

**DENETİMSİZ ÖĞRENME: KÜMELEME ANALİZİ İLE OECD  
ÜLKELERİNDE ÖZGÜRLÜK**

UNSUPERVISED LEARNING: ECONOMIC FREEDOM IN OECD COUNTRIES  
WITH CLUSTER ANALYSIS

**Yunus BULUT**

Doç. Dr., İnönü Üniversitesi, Ekonometri Bölümü.  
Assoc. Dr., İnönü University, Department of Econometrics.  
ybulut79@gmail.com

**ORCID ID:** [orcid.org/0000-0002-9108-4937](https://orcid.org/0000-0002-9108-4937)

**Makale bilgisi | Article Information**

**Makale Türü / Article Type:** Araştırma Makalesi / Research Article

**Geliş Tarihi / Date Received:** 22 Aralık / 22 December

**Kabul Tarihi / Date Accepted:** 23 Aralık / 23 December

**Yayın Tarihi / Date Published:** 24 Aralık 2023 / 24 December 2023

**Yayın Sezonu / Pub Date Season:** Aralık / December

**Bu Makaleye Atıf İçin / To Cite This Article:** Bulut, Y. (2023). Denetimsiz öğrenme: Kümeleme analizi ile OECD ülkelerinde özgürlük. *IJESOS International Journal Of Educational and Social Sciences* 2(2), 83-106

**DOI:** <https://doi.org/10.5281/zenodo.10429529>

**İntihal:** Bu makale turnitin.com yazılımınca yazar tarafından taranmıştır.  
İntihal tespit edilmemiştir.

**Plagiarism:** This article has been scanned with turnitin.com by writer. No plagiarism detected.

**İletişim:**

e-posta: [editor@ijesos.com](mailto:editor@ijesos.com)

Web: [www.ijesos.com](http://www.ijesos.com)

**Öz:** Bu çalışma, 2023 yılına ait OECD ülkelerinin ekonomik özgürlük düzeylerini değerlendirmek amacıyla güdümsüz öğrenme yöntemlerinden kümeleme analizi kullanarak gerçekleştirilmiştir. Genetik algoritma ve tavlama benzetimi optimizasyon algoritmaları kullanılarak belirlenen optimal k değeriyle ülkeler iki farklı k-ortalama kümeleme analizi ile incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, tavlama benzetimi yöntemi genetik algoritma yöntemine göre daha iyi bir performans sergilemiştir. Yüksek Silhouette skoru, tavlama benzetimi yöntemiyle oluşturulan kümelerin daha homojen ve birbirinden iyi ayrıldığını, düşük kümeleme hatası ise bu kümelerin veri noktalarına daha yakın ve belirgin olduğunu göstermektedir. Bu çalışmanın sonuçları, ekonomik özgürlük düzeylerini değerlendirme ve gelecekteki ekonomi politikalarını şekillendirme süreçlerinde bilimsel bir temele dayalı bir yaklaşım sunarak önemli bir katkı sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Denetimsiz Öğrenme, Kümeleme Analizi, Genetik Algoritma, Tavlama Benzetimi, Ekonomik Özgürlük Düzeyleri.

**Abstract:** This study was carried out using cluster analysis, one of the unguided learning methods, to evaluate the economic freedom levels of OECD countries in 2023. With the optimal k value determined by using genetic algorithms and annealing simulation optimization algorithms, countries were examined with two different k-means clustering analyses. According to the results of the analysis, the annealing simulation method performed better than the genetic algorithm method. The high silhouette score indicates that the clusters formed by the simulated annealing method are more homogeneous and well separated from each other, while the low clustering error indicates that these clusters are closer and more distinct from the data points. The results of this study make an important contribution by providing a scientifically based approach to assessing levels of economic freedom and shaping future economic policies.

**Key Words:** Unsupervised Learning, Clustering Analysis, Genetic Algorithm, Simulated Annealing, Levels of Economic Freedom.

## **GİRİŞ**

Dünya genelinde ekonomilerin seyrinin incelenmesi, hızla değişen ticaret dinamikler, teknolojik gelişmeler ve küresel etkileşimler nedeniyle giderek daha da karmaşık bir hal almaktadır. Bu değişimler, ekonomik planlama ve yönlendirme açısından daha önce görülmemiş bir tahmin edilemezliği de beraberinde getirmektedir. Bu karmaşıklık, bir ülkenin geleceğini şekillendiren faktörlerin anlaşılması açısından büyük bir öneme sahiptir. Ekonomik özgürlük kavramı, bu karmaşıklığın içinde öne çıkan bir rehber niteliğindedir. Ekonomik özgürlük, bireylerin ve işletmelerin ekonomik kararlarını özgürce alabildiği, serbest piyasa koşullarının hâkim olduğu bir ortamda gerçekleşir. Bu, devlet müdahalesinin minimum düzeyde olduğu ve piyasanın kendi dinamikleriyle işlediği bir ekonomi modelini ifade eder (Orend, 2006).

Ekonomik özgürlük düzeylerini anlamak, ülkelerin ekonomik performansını değerlendirmek, ekonomi politikalarını geliştirmek ve rekabet gücünü artırmak için hayati bir öneme sahiptir (Patry, 2009). Bu değerlendirme, bir ülkenin ekonomik düzenlemelerinin etkinliğini değerlendirirken, aynı zamanda ticaretin serbestliği, vergi politikaları ve hükümet müdahalesi gibi faktörlerin ulusal ekonomiye olan etkilerini anlamamıza yardımcı olur. Ekonomik özgürlük düzeylerini doğru bir şekilde analiz etmek, sürdürülebilir büyüme ve ekonomik kalkınma hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynamaktadır.

Ekonomik özgürlüğün ölçümü için kullanılan "Ekonomik Özgürlük İndeksi" bir ülkenin ekonomik özgürlük düzeyini değerlendiren ve mülkiyet hakları, serbest piyasa koşulları, düzenleyici ortam, hükümetin büyüklüğü ve ekonomik açıklık gibi kriterleri değerlendirerek ülkeleri sıralayan temel bir araçtır (Miles ve diğerleri, 2006). Bu sıralamalar, bir ülkenin ekonomik politikalarının etkinliği ve geleceği hakkında önemli bilgiler sunar. Örneğin, Güler Kangallı vd. (2014), 2011 yılı baz alınarak OECD ülkelerini ekonomik özgürlük ve gelişmişlik düzeyleri açısından incelemiş ve k-ortalamlar ve Ward yöntemiyle ülkeler üç kümeye ayırmıştır. Benzer bir çalışmada (Gülden ve Karakış (2019), Ekonomik Özgürlük Endeksi'ndeki verileri kullanarak OECD ülkelerini beş kümeye ayırmış ve homojene yakın ekonomik yapıya

sahip ülkeleri aynı kümeye yerleştirmiştir. Ayrıca, Urmak Akçakaya ve Ömürbek (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise yolsuzlukla ilişkili olan hukukun üstünlüğü, siyasi özgürlük, bilgiye erişim gibi veriler değerlendirilerek OECD ülkeleri dört farklı kümeye ayrılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar, ülkelerin ekonomik özgürlük düzeyi ve diğer faktörler açısından benzerlik gösteren gruplara ayrılabilceğini göstermektedir.

Bu çalışmada, 2023 yılına ait OECD ülkelerinin ekonomik özgürlük düzeylerini incelemek amacıyla denetimsiz öğrenme yöntemlerinden biri olan kümeleme analizlerinden faydalanılarak derinlemesine bir analiz gerçekleştirilmiştir. Genetik Algoritma ve Tavlama Benzetimi optimizasyon algoritmaları, uygun küme sayısını belirlemek için kullanılmış ve her iki yöntemin sonuçlarına göre ayrı ayrı k-ortalama kümeleme analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu karşılaştırmalar, ülkelerin ekonomik özgürlük düzeylerini daha derinlemesine anlamamıza ve gelecekteki ekonomi politikalarını daha etkili bir şekilde şekillendirmemize olanak tanımaktadır.

## **KÜMELEME ANALİZİ**

Kümeleme analizi, veri setinde birbirine benzer gözlemler ile veri setini gruplara diğer adıyla kümelere ayırma yöntemleri bütünüdür. Kümeleme analizinden önce gözlemlerin hangi gruba ait olduğu bilinmediğinden makine öğrenmesinde kümeleme analizi, denetimsiz/güdümsüz/gözetimsiz öğrenme yöntemi olarak da adlandırılmaktadır. Çok sayıda kümeleme analizi yöntemi vardır. Ayrıca Everitt ve ark. (2011) ve Scitovski ve ark. (2021) kümelene analizi üzerine tam bir kitap yazmışlardır.

Kümeleme analizi, veri analizinde önemli özelliklerin ortaya çıkmasını sağlar. Hedef değişkeni belli olmayan veya ihmal edilen düzenlenmemiş veri setleri ile çalışılabilir. Bilindiği gibi makine öğrenmesi; denetimli, denetimsiz ve takviyeli öğrenme olarak sınıflandırılmaktadır. Denetimli öğrenmede, hangi noktanın hangi sınıfa ait olduğu bellidir. Oluşturulan model ile sonradan gelen gözlem değerinin hangi sınıfa ait olabileceği tahmin edilir. Denetimsiz öğrenmede ise veri setlerinde öbeklenmelerin nerde olduğu araştırılır. Kümeleme analizinde daha önceden var olmayan bilgiler ortaya çıkarılmaya

çalışılır. Birimlerin birbirlerine olan uzaklıkları Öklid uzaklığı, Minkowski uzaklığı, Manhattan uzaklığı, Jaccard Katsayı ile belirlenerek kendi içinde homojen kümeler oluşturulmaya çalışılır. Kümeleme analizi, küme içindeki mesafelerin minimum kümeler arası mesafenin maksimum olmasını sağlayan bir optimizasyon problemidir (Boehmke ve Greenwell, 2020). Örneğin; benzer özellikteki müşterilerin reklam kampanyalarından nasıl etkilendikleri, hazırlanan bir akademik yazının intihal raporunun belirlenmesi, bir ildeki mahallelerin sosyoekonomik seviyelerine göre gruplandırılması kümeleme analizi ile yapılabilir. Kümeleme analizinde öncelikle verilerin birbirine ne kadar benzediği araştırılır, bunun için uzaklık ölçümleri kullanılır. İkinci aşamada ise kümelerin ne kadar doğru ayrıldığı incelenir. Son aşamada ise veri setinin kaç kümeye ayrılacağına karar verilir.

### **Uzaklık Ölçümleri**

Kümeleme analizi, kendi içinde homojen ve aralarında heterojen bir yapıya sahip kümeler veya gruplar oluşturmayı hedefler. Faktör analizinin varsayımları sağlanmıyorsa, değişkenleri gruplandırmak için kümeleme analizi tercih edilebilir. Veri analizi yapılırken ortaya atılan hipotezleri test etmek için de kümeleme analizi kullanılabilir. Kümeleme analizinde küme sayısı önceden bilinmez. Bu nedenle yine kümeleme amaçlı kullanılan diskriminant analizinden farklılık gösterir. Ayrıca kümeleme analizi tanımsal bir istatistik çıkarım olduğundan geleceğe yönelik kestirimlerde bulunmaz (Alpar, 2017). Kümeleme analizine başlamadan önce örneklem büyüklüğü veya istatistiksel gücün incelenmesine gerek yoktur. Kümeleme analizine başlamadan önce veri yapısının benzerlik ve uzaklıklarının hesaplanması gerekir. Bu uzaklıklar için çeşitli ölçümler tanımlanmıştır. Sayısal veriler için Öklid uzaklığı, frekans verileri için ki-kare uzaklığı ve ikili veriler için kare Öklid uzaklık ölçümleri sıklıkla kullanılır. Benzerlikler için ise sayısal verilerin benzerliği Pearson ilişki katsayısı ve ikili veriler için Russel-Rao benzerlik ölçümleri sıklıkla tercih edilir. Ayrıca veri seti için varyans-kovaryans matrisi belirlenebiliyorsa; Mahalanobis, Hotelling  $T^2$  ve Penrose uzaklık ölçüsü en çok kullanılan ölçümlerdir (Alpar, 2017). İki gözlem arasındaki uzaklık

$$d(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \left[ \sum_{i=1}^d |x_i - y_i|^m \right]^{\frac{1}{m}}$$

eşitliği ile tanımlanan Minkowski ölçümü ile hesaplanabilir. Burada  $d = 1$  alınırsa city-blok uzaklığı ve  $d = 2$  alınırsa Öklid uzaklığı elde edilir (Johnson ve Wichern, 2007).

Bu ölçümler kullanılarak hangi gözlemlerin bir kümeye yerleştirilecek kadar benzer olduğuna karar verilebilir. Bu benzerlik ölçüleri, R'da `dist()` işleviyle hesaplanabilir. Benzerliğin birçok başka ölçümü de aynı fonksiyon aracılığıyla mümkündür. Küme uzaklıklarını bulmak için R'da `daisy()` fonksiyonu kullanılabilir. Bu fonksiyon gözlemleri standart hale getirerek uzaklıkları elde eder.

### **Kümeleme Yöntemleri**

Veri yapısının uzaklıkları hesaplandıktan sonra kümeleme yönteminin belirlenmesi gerekir. Genel olarak kümeleme yöntemleri aşamalı küme yöntemleri, aşamalı olmayan kümeleme yöntemleri ve iki aşamalı kümeleme yöntemleri olarak üç kısımda incelenir. Ayrıca genetik algoritma ve tavlama yöntemleri ile de kümeleme yapılabilir.

### **Aşamalı Kümeleme Yöntemleri**

Aşamalı kümeleme yöntemlerinde küme sayısı önceden bilinmez. Aşamalı kümeleme yöntemlerinde veri setinin benzerlik yapısını belirlemek amacıyla uzaklık ve benzerlik ölçümleri kullanılır. Veri setinin kümeleme analizi sonucunda yapısını daha iyi yorumlayabilmek ve küme sayısını belirlemek için dendrogram ve icicle plot grafikleri incelenir. Veriler sayısal bir yapıya sahip ise küme sayısını belirlemek için temel bileşenler analizi kullanılabilir. Veri setinin 300-400 gözlemden daha az olduğu durumlarda tercih edilmelidir. Gözlem sayısı çok fazla ise örnekleme tercih edilebilir.

### **Birleştirici Kümeleme Yöntemleri**

Bu yöntemlerde her bir gözlem değeri bir küme olarak kabul edilir ve birbirine benzeyen gözlem değerleri bir araya getirilerek kümeler oluşturulur. Bu işlem gözlem değerlerinin tümü bir küme oluşturana kadar devam ettirilir.

**Tek Bağlantı Yöntemi (Single Linkage):** Birbirlerine en yakın iki gözlem değeri belirlendikten sonra bu iki gözlem değerine diğer gözlem değerlerinden en yakın olanlar belirlenir. Yeni gözlem değeri ilk iki gözlemin bulunduğu kümeye yerleştirilebilir. Ayrıca ikinci en yakın iki gözlem belirlenerek iki gözlemden oluşan yeni bir küme oluşturulabilir. Tek bağlantı yöntemi en yakın gözlem değerleri ile çalıştığından en yakın komşuluk olarak da adlandırılabilir.

**Tam Bağlantı Yöntemi (Complete Linkage):** Tek bağlantı yönteminde olduğu gibi öncelikle en yakın iki gözlem değeri ile bir küme oluşturulur. Daha sonra bu ikiliye en uzak gözlem değeri belirlenir ve belirlenen en uzak gözlem değeri ile yeni kümelere karar verilir. Tam bağlantı yöntemi en uzak gözlem değerleri ile çalıştığından en uzak komşuluk olarak da adlandırılabilir.

**Ortalama Bağlantı Yöntemi:** Süreç olarak tek ve tam bağlantı yöntemlerine benzer. Ancak oluşturulan küme içindeki ortalama uzaklıklar ile işlemler yapılır.

**Ward Yöntemi:** Birim sayısı az olan kümelerin en küçük varyans ile bir araya getirilmesi mantığına dayanır. Aşırı değerlerden en çok etkilenen yöntemdir.

**Merkez Yöntemi:** Bu yöntemde kümeler belirli merkezler etrafında toplanmıştır. Birleştirilecek kümeler ise merkezleri en yakın kümelerden seçilir. Merkezlerin uzaklıkları Öklid uzaklığı ile belirlenir. En büyük avantajı aşırı değerlerden çok fazla etkilenmemesidir.

### **Ayırıcı Kümeleme Yöntemleri**

Bu yöntemlerde tüm gözlemlerin bir kümede olduğu varsayılır. Daha sonra birbirine en çok benzemeyen ve uzak gözlem değerleri çıkarılarak kümeler bölünür. Bu işleme gözlem değerleri tek başına kalana kadar devam edilir. R'da *diana()* ile ayırıcı kümeleme analizi yapılabilir.

### **Aşamalı Olmayan Kümeleme Yöntemleri**

Aşamalı kümeleme yöntemlerinin aksine bu tür yöntemlerde araştırmacı tarafından küme sayısının önceden belirlenmesi gerekir. Aşamalı kümeleme yöntemlerinin başlangıcında benzerlik ve uzaklık matrisleri belirlenirken, bu yöntemlerde belirlenmediğinden büyük veri setleri için genellikle aşamalı olmayan kümeleme yöntemleri tercih edilmelidir. Aşamalı kümeleme

yöntemlerine göre aşırı uç değerlere karşı çok hassas değillerdir. Veri yapısına bağlı olarak belirlenen küme sayısı kadar merkez seçilerek bu merkezlerin komşuluğunda bulunan gözlemler kümelere atanır. Aşamalı olmayan kümeleme yöntemlerinde genel olarak algoritmalar benzerdir. k-ortalamlar ve k-medoidler, veri madenciliği, örüntü tanıma ve görüntü analizi gibi çeşitli alanlarda önemli rol oynayan iki popüler yöntemdir.

### **k-Ortalama Kümeleme Yöntemi**

Bu yöntemde ardışık başlama, paralel başlama ve optimizasyon yöntemleri ile belirlenen kümelere gözlem değerleri atanır. Sağlıklı bir atama için üç yöntem ile de kümelerin karşılaştırılması tavsiye edilir. k-ortalama yöntemi geliştirilmiş olan testlerin geçerliliği için de kullanılabilir. Kümeler arasında fark olup olmadığı tek yönlü varyans analizi ile incelenebilir. Öncelikle veri kümesinden rastgele k başlangıç küme merkezi seçilir (Boehmke ve Greenwell, 2020). Bu merkezlerin gerçek veri olmasına gerek yoktur. Her veri noktası kendisine en yakın merkez noktasına atanarak k tane küme oluşturulur. k kümenin iyi veya kötü bir gruplandırma yapıp yapmadığı F testi gibi testler ile sınılanır. Eğer kötü ise merkezler güncellenerek süreç baştan başlatılır.

### **k-Medoid Kümeleme Yöntemi**

k-medoid kümelemesi, medoid adı verilen, bir küme içindeki en merkezi konumdaki veri noktasının temsilci olarak seçilmesi ile başlanır. Ağırlık merkezi olarak ortalama noktayı kullanan k-ortalama yönteminin aksine k-medoid, farklılığı hesaplamak için gerçek veri noktasını kullanır. Bu yüzden aykırı değerlere karşı, k-ortalama yöntemine göre daha dayanıklıdır. Süreç k-ortalamlar yöntemi gibidir.

k-ortalamlar ve k-medoidler yöntemlerinden hangisinin seçilmesi gerektiği verilerdeki özel durumlara bağlıdır. Veri kümesi aykırı değerler ve gürültü içeriyorsa veya yorumlanabilirlik çok önemliyse k-medoidler yöntemi daha iyi bir seçim olabilir. Öte yandan, hesaplama verimliliğinin önemli olduğu büyük, gürültüsüz veri kümeleri için k-ortalamlar yöntemi daha uygun olabilir.



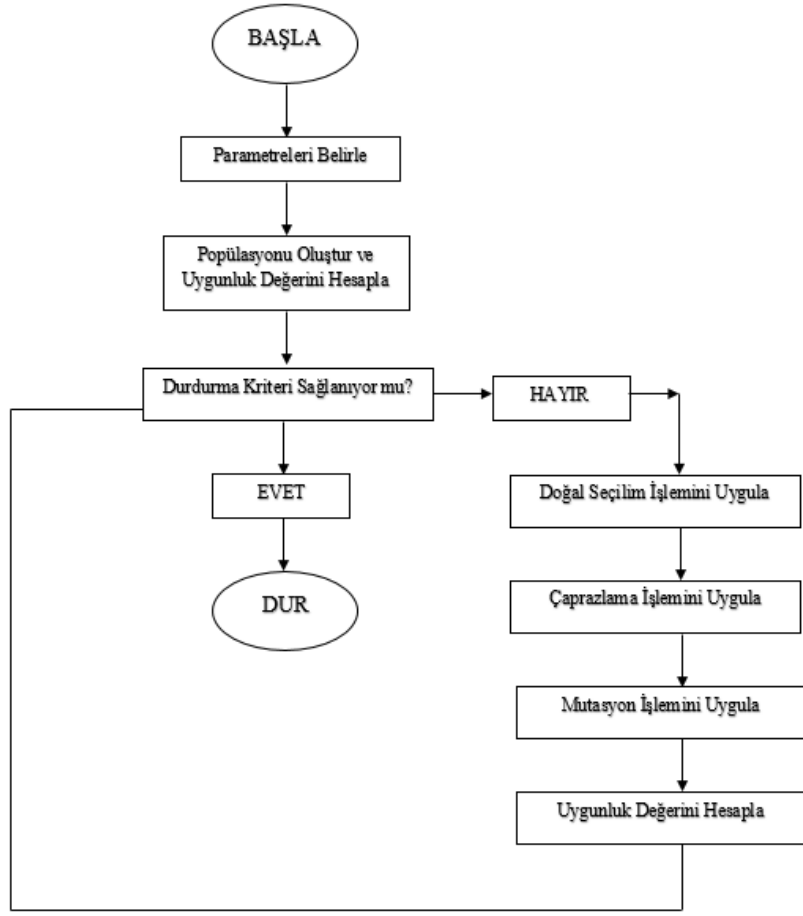
## **İki Aşamalı Kümeleme Analizi**

Veri setinde kategorik ve sürekli değişkenlerin bulunması halinde iki aşamalı kümeleme analizi kullanılabilir. Adından da anlaşılacağı gibi iki aşamalıdır. Birinci aşamada gözlem değerleri tek tek incelenir ve öncül kümeler oluşturulur. Kümeleme kriteri olarak; Schwarz's Bayesian Criterion (BIC) ve Akaike's Information Criterion (AIC) kullanılabilir. İkinci aşamada ise log-olabilirlik ve Öklid uzaklığı ile gözlem değerleri kümelere atanır (Alpar, 2017).

## **Genetik Algoritma ile Kümeleme Analizi**

Genetik algoritma, doğal seleksiyon ve genetik varyasyon kavramlarından esinlenerek oluşturulmuş bir optimizasyon algoritmasıdır. Bir popülasyon içindeki bireyler arasında uygunluk (fitness) değerine dayalı olarak evrim süreci uygulanır. Bu süreç, belirli bir hedefe uygun çözümleri elde etmeyi amaçlar (Yeniay, 2001).

Genetik algoritmalar, uygunluk fonksiyonu olarak belirli bir kümeleme kalitesi ölçüsünü (örneğin, küme merkezlerinin birbirine uzaklığı) kullanarak, veri noktalarını belirli bir sayıda kümeye bölecek en iyi küme merkezlerini bulmak için kullanılabilir (Zeebaree ve diğerleri, 2017). Genetik algoritmanın kümeleme analizinde nasıl kullanılacağına ilişkin akış diyagramı aşağıdaki gibidir:



**Şekil 1:** Genetik Algoritma Akış Diyagramı

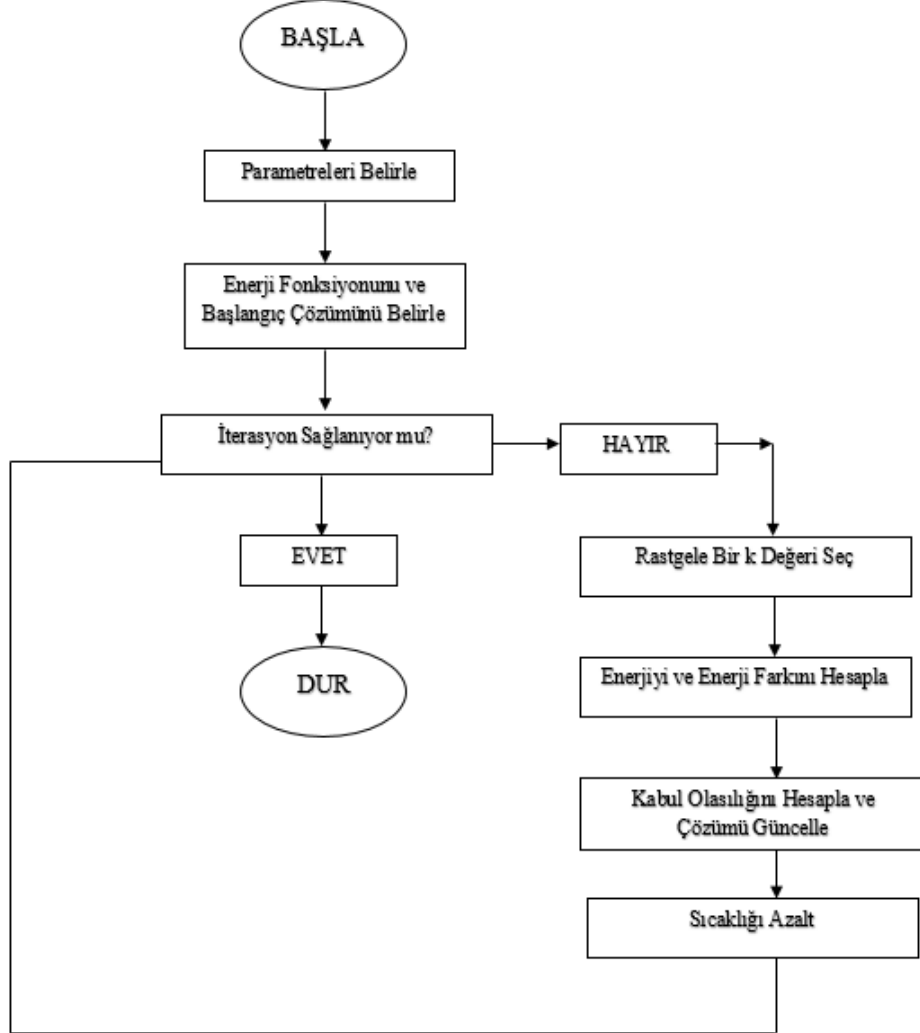
Bu süreç, genetik algoritmanın iteratif olarak çalıştığı ve en iyi uygunluk değerine sahip küme merkezlerini (veya kümeleme çözümlerini) elde etmeyi amaçlar. Bu yöntem, büyük ve karmaşık veri setlerinde etkili bir şekilde çalışabilir ve optimize edilmiş kümeleme sonuçları sağlayabilir.

### **Tavlama Benzetimi ile Kümeleme Analizi**

Tavlama benzetimi, karmaşık düzenlemelerin veya seçimlerin optimize edilmesi gerektiğinde kullanılan bir tür bilgisayar algoritmasıdır. Bu algoritma, genellikle karmaşık ve büyük boyutlu optimizasyon problemlerinde etkili bir arama stratejisi sunar. Tavlama benzetimi, mevcut çözümden başlayarak bir çevresel arama yapar ve en iyi çözümü bulma amacı güder (Zhou ve diğerleri, 2019). Bu algoritma, adını esinlendiği "tavlama" sürecinden almıştır ve rastgele hareketler yaparak lokal minimumlardan kurtulmayı hedefler.

Tavlama benzetimi ile kümeleme analizi birleştirildiğinde, veri kümesinin en iyi şekilde kümeleneceğini sağlayacak optimal küme merkezlerini veya

kümeleme yapılarını bulma amaçlanır (Zhang ve diğerleri, 2023). Tavlama benzetiminin kümeleme analizinde nasıl kullanılacağına ilişkin akış diyagramı aşağıdaki gibidir:



**Şekil 2:** Tavlama Benzetimi Akış Diyagramı

Bu süreç, veri kümesinin en iyi şekilde kümeleneceğini sağlayacak optimal kümeleme çözümünü elde etmeyi amaçlar. Bu yöntem, büyük ve karmaşık veri setlerinde etkili bir şekilde çalışabilir ve optimize edilmiş kümeleme sonuçları sağlayabilir.

Bu kümeleme yöntemleri dışında yoğunluk bazlı kümeleme, model bazlı kümeleme ve Fuzzy kümeleme yöntemleri ile de birbirine benzeyen gözlem değerleri bir araya getirilerek veri seti kümelere ayrılabilir.

## **Küme Sayısının Belirlenmesi**

Uygulamada, değişken sayısına bağlı olarak küme sayısını belirlemek zor olabilir. Yalnızca iki veya üç değişken olduğunda, kümeler kolayca görselleştirilebilir ve dağılım grafiklerinden kararlar alınabilir. Üçten fazla değişkenin olduğu veri setlerinde görsel olarak karar vermek zorlaşır.

En çok tercih edilen yöntem, elbow (dirsek) yöntemidir. Bir veri setindeki en uygun k küme sayısı elde edilmeye çalışılır. Küme sayısının uygun olup olmadığını ölçmek için veri setinde aynı küme içerisinde yer alan en uzak iki gözlem alınır. Küme sayısına göre bu uzaklıklardan hangisinin veri setimizi daha iyi kümelediğini belirlemek için bu uzaklıkların olduğu scree plotı benzeyen bir grafik oluşturulur. Bu grafikte kırılımın en keskin olduğu yerde küme sayısına karar verilir. Elbow yöntemi, veri setindeki küme sayısını belirlemede kullanılan sezgisel bir yöntemdir. Bu yöntemde bir kesme noktası belirlenir ve en uygun küme sayısına karar verilirken bu kesme noktası kullanılır.

Kümeler arasındaki mesafelerin yanı sıra kümelerin oluşturulduğu sırayı görmemize yardımcı olan ağaç diyagramları da küme sayısını belirlemek için kullanılabilir. Ağaç diyagramları, kümeleme sürecinin ne zaman durdurulacağına karar vermemize yardımcı olacak temel araçlardır. Bu görsel araçların yanında küme sayısını belirlemek için Temel Bileşenler Analizi, Hotelling's  $T^2$  test istatistiği, F istatistiği de kullanılabilir (Scitovski ve diğerleri, 2021).

## **VERİ SETİ**

Bu çalışmada, Heritage Foundation tarafından sağlanan 2023 yılına ait ekonomik özgürlük endeksi verileri kullanılmıştır. OECD ülkelerinin ekonomik özgürlük düzeylerini değerlendirmek için kullanılan değişkenler aşağıda açıklanmıştır:

**İşgücü Özgürlüğü (Labor Freedom):** Bir ülkedeki iş piyasasının serbestliğini ve esnekliğini ölçmektedir. Yüksek işgücü özgürlüğü puanları, işgücü piyasasında serbest rekabet ve esneklik anlamına gelir.

**Ticaret Özgürlüğü (Trade Freedom):** Ülkelerin dış ticaretteki serbestlik seviyelerini ölçmektedir. Yüksek ticaret özgürlüğü puanları, serbest ve engelsiz uluslararası ticaretin varlığını gösterir.

**İş Özgürlüğü (Business Freedom):** İş dünyasının düzenlenme ve iş yapma kolaylığı açısından ne kadar serbest olduğunu ölçmektedir. Daha yüksek iş dünyası özgürlüğü puanları, işletmelerin serbest rekabet ortamında faaliyet gösterdiğini gösterir.

**Kamu Harcamaları (Government Spending):** Kamu harcamalarının ekonomiye oranını değerlendirir. Düşük kamu harcamaları, genellikle serbest piyasa ekonomisinin bir göstergesi olarak kabul edilir.

**Parasal Özgürlük (Monetary Freedom):** Ülkelerin para politikalarının ne kadar serbest olduğunu ölçer. Daha yüksek parasal özgürlük puanları, düşük enflasyon ve istikrarlı bir para politikasını gösterir.

**Yatırım Özgürlüğü (Investment Freedom):** Yatırım yapma serbestliği ve yatırımcı haklarını değerlendiren bir göstergedir. Yüksek yatırım özgürlüğü puanları, adil ve serbest bir yatırım ortamını yansıtır.

**Finansal Özgürlük (Financial Freedom):** Finansal sektörün düzenlilik derecesini ifade eder. Daha yüksek finansal özgürlük puanları, finansal piyasaların serbest ve rekabetçi olduğunu gösterir.

**Mülkiyet Hakları (Property Rights):** Bu gösterge, özel mülkiyet haklarını, koruma düzeyini ve mülkiyetin adil bir şekilde korunup korunmadığını değerlendirir.

**Yolsuzlukla Savaş (Fighting Corruption):** Bu değişken, hükümetin yolsuzlukla mücadeledeki başarısını ve şeffaflığını ölçer. Yüksek puanlar, adil ve şeffaf yönetimi yansıtır.

Bu değişkenler, OECD ülkelerinin 2023 yılına ait ekonomik özgürlük düzeylerini kümelemek amacıyla kullanılmıştır. Çalışmada, uygun küme sayısını belirlemek için Genetik Algoritma ve Tavlama Benzetimi optimizasyon algoritmaları kullanılmış, ardından her iki yöntemin sonuçlarına göre ayrı k-ortalama kümeleme analizleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler aşağıdaki gibidir:

**Tablo 1.** Tanımlayıcı İstatistikler

	<b>İşgücü Özgürlüğü</b>	<b>Ticaret Özgürlüğü</b>	<b>İş Dünyası Özgürlüğü</b>	<b>Hükümet Harcamaları</b>	<b>Parasal Özgürlük</b>	<b>Yatırım Özgürlüğü</b>	<b>Finansal Özgürlük</b>	<b>Mülkiyet Hakları</b>	<b>Yolsuzlukla Savaş</b>
Ortalama	62.478	79.128	79.242	41.303	78.825	77.917	69.167	85.050	72.192
Medyan	61.500	78.600	78.400	40.600	79.850	80.000	70.000	89.250	72.600
Standart Sapma	6.176	3.342	6.729	22.767	4.863	8.894	10.522	15.015	17.432
Çarpıklık	0.834	1.086	-0.181	0.240	-1.947	-0.587	-0.132	-1.690	-0.477
Basıklık	3.266	5.028	3.732	2.305	9.530	3.178	2.580	5.115	2.647

Tablo 1’de verilen tanımlayıcı istatistikler, analiz edilen TÜM ÜLKELERİN ekonomik özgürlük endeksi değişkenlerinin dağılımını göstermektedir. Ortalama ve medyan değerlerine göre işgücü özgürlüğü, ticaret özgürlüğü, iş dünyası özgürlüğü ve parasal özgürlük değişkenleri nispeten yüksek düzeylerde seyrederken, hükümet harcamaları ve mülkiyet hakları düşük ortalama değerlere sahiptir. Standart sapmalar düşük olduğundan verilerin dağılımı genellikle ortalamaya yakın toplanmıştır. Çarpıklık değerleri incelendiğinde, özellikle parasal özgürlük ve yolsuzlukla savaş değişkenlerinde dağılımların sağa çarpık olduğu görülmektedir. Basıklık değerleri incelendiğinde ise parasal özgürlük ve mülkiyet hakları değişkenlerinde verilerin daha dar bir aralıkta toplandığını görülmektedir.

OECD ülkelerinin ekonomik özgürlük endeksine ait tanımlayıcı istatistikleri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** OECD Ülkelerinin Ekonomik Özgürlük Endeksine Ait Tanımlayıcı İstatistikler

	<b>Avustralya</b>	<b>Avusturya</b>	<b>Belçika</b>	<b>Kanada</b>	<b>Şili</b>	<b>Kolombiya</b>
Ortalama	79.356	73.022	70.233	75.744	72.011	65.622
Medyan	83.200	78.800	79.000	80.000	72.300	70.000
Standart Sapma	14.617	23.575	25.194	16.454	5.568	14.021
Çarpıklık	-1.377	-2.031	-1.862	-1.877	-1.227	-0.798
Basıklık	3.666	6.064	5.318	5.398	4.046	2.230
	<b>Kosta Rika</b>	<b>Çek Cumhuriyeti</b>	<b>Danimarka</b>	<b>Estonya</b>	<b>Finlandiya</b>	<b>Fransa</b>
Ortalama	69.322	69.767	78.133	75.678	75.800	67.378
Medyan	70.000	76.900	82.400	78.600	82.100	75.500
Standart Sapma	11.378	15.186	23.946	14.041	27.223	26.758
Çarpıklık	-0.176	-0.828	-1.633	-0.828	-1.837	-1.973
Basıklık	2.189	2.722	4.775	2.843	5.405	5.786
	<b>Almanya</b>	<b>Yunanistan</b>	<b>Macaristan</b>	<b>İzlanda</b>	<b>İrlanda</b>	<b>İsrail</b>
Ortalama	72.100	59.278	64.889	74.556	80.522	72.389
Medyan	78.600	60.700	70.000	80.000	81.500	80.000
Standart Sapma	20.256	21.841	17.031	18.207	9.884	13.283
Çarpıklık	-1.166	-1.282	-1.151	-1.480	-0.732	-0.658
Basıklık	3.494	3.997	2.994	4.734	2.729	1.905

	<b>İtalya</b>	<b>Japonya</b>	<b>Kore</b>	<b>Letonya</b>	<b>Litvanya</b>	<b>Lüksemburg</b>
Ortalama	65.733	72.289	72.644	71.722	71.778	77.678
Medyan	73.800	75.200	72.200	78.200	70.000	80.000
Standart Sapma	22.243	14.634	12.090	13.061	9.555	18.103
Çarpıklık	-1.575	-0.129	-0.096	-0.425	-0.032	-0.931
Basıklık	4.368	2.002	1.468	1.903	2.286	2.792
	<b>Meksika</b>	<b>Norveç</b>	<b>Polonya</b>	<b>Portekiz</b>	<b>Slovakya</b>	<b>Slovenya</b>
Ortalama	63.244	74.689	67.600	68.478	68.611	68.444
Medyan	70.900	75.000	72.700	70.000	72.200	74.400
Standart Sapma	15.846	24.871	13.260	16.896	12.956	17.739
Çarpıklık	-0.987	-1.250	-1.065	-0.711	-1.035	-1.049
Basıklık	2.842	3.902	2.975	2.821	3.277	3.120
	<b>İspanya</b>	<b>İsveç</b>	<b>İsviçre</b>	<b>Türkiye</b>	<b>BK</b>	<b>ABD</b>
Ortalama	71.200	77.056	82.433	58.111	76.367	77.322
Medyan	75.200	80.900	85.100	59.700	80.000	78.000
Standart Sapma	17.636	21.173	12.001	12.629	15.505	12.328
Çarpıklık	-1.456	-1.648	-1.057	-0.445	-1.275	-1.138
Basıklık	4.312	4.884	2.588	2.249	3.860	4.343

Tablo 2, farklı OECD ülkelerinin ekonomik özgürlük endeksine ait tanımlayıcı istatistikleri içermektedir. Ülkeler arasında ekonomik özgürlük düzeyinde büyük farklılıklar görülmektedir. Avusturya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Yunanistan, İtalya ve Norveç'in ekonomik özgürlük endeksi değerleri arasında büyük varyasyon varken, Avustralya, Kanada, Şili, Kolombiya, Kosta Rika, Çek Cumhuriyeti, Estonya, Almanya, Macaristan, İzlanda, İrlanda, İsrail, Japonya, Kore, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Meksika, Polonya, Portekiz, Slovakya, Slovenya, İspanya, İsveç, İsviçre, Türkiye, BK ve ABD'de ise daha istikrarlı bir durum söz konusudur. Genel olarak, tüm ülkelerde negatif çarpıklık değerleri vardır, yani sağa çarpıklık görülmektedir. Benzer şekilde tüm ülkelerde pozitif basıklık değerleri görülmektedir, yani dağılımlar genellikle sivri zirvelere sahiptir.

## BULGULAR

Genetik algoritma ile bulunan k-ortalama kümeleme analizi sonuçları Tablo 3'te belirtilmiştir:

**Tablo 3.** Genetik Algoritma ile Bulunan k-ortalama Kümeleme Analizi Sonuçları

			Küme Merkezleri	Silhouette Skoru	Kümeleme Hatası	
Genetik Algoritma	Küme 1	Şili, Kolombiya, Kosta Rika, Yunanistan, Macaristan, Meksika, Polonya, Slovakya, Türkiye	İşgücü Özgürlüğü	-0.70885	0.425	178.17
			Ticaret Özgürlüğü	-1.65574		
			Kamu Harcamaları	1.259031		
			Parasal Özgürlük	-1.94498		

		Finansal Özgürlük	-0.55439
		Mülkiyet Hakları	-2.70059
		Yolsuzlukla Savaş	-2.0513
Küme 2	Avustralya, Avusturya, Belçika, Kanada, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, İzlanda, İrlanda, İsrail, İtalya, Japonya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Norveç, Portekiz, Slovenya, Kore, İspanya, İsveç, İsviçre, Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri	İşgücü Özgürlüğü	0.064441
		Ticaret Özgürlüğü	0.150522
		Kamu Harcamaları	-0.11446
		Parasal Özgürlük	0.176817
		Finansal Özgürlük	0.050399
		Mülkiyet Hakları	0.245508
		Yolsuzlukla Savaş	0.186482

Genetik algoritma ile yapılan analizde en uygun k değeri 2 olarak belirlenmiştir. Bu, veri setinin en iyi şekilde iki kümeye ayrılabilirliğini gösterir. Genetik algoritma ile belirlenen 2 kümeye ait merkez, ilgili kümeye dahil olan ülkelerin özelliklerini temsil eder.

Genetik algoritma kullanılarak belirlenen optimal k değeri ile gerçekleştirilen kümeleme analizi sonuçlarına göre; Küme 1'e dahil olan Şili, Kolombiya, Kosta Rika, Yunanistan, Macaristan, Meksika, Polonya, Slovakya ve Türkiye'de benzer olarak işgücü özgürlüğü, ticaret özgürlüğü ve parasal özgürlük gibi ekonomik göstergeler açısından genellikle düşük değerler gözlenmiştir. Tablo 4'e göre bu kümelerin ortalamalarının birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca algoritma, kamu harcamaları, finansal özgürlük, mülkiyet hakları ve yolsuzlukla mücadelede de zayıf performansa sahip olduklarını göstermiştir. Küme 2'ye dahil olan Avustralya, Avusturya, Belçika, Kanada, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, İzlanda, İrlanda, İsrail, İtalya, Japonya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Norveç, Portekiz, Slovenya, Kore, İspanya, İsveç, İsviçre, Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri'nde benzer olarak işgücü özgürlüğü, ticaret özgürlüğü, kamu harcamaları ve parasal özgürlük gibi ekonomik göstergeler açısından genellikle orta seviyede değerler gözlenmiştir. Tablo 4'e göre bu kümelerin ortalamalarının birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca algoritma, finansal özgürlük, mülkiyet hakları ve yolsuzlukla mücadelede ise daha güçlü olduklarını göstermiştir.

Genetik Algoritma ile oluşturulan kümelerin Silhouette skoru 0.425 olarak belirlenmiştir. Bu değer, her bir veri noktasının kendi kümesinde ne kadar iyi yerleştirildiğini ve kümelerin birbirlerinden ne kadar ayrıldığını gösteren bir



ölçüttür. Silhouette skoru, 0 ile 1 arasında değer alır. 1'e yaklaşan bir skor, kümelerin birbirinden belirgin şekilde ayrıldığını ve her bir veri noktasının doğru kümeyle yerleştirildiğini gösterirken, 0'a yaklaşan bir skor, kümelerin birbirine daha yakın olduğunu ve veri noktalarının yanlış kümelere yerleştirilmiş olabileceğini gösterir. Dolayısıyla, 0.425 ortalama bir Silhouette skoru olarak değerlendirilir, yani orta düzeyde bir kümeleme sonucu elde edildiğini göstermektedir. Örneklerin kümelenebilir olduğu merkezlere olan uzaklıklarının toplamını temsil eden kümeleme hatası ise 178.17 olarak belirlenmiştir. Bu değer ne kadar yüksekse, örneklerin kümelerin merkezlerinden daha uzak olduğunu ve kümeleme işleminin doğru bir şekilde yapılmadığını belirtmektedir. Bu değer, kümeleme modelinin veri noktalarını etkili bir şekilde gruplandırmadığını ve kümelerin belirgin olmadığını göstermektedir.

Genetik Algoritma ile oluşturulan kümelere ait tanımlayıcı istatistikler aşağıdaki gibidir:

**Tablo 4.** Genetik Algoritma ile Oluşturulan Kümelere ait Tanımlayıcı İstatistikler

		İşgücü Özgürlüğü	Ticaret Özgürlüğü	İş Dünyası Özgürlüğü	Hükümet Harcamaları	Parasal Özgürlük	Yatırım Özgürlüğü	Finansal Özgürlük	Mülkiyet Hakları	Yolsuzlukla Savaş
Küme 1	Ortalama	59.322	77.267	71.622	54.444	75.033	72.778	63.333	63.878	51.011
	Medyan	59.400	78.000	72.400	66.000	76.700	75.000	70.000	69.500	52.900
	Standart Sapma	3.151	1.552	4.745	25.399	6.916	7.949	8.660	15.466	13.406
	Çarpıklık	0.112	-0.549	-1.959	-0.453	-1.595	-1.196	-0.680	-0.405	-0.014
	Basıklık	2.161	1.763	5.718	1.992	4.702	3.813	1.833	1.696	1.882
Küme 2	Ortalama	63.530	79.748	81.781	36.922	80.089	79.630	71.111	92.107	79.252
	Medyan	62.200	78.600	79.700	35.000	80.500	80.000	70.000	92.900	81.300
	Standart Sapma	6.610	3.563	5.218	20.482	3.237	8.652	10.500	4.797	12.113
	Çarpıklık	0.566	0.831	0.533	0.343	0.007	-0.656	-0.223	-0.460	-0.009
	Basıklık	2.714	4.338	2.711	2.848	2.518	3.055	2.556	2.610	1.830

Tablo 4'teki veriler, Genetik Algoritma ile oluşturulan kümelerin ekonomik özgürlük endeksinin özelliklerini göstermektedir. Küme 1'e göre işgücü özgürlüğü ve iş dünyası özgürlüğü yüksek seviyelerde, ticaret özgürlüğü, parasal özgürlük ve finansal özgürlük değişkenleri ise ortalamanın üzerinde bulunmaktadır. Medyan değerleri, ortalama değerlere yakın, bu dağılımın dengeli olduğunu göstermektedir. Hükümet harcamalarındaki farklar yüksek standart sapma ile belirgin, diğer değişkenler daha istikrarlıdır. Bazı değişkenler sola çarpık dağılıma sahipken (ticaret özgürlüğü, iş dünyası

özgürlüğü ve yolsuzlukla savaş), diğerleri daha simetriktir. İş dünyası özgürlüğü ve yolsuzlukla savaş değişkenlerinde sivri zirveler görülürken, diğer değişkenlerin daha dengeli olduğu görülmektedir. Küme 2'ye göre hükümet harcamaları dışında tüm özgürlük alanlarında yüksek ortalamalara sahiptir. Mülkiyet hakları ve ticaret özgürlüğü en yüksek ortalamalara sahiptir, hükümet harcamaları ise en düşük ortalamaya sahiptir. Bu, Küme 2'nin genel olarak ekonomik özgürlük endeksinde yüksek bir performansa sahip olduğunu göstermektedir. Medyan değerleri, ortalama değerlere oldukça yakın, bu dağılımın dengeli olduğunu ve aykırı değerlerin etkisini azalttığını göstermektedir. Hükümet harcamaları, iş dünyası özgürlüğü ve finansal özgürlük değişkenleri, diğer değişkenlere göre daha yüksek standart sapma değerlerine sahiptir, bu da bu özgürlük alanlarında daha geniş bir varyasyon olduğunu göstermektedir. Çarpıklık değerleri oldukça düşük, yani dağılımlar nispeten simetriktir. Basıklık değerleri ise 3'ün altında, yani dağılımlar nispeten sivri zirvelere sahiptir, ancak belirgin değildir.

Tavlama benzetimi algoritması ile bulunan k-ortalama kümeleme analizi sonuçları Tablo 5'de belirtilmiştir:

**Tablo 5.** Tavlama Benzetimi ile Bulunan k-Ortalama Kümeleme Analizi Sonuçları

		Küme Merkezleri		Silhoutte Skoru	Kümeleme Hatası	
Tavlama Benzetimi	Küme 1	Şili, Kolombiya, Kosta Rika, Macaristan, Meksika, Polonya, Türkiye	İşgücü Özgürlüğü			-0.57223
			Ticaret Özgürlüğü	-0.66007		
			Kamu Harcamaları	0.468217		
			Parasal Özgürlük	-0.25576		
			Finansal Özgürlük	-0.39599		
			Mülkiyet Hakları	-0.72634		
			Yolsuzlukla Savaş	-0.85033		
	Küme 2	Avustralya, Belçika, Kanada, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, İzlanda, İrlanda, İsrail, Litvanya, Lüksemburg, Norveç, Kore, İsveç, İsviçre, Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri	İşgücü Özgürlüğü	0.021949		
			Ticaret Özgürlüğü	0.762608		
			Kamu Harcamaları	-0.35122		
			Parasal Özgürlük	0.048325		
			Finansal Özgürlük	0.649428		
			Mülkiyet Hakları	0.640016		
			Yolsuzlukla Savaş	0.908002		
	Küme 3	Avusturya, Yunanistan, İtalya, Japonya, Letonya, Portekiz, Slovakya, Slovenya, İspanya	İşgücü Özgürlüğü	1.765284		
			Ticaret Özgürlüğü	-0.17561		
			Kamu Harcamaları	-0.44463		
			Parasal Özgürlük	0.673461		
			Finansal Özgürlük	-0.68111		
			Mülkiyet Hakları	0.404255		
			Yolsuzlukla Savaş	-0.00296		

Tavlama benzetimi ile yapılan analizde en uygun k değeri 3 olarak belirlenmiştir. Bu, veri setinin daha ayrıntılı üç kümeye ayrılabilceğini gösterir. Tavlama benzetimi ile belirlenen 3 kümeye ait merkez değerler, ilgili kümeye dahil olan ülkelerin özelliklerini temsil eder.

Tavlama benzetimi algoritma kullanılarak belirlenen optimal k değeri ile gerçekleştirilen kümeleme analizine göre; Küme 1'e dahil olan Şili, Kolombiya, Kosta Rika, Macaristan, Meksika, Polonya ve Türkiye'de benzer olarak işgücü özgürlüğü, iş özgürlüğü ve kamu harcamaları gibi ekonomik göstergelerin düşük değerler olduğu gözlenmiştir. Ayrıca finansal özgürlük, mülkiyet hakları ve yolsuzlukla mücadelede de zayıf performans sergilediği ülkeler Küme 1'de toplanmıştır. Küme 2'ye dahil olan Avustralya, Belçika, Kanada, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, İzlanda, İrlanda, İsrail, Litvanya, Lüksemburg, Norveç, Kore, İsveç, İsviçre, Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletleri'nde benzer olarak işgücü özgürlüğü, iş özgürlüğü ve parasal özgürlük gibi ekonomik göstergelerin orta seviyede olduğu gözlenmiştir. Finansal özgürlük, mülkiyet hakları ve yolsuzlukla mücadelede ise daha güçlü olan ülkeler Küme 2'de toplanmıştır. Küme 3'e dahil olan Avusturya, Yunanistan, İtalya, Japonya, Letonya, Portekiz, Slovakya, Slovenya ve İspanya'da ise benzer olarak işgücü özgürlüğü, iş özgürlüğü ve kamu harcamaları gibi ekonomik göstergelerin yüksek seviyede olduğu gözlenmiştir. Finansal özgürlük, mülkiyet hakları ve yolsuzlukla mücadelede orta seviyede performans gösteren ülkeler Küme 3'te yer almaktadır.

Tavlama Benzetimi ile oluşturulan kümelerin Silhouette skoru 0.211 olarak belirlenmiştir. Bu değer düşük seviyede bir kümeleme sonucu elde edildiğini göstermektedir. Kümeleme hatası ise, 148.134 olarak elde edilmiştir. Bu değer, kümeleme modelinin veri noktalarını daha etkili bir şekilde gruplandırıldığını ve kümelerin daha belirgin olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, tavlama benzetimi yöntemi genetik algoritma yöntemine göre daha iyi performans göstermektedir. Bu, daha düşük kümeleme hatası ve daha yüksek Silhouette skoru ile ifade edilir. Daha düşük kümeleme hatası, kümelerin veri noktalarına daha yakın olduğunu ve daha belirgin olduğunu

gösterirken, yüksek Silhouette skoru, kümelerin homojen ve birbirinden iyi ayrıldığını gösterir. Bu nedenle, tavlama benzetimi yöntemi, veri setindeki yapıları daha doğru bir şekilde yansıtan kümeler oluşturmuştur.

Tavlama Benzetimi ile oluşturulan kümelere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 6'da verilmiştir:

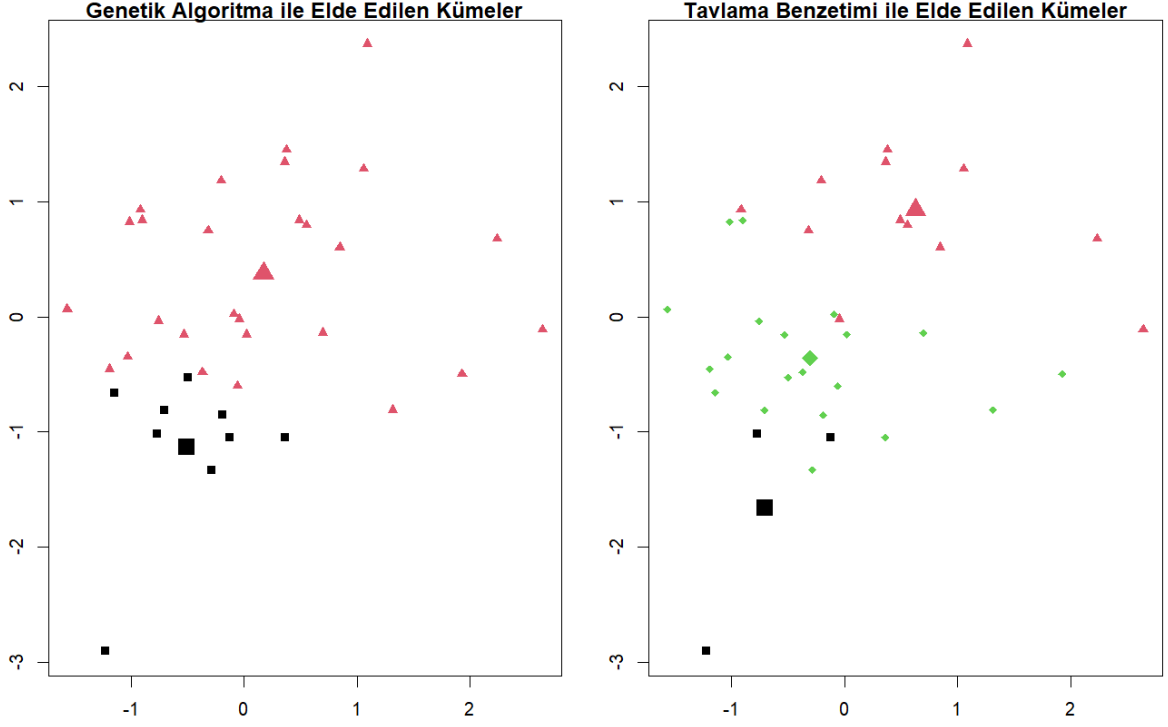
**Tablo 6.** Tavlama Benzetimi ile Oluşturulan Kümelere ait Tanımlayıcı İstatistikler

		İşgücü Özgürlüğü	Ticaret Özgürlüğü	İş Dünyası Özgürlüğü	Hükümet Harcamaları	Parasal Özgürlük	Yatırım Özgürlüğü	Finansal Özgürlük	Mülkiyet Hakları	Yolsuzlukla Savaş
Küme 1	Ortalama	58.357	76.886	71.729	62.729	74.414	75.000	64.286	59.143	49.914
	Medyan	58.100	76.800	73.500	66.100	76.700	75.000	70.000	66.000	44.800
	Standart Sapma	2.649	1.566	5.447	20.425	7.736	5.000	7.868	14.019	15.232
	Çarpıklık	-0.034	-0.143	-1.820	-0.639	-1.324	0.000	-0.860	-0.282	0.210
	Basıklık	1.660	1.582	4.706	2.007	3.627	1.167	2.364	1.250	1.586
Küme 2	Ortalama	62.245	80.070	83.600	38.820	79.220	81.000	75.000	93.080	82.695
	Medyan	61.550	78.600	84.450	40.550	79.350	80.000	75.000	93.600	83.200
	Standart Sapma	5.699	3.879	4.776	22.204	3.027	8.208	8.272	4.402	11.503
	Çarpıklık	0.571	0.672	0.369	0.223	-0.010	-0.694	0.000	-0.590	-0.400
	Basıklık	3.027	3.850	2.937	2.586	2.067	3.488	2.515	2.964	2.261
Küme 3	Ortalama	66.200	78.778	75.400	30.156	81.378	73.333	60.000	87.356	66.178
	Medyan	64.700	78.600	75.900	31.500	80.600	75.000	60.000	87.300	64.700
	Standart Sapma	7.342	2.129	2.864	15.066	3.475	10.607	8.660	6.204	9.510
	Çarpıklık	0.330	0.910	-0.524	-0.149	-0.200	-0.537	0.000	-0.140	0.455
	Basıklık	2.258	4.819	2.118	1.603	2.988	2.065	1.500	2.391	2.251

Tablo 6, Tavlama Benzetimi ile oluşturulan Küme 1'in ekonomik özgürlük endeksinin tanımlayıcı istatistiklerini içermektedir. Bu küme, hükümet harcamaları dışında özgürlük alanlarında yüksek ortalamalara sahiptir. İş dünyası özgürlüğü en yüksek ortalama değere sahiptir, mülkiyet hakları ise en düşük ortalama değeri temsil etmektedir. Medyan değerleri ortalama değerlere oldukça yakındır, bu dağılımların dengeli olduğunu ve aykırı değerlerin etkisinin az olduğunu göstermektedir. Ancak iş dünyası özgürlüğü ve ticaret özgürlüğü değişkenlerinin medyan değerleri, ortalamanın biraz altındadır. Hükümet harcamaları, iş dünyası özgürlüğü ve mülkiyet hakları değişkenleri diğerlerine göre daha yüksek standart sapma değerlerine sahiptir, bu da bu özgürlük alanlarında daha fazla çeşitlilik olduğunu göstermektedir. Tüm değişkenler için çarpıklık değerleri oldukça düşüktür, yani dağılımlar nispeten simetriktir. Küme 2'ye göre, hükümet harcamaları dışında tüm özgürlük alanlarında yüksek ortalamalara sahiptir. İş dünyası özgürlüğü en yüksek ortalamaya sahiptir, ancak işgücü özgürlüğü en düşük

ortalamaya sahiptir. Bu, Küme 2'nin genel olarak ekonomik özgürlük endeksinde yüksek bir performansa sahip olduğunu göstermektedir. Medyan değerleri, ortalama değerlere oldukça yakındır, bu dağılımların dengeli olduğunu ve aykırı değerlerin etkisini azalttığını göstermektedir. Ancak iş dünyası özgürlüğü değişkeninde medyan değeri, ortalamadan biraz daha düşüktür. Hükümet harcamaları dışındaki özgürlük alanlarında düşük standart sapma değerleri bulunur, yani bu alanlarda daha düşük bir varyasyon görülmektedir. Tüm değişkenler için çarpıklık değerleri oldukça düşüktür, bu dağılımların nispeten simetrik olduğunu göstermektedir. Basıklık değerleri ise 3'ün altındadır, yani dağılımlar nispeten sivri zirvelere sahip olsa da bu belirgin değildir. Küme 3'e göre ise hükümet harcamaları hariç tüm özgürlük alanlarında yüksek ortalamalara sahiptir. Parasal özgürlük ve mülkiyet hakları en yüksek ortalamaya sahiptir, finansal özgürlük ise en düşük ortalamaya sahiptir. Bu, Küme 3'ün genel olarak ekonomik özgürlük endeksinde iyi bir performans sergilediğini göstermektedir. Medyan değerleri, ortalama değerlere oldukça yakındır, bu dağılımların dengeli olduğunu ve aykırı değerlerin etkisini azalttığını göstermektedir. Ticaret özgürlüğü, iş dünyası özgürlüğü ve mülkiyet hakları değişkenlerinde düşük standart sapma değerlerine sahiptir, yani bu alanlarda daha düşük bir varyasyon görülmektedir. Çarpıklık değerleri oldukça düşüktür, bu dağılımların nispeten simetrik olduğunu göstermektedir. Ticaret özgürlüğü, iş dünyası özgürlüğü ve mülkiyet hakları değişkenlerinde basıklık değerleri 3'ün altındadır, bu dağılımların nispeten sivri zirvelere sahip olduğunu göstermektedir.

Genetik Algoritma ve Tavlama Benzetimi algoritmaları kullanılarak belirlenen optimal k değerinin grafik gösterimi aşağıdaki gibidir:



Bu grafik, analizin sonucunda belirlenen optimal k değerine dayalı olarak ülkelerin belirli kümelerde nasıl gruplandığını göstermektedir. Genetik Algoritma ve Tavlama Benzetimi algoritmalarıyla elde edilen bu veriler, ekonomik özgürlük düzeylerine göre yapılan kümeleme analizini yansıtmaktadır. Farklı kümelerin ayrı ayrı renkler veya sembollerle vurgulandığı bu grafik gösterimi, analizin ana bulgularını açık bir şekilde belirtmektedir.

Analiz sonuçları karşılaştırıldığında, genetik algoritma, genel bir bakış açısıyla ekonomik özgürlük endeksi değerlerini değerlendirirken, tavlama benzetimi algoritması daha detaylı ve ince ayrımlar yaparak ülkeleri sınıflandırmıştır. Bu durum, genetik algoritmanın genel örüntüleri ve büyük çaplı benzerlikleri vurguladığını, tavlama benzetiminin ise daha spesifik ve detaylı analizler yapabileceğini göstermektedir.

## SONUÇ

Bu çalışma, 2023 yılındaki OECD ülkelerinin ekonomik özgürlük düzeylerini değerlendirmek için genetik algoritma ve tavlama benzetimi optimizasyon yöntemlerini kullanarak gerçekleştirilmiştir. Genetik algoritma sonuçlarına göre, düşük ekonomik özgürlüğe sahip olan ülkeler Küme 1'de, orta seviyede

olanlar Küme 2’de yer almaktadır. Bu sonuçlara göre Küme 1’de gelişmekte olan ülkelerin ve Küme 2’de ise gelişmiş ülkelerin yer aldığı görülmektedir. Tavlama benzetimi ile yapılan analizde ise düşük ekonomik özgürlük gösteren ülkeler Küme 1’de, orta seviyede olanlar Küme 2’de ve yüksek ekonomik özgürlüğe sahip ülkeler Küme 3’te bulunmaktadır. Bu sonuçlara göre ise Küme 1’de gelişmekte olan ülkelerin, Küme 2’de gelişmiş ülkelerin ve Küme 3’te ise orta seviyede gelişmiş ülkelerin yer aldığı görülmektedir. Analiz sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, genetik algoritmanın genel örüntüleri vurgulayarak ekonomik özgürlük düzeylerini değerlendirdiği, tavlama benzetiminin ise daha spesifik ve detaylı analizler yapabildiği görülmektedir.

## KAYNAKÇA

- Alpar, R. (2017). *Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel yöntemler*. Ankara: Detay Yayıncılık.
- Boehmke, B., & Greenwell, B. (2020). *Hands-on machine learning with R*. Boca Raton: CRC Press, Taylor and Francis Group.
- Everitt, B. S., Landau, S., Leese, M., & Stahl, D. (2011). *Cluster analysis* (5. b.). West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Gülden, T., & Karakış, E. (2019). OECD Ülkelerinin ekonomik özgürlüklerine göre kümeleme analizi ile sınıflandırılması. *S.C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 20(2), 1-24.
- Güler Kangalli, S., Uyar, U., & Buyrukoğlu, S. (2014). OECD ülkelerinde ekonomik özgürlük: bir kümeleme analizi. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 95-109.
- Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2007). *Applied multivariate statistical analysis* (6. b.). New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Miles, M. A., Holmes, K. R., & O’Grady, M. A. (2006). *2006 index of economic freedom*. New York: the Wall Street Journal.
- Orend, B. (2006). Justifying socioeconomic right. R. E. Hessman, & C. E. Welch içinde, *Economic rights in Canada and the United States* (s. 25-40). USA: University of Pennsylvania.
- Patry, W. (2009). *Moral panics and the copyright wars*. New York: Oxford University.
- Sawaka, M. (2002). Foundations of genetic algorithms. *Genetic algorithms and fuzzy multiobjective optimization* (s. 11-27). içinde Boston: Springer.
- Scitovski, R., Sabo, K., Martínez-Álvarez, F., & Ungar, Š. (2021). *Cluster analysis and applications*. Gewerbestrasse: Springer.
- Urmak Akçakaya, E. D., & Ömürbek, N. (2021). OECD ülkelerinin demokrasi kalitesi göstergeleri açısından kümelenebilirliği. *Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 1365-1393.
- Yeniay, Ö. (2001). An overview of genetic algorithms. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(1), 37-49.
- Zeebaree, D. Q., Haron, H., Abdulazeez, A. M., & Zeebaree, S. R. (2017). Combination of K-means clustering with genetic algorithm: A review. *International Journal of Applied Engineering Research*, 14238-14245.

- Zhang, Y., Gao, H., Zheng, H., Li, R., & Ma, Y. (2023). Research on base station location based on k-means clustering and simulated annealing. *Electronics and Computer Applications (ICPECA)* (s. 1654-1660). Shenyang, China: 2023 IEEE 3rd International Conference on Power.
- Zhou, A.-H., Zhu, L.-P., Hu, B., Deng, S., Song, Y., Qiu, H., & Pan, S. (2019). Traveling-salesman-problem algorithm based on simulated annealing and gene-expression programming. *Information*, 10(1), 1-15.

## **GENİŞLETİLMİŞ ÖZET**

Bu çalışmada, 2023 yılına ait OECD ülkelerinin ekonomik özgürlük düzeylerini incelemek amacıyla genetik algoritma ve tavlama benzetimi optimizasyon yöntemlerini kullanarak derinlemesine bir analiz gerçekleştirilmiştir. Ekonomik özgürlük kavramı, bireylerin ve işletmelerin serbest piyasa koşullarında ekonomik kararlarını özgürce alabildiği bir ortamı ifade etmektedir. Bu çalışma, bu kavramın ülkeler arasındaki farklılıklarını anlamak ve ekonomik performansı değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Genetik algoritma ve tavlama benzetimi optimizasyon algoritmaları, uygun küme sayısını belirlemek için kullanılmıştır.

Genetik algoritma sonuçlarına göre, düşük ekonomik özgürlüğe sahip olan ülkeler Küme 1'de, orta seviyede olanlar Küme 2'de yer almaktadır. Bu durum, gelişmekte olan ülkelerin genellikle düşük ekonomik özgürlük düzeyine sahip olduğunu göstermektedir. Tavlama benzetimi ile yapılan analizde ise düşük, orta ve yüksek ekonomik özgürlüğe sahip ülkelerin sırasıyla Küme 1, Küme 2 ve Küme 3'te yer aldığı görülmektedir. Bu sonuçlar, tavlama benzetiminin daha detaylı bir analiz sunarak ülkeleri belirli ekonomik özgürlük düzeylerine göre daha ayrıntılı bir şekilde sınıflandırabildiğini göstermektedir. Genel olarak, genetik algoritma örüntüleri vurgulayarak genel bir değerlendirme yaparken, tavlama benzetimi daha spesifik ve detaylı analizlere olanak tanımaktadır. Bu bilgiler ışığında, ülkelerin ekonomik özgürlük düzeylerini anlamak ve gelecekteki ekonomi politikalarını şekillendirmek için yapılan bu analiz, ekonomik kalkınma ve sürdürülebilir büyüme hedeflerine ulaşmada önemli bir rehber niteliğindedir.

## **EXTENDED ABSTRACT**

In this study, an in-depth analysis was carried out using a genetic algorithm and simulated annealing optimization methods to examine the economic freedom levels of OECD countries in 2023. The concept of economic freedom refers to an environment where individuals and businesses can freely make economic decisions under free market conditions. This study was conducted to understand the differences in this concept between countries and to evaluate economic performance.

Genetic algorithms and simulated annealing optimization algorithms were used to determine the appropriate number of clusters. According to the genetic algorithm results, countries with low economic freedom are in Cluster 1, and those with medium economic freedom are in Cluster 2. This shows that developing countries generally have low levels of economic freedom. In the analysis conducted with simulated annealing, it is seen that countries with low, medium, and high economic freedom are located in Cluster 1, Cluster 2, and Cluster 3, respectively. These results show that simulated annealing can provide a more detailed analysis, further classifying countries according to their specific levels of economic freedom. While the genetic algorithm makes a general evaluation by highlighting patterns, simulation annealing allows for a more specific and detailed analysis. In light of this information, this analysis, which is conducted to understand the economic freedom levels of countries and shape future economic policies, is an important guide in achieving economic development and sustainable growth goals.