



Journal of Turkish Operations Management

Türkiye'deki üniversitelerin sürdürülebilirlik açısından bulanık c-ortalamlar yöntemi ile kümelenmesi

Kevser Arman^{1*}, Nilsen Kundakcı²

¹ İşletme Bölümü, İİBF, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye
e-mail:karman@pau.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4400-5976>

² İşletme Bölümü, İİBF, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye
e-mail:nilsenk@pau.edu.tr ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-7283-320X>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 25.05.2023

Revize: 02.03.2025

Kabul: 14.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Bulanık c-ortalamlar (BCO),
Sürdürülebilirlik,
Üniversiteler

Özet

Üniversiteler sürdürülebilirlik kavramının tüm toplum tarafından anlaşılması ve gelişmesi açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmanın amacı GreenMetric 2021 dünya sürdürülebilir üniversite sıralama raporu kullanılarak Türkiye'deki 71 üniversiteyi sürdürülebilirlik açısından bulanık c-ortalamlar (BCO) kümeleme yöntemi ile değerlendirmektir. Kümeleme, birçok farklı alanda uygulama imkanı sunması sayesinde önemli bir araştırma alanı olmuştur. Katı kümeleme, nesnelerin sadece bir kümeye ait olmasına izin verirken bulanık kümeleme nesnelerin kümelerle ilişkin üyeliklerinin değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır. Bu yönü ile bulanık kümeleme, kümeler arasında keskin ayrımların olmadığı veriler için daha uygundur. Bu nedenle çalışmada bulanık kümeleme algoritmalarından biri olan bulanık c-ortalamlar (BCO) kullanılmaktadır. BCO algoritması analiz sonuçlarına göre iki küme elde edilmiş olup, 1. Küme 6 sürdürülebilirlik boyutu kapsamında daha yüksek ortalamalara sahiptir. Ayrıca, 5 üniversitenin her iki kümeye ait olma derecelerinin oldukça yakın olduğu ortaya çıkmıştır. Çalışma sonucunda Türkiye'de yer alan üniversitelerin sürdürülebilirlik konusundaki konumlarının görülməsi sağlanmaktadır. Ayrıca üniversitelere sürdürülebilirliğin geliştirilmesine yönelik öneriler sunulmaktadır.

Clustering of universities in Türkiye with fuzzy c-means method in terms of sustainability

Article Info

Article History:

Received: 25.05.2023

Revised: 02.03.2025

Accepted: 14.03.2025

Keywords:

Fuzzy c-means (FCM),
Sustainability,
Universities

Abstract

Universities have a very important place in terms of the understanding and development of the concept of sustainability by the whole society. The aim of this study is to evaluate 71 universities in Turkey in terms of sustainability with the Fuzzy c-means (FCM) clustering method using the GreenMetric 2021 world sustainable university ranking report. Clustering has become an important research area as it offers application opportunities in many different fields. While hard clustering allows objects to belong to only one cluster, fuzzy clustering allows the evaluation of the membership of objects in clusters. With this aspect, fuzzy clustering is more suitable for data where there are no sharp distinctions between clusters. For this reason, fuzzy c-means (FCM), which is one of the fuzzy clustering algorithms, is used in this study. According to the results of the FCM algorithm analysis, two clusters were obtained, and Cluster 1 has higher averages within the scope of the 6-sustainability dimensions. It has been found that the degrees of belonging to both clusters of 5 universities are quite close. As a result of the study, it is provided to see the current positions of the universities in Türkiye on sustainability. In addition, suggestions are offered to universities for the development of sustainability.

1. Giriş

Kümeleme analizi, birimlerin önemli özelliklerini temsil eden değişkenleri dikkate alarak gruplandırmak için kullanılan çok değişkenli bir istatistiksel yöntemdir (Ünsal ve Kasap, 2020:426). Kümeleme, veri madenciliğinin denetimsiz sınıflandırma tekniğinin önemli bir biçimidir. Veri öğelerini, bir grup içindeki öğeler yüksek benzerlik gösterirken diğer grupların öğelerinden farklı olacak şekilde birkaç gruba ayırmaktadır (Gosain ve Dahiya, 2016: 100). Bir diğer ifade ile kümeleme, nesneleri küme adı verilen ayrık gruplar kümesine atama işlemidir, böylece belirli bir küme içerisinde bulunan nesneler farklı kümelerdeki nesnelerden daha çok birbirine benzemektedir. Kümeleme algoritmaları, veri noktalarının benzerlikleri ve farklılıklarına dayalı olarak verileri gruplandırmayı ve gruplanmış verilere ilişkin özet bilgiler elde etmeyi amaçlamaktadır. Kümeleme algoritmaları günümüzde birçok uygulama için örneğin, bilgi erişimi, veri madenciliği veya bilgisayarla görme sistemlerinde başarıyla kullanılmaktadır.

Bugün, dünya genelinde sürdürülebilirlik bilinci önemli ölçüde artmıştır. Bu farkındalık sadece üretim işletmelerini değil hizmet işletmelerini de faaliyetlerini gerçekleştirirken çevre odaklı olmaya yöneltmiştir. Bu hizmet işletmelerinden biri de üniversitelerdir (Öztaş ve diğ., 2023: 163). 1990'lardan bu yana, üniversiteler, akademisyenler tarafından sürdürülebilir bir geleceğin yaratılması için toplumda yeni roller benimsemeye teşvik edilmektedir (Cuesta-Claros ve diğ., 2022: 525). Üniversiteler sürdürülebilirliği toplum içinde yaygınlaştırmada birer aracı olarak hareket etmekte ve onlara büyük sorumluluk düşmektedir. Bu nedenle, üniversiteler kaçınılmaz olarak sürdürülebilirlik ilkelerinin yayılmasında önemli bir rol oynamaktadır (Lukman ve Glavič, 2007: 103). Benzer şekilde Dagiliūtė ve diğ. (2018)'e göre, üniversiteler, toplum üzerinde önemli bir yönlendirici etkiye sahiptir ve sürdürülebilirliğin sağlanmasında kilit bir rol oynayabilir. Bu nedenle bu çalışmanın amacı, Türkiye'de yer alan üniversitelerin sürdürülebilirlik stratejilerini değerlendirmek için bulanık c-ortalamalar (BCO) kümeleme yöntemini uygulamaktır. Daha önce Perchinunno ve Cazzolle (2020) tarafından yapılan çalışma, 780 üniversiteyi sürdürülebilirlik açısından iki aşamalı kümeleme yöntemi ile analiz etmiştir. Çalışmada önerilen yöntemin hem kategorik hem de sürekli değişkenlere dayalı kümeler oluşturabilmesi ve çok büyük veri kümelerini işlemesi avantajları arasındadır. Ancak veri yapısı düşünüldüğünde sürdürülebilirlik konusu kapsamında boolean üyelik derecesi kullanmanın analiz sonuçlarını etkileyebiliş ve değiştirebileceği düşünülmektedir çünkü üniversiteye ilişkin yorumlar bağlı olduğu kümeye göre değişkenlik göstereceği için eğer bir üniversite birden fazla kümeye ait ise değerlendirmeleri oldukça farklı olabilmektedir. Bu nedenle önceki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada BCO kümeleme yöntemi kullanılarak Türkiye'de yer alan üniversitelerin sürdürülebilirlik düzeyi değerlendirilmektedir. Makine öğrenmesi algoritmaları, karar verme problemi için gerçek dünya verilerinin analizinde oldukça önemli bir yere sahip olmuştur (Nilashi ve diğ., 2019: 2). BCO örüntü tanıma, görüntü analizi, tıbbi teşhis, şekil analizi ve hedef tanımda yaygın olarak kullanılan denetimsiz bir kümeleme algoritmasıdır. BCO yönteminde bulanık mantık kümesi kavramındaki üyelik derecesi sayesinde veri kümesindeki her nokta birden fazla kümeye belirli derecelerde üye olabilir. Bu özellik katı bir kümeleme algoritması olan k-ortalamalar kümelemede elde edilemeyen ilişkinin elde edilmesini sağlamaktadır (Tokat ve diğ., 2022: 6379). Bu nedenle çalışmada BCO yöntemi kullanılmaktadır. Çalışmada önerilen yaklaşımın sürdürülebilirlik ile ilgili mevcut literatüre katkı sağlayacağı beklenmektedir.

Çalışma şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde, sürdürülebilirlik ve BCO ile ilgili literatür taraması sunulmaktadır. Üçüncü bölümde öncelikle kümeleme algoritmalarına yer verilmiş daha sonra bulanık mantık ve bulanık kümeler açıklandıktan sonra bulanık c-ortalamalar algoritması tanımlanarak bu yöntemin adımları sunulmuştur. Dördüncü bölüm, çalışmanın uygulanmasını ve analiz sonuçlarını içerir. Sonuç bölümünde ise çalışma genel olarak yorumlanmış ve gelecekteki çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. Literatür taraması

Bu bölüm, literatür taramasını iki açıdan tartışmaktadır. İlk olarak, sürdürülebilirliğe odaklanan çalışmalar ele alınmıştır. Daha sonra, BCO yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen farklı uygulamalar sunulmuştur. Daha önce yapılan birçok ampirik çalışma, sürdürülebilirlik konusunu detaylı bir şekilde ele almaktadır. Bu çalışmalar aynı amaca sahip olmalarına rağmen incelenen alan ve kullanılan yöntem yönünden farklılık göstermektedir. Bu çalışmalardan bazıları şu şekildedir. Cantuarias-Villessuzanne (2021), çalışmada şehirlerin sürdürülebilirlik stratejilerini anlamak için Avrupa akıllı şehirlerinin kümelenmesini temel bileşenler analizi (PCA) ve hiyerarşik artan sınıflandırma (HAC) yöntemleri ile ele almıştır. Çalışma sonucunda üç küme tespit edilmiştir. Buna göre ilk küme gelişmekte olan akıllı stratejilere sahip şehirleri temsil eder. İkinci küme, belirli zorluklarla başa çıkmak için teknoloji odaklı stratejileri olan uluslararası metropollerini yeniden gruplandırır. Üçüncü küme, iyi bir yaşam kalitesine sahip orta büyüklükteki Avrupa şehirlerini temsil etmektedir. Paulvannan Kanmani ve diğ. (2020), kendini düzenleyen haritalar (SOM) kullanarak ülkelerin küresel çevresel sürdürülebilirliğini değerlendirmektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ülkelerin çevresel sürdürülebilirliklerini iyileştirmeye yönelik etkili yollar belirleyerek ülkelerin daha bilinçli kararlar almasını sağlamaktadır. Perchinunno ve Cazzolle (2020), üniversiteleri dünya sürdürülebilirlik sıralamasında sınıflandırmak için iki aşamalı kümeleme yaklaşımını kullanmıştır. Çalışma

sonucunda dört sürdürülebilirlik düzeyi tanımlanmaktadır: üst, yüksek, orta ve düşük sürdürülebilirlik. Çağlar ve Gürler (2022), dünya çapındaki ülkeleri sürdürülebilir kalkınma hedefleri süreci açısından k-ortalamlar kümeleme yöntemi ile sınıflandırmıştır. Analize 110 ülke dahil edilmiş olup, veriler, Sürdürülebilir Kalkınma Raporu 2019'dan elde edilmiştir. Analiz sonuçları, ülkelerin 5 kümeye ayrılabilirliğini göstermektedir. Öztas ve diğ. (2023), Avrupa'daki 35 yeşil üniversiteyi gini katsayısı tabanlı ağırlıklandırma yöntemine dayanan MABAC yöntemi ile sıralamaktadır. Veriler UI GreenMetric 2021 raporundan elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre “Düzenleme ve Altyapı” en önemli kriter, “Atık” ise en az önemli kriterdir. GreenMetric 2021 raporunun sunduğu sıralama ve çalışmada önerilen metodoloji ile elde edilen sıralama arasındaki korelasyon 0,815'tir.

Izakian ve Abraham (2011), BCO ve bulanık Parçacık Sürü Optimizasyonu (FPSO) yöntemlerine dayalı hibrit bir bulanık kümeleme yaklaşımı önermiştir. Bu amaçla, altı veri seti; Iris, Glass, Cancer ve Wine üzerindeki deneysel sonuçlar, önerilen hibrit yöntemin verimli olduğunu göstermektedir. Singh ve diğ. (2011), mamogramlarda meme kanseri kitlesi ve kalsifikasyon varlığını belirlemek için k-ortalamlar ve BCO kümeleme yöntemlerini kullanmışlardır. Önerilen birleşik yöntem ile mamogram görüntülerinde meme kanseri bölgesi başarıyla tespit edilmiştir. Şişeci ve Çetışli (2014) çalışmasında, k-ortalamlar ve BCO yöntemlerini kullanarak traverten plakalar için yeni bir sınıf tanımlaması önermiştir. Cebeci ve Yıldız (2015), farklı küme yapılarını k-ortalamlar ve BCO algoritmaları ile karşılaştırmıştır. Buna göre tüm veri setleri için k-ortalamlar BCO'dan daha hızlı çalışmaktadır. Bununla birlikte tüm durumlar için en iyi olan herhangi bir algoritma yoktur ve uygun bir algoritmaya karar vermek için veri kümelerinin dağılımı açısından dikkatlice incelenmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Alptekin ve Yeşilaydın (2015), BCO kullanarak OECD ülkelerini sağlık göstergelerine göre sınıflandırmıştır. Çalışma kapsamında, 34 ülke ele alınmış ve on değişken kullanılmıştır. Gosain ve Dahiya (2016) literatürde yer alan bulanık kümeleme algoritmalarının performansının kapsamlı bir çalışmasını ve deneysel analizini gerçekleştirmişlerdir. Zorlutuna ve Erilli (2018), MATLAB ortamında, illeri sosyo-ekonomik verilere göre BCO yöntemi ile sınıflandırmıştır. Yeh (2021), çalışanların üretim hattında performans gösterme becerilerini değerlendirmek ve her çalışan için hangi operasyonel yeteneklerin uygun olduğunu belirlemek için BCO kümeleme yöntemini kullanmıştır. Çalışkan ve diğ. (2021), BCO yöntemi kullanarak 32 ülkeyi yükseköğretim performanslarına göre değerlendirmiştir. Aydın ve Kayhan (2021), Jensen Shannon mesafesine dayanan Jensen Shannon bulanık c-ortalamlar (JSBCO) kümeleme yöntemini önermiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, JSBCO algoritmasının 10 farklı çalışma kapsamında %80 doğruluk sunduğunu göstermektedir. Zeybekoğlu (2021), BCO Yöntemi ile Türkiye Karadeniz Bölgesinde standart süreli yağış şiddetlerinin kümelenmesi konusunu ele almıştır. Ok (2022), BCO kullanarak 42 ülkenin işsizlik göstergeleri temelinde kümelenmesini MATLAB ve R ortamlarında ele almıştır. Eker ve diğ. (2022), kapasiteli araç rotalama problemini BCO ile başlangıç çözümü iyileştirilmiş tavlama benzetimi algoritması ile ele almıştır. Çalışma sonucunda BCO ile iyileştirilmiş başlangıç çözüm, optimuma daha yakın bir çözüm sunmaktadır. Wulandari ve Yogantara (2022), ekonomi ve sağlığa dayalı olarak ülkelerin kümelenmesi için k-ortalamlar ve BCO algoritmalarını kullanmış ve algoritmaların performanslarını karşılaştırmıştır. Tokat ve diğ. (2022), depo yükleme işlemleri için BCO kümeleme tabanlı performans göstergesi tasarımı konusunu ele almıştır. Çalışmada BCO sonuçları kullanılarak ambar yükleme işlemleri için performans göstergesi önerilmektedir.

Literatür incelendiğinde kümeleme algoritmalarının birçok farklı alanda uygulandığı görülmektedir. Bununla birlikte sürdürülebilirlik konusu ise birçok araştırmacı tarafından farklı çerçevelerden incelenmiştir. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak üniversitelerin sürdürülebilirlik açısından BCO algoritması ile kümelenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmanın bu yönü ile literatüre katkı sunması beklenmektedir.

3. Yöntem

3.1. Kümeleme algoritmaları

Kümeleme algoritmaları kapsamında verilerle ilgili farklı temel varsayımlar göz önünde bulundurularak ve farklı yaklaşımlar kullanılarak farklı algoritmalar geliştirilmiştir. Kümeleme algoritmaları genel olarak katı ve bulanık olarak sınıflandırılabilir (Izakian ve Abraham, 2011: 1835). Nesneler yalnızca bir gruba tahsis edildiğinde, bu tür kümelemeye katı kümeleme denir. Katı kümelemede kümeler, elemanın üyeliğini temsil eden kesin kümelerle sahiptir, yani bir kümedeki öğelerin üyeliği, bir öğenin kümeye ait olup olmadığına ilişkin iki değerli koşula göre ikili terimlerle değerlendirilir. Nesneler yalnızca bir gruba ait olmadığında, bunun yerine birkaç gruptaki üyeliğin bir kısmını paylaştıklarında, bu tür kümelemeye bulanık kümeleme denir. Dolayısıyla, bulanık kümeleme, gerçek birim aralığında $[0,1]$ değerli bir üyelik fonksiyonu tarafından tanımlanan bir kümedeki elemanların üyeliğinin kademeli olarak değerlendirilmesine izin vermektedir (Gosain ve Dahiya, 2016: 101). Kendi kendini organize eden haritalar, k-ortalamlar, c-ortalamlar, bulanık c-ortalamlar iyi bilinen kümeleme algoritmalarından bazılarıdır (Torra, 2005: 646). En popüler kümeleme algoritmalarından biri olan k-ortalamlar araştırmanın amacına göre nesneleri önceden belirlenmiş küme sayısına (k) bölen katı kümeleme algoritmalarından biridir ancak k-ortalamlar, kümeler arasında kesin sınırların olmadığı gerçek veri kümeleri için uygun değildir (Izakian ve Abraham, 2011: 1835). Nayak ve diğ. (2015)'e göre, küme sınırları ile bazı nesneler,

bir küme grubunda veya benzer olmayan bir grupta yer alabilmektedir ve bu özellik, gerçek hayattaki uygulamalarda katı kümelemenin kullanımını sınırlamaktadır.

3.2. Bulanık mantık ve bulanık kümeler

Bulanık küme teorisinin temelini oluşturan Bulanık mantık, 1965'te Lotfi A. Zadeh tarafından "Bulanık Kümeler" adlı makale ile sunulmuştur. Gerçek fiziksel dünyada karşılaşılan nesne sınıfları kesin olarak tanımlanmış üyelik kriterlerine sahip değildir ve böyle belirsizlik durumlarında bulanık kümeler kullanılmaktadır (Zadeh, 1965: 338). Bulanık kümeler, nesneleri 0 ile 1 arasında değişen farklı üyelik derecesine sahip üyelik fonksiyonları ile belirtmektedir (Kundakcı, 2022: 391). Bulanık kümeler, bir nesnenin bir kümenin elemanı olup olmadığını kabul eden Aristoteles küme teorisindeki varsayımın aksine nesneleri 0 ile 1 arasında değişen farklı ve sonsuz sayıda üyelik derecesine sahip üyelik fonksiyonları ile nitelendirmektedir (Tokat ve diğ., 2022: 6379). Bulanık mantık, modelleme aşamasında değişkenlerin esnek bir şekilde belirlenme sürecidir ve buradaki esneklik belirsizlik içermemekte, modelin var olan yapısını koruyarak farklı koşullar altında esneklik sağlamaktadır (Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003: 64). Bulanık mantık ve bulanık kümeler, mühendislik ve kontrol, yöneylem araştırması ve optimizasyon, veri tabanları ve bilgi alma, veri analizi ve istatistik gibi çok sayıda uygulama alanı için oldukça önemlidir. Yapay zekanın (AI), modern bilgi teknolojisinin ve veri bilimlerinin temel bir metodolojisi olarak makine öğrenmesinin artan popülaritesi, makine öğrenmesi algoritmalarında da bulanık kavramlar kullanılmasına ve bulanık tabanlı makine öğrenmesi alanının doğmasına neden olmuştur (Hüllermeier, 2015: 292).

3.3. Bulanık c-ortalamlar algoritması (BCO)

Dunn (1973) tarafından önerilen ve Bezdek (1981) tarafından geliştirilen bulanık c-ortalamlar (BCO) algoritması, gürültüye, aykırı değerlere ve kümelerin boyutuna karşı oldukça hassas olan en popüler bulanık kümeleme algoritmalarından biridir (Askari, 2021: 2). Izakian ve Abraham (2011)'e göre, bulanık kümeleme, birçok gerçek dünya uygulaması için araştırma konusu olan önemli konulardan biridir ve BCO algoritması verimli, anlaşılır ve uygulaması kolay olduğu için en popüler bulanık kümeleme algoritmalarındandır. Katı kümelemede (hard clustering) bir nesne boolean üyeliğe sahiptir yani, bir nesne bir kümeye ya aittir ya da değildir (0 ya da 1) ancak BCO algoritması, katı kümeleme algoritmalarından bu noktada farklılaşmaktadır (Torra, 2005: 647; Prasad ve diğ., 2016: 879). Katı kümeleme algoritmalarından farklı olarak, BCO, veri kümesindeki nesnelerin iki veya daha fazla kümeye ait olmasına izin vermekte ve nesneleri $[0,1]$ arasında değişen bir üyelik fonksiyonu ile ilişkilendirmektedir (Şişeci ve Çetişli, 2014: 242; Nilashi ve diğ., 2019: 3). BCO ile nesnelerin bir kümeye ait olabilme katsayıları görülmektedir ve nesnelerin yakın olduğu kümelere ait üyelik dereceleri daha yüksektir. Üyelik derecelerinin toplamı ise bulanık mantık kavramı gereği 1'dir (Zorlutuna ve Erilli, 2018: 15). BCO algoritmasının adımları aşağıdaki gibidir (Bezdek ve diğ., 1984:192-194; Çalışkan ve diğ., 2021: 3-4; Tokat ve diğ., 2022: 6379).

BCO yönteminin amacı, geliştirilmiş en küçük hata kareler ile ilişkili Eşitlik 1'de yer alan amaç fonksiyonu en aza indirmektir.

$$J_m(U, v) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c (u_{ik})^m * d_{ik}^2 \quad (1)$$

Burada J_m değeri, küme içi mesafelerin toplamını gösterir. Bu nedenle J_m değeri en aza indirilerek, bir kümedeki nesneler arasındaki benzerlik artırılır.

Adım 1. İlk olarak başlangıç değerleri belirlenmektedir. $X = \{x | x \in X\}$ bölümlere ayrılacak olan kayıt kümesidir. n , X içindeki nesnelerin sayısıdır ve küme sayısı c ($2 \leq c < n$), bulanıklaştırma indeksi m ($m > 1$) ve hata değeri ε belirlenir ve U üyelik matrisi $U = \{u_{ij}\}$ için başlangıç üyelik matrisinin elemanlarına rasgele değerler atanır.

Adım 2. Küme merkezi (v_{ij}) Eşitlik 2 ile güncellenmektedir.

$$v_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m * x_{kj}}{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m} \quad (2)$$

Adım 3. Öklid uzaklık matrisi (d_{ik}) Eşitlik 3 ile hesaplanır.

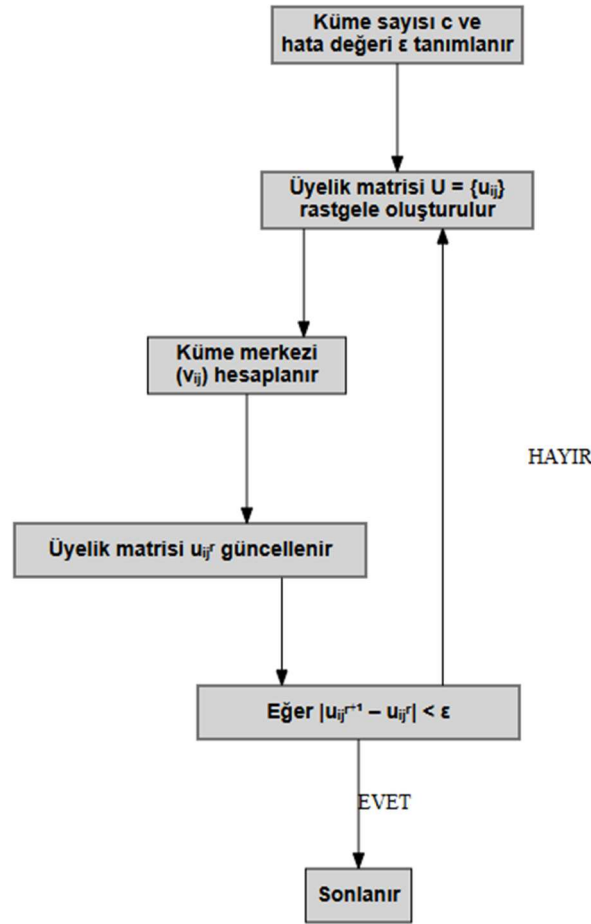
$$d_{ik} = [\sum_{j=1}^m (x_{kj} - v_{ij})^2]^{1/2} \quad (3)$$

Adım 4. k . veri noktasının i . kümeye üyelik değeri için bölümlenme matrisi $U^{(r)}$ her r adımı için Eşitlik 4 ile hesaplanır.

$$u_{ik}^{r+1} = \left(\sum_{j=1}^c \left(\frac{d_{ik}^r}{d_{jk}^r} \right)^{2/(m-1)} \right)^{-1} \quad (4)$$

Burada, $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ve $k = 1, 2, 3, \dots, c$.

Eğer $U^{r+1} - U^r$ belirlenen hata değerinden küçükse algoritma durdurulur değilse 2. adımdan devam edilir. Şekil 1'de BCO algoritması akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 1. BCO Algoritması Akış Şeması

3.3.1. BCO için kullanılabilirlik geçerlilik indeksleri

Geçerlilik indeksleri, elde edilen kümelemenin kalitesini değerlendirmektedir. Doğru küme sayısı seçildiğinde algoritma iyi ayrılmış ve kompakt kümeler üretmekte, aksi halde hatalı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Klasik kümeleme yöntemlerinde kullanılan geçerlilik indeksleri, bulanık yapılar için uyarlanarak bulanık kümeleme tekniklerinde de uygulanabilmektedir (Sel, 2021: 126). Bununla birlikte, bulanık kümeleme için de çeşitli geçerlilik indeksleri geliştirilmiştir. Literatürde, bulanık kümeleme analizi kapsamında yaygın olarak kullanılan geçerlilik indeksleri arasında; Silhouette Katsayısı, Bölümleme Katsayısı, Bölümleme Entropisi ve Xie-Beni İndeksi yer almaktadır (Cebeci ve Yıldız, 2015: 6). Bu çalışmada kullanılan geçerlilik indekslerine Tablo 1'de yer verilmektedir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan geçerlilik indeksleri

İndeks	Fonksiyon	Optimal Küme Sayısı	Kaynak
Silhouette Katsayısı	$V_{FS}(U; X) = 1/n(\sum_{i=1}^n) \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}}$	$\max\{V_{FS}(U, c_i, m)\}$	Rousseeuw (1987), Safouan ve diğ. (2024)
Bölümleme Katsayısı	$V_{PC}(U) = 1/n(\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^2)$	$\max\{V_{PC}(U, c_i, m)\}$	Bezdek (1974), Verma ve diğ. (2023)
Bölümleme Entropisi	$V_{PE}(U) = -1/n(\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik} \log_a(u_{ik}))$	$\min\{V_{PE}(U, c_i, m)\}$	Bezdek (1975), Verma ve diğ. (2023)
Xie Beni İndeksi	$V_{XB}(U; V; X) = \frac{\sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n u_{ik}^m \ x_k - v_i\ ^2}{n(\min\{v_i - v_j\})}$	$\min\{V_{XB}(U, c_i, m)\}$	Xie ve Beni (1991), Safouan ve diğ. (2024)

4. Uygulama

Bu çalışmada Türkiye’de yer alan ve GreenMetric 2021 raporuna dahil olan 71 üniversite BCO algoritması kullanılarak kümelenebilmektedir. GreenMetric tarafından sunulan 6 boyut ile sürdürülebilirlik ile ilgilenen üniversiteler değerlendirilmektedir. Bu boyutlar, “Düzenleme ve Altyapı, Enerji ve İklim Değişikliği, Su, Atık, Ulaşım, Eğitim ve Araştırma” şeklindedir (<https://greenmetric.ui.ac.id>). Çalışmada tüm analizler ve görselleştirmeler, Google Colab ortamında Python ile gerçekleştirilmiştir. Verileri analiz etmek için öncelikle Numpy, Pandas, seaborn ve matplotlib gibi temel python kütüphaneleri aktarılmaktadır. Çalışma kapsamında ilk olarak sklearn kütüphanesinin MinMaxScaler() nesnesi kullanılarak veriler normalize edilmiştir. Boyutlar arasındaki ilişkinin ortaya konulması amacıyla korelasyon testi, corr() nesnesi ile yapılmıştır. BCO algoritması Scikit-Fuzzy (skfuzzy) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Küme geçerliliğinin değerlendirilmesi amacıyla Silhouette Katsayısı (SS), Bölümleme Katsayısı (PC), Bölümleme Entropisi (PE) ve Xie-Beni (XB) İndeksi hesaplanmış ve describe() nesnesi ile veri kümelerinin tanımlayıcı istatistiksel değerleri, px.box() nesnesi ile kümelere ilişkin kutu-bıyık diyagramları elde edilmiştir.

4.1. Bulanık c-ortalamlar (BCO) algoritması uygulama adımları

Tablo 2’de çalışmaya dahil olan üniversiteler ve boyutlara ilişkin değerleri yer almaktadır.

Tablo 2. GreenMetric 2021 raporuna dahil olan 71 üniversite

Üniversite	Düzenleme ve Altyapı	Enerji ve İklim Değişikliği	Atık	Su	Ulaşım	Eğitim ve Araştırma
İstanbul Teknik Üniversitesi	1225	1400	1575	900	1400	1650
Özyeğin Üniversitesi	975	1525	1425	800	1450	1675
Erciyes Üniversitesi	1225	1400	1350	800	1425	1575
Yıldız Teknik Üniversitesi	1025	1450	1275	900	1575	1500
Ege Üniversitesi	1125	1300	1575	800	1425	1500
Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi	1125	1350	1350	900	1550	1425
Yeditepe Üniversitesi	1025	1225	1575	800	1500	1575
Aksaray Üniversitesi	1200	1125	1575	700	1475	1575
Orta Doğu Teknik Üniversitesi	1325	1075	1200	850	1400	1800
Bartın Üniversitesi	1200	1150	1125	800	1475	1550
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü	1125	925	1425	700	1500	1550
Sakarya Üniversitesi	1225	1250	1050	850	1450	1300
Fırat Üniversitesi	1175	1450	975	850	1225	1275
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi	1225	1550	1050	650	1250	1175
Bilecik Üniversitesi	1025	1100	1275	400	1450	1575
Trakya Üniversitesi	1200	950	1425	500	1375	1325
Dokuz Eylül Üniversitesi	1125	950	1050	750	1525	1325
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi	1050	1200	1275	700	1450	950
İnönü Üniversitesi Malatya	1075	1350	750	750	1350	1325
Bursa Uludağ Üniversitesi	1250	625	1200	500	1225	1675

Afyon Kocatepe Üniversitesi	875	925	1725	400	1525	975
Hitit Üniversitesi	1000	1275	1350	550	1375	850
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	1025	1125	1125	450	1175	1400
Çukurova Üniversitesi	1350	975	600	500	1475	1350
Akdeniz Üniversitesi	1200	700	1200	500	1325	1300
Hasan Kalyoncu Üniversitesi	1100	1125	1125	550	1100	1175
Başkent Üniversitesi	925	950	1125	600	1425	1125
Mersin Üniversitesi	1100	600	1425	450	1100	1400
Süleyman Demirel Üniversitesi	1050	900	1425	500	1150	975
Kapadokya Üniversitesi	825	725	1350	500	1400	1175
İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi	700	875	1275	400	1350	1350
Kastamonu Üniversitesi	1200	450	975	600	1050	1600
Atatürk Üniversitesi	1150	750	975	600	1225	1100
Sabancı Üniversitesi	1050	1125	1050	700	825	975
Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi	925	750	825	700	1075	1450
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi	1075	550	675	650	1375	1400
Gaziantep Üniversitesi	900	875	1350	600	850	1075
Piri Reis Üniversitesi	600	1200	1350	750	1075	625
Düzce Üniversitesi	1150	850	450	400	1175	1350
TOBB Üniversitesi	800	400	1275	700	1225	950
Ondokuz Mayıs Üniversitesi	1150	375	1275	550	800	1200
Adıyaman Üniversitesi	925	1025	975	400	750	1050
Atılım Üniversitesi	925	475	1350	550	900	875
Eskişehir Teknik Üniversitesi	750	775	1425	650	775	650
Selçuk Üniversitesi	950	500	1200	350	975	1000
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi	825	350	1275	450	1100	850
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi	825	450	900	550	875	1225
KTO Karatay Üniversitesi	475	900	600	550	1425	850
İğdır Üniversitesi	750	750	825	400	950	1125
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	925	750	825	450	975	800
Bilkent Üniversitesi	875	275	1050	450	1325	725

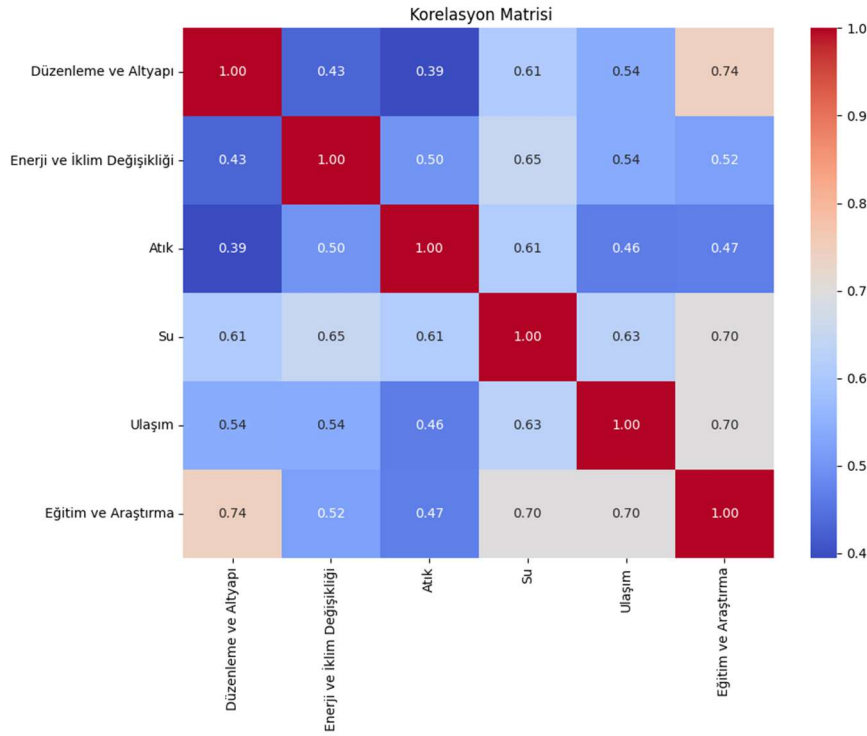
Antalya Bilim Üniversitesi	925	225	825	550	950	925
Kadir Has Üniversitesi	850	450	525	300	1200	850
Marmara Üniversitesi	750	350	900	450	1050	675
Dicle Üniversitesi	925	250	900	350	1200	525
Bayburt Üniversitesi	825	875	750	200	750	675
Ankara Üniversitesi	1025	250	600	400	800	1000
Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	600	700	825	250	950	725
Gazi Üniversitesi	775	375	600	400	1075	775
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	700	450	525	250	825	1100
Bingöl Üniversitesi	925	775	450	100	950	550
Çankaya Üniversitesi	550	525	600	300	825	925
Uşak Üniversitesi	975	650	300	200	525	750
Manisa Celal Bayar Üniversitesi	550	800	1125	100	750	0
Anadolu Üniversitesi	750	450	1125	250	450	225
Gebze Teknik Üniversitesi	650	300	0	0	1400	825
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	850	225	600	200	725	475
Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi	300	875	675	150	350	200
Erzurum Teknik Üniversitesi	575	500	300	300	700	150
Konya Teknik Üniversitesi	450	275	375	150	675	400
Kilis 7 Aralık Üniversitesi	825	100	300	250	525	325

StandardScaler() nesnesi kullanılarak verilerin min-max yöntemine göre normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Tablo 3'te örnek olması açısından bazı üniversiteler için normalize edilmiş veriler gösterilmektedir.

Tablo 3. Verilerin normalize edilmesi

Üniversite	Düzenleme ve Altyapı	Enerji ve İklim Değişikliği	Atık	Su	Ulaşım	Eğitim ve Araştırma
İstanbul Teknik Üniversitesi	0.881	0.897	0.913	1	0.857	0.917
Özyeğin Üniversitesi	0.643	0.983	0.826	0.889	0.898	0.931
Erciyes Üniversitesi	0.881	0.897	0.783	0.889	0.878	0.875
Kadir Has Üniversitesi	0.524	0.241	0.304	0.333	0.694	0.472
Gebze Teknik Üniversitesi	0.333	0.138	0	0	0.857	0.458
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	0.524	0.086	0.348	0.222	0.306	0.264
Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi	0	0.534	0.391	0.167	0	0.111
Konya Teknik Üniversitesi	0.143	0.121	0.217	0.167	0.265	0.222
Kilis 7 Aralık Üniversitesi	0.5	0	0.174	0.278	0.143	0.181

6 Boyut arasındaki ilişkinin ortaya konulması amacıyla corr() nesnesi ile yapılan korelasyon testi sonuçları Şekil 2’de yer almaktadır.



Şekil 2. 6 Boyut için korelasyon analizi sonuçları

Çalışmada optimal küme sayısının belirlenmesi için farklı geçerlilik indeksleri incelenmiştir. Tablo 4’te SS, PC, PE ve XB için elde edilen sonuçlar yer almaktadır.

Tablo 4. Farklı küme sayıları için SS, PC, PE, XB değerleri

Küme Sayısı	SS (max)	PC (max)	PE (min)	XB (min)
2	0.385	0.705	0.463	0.235
3	0.29	0.534	0.798	0.271
4	0.261	0.444	1.03	0.324
5	0.236	0.37	1.24	0.418
6	0.25	0.318	1.412	1.617

Tablo 4 incelendiğinde farklı geçerlilik indeksleri için en uygun küme sayısı 2’dir.

Tablo 5’te BCO analizi sonuçları yer almaktadır.

Tablo 5. Üniversitelerin BCO ile kümelenmesi

Üniversite	Küme	Üyelik	Üyelik
İstanbul Teknik Üniversitesi	1	0.870	0.130
Özyeğin Üniversitesi	1	0.870	0.130
Erciyes Üniversitesi	1	0.907	0.093
Yıldız Teknik Üniversitesi	1	0.874	0.126
Ege Üniversitesi	1	0.912	0.088
Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi	1	0.894	0.106
Yeditepe Üniversitesi	1	0.904	0.096
Aksaray Üniversitesi	1	0.919	0.081
Orta Doğu Teknik Üniversitesi	1	0.878	0.122

Bartın Üniversitesi	1	0.933	0.067
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü	1	0.932	0.068
Sakarya Üniversitesi	1	0.912	0.088
Fırat Üniversitesi	1	0.868	0.132
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi	1	0.859	0.141
Bilecik Üniversitesi	1	0.853	0.147
Trakya Üniversitesi	1	0.903	0.097
Dokuz Eylül Üniversitesi	1	0.935	0.065
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi	1	0.914	0.086
İnönü Üniversitesi Malatya	1	0.871	0.129
Bursa Uludağ Üniversitesi	1	0.752	0.248
Afyon Kocatepe Üniversitesi	1	0.693	0.307
Hitit Üniversitesi	1	0.834	0.166
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	1	0.845	0.155
Çukurova Üniversitesi	1	0.751	0.249
Akdeniz Üniversitesi	1	0.804	0.196
Hasan Kalyoncu Üniversitesi	1	0.869	0.131
Başkent Üniversitesi	1	0.888	0.112
Mersin Üniversitesi	1	0.643	0.357
Süleyman Demirel Üniversitesi	1	0.735	0.265
Kapadokya Üniversitesi	1	0.688	0.312
İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi	1	0.618	0.382
Kastamonu Üniversitesi	1	0.613	0.387
Atatürk Üniversitesi	1	0.766	0.234
Sabancı Üniversitesi	1	0.650	0.350
Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi	1	0.670	0.330
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi	1	0.665	0.335
Gaziantep Üniversitesi	1	0.544	0.456
Piri Reis Üniversitesi	1	0.569	0.431
Düzce Üniversitesi	1	0.523	0.477
TOBB Üniversitesi	2	0.481	0.519
Ondokuz Mayıs Üniversitesi	2	0.421	0.579
Adıyaman Üniversitesi	2	0.332	0.668
Atılım Üniversitesi	2	0.306	0.694
Eskişehir Teknik Üniversitesi	2	0.367	0.633
Selçuk Üniversitesi	2	0.197	0.803
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi	2	0.225	0.775
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi	2	0.222	0.778

KTO Karatay Üniversitesi	2	0.411	0.589
Iğdır Üniversitesi	2	0.147	0.853
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2	0.130	0.870
Bilkent Üniversitesi	2	0.268	0.732
Antalya Bilim Üniversitesi	2	0.172	0.828
Kadir Has Üniversitesi	2	0.124	0.876
Marmara Üniversitesi	2	0.075	0.925
Dicle Üniversitesi	2	0.158	0.842
Bayburt Üniversitesi	2	0.120	0.880
Ankara Üniversitesi	2	0.145	0.855
Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	2	0.078	0.922
Gazi Üniversitesi	2	0.064	0.936
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	2	0.093	0.907
Bingöl Üniversitesi	2	0.158	0.842
Çankaya Üniversitesi	2	0.085	0.915
Uşak Üniversitesi	2	0.173	0.827
Manisa Celal Bayar Üniversitesi	2	0.219	0.781
Anadolu Üniversitesi	2	0.174	0.826
Gebze Teknik Üniversitesi	2	0.267	0.733
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	2	0.101	0.899
Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi	2	0.242	0.758
Erzurum Teknik Üniversitesi	2	0.154	0.846
Konya Teknik Üniversitesi	2	0.157	0.843
Kilis 7 Aralık Üniversitesi	2	0.166	0.834

Analiz sonuçlarına göre, Küme 1’de yer alan üniversiteler minimum 0.065 ve maksimum 0.935 arasındaki değerler ile Küme 2’de yer alan üniversiteler minimum 0.064 ve maksimum 0.936 arasındaki değerler ile ilgili kümeler atanmıştır. Ayrıca 5 üniversitenin; Gaziantep Üniversitesi, Piri Reis Üniversitesi, Düzce Üniversitesi, TOBB Üniversitesi ve Ondokuz Mayıs Üniversitesi’nin her iki kümeye ait olma derecelerinin 0.5’e oldukça yakın olduğu görülmektedir. Kümelerle ilişkin tanımlayıcı istatistiksel değerler Tablo 6 ve Tablo 7’de gösterilmektedir.

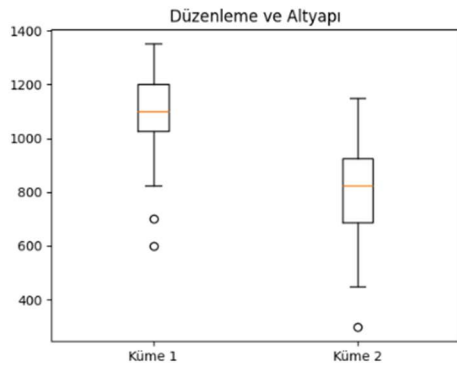
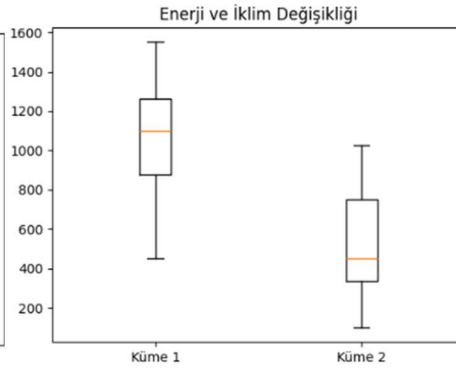
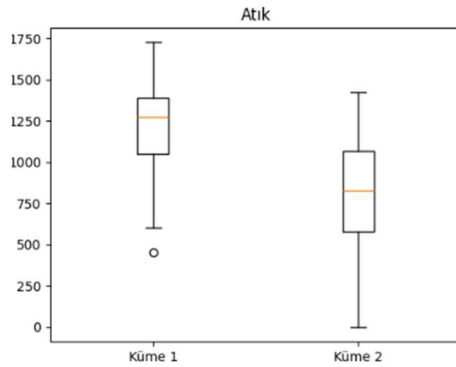
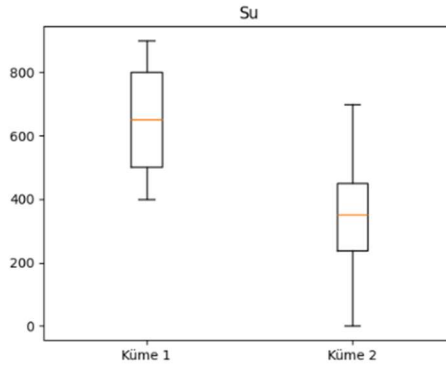
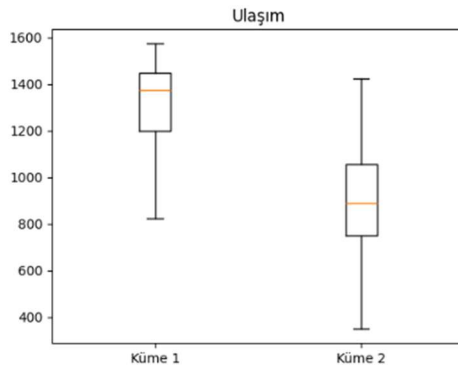
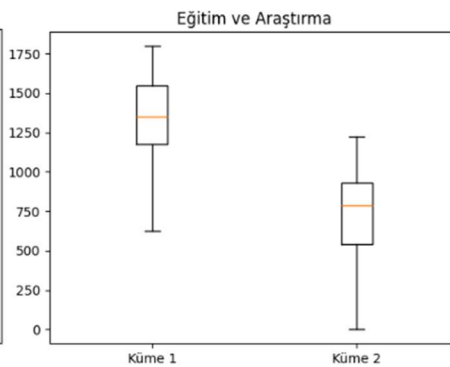
Tablo 6. Küme 1’e ilişkin tanımlayıcı istatistiksel değerler

	Veri sayısı	Ort.	Min	25%	50%	75%	Max
Düzenleme ve Altyapı	39	1080.128	600	1025	1100	1200	1350
Enerji ve İklim Değişikliği	39	1053.205	450	875	1100	1262.5	1550
Atık	39	1201.923	450	1050	1275	1387.5	1725
Su	39	648.718	400	500	650	800	900
Ulaşım	39	1321.154	825	1200	1375	1450	1575
Eğitim ve Araştırma	39	1332.051	625	1175	1350	1550	1800

Tablo 7. Küme 2'ye ilişkin tanımlayıcı istatistiksel değerler

	Veri sayısı	Ort.	Min	25%	50%	75%	Max
Düzenleme ve Altyapı	32	779.688	300	687.5	825	925	1150
Enerji ve İklim Değişikliği	32	513.281	100	337.5	450	750	1025
Atık	32	789.844	0	581.25	825	1068.75	1425
Su	32	350	0	237.5	350	450	700
Ulaşım	32	898.438	350	750	887.5	1056.25	1425
Eğitim ve Araştırma	32	730.469	0	543.75	787.5	931.25	1225

px.box() kullanılarak Şekil 3 – 8’de iki kümenin 6 boyuta ilişkin kutu-bıyık diyagramı karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

**Şekil 3.** Düzenleme ve altyapı boyutu**Şekil 4.** Enerji ve iklim değişikliği boyutu**Şekil 5.** Atık boyutu**Şekil 6.** Su boyutu**Şekil 7.** Ulaşım boyutu**Şekil 8.** Eğitim ve araştırma boyutu

Türkiye’de toplam 208 üniversite vardır (www.istatistik.yok.gov.tr). Bu çalışma Türkiye’de sürdürülebilirliğe önem veren ve GreenMetric 2021 raporuna dahil olan 71 üniversiteyi incelemekte olup, elde edilen kümelere ilişkin yorumlar üniversitelere ilişkin bir başarı ölçütü olarak değil, rapora dahil üniversiteler arasında sürdürülebilirlik kapsamında mevcut durumları ortaya koymak olarak ele alınmalıdır. Çalışmadan elde edilen

sonuçlara göre Küme 1’de yer alan üniversiteler Küme 2’de yer alan üniversitelere göre sürdürülebilirliğin 6 boyutu için daha yüksek ortalama değerlerine sahiptir. Bu çalışmada BCO kullanılması temel amaçlarından biri her iki kümeye de ait olma dereceleri birbirine yakın olan üniversiteleri tespit etmek ve üniversitelerin sürdürülebilirlik çabalarına yön vermek olduğu için Tablo 8’de üyelik dereceleri yakın olan ilgili üniversiteler ve üyelik dereceleri gösterilmektedir.

Tablo 8. BCO algoritması sonucu üyelik dereceleri yakın olan üniversiteler

Üniversite	Üyelik dereceleri		Küme
Gaziantep Üniversitesi	0.544	0.456	1
Piri Reis Üniversitesi	0.569	0.431	1
Düzce Üniversitesi	0.523	0.477	1
TOBB Üniversitesi	0.481	0.519	2
Ondokuz Mayıs Üniversitesi	0.421	0.579	2

Aşağıda Tablo 8’de yer alan ve üyelik dereceleri yakın olan üniversiteler ayrı ayrı incelenmiş ve sürdürülebilirlik düzeylerini geliştirmek için hangi boyutlara önem vermeleri gerektiği üzerinde durulmuştur. Buna göre, Gaziantep Üniversitesi’nin, Düzenleme ve Altyapı, Enerji ve İklim Değişikliği, Su, Ulaşım, Eğitim ve Araştırma boyutlarına, Piri Reis Üniversitesi’nin, Düzenleme ve Altyapı, Ulaşım, Eğitim ve Araştırma boyutlarına, Düzce Üniversitesi’nin, Enerji ve İklim Değişikliği, Atık, Su, Ulaşım boyutlarına, TOBB Üniversitesi’nin, Düzenleme ve Altyapı, Enerji ve İklim Değişikliği, Ulaşım, Eğitim ve Araştırma boyutlarına, Ondokuz Mayıs Üniversitesi’nin, Enerji ve İklim Değişikliği, Su, Ulaşım, Eğitim ve Araştırma boyutlarına odaklanması ve bu boyutları geliştirmeye yönelik stratejiler geliştirmesi tavsiye edilmektedir. Buna ek olarak üyelik dereceleri yakın olan üniversitelerin çoğunluğu Enerji ve İklim Değişikliği, Eğitim ve Araştırma boyutları için Küme 1’den düşük ortalamaya sahiptir. Üyelik dereceleri yakın olan üniversitelerin eğer 1. Kümeye ise mevcut durumunu korumak için 2. Kümeye ise diğer kümeye ait olma derecesini artırması için düşük ortalamaya sahip oldukları ilgili boyutlara önem vermesi tavsiye edilmektedir. Böylece üniversiteler sürdürülebilirlik çabaları konusunda daha iyi sonuçlar elde edilebileceklerdir.

5. Sonuç

Tüm dünyada sürdürülebilirliğe verilen önem, bu alanda önemli bir araç olan üniversiteler açısından sürdürülebilirliğin değerlendirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışmada, GreenMetric 2021 dünya sürdürülebilir üniversite sıralama raporu kullanılarak Türkiye’de yer alan 71 üniversite sürdürülebilirlik açısından BCO kümeleme yöntemi ile değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, Küme 1 ve Küme 2 olarak iki küme elde edilmiş olup, Küme 1 daha iyi sürdürülebilirlik performansına sahip üniversiteleri, Küme 2 ise daha düşük sürdürülebilirlik performansına sahip üniversiteleri göstermektedir. Bir diğer sonuç, Küme 1’de “Eğitim ve Araştırma” boyutu en yüksek ortalamaya sahipken, Küme 2’de “Ulaşım” öne çıkmaktadır. Her iki kümede de “Su” boyutu en düşük ortalamaya sahip olduğundan, her iki küme için de bu alanda iyileştirmeye ihtiyaç olduğu düşünülebilir. Ayrıca, 5 üniversite 0.5’e çok yakın değer almıştır. 5 üniversitenin ise her iki kümeye ait olma derecelerinin oldukça yakın olması ilgili üniversiteler kapsamında farklı değerlendirilme yapılmasını gerekli kılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, ilgili 5 üniversitenin çoğunluğu Enerji ve İklim Değişikliği, Eğitim ve Araştırma boyutları kapsamında Küme 1’in ortalama değerlerinden düşük değerlere sahiptir. Bu nedenle özellikle ilgili boyutlara ilişkin strateji geliştirilmesi tavsiye edilmektedir. Çalışma sonucunda Türkiye’de yer alan üniversitelerin sürdürülebilirlik konusundaki durumlarının görülmesi sağlanmaktadır. Ayrıca belirsizliği yüksek olan 5 üniversite için hangi boyutlara önem verilmesi gerektiğine yönelik öneriler sunulmaktadır. Bu çalışma ile üniversitelerin sürdürülebilirlik çabaları konusunda daha iyi sonuçlar elde edebileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar literatürde yapılan çalışmalar ile karşılaştırıldığında, Görgülü vd. (2021), Türkiye’deki 56 üniversitenin sürdürülebilirlik performansını ÇKKV yöntemleriyle incelemiştir. Sonuçlara göre, üniversiteler COPRAS ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak sıralandığında, UI GreenMetric sıralaması ile benzer şekilde İstanbul Teknik Üniversitesi ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi en yüksek sürdürülebilirlik performansına sahip ilk iki üniversite olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde bu çalışmada da ilgili üniversiteler Küme 1’de yer almaktadır. Ayrıca “Su” boyutu en önemli, “Düzenleme ve Altyapı” ise en az önemli boyut olarak belirlenmiştir. Özdemir ve Karakutuk (2024), GreenMetric verilerini kullanarak Fuzzy C-Means, Possibilistic Fuzzy C-Means ve Generalized Possibilistic Fuzzy C-Means algoritmalarını uygulamış ve üniversitelerin sürdürülebilirlik performanslarını değerlendirmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile benzer şekilde, sürdürülebilirlik performansları en yüksek olan kampüsler “eğitim ve araştırma” ile “atık” boyutlarında daha güçlü performans gösterirken, en az olan kampüslerin ise “su” boyutunda iyileştirmeye ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir. Abacıoğlu vd. (2024), 2022 yılı için küresel ölçekte en iyi 50 üniversitenin sürdürülebilirlik performanslarını kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Bu kapsamda, UI GreenMetric tarafından sağlanan veriler ve ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, 2018 yılı için kullanılan tüm ÇKKV yöntemlerinde en yüksek ağırlığa sahip boyut “Ulaşım” iken, en düşük ağırlığa sahip boyutlar “Su” ve “Atık” olarak belirlenmiştir. 2019, 2020,

2021 ve 2022 yıllarında ise tüm yöntemlerde en yüksek ağırlığa sahip boyut “Düzenleme ve Altyapı” olarak elde edilmiştir. Sonuçların kullanılan metot, yıl ve örneklem gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebileceği ortaya konulmuştur. Bununla birlikte, hem yerel hem de küresel ölçekte üniversitelerin sürdürülebilirlik performansı açısından “Düzenleme ve Altyapı”, “Ulaşım” boyutlarının önemi vurgulanırken, “Su” boyutuna yeterince önem verilmediği hem bu çalışma hem de referans çalışmalarıyla desteklenmektedir.

Üniversitelerin daha geniş kapsamda sürdürülebilirliğe önem veren tüm kurumların sürdürülebilirlik kapsamında yalnızca tek boyuta odaklanmaması bu çalışmada ele alınan tüm boyutlara önem vermesi tavsiye edilmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların Türkiye’deki üniversitelerin sürdürülebilirlik politikalarına katkı sağlaması beklenmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda BCO algoritması farklı problemler için kullanılabilir ya da GreenMetric metodolojisinin sürdürülebilirlik gereksinimlerine daha iyi uyum sağlaması için ek kriterler eklenebilir. Kağıtsız kampüs politikaları, karbon dengeleme programları gibi uygulamalar çevresel etkileri azaltabilir. Ayrıca, ikinci el kullanım, tek kullanımlık plastik yasağı ve yerel üreticilerden alınan gıda oranının artırılması kaynakların verimli kullanılmasına katkı sağlayabilir. Bu kriterlerle sürdürülebilirlik çabaları daha etkili değerlendirilebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Kevser Arman problemin tanımlanması, literatür taraması, teori kısmının yazımı, verilerin elde edilmesi, analizlerin gerçekleştirilmesi ve yorumlanmasında; Nilsen Kundakcı makale kurgusunun planlanması, makale yazım ve düzenlemesi, elde edilen sonuçların kontrolü ve yorumlanması konularında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Abacıoğlu, S., Ayan, B., & Pamucar, D. (2024). The Race to Sustainability: Decoding Green University Rankings Through a Comparative Analysis (2018–2022). *Innovative Higher Education*, 1-35. doi: <https://doi.org/10.1007/s10755-024-09734-4>
- Alptekin, N. ve Yeşilaydın, G. (2015). OECD Ülkelerinin Sağlık Göstergelerine Göre Bulanık Kümeleme Analizi ile Sınıflandırılması. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 7(4), 137-155. doi: <https://doi.org/10.21441/sosyalguvence.1050881>
- Askari, S. (2021). Fuzzy C-Means clustering algorithm for data with unequal cluster sizes and contaminated with noise and outliers: Review and development. *Expert Systems with Applications*, 165, 113856. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113856>
- Aydın, N. ve Kayhan, G. (2021). Jensen Shannon Mesafesi Temelli Uyarlanmış Bulanık C Ortalamalar Kümeleme Yöntemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 29, 58-64. doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.1021473>
- Bezdek, J. C., Ehrlich, R., & Full, W. (1984). FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm. *Computers & Geosciences*, 10(2-3), 191-203. doi: [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(84\)90020-7](https://doi.org/10.1016/0098-3004(84)90020-7)
- Bezdek, J.C., (1981). Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. Plenum Press, New York. 10.1007/978-1-4757-0450-1. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0450-1>
- Bezdek, J.C., (1974). Cluster Validity With Fuzzy Sets. *J. Cybernet.* 3 Ž.3, 58–72. doi: <https://doi.org/10.1080/01969727308546047>
- Bezdek, J.C., (1975). Mathematical models for systematics and taxonomy in Proc. 8th International Conference in Numerical Taxonomy, 143–166 (Freeman: San Francisco, 1975).
- Cantuarias-Villessuzanne, C., Weigel, R., & Blain, J. (2021). Clustering of European smart cities to understand the cities’ sustainability strategies. *Sustainability*, 13(2), 513. doi: <https://doi.org/10.3390/su13020513>
- Cebeci, Z., & Yıldız, F. (2015). Comparison of k-means and fuzzy c-means algorithms on different cluster structures. *Journal of Agricultural Informatics*, 6(3), 13–23. doi : <https://doi.org/10.17700/jai.2015.6.3.196>
- Cuesta-Claros, A., Malekpour, S., Raven, R., & Kestin, T. (2022). Understanding the roles of universities for sustainable development transformations: A framing analysis of university models. *Sustainable Development*, 30(4), 525-538. doi: <https://doi.org/10.1002/sd.2247>
- Çağlar, M., & Gürler, C. (2022). Sustainable Development Goals: A cluster analysis of worldwide countries. *Environment, Development and Sustainability*, 24(6), 8593-8624. doi: <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01801-6>

- Çalışkan, A., Koçak, D., & Ertürk, Y. (2021). Ülkelerin Yükseköğretim Performanslarının Bulanık C-Ortalamalar Kümeleme Algoritması ile Değerlendirilmesi. *Üniversite Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 1-7. doi: <https://doi.org/10.32329/uad.898187>.
- Dagiliūtė, R., Liobikienė, G., & Minelgaitė, A. (2018). Sustainability at universities: Students' perceptions from Green and Non-Green universities. *Journal of Cleaner Production*, 181, 473-482. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.213>
- Dunn, J.C. (1973). A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact well-separated clusters, *Journal of Cybernetics*, 3:3, 32-57. doi: <https://doi.org/10.1080/01969727308546046>
- Eker, A. F., Çil, A. Y. ve Çil, İ. (2022). Bulanık C-Ortalama Algoritması ile Başlangıç Çözümü İyileştirilmiş Tavlama Benzetimi Algoritması ile Kapasiteli Araç Rotalama Problemi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37(2), 783-798. doi: <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.784653>
- Gorgulu, Y., Ozceylan, E., & Ozkan, B. (2021). UI GreenMetric ranking of Turkish universities using entropy weight and COPRAS methods. In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bangalore, India*, 16-18. doi: <https://doi.org/10.46254/IN01.20210051>.
- Gosain, A., & Dahiya, S. (2016). Performance analysis of various fuzzy clustering algorithms: a review. *Procedia Computer Science*, 79, 100-111. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.03.014>
- <https://greenmetric.ui.ac.id/> (Erişim Tarihi: 27.12.2022).
- <https://istatistik.yok.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 27.12.2022).
- Hüllermeier, E. (2015). Does machine learning need fuzzy logic? *Fuzzy Sets and Systems*, 281, 292-299. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fss.2015.09.001>
- Izakian, H., & Abraham, A. (2011). Fuzzy c-means and fuzzy swarm for fuzzy clustering problem. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1835-1838. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.112>.
- Kıyak, E. ve Kahvecioğlu, A. (2003). Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1(2), 63-72. doi: <https://jast.hho.msu.edu.tr/index.php/JAST/article/view/85>
- Kundakcı, N. (2022). A Hybrid Fuzzy MCDM Approach for ESCO Selection. In: Terzioğlu, M.K. (eds) *Advances in Econometrics, Operational Research, Data Science and Actuarial Studies. Contributions to Economics*. Springer, Cham., 389-404. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85254-2_24
- Lukman, R., & Glavič, P. (2007). What are the key elements of a sustainable university? *Clean Technologies and Environmental Policy*, 9(2), 103-114. doi: <https://doi.org/10.1007/s10098-006-0070-7>
- Nayak, J., Naik, B., & Behera, H. (2015). Fuzzy C-means (FCM) clustering algorithm: a decade review from 2000 to 2014. *Computational Intelligence in Data Mining*, 2, 133-149. doi: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2208-8_14
- Nilashi, M., Rupani, P.F., Rupani, M.M., Kamyab, H., Shao, W., Ahmadi, H., Rashid, T.A., & Aljojo, N. (2019). Measuring sustainability through ecological sustainability and human sustainability: a machine learning approach. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118162. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118162>
- Ok, Y. (2022). Bulanık C - Ortalamalar İle Ülkelerin İşsizlik Göstergeleri Temelinde Kümelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 34, 507-512. doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.1083246>.
- Ok, Y. (2022). Bulanık C-Ortalamlar İle Ülkelerin İşsizlik Göstergeleri Temelinde Kümelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 507-512. doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.1083246>
- Ozdemir, O., & Karakutuk, A. K. (2024). Comparison of Fuzzy Clustering Algorithms on UI GreenMetric University Rankings. *International Journal of Applied Mathematics, Computational Science and Systems Engineering*, 6, 230-237. doi: <https://doi.org/10.37394/232026.2024.6.19>
- Öztaş, T., Aytaç Adalı, E., Tuş, A., & Öztaş, G. Z. (2023). Ranking Green Universities from MCDM Perspective: MABAC with Gini Coefficient-based Weighting Method. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 7, 163-175. doi: <https://doi.org/10.1007/s41660-022-00281-z>
- Paulvannan Kanmani, A., Obringer, R., Rachunok, B., & Nateghi, R. (2020). Assessing global environmental sustainability via an unsupervised clustering framework. *Sustainability*, 12(2), 563. doi: <https://doi.org/10.3390/su12020563>
- Perchinunno, P., & Cazzolle, M. (2020). A clustering approach for classifying universities in a world sustainability ranking. *Environmental Impact Assessment Review*, 85, 106471. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106471>

- Prasad, B. N., Rathore, M., Gupta, G., & Singh, T. (2016). Performance measure of hard c-means, fuzzy c-means and alternative c-means algorithms. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 7(2), 878-883. <https://www.ijcsit.com/docs/Volume%207/vol7issue2/ijcsit2016070297.pdf>
- Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 20, 53-65. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-0427\(87\)90125-7](https://doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-7)
- Safouan, S., El Moutaouakil, K., & Patriciu, A. M. (2024). Fractional Derivative to Symmetrically Extend the Memory of Fuzzy C-Means. *Symmetry*, 16(10), 1353. doi: <https://doi.org/10.3390/sym16101353>
- Sel, A. (2021). Avrupa Bölgesi Ülkelerinin Enerji Kullanımları Açısından Bulanık Kümeleme Yöntemleri İle Analizi. *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 16(1), 121-135. doi: <https://doi.org/10.48145/gopsbad.796137>
- Singh, N., Mohapatra, A. G., & Kanungo, G. (2011). Breast cancer mass detection in mammograms using K-means and fuzzy C-means clustering. *International Journal of Computer Applications*, 22(2), 15-21. doi: <https://doi.org/10.5120/2557-3507>
- Subbalakshmi, C., Krishna, G. R., Rao, S. K. M., & Rao, P. V. (2015). A method to find optimum number of clusters based on fuzzy silhouette on dynamic data set. *Procedia Computer Science*, 46, 346-353. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.02.030>
- Şişeci, M., & Çetişli, B. (2014). Traverten plaka taşlarda sınıfların K-ortalamlar ve bulanık C-ortalamlar kümeleme yöntemleri ile belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16(3), 238-247. doi: <https://doi.org/10.19113/sdufbed.44402>
- Tokat, S., Karagul, K., Sahin, Y., & Aydemir, E. (2022). Fuzzy c-means clustering-based key performance indicator design for warehouse loading operations. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 34(8), 6377-6384. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.08.003>
- Torra, V. (2005, May). Fuzzy c-means for fuzzy hierarchical clustering. In *The 14th IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 2005. FUZZ'05. (pp. 646-651). IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/FUZZY.2005.1452470>
- Ünsal, M. G., & Kasap, R. (2020). Investigating Covid 19 data for G20, EU and OECD countries via using time series analysis & cluster analysis. *Journal of Turkish Operations Management*, 4(2), 424-432. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/59336/851834>
- Verma, R. K., Tiwari, R., & Thakur, P. S. (2023). Partition coefficient and partition entropy in fuzzy c means clustering. *J. Sci. Res. Rep*, 29(12), 1-6. doi: <https://doi.org/10.9734/JSRR/2023/v29i121812>
- Wulandari, L., & Yogantara, B. O. (2022). Algorithm analysis of K-means and fuzzy C-means for clustering countries based on economy and health. *Faktor Exacta*, 15(2), 109-116. doi: <https://doi.org/10.30998/faktorexacta.v15i2.12106>
- Xie, X. L., & Beni, G. (1991). A validity measure for fuzzy clustering. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 13(08), 841-847. doi: <https://doi.org/10.1109/34.85677>
- Yeh, J. H. (2021). Assigning Unskilled Workers on the Production Line According to the Fuzzy C-Means Clustering Method. Science and technology reports of Kansai University= 関西大学理工学研究報告, 63, 53-66. doi: <https://doi.org/10.32286/00022962>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, p.338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zeybekoğlu, U. (2021). Bulanık c ortalamlar yöntemi ile Karadeniz bölgesi standart süreli yağış şiddetlerinin kümelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 147-154. doi: <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.864904>
- Zorlutuna, Ş. ve Erilli, N. A. (2018). Sosyo-Ekonomik Verilere göre İllerin Bulanık C-Ortalamlar Yöntemi ile Sınıflandırılması: 2002-2008-2013 Dönemleri Karşılaştırması. *İktisadi Yenilik Dergisi*, 5(2), 13-31. doi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iy/issue/38106/439719>