin taşkına duyarlı olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla öncelikle buralardaki havzalarda geliştirilecek hidrolojik ve hidrolik modeller ile taşkınlar analiz edilebilir ve alınabilecek yapısal ve yapısal olmayan önlemler ile olası taşkın etkileri azaltılabilir.

- En yüksek tekstür oranlarıyla Küme 1 içerisinde yer alan havzalar aynı zamanda en yüksek erozyon ve akış potansiyellerine de sahip havzalar olarak belirlenmiştir. Buna karşın biçim faktörü ve uzama oranları ise diğer kümelere kıyasla daha düşük olduğu saptanmıştır. Kuzey Kıbrıs ölçeğinde havzaların biçim faktörü değerleri daha çok uzun ve orta daireselliğe sahip oldukları yönünde fikir vermektedir.
- Küme 4'teki havzalar genel olarak daha yüksek dairesellik oranı ve drenaj yoğunluğu olan havzalar olarak ortaya çıkmaktadır. Küme 2'deki havzalar ise diğer havzalarla kıyaslandığında genel olarak en düşük akarsu sıklığına sahip havzalar olarak bulunmuştur. Adanın kuzeyinde yer alan havzaların genel olarak dairesellik oranları havzaların jeomorfolojik açıdan daha çok genç veya olgun havzalar olduklarını göstermektedir. Ayrıca havzaların çoğunluğunun sahip olduğu düşük drenaj yoğunlukları yağış sonrası yavaş hidrolojik tepkiler gösterdiklerini ortaya koymaktadır. Bu bulgular taşkın araştırmaları içinde önem arz eden havza davranışlarının anlaşılması konusuna katkı sağlamaları açısından değerlidir.
- Havza rölyef özellikleri incelendiğinde Küme 1 ve Küme 3 içerisinde yer alan havzaların diğerlerine kıyasla daha yüksek rölyef havza özelliklerine sahip oldukları belirlenmiştir. Bu havzalar genellikle Girne ve Trodos Dağları'nın Mesarya Ovası'na doğru olan yamaçlarında veya Doğu Mesarya'dan Mağusa Körfezine doğru uzanmış şekilde konumlanmışlardır. Buralardaki ani eğim değişiklikleri havzaların taşkınlar gibi doğal afetlere karşı daha yatkın olduklarını göstermektedir. Diğer bir taraftan en düşük rölyef değerlerine sahip havzalar Karpaz Yarımadası'nı temsil eden Küme 5 içerisindeki havzalardır. Burada ulaşılan sonuçlar çeşitli doğal afetlere karşı havzaların yatkınlığını göstermektedir ve alınacak önlemler bağlamında havzaların önceliklendirilmesi için kullanılabilir.

Tüm bunlara ek olarak, elde edilen sonuçlar hidrolojik değişkenler ile morfometrik parametreler arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılması açısından önemlidir. Böylelikle aynı küme grupları içerisinde yer alan ve ölçüm değerleri olmayan havzalar için farklı hidrolojik değişkenlerin tahminlerinde elde edilen bu bulgular kullanılabilir. Örneğin ileride yapılacak bir çalışma ile akım gözlem istasyonu bulunan havzaların yağış-akış ilişkileri hidrolojik model geliştirilerek elde edilebilir ve aynı kümedeki diğer havzalar için bu ilişkilerin benzerliği araştırılabilir. Aynı uygulamada ayrıca farklı kümeleme yöntemlerinin sonuçlar üzerindeki etkileri de incelenebilir. İlave olarak, bu çalışmanın sonucunda elde edilen bulgular ve sonuçlar; Kuzey Kıbrıs'taki havzaların ve benzerlerinin karar vericiler tarafından daha iyi anlaşılmasını sağlayabilir. Dolayısıyla havzalar için üretilecek kalkınma, yönetim ve

koruma politikalarının önceliklendirilip uygulanması noktasında referans alınması açısından faydalı olacaktır.

Bunun yanı sıra, bu çalışmada gerçekleştirilen kümeleme analizinde morfometrik özellikler kullanılsada ortaya çıkan havza kümelerinin harita üzerindeki konumları temelde coğrafi ve iklimsel faktörlerin de havza benzerliklerinde etkili oldukları konusunda fikir vermektedir. Bu çalışmada morfometrik özellikler temelinde yapılan bölgeselleştirme ile Zaifoglu vd. [20] tarafından yağış serileri kullanılarak elde edilen homojen bölgeler büyük ölçüde örtüşmektedir. Dolayısıyla Kuzey Kıbrıs'ta hidrolojik açıdan benzer havzalar üzerindeki yağış karakteristiğinin de benzer olabileceği görülmektedir. İlerde yapılacak bir çalışma ile bu ilişkinin anlamlılığı araştırılabilir. Ayrıca topoğrafik özelliklerle birlikte farklı iklimsel, jeolojik ve yüzey özellikleri gibi daha çeşitli veri setleriyle de havzalar sınıflandırılabilir. Özellikle iklim değişikliğinin havzaların farklı özellikleri üzerinde yaratacağı etkilerin çalışılması sürdürülebilir havza yönetimi açısından değerli olacaktır.

Semboller

- A : Havza alanı
 C_C : Kompaktlık katsayısı
 C_j : j 'inci kümenin merkezi
 D_d : Drenaj yoğunluğu
 d_{ij} : Karesel Öklid uzaklık ölçüsü
 E : Tüm kümelerin hata kareler toplamıdır
 E_m : Küme içi hata kareler toplamı
 F_f : Biçim faktörü
 H : Havza rölyefi
 J : K-ortalamalar yöntemindeki amaç fonksiyonu
 L_b : Havza uzunluğu
 L_u : Toplam akış uzunluğu
 N_u : Akış numarası
 n : Nesne sayısı
 P : Havza çevresi
 p : Değişken sayısı
 R : Havza içerisindeki en yüksek kot
 R_h : Rölyef oranı
 R_b : Çatallanma oranı

- R_c : Dairesellik oranı
 R_e : Uzama oranı
 R_n : Engebellelik oranı
 R_t : Tekstür oranı
 r : Havza içerisindeki en düşük kot
 S_f : Akarsu sıklığı
 u : Akış dizilimi
 W : Havza genişliği
 $X_i^{(j)}$: j 'inci kümeye ait i 'inci özellik vektörü
 x_{ik} : i 'inci nesnenin k 'inci değişkendeki değeri
 x_{jk} : j 'inci nesnenin k 'inci değişkendeki değeri
 $x_{m,l,k}$: m 'inci kümedeki l 'inci nesne için k 'inci değişkenin değeri
 $\bar{x}_{m,k}$: m 'inci kümedeki k 'inci değişkene ait ortalama

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için gerekli topoğrafik haritaları sağlayan Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti Harita Dairesi'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Papageorgaki, I., Nalbantis, I., Classification of Drainage Basins Based on Readily Available Information. *Water Resour. Manag.*, 30(15), 5559-5574, 2016.
- [2] Hrachowitz, M., Savenije, H. H. G., Blöschl, G., McDonnell, J. J., Sivapalan, M., Pomeroy, J. W., ... Cudennec, C. A decade of Predictions in Ungauged Basins (PUB)- A review. *Hydrol. Sci. J.*, 58(6), 1198-1255, 2013.
- [3] Guo, Y., Zhang, Y., Zhang, L., Wang, Z. Regionalization of Hydrological Modeling for Predicting Streamflow in Ungauged Catchments: A Comprehensive Review. *WIREs Water*, 8(1), e1487, 2021.
- [4] Randrianasolo, A., Ramos, M. H., Andréassian, V. Hydrological Ensemble Forecasting at Ungauged Basins: Using Neighbour Catchments for Model Setup and Updating. *Adv. Geosci.*, 29, 1-11, 2011.
- [5] Merz, R., Blöschl, G. Regionalisation of Catchment Model Parameters. *J. Hydrol.*, 287(1-4), 95-123, 2004.
- [6] He, Y., Bárdossy, A., Zehe, E. A Review of Regionalisation for Continuous Streamflow Simulation. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15(11), 3539-3553, 2011.

- [7] Zhang, Y., Chiew, F. H., Li, M., Post, D. Predicting Runoff Signatures Using Regression and Hydrological Modeling Approaches. *Water Resour. Res.*, 54(10), 7859-7878, 2018.
- [8] Hailegeorgis, T. T., Thorolfsson, S. T., Alfredsen, K. Regional Frequency Analysis of Extreme Precipitation with Consideration of Uncertainties to Update IDF Curves for the City of Trondheim. *J. Hydrol.*, 498, 305-318, 2013.
- [9] Wang, Z., Zeng, Z., Lai, C., Lin, W., Wu, X., Chen, X. A Regional Frequency Analysis of Precipitation Extremes in Mainland China with Fuzzy C-means and L-moments Approaches. *Int. J. Climatol.*, 37, 429-444, 2017.
- [10] Betül, S. A. F. Batı Akdeniz Bölgesi Taşkın Tahminlerinde Homojenlik İrdelemesi. *Tek. Der.*, 22(109), 5587-5611, 2011.
- [11] Fırat, M., Dikbaş, F., Koç, A. C., ve Güngör, M. Classification of Annual Precipitations and Identification of Homogeneous Regions Using K-means Method. *Tek. Der.*, 23(115), 1609-1622, 2012.
- [12] Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. *Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-moments*. New York. Cambridge University Press, 2005.
- [13] Rao, A. R., Srinivas, V. V. Regionalization of Watersheds by Hybrid-cluster Analysis, *J. Hydrol.*, 318(1-4), 37-56, 2006.
- [14] Clarke, J. J. *Morphometry from Map. Essays in Geomorphology*, New York. Elsevier, 1966.
- [15] Soni, S. Assessment of Morphometric Characteristics of Chakrar Watershed in Madhya Pradesh India Using Geospatial Technique. *Appl. Water Sci.*, 7(5), 2089-2102, 2017.
- [16] Rekha, B. V., George, A. V., Rita, M. Morphometric Analysis and Micro-watershed Prioritization of Peruvanthanam Sub-watershed, the Manimala River Basin, Kerala, South India. *Environ. Res. Eng. Manag.*, 57(3), 6-14, 2011.
- [17] Prasannakumar, V., Vijith, H., Geetha, N. Terrain Evaluation Through the Assessment of Geomorphometric Parameters Using DEM and GIS: Case Study of Two Major Sub-watersheds in Attapady, South India. *Arab. J. Geosci.*, 6(4), 1141-1151, 2013.
- [18] Türker, U., Hansen, B. R. River Basin Management and Characterization of Water Bodies in North Cyprus. In 10th International Congress on Advances in Civil Engineering, Ankara, Türkiye, 2012.
- [19] Nikolakis, D. A Statistical Study of Precipitation in Cyprus, *Hell. J. Geosci.*, 43, 67-74, 2008.
- [20] Zaifoglu, H., Akintug, B., Yanmaz, A. M. Regional Frequency Analysis of Precipitation Using Time Series Clustering Approaches. *J. Hydrol. Eng.*, 23(6), 05018007, 2018.
- [21] Camera, C., Bruggeman, A., Hadjinicolaou, P., Pashiardis, S., Lange, M. A. Evaluation of Interpolation Techniques for the Creation of Gridded Daily Precipitation ($1 \times 1 \text{ km}^2$); Cyprus, 1980–2010. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119(2), 693-712, 2014.

- [22] Christofi, C., Bruggeman, A., Kuells, C., Constantinou, C. Hydrochemical Evolution of Groundwater in Gabbro of the Troodos Fractured Aquifer. *A Comprehensive Approach. Appl. Geochemistry*, 114, 104524, 2020.
- [23] Djokic, D., Ye, Z., Dartiguenave, C. Archydro Tools Overview Version 2.0, California. Esri, 2011.
- [24] Horton, R. E. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 56(3), 275-370, 1945.
- [25] Strahler, A. N. Part II. Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. *Handbook of Applied Hydrology*, New York. McGraw-Hill, 1964.
- [26] Schumm, S. A. Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 67(5), 597-646, 1956.
- [27] Magesh, N. S., Chandrasekar, N., Soundranayagam, J. P. Morphometric Evaluation of Papanasam and Manimuthar Watersheds, Parts of Western Ghats, Tirunelveli District, Tamil Nadu, India: A GIS Approach. *Environ. Earth Sci.*, 64(2), 373-381, 2011.
- [28] Ward, J. H. Hierarchical Grouping to Optimize An Objective Function. *J. Am. Stat. Assoc.*, 58(301), 236-244, 1963.
- [29] MacQueen, J. Classification and Analysis of Multivariate Observations. 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. California, 1967.
- [30] Chen, B., Tai, P. C., Harrison, R., Pan, Y. Novel Hybrid Hierarchical-K-means Clustering Method (HK-means) for Microarray Analysis. 2005 IEEE Computational Systems Bioinformatics Conference-Workshops. California. 2005.
- [31] Everitt, B.S., Dunn G., *Applied Multivariate Analysis*, London. Edward Arnold, 1991.
- [32] Theodoridis S., Koutroubas K. *Pattern Recognition*. 4th edition. Academic Press, 2008.
- [33] Charrad, M., Ghazzali, N., Boiteau, V., Niknafs, A. NbClust: An R Package for Determining the Relevant Number of Clusters in A Data Set. *J. Stat. Softw.*, 61, 1-36, 2014.
- [34] Rao, A. R., Srinivas, V. V. *Regionalization of Watersheds: An Approach Based on Cluster Analysis*, Berlin. Springer Science and Business Media, 2008.
- [35] Ralambondrainy, H. A Conceptual Version of the K-means Algorithm. *Pattern Recognit. Lett.*, 16(11), 1147-1157, 1995.
- [36] Rao, A. R., Srinivas, V. V. Regionalization of Watersheds by Hybrid-Cluster Analysis. *J. Hydrol.*, 318(1-4), 37-56, 2006.
- [37] Smith, A., Sampson, C., Bates, P. Regional Flood Frequency Analysis at the Global Scale. *Wat. Resour. Res.*, 51(1), 539-553, 2015.
- [38] Kebebew, A. S., Awass, A. A. Regionalization of Catchments for Flood Frequency Analysis for Data Scarce Rift Valley Lakes Basin, Ethiopia. *J. Hydrol. Reg. Stud.*, 43, 101187, 2022.

- [39] Strahler, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. Eos, Trans. Am. Geophys. Union, 38(6), 913-920, 1957.
- [40] Chopra, R., Dhiman, R. D., Sharma, P. K. Morphometric Analysis of Sub-watersheds in Gurdaspur District, Punjab Using Remote Sensing and GIS Techniques. J. Indian Soc. Remote Sens., 33(4), 531-539, 2005.
- [41] Melton, M. A. (1957). An Analysis of the Relations Among Elements of Climate, Surface Properties, and Geomorphology, New York. Columbia University, 1957.
- [42] Smith, K. G. Standards for grading texture of erosional topography. Am. J. Sci., 248(9), 655-668, 1950.
- [43] Biswas, S., Sudhakar, S., Desai, V. R. Prioritisation of Subwatersheds Based on Morphometric Analysis of Drainage Basin: A Remote Sensing and GIS Approach. J. Indian Soc. Remote Sens., 27(3), 155-166, 1999.
- [44] Morisawa, M. E. (1962). Quantitative Geomorphology of Some Watersheds in the Appalachian Plateau. Geol. Soc. Am. Bull., 73(9), 1025-1046, 1962.
- [45] Kumar, A., Darmora, A., Sharma, S. Comparative Assessment of Hydrologic Behaviour of Two Mountainous Watersheds Using Morphometric Analysis. Hydrology Journal, 35(3-4), 76-87, 2012.
- [46] Bogale, A. Morphometric Analysis of A Drainage Basin Using Geographical Information System in Gilgel Abay Watershed, Lake Tana Basin, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. Appl. Water Sci., 11(7), 1-7, 2021.
- [47] Usul, N. Mühendislik Hidrolojisi, Ankara. ODTÜ Yayıncılık, 2013.
- [48] Chorley RJ (1969) The Drainage Basin As The Fundamental Feomorphic Unit, London. Methuen Co. Ltd, 1969.