



AVRUPA BÖLGESİ ÜLKELERİNİN ENERJİ KULLANIMLARI AÇISINDAN BULANIK KÜMELEME YÖNTEMLERİ ile ANALİZİ¹

Ahmet SEL^{1*}

¹MEB, Matematik Öğretmeni

*selahmet43@gmail.com

+ORCID: 0000-0003-1914-5878

Öz–Enerji kaynakları ve kullanımı her zaman ülkelerin göz ardı edemeyeceği bir konu olmuştur. Çalışmada enerji kullanımları açısından en yüksek ikinci değere sahip olan Avrupa Bölgesi ülkeleri bulanık kümeleme yöntemleri ile incelenmiştir. Veriler Avrupa Bölgesi içerisinde yer alan ülkelerin 1990-2017 yılları arasındaki Dünya Bankası veri tabanında bulunan 13 adet enerji verisinden oluşmaktadır. Uygulamada R programlama dilinde bulanık kümeleme yöntemleri, küme geçerlilik indeksleri ve görselleştirme yöntemleri kullanılmıştır. Bulanık kümeleme sonuçları üç ana küme altında toplanacak şekilde elde edilmiştir. Kümeler enerji kullanımı düzeyine göre yüksek, orta ve düşük olacak şekilde belirlenmiştir. Yüksek düzey enerji kullananlar ülkeler Almanya, Fransa, İngiltere, İtalya, İspanya şeklindedir. Polonya, Türkiye ve Ukrayna orta düzey enerji kullanan ülkeler arasındadır. Diğer ülkeler ise düşük düzey enerji kullanımı kümesindedir. Çalışmadan elde edilen sonuçların, enerji politikalarına katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler–Avrupa Ülkeleri, Enerji, Bulanık Küme Geçerlilik İndeksi, Bulanık Kümeleme

ANALYSIS of EUROPEAN REGION COUNTRIES by FUZZY CLUSTERING METHODS in TERMS of ENERGY USE

Abstract –Energy resources and their use have always been an issue that countries cannot ignore. The study examined the countries of the European region that have the second highest value in terms of energy use. The study data covers 13 pieces of energy data from the World Bank database of countries within the European region between 1990-2017. Fuzzy clustering methods, cluster validity indexes and visualization methods were used in the R programming language. Fuzzy clustering results were obtained in such a way that they are grouped under three main clusters. Clusters are determined to be high, medium and low according to the level of energy use. Germany, France, England, Italy, and Spain are among the countries that consume a lot of energy. Poland, Turkey, and Ukraine are among the countries that consume medium amounts of energy. Other countries are in the cluster of low energy use. The results obtained from the study are expected to contribute to energy policies.

Keywords –European Countries, Energy, Fuzzy Set Validity Index, Fuzzy Clustering

GİRİŞ

Enerji kaynakları ve kullanımı ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınmaları konusunda her zaman ön planda olmuştur. Özellikle sanayi devriminden sonra gelişen ve öz kaynakları yetersiz ülkeler için önemli bir sorun teşkil etmektedir. Enerji kaynakları ekonominin can damarı olan sanayi üretiminin beslediği en önemli kaynak olarak nitelendirilebilir. Avrupa Bölgesi Ülkelerinin (ABÜ) birincil enerji kaynak olarak nitelendirilen fosil yakıt açısından fakir olduğu bilinmektedir. Bundan dolayı Avrupa enerji kaynaklarını ithal eden bölgelerin başında gelmektedir. Türkiye bu bağlamda ABÜ için enerji kaynaklarına ulaşımı noktasında köprü görevini üstlenmektedir.

İHH İnsani ve Sosyal Araştırmalar Merkezi (İnsamer) 2016 yılı enerji raporuna göre dünya genelinde birincil kaynakları en önemlisi olan petrolün dağılımında ise, Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü (OPEC) üyesi devletler, dünya petrol rezervlerinin %71,6'sına sahiptir. Günümüzde petrol rezervlerinin bölgesel dağılımına bakıldığında Ortadoğu bölgesinin %48,5 ile dünya petrol rezervlerinin neredeyse yarıya yakınına sahip olduğu görülmektedir. Ortadoğu'nun ardından ikinci sırada %19,8'lik rezerv miktarı ile Orta ve Güney Amerika gelmektedir. Bunu %13,3'lük rezerv oranı ile Kuzey Amerika takip etmektedir. Bunlara ek olarak küresel petrol rezervlerinde Afrika %7,6; Rusya %7,2; Asya %2,8 ve Avrupa %0,82'lik bir paya sahiptir (İnsamer, 2016). Bu rezerv tablosu, petrol konusundaki rekabetin hangi coğrafyalarda yaşanacağını da işareti gibidir. Ancak enerji politikalarının gidişatı ile ilgili fikir vermesi noktasında tek başına yeterli olmayan bu görünüm, tüketim rakamları eklenince daha kolay anlaşılabilir. Amerika Birleşik Devletleri en büyük enerji ithalatçısı olmakla birlikte ikinci sırada Avrupa Birliği ülkeleri yer almaktadır (Aksoy, 2016). Petrol rezervi oranları ve ABÜ gelişmişlik düzeyleri göz önüne alındığında petrol ithal eden bölgelerin başında gelmesi doğal bir sonuç olarak görülebilir.

Avrupa Birliği'ni (AB)'ni kuran üç temel anlaşmadan ikisinin enerji sorunları ile ilişkili oluşu, AB açısından enerji konusunun taşıdığı önemi, açıkça göstermektedir. Gerçek anlamda AB enerji politikasının şekillenmesi, petrol krizlerine bağlı olarak ortaya çıkmıştır (Kesbiç ve Şimşek, 2011). Dünya enerji piyasasında önemli bir payı olan Avrupa Birliği (AB) ithalatıyla birinci tüketimiyle de ikinci sırada yer almaktadır. Mevcut durumda birincil enerji tüketiminin sadece %50'sini karşılayan AB kalan yarısını da yabancı kaynaklardan temin etmektedir. Enerji arz güvenliği için bir tehdit unsuru olan bu durum AB'yi ortak bir enerji politikası geliştirmeye zorlamıştır. Gerek içeride yaşananlar – genişlemenin etkisiyle artan nüfus ve büyüyen ekonomisi dolayısıyla enerjiye olan talebin artması, tek pazarın henüz tamamlanamaması, yerli üretimin yeterli olmaması gibi etkenler – ve gerekse de dışarıda yaşanan gelişmeler – gelişmekte olan ekonomilerin global talep üzerindeki etkileri, üretim bölgelerinin istikrar ve güvenden yoksun oluşları, küresel

ısınma – Birliğin enerji politikasını etkileyen unsurlar olmuştur (Yorkan, 2009).

Avrupa Birliği (AB) kuruluş amacındaki ekonomik nedenlere paralel olarak enerji konusunda da iş birliklerini yanında getirmiştir. AB üye olmak isteyen ülkeler olmasına rağmen İngiltere 2020 yılında üyelikten çekilmiştir. Bu yüzden çalışma AB üyesi ülkeler yerine Avrupa Bölgesi içinde yer alan ülkeleri kapsayacak şekilde yapılmıştır. Bunun temel sebebi ise enerji yolları ve kullanımlarının Avrupa kıtası içerisinde bir bütün olarak değerlendirilmesidir. Avrupa Bölgesinde 41 ülke olmasına rağmen Liechtenstein ve Moldova'nın enerji değerlerinin eksik olmasından dolayı değerlendirmeye alınmamıştır.

Bu çalışmada Dünya Bankası verilerinde yer alan enerji istatistikleri dikkate alınarak bulanık kümeleme yöntemleri ile ABÜ incelenmiştir. Bulanık kümeleme yöntemleri kullanılmasında ana amaç üyelik derecesi esnekliklerinden faydalanabilmektir. Klasik kümede belirgin olarak ayrılan üyelikler dışında belirsiz elemanlar için bulanık kümeleme yöntemi kullanılabilir. Böylece bulanık kümeleme yardımıyla uygulamada tüm elemanlar anlamlandırılarak analize dahil edilmiş olur. Çalışmada ayrıca bulanık kümeleme işlemlerinde kullanılan küme geçicilik indeksleri ve görselleştirme araçları kullanılmıştır. Uygulamaların tamamı R programlama dilinde yapılmış ve kodları Ek-1' de verilmiştir. Elde edilen sonuçların enerji yolları ve politikaları açısından katkı sağlaması beklenmektedir.

Literatür Taraması

Enerji konusunda literatürde Avrupa Bölgesi Ülkeleri için farklı çalışmalar olduğu görülmüştür. Çalışmalarda öncelikle genel enerji politikalarının incelendiği görülmüştür. Zippel (2006), çalışmasında AB ülkelerinin enerji açısından ithalata bağlı olduğunu belirtmiştir. Enerji ithalatı Batı Avrupa ekonomilerinin savaş sonrasında yeniden toparlanmasını sağladığını söylemiştir. Avrupa'ya enerji sağlayan şirketlerin çok uluslu şirketler olması, AB'nin enerji konusunda rekabetçi bir ortamda olmasını gerektiği belirtilmiştir. Avrupa enerji politikalarının ana hedefinin, güvenilirliği uzun vadeli, ucuz ve çevreye zarar vermeyen yenilebilir enerji kaynakları olduğu vurgulanmıştır. Yorkan (2009), çalışmasında öncelikle Avrupa Birliği için enerji politikalarından bahsetmiş ve sonrasında ise birincil enerji kaynakları tüketimi incelenmiştir. Birliğin Türkiye gibi enerji konusunda dışa bağımlılığı olumlu bir etki olarak değerlendirilmiştir. Çünkü enerji kaynaklarının geçiş noktası olması arz güvenliğinde ortak politikaları destekleyeceği söylenmiştir. Ayrıca Türkiye'nin Kyoto Protokolü'ne üye olması çevre için olumlu ancak sanayi açısından olumsuz olacağı belirtilmiştir. Bocquillon ve Maltby (2020) çalışmasında 2014 yılında "Enerji Birliği" nin başlaması ve bununla birlikte 2018'de kabul edilen Enerji Birliği Yönetişim Yönetmeliğine odaklanmıştır. Sonuç Enerji Birliği yönetim çerçevesi, üye devletlerin devam eden egemenlik endişelerini ele alma ve onlara

politika seçimleri konusunda bir dereceye kadar özerklik sunmanın zorluğunu gösterirken, aynı zamanda ana hedeflerin ve toplu olarak kararlaştırılan hedeflerin karşılanmasını sağlamıştır.

Kümeleme yöntemi ile yapılan çalışmalar arasında Erilli ve Karaköy (2015), Türk Cumhuriyetleri ekonomik göstergeler yardımıyla bulanık kümeleme analizine tabi tutulmuştur. Analiz sonucunda göre; Azerbaycan, Kırgızistan ve Türkmenistan birinci küme, Kazakistan ve Özbekistan ikinci küme ve Tacikistan tek başına üçüncü küme olarak belirlenmiştir. Buna göre çalışmanın sonucunda birbirine benzeyen ülkelerin, kendi içlerinde iş birliğini yürütmeleri, bu ülkeler ile ticari ya da ekonomik ilişkiler yürütmek isteyen ülkelere de yardımcı olacaktır. Bluszcz (2017) çalışmasında Avrupa Birliği ülkeleri için üye devletlerin enerji dengeleri ve kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlarla ilgili ithalata bağımlılıklarının belirlenmesi ile ilgili olarak yakıt ve enerji kaynaklarının durumunu analiz etmiştir. Toplanan istatistiksel verilere dayalı olarak, Avrupa Birliği Üye Devletlerinin grupları olan homojen alt kümeleri ayırmak için k-ortalamları kümeleme analizi uygulanmıştır. Analiz sonucunda, başlıca enerji kaynakları (petrol, doğalgaz ve kömür) nedeniyle ithalata bağımlılık açısından homojen ülke gruplarından yedi küme elde edilmiştir. Kümelere gruplanan ülkelerin benzer yapılarını dikkate alarak uzun vadeli stratejiler oluşturması beklenmiştir.

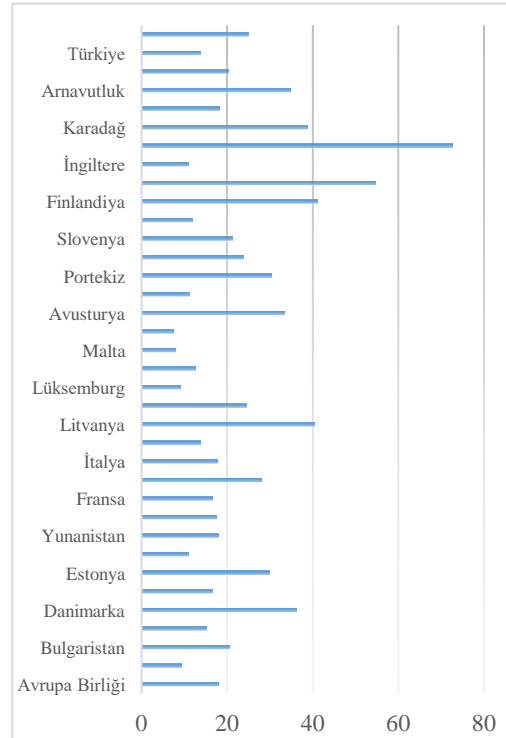
Sepehr, Haeri ve Ghousi (2019) çalışmasında, ülkeleri benzer gruplara ayırarak 2007'den 2014'e kadar 132 ülkenin enerji verimliliğini performanslarına göre tahmin etmiştir. Hedef programlamaya dayalı veri zarflama analizi modeli ve daha sonra K-ortalamlar kümeleme algoritması, ulusların verimliliklerini belirlemek ve verimlilik performanslarına göre kümelemek için kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarında elde edilen altı küme yapı için gelişmekte olan düşük gelirli ülkelerin yüksek enerji verimliliği puanlarına yol açabileceğini ve farklı gelişmişlik ve gelir düzeyine sahip ülkelerin enerji tüketimi alanında verimli hale gelebileceğini ortaya koymuştur. Ülkeleri yedi yıllık bir süre boyunca takip etmek, yenilenebilir enerji tüketimi ve enerji verimliliği gibi enerjiyle ilgili göstergelerdeki değişikliklerin bir ülkeyi kümeler arasında hareket ettiren ana itici güçler olduğunu göstermiştir.

Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) için yapılan çalışmalar kapsamında Atal (2015), tez çalışmasında (OECD) üyesi 34 ülkenin sosyoekonomik durumlarını içeren otuz göstergesi ele almıştır. Bulanık kümeleme yöntemi olan k-medoid kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. Analiz sonucunda OECD ülkelerinin gelişmiş ve daha az gelişmiş şeklinde kümelere ayrıldığı bulunmuştur. Türkiye daha az gelişmiş ülkeler kümesinde yer aldığı görülmüştür. Türe ve Başer (2015), OECD ülkelerinin risk değerlendirmesini bulanık kümeleme analizi olan C-ortalamlar ile değerlendirmişlerdir. Ülke

risk faktörünün göstergesi olarak ödemeler dengesi, ekonomi ve genel hükümet göstergelerine ve politik risk faktörlerini dikkate almışlardır. OECD'nin aynı yıl yayınlanan ülke risk derecelendirmesi ile analiz sonuçları arasında korelasyon ise 0,728 gibi yüksek bir değer bulunmuştur.

Kümeleme yöntemleri kullanılarak enerji konusunda yapılan bir çalışmada Parobek vd. (2016) Avrupa Birliği'nin (AB) yenilenebilir kaynakların enerji üretimi ve tüketimini kümeleme analizi ile değerlendirmişlerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimi ve tüketiminde kullanımı AB ülkelerinde farklılık gösterdiği belirtilmiştir. Sonuç olarak seçilen değişkenler ile dokuz kümenin olduğu görülmüştür. Yenilenebilir kaynaklara sahip ekonomik olarak gelişmiş AB ülkelerinin, özellikle yenilenebilir kaynaklardan ve biyokütleden birincil enerji üretimine yüksek katkı yaptığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca küçük AB ülkeleri, odun üretimi veya enerji tüketimi gibi yenilenebilir kaynakların bulunabilirliği ve kullanımı açısından ortalamaların altında değerler göstermiştir.

Brodny ve Tutak (2020) çalışmasında AB ülkelerini yenilenebilir enerji kaynakları açısından enerji üretiminin yapısı ve hacmine göre benzer gruplara ayırmıştır. Ayrıca her bir AB ülkesinin nüfusu, bölgesi ve Gayri Safi Yurtiçi



Grafik 1: Avrupa Ülkeleri Yenilenebilir Enerji Oranı
Kaynak: Eurostat

Hasıla (GSYİH) değeri yenilenebilir enerji değerleriyle karşılaştırılmıştır. Analiz için k-ortalamları algoritması

kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda 4 küme etrafında ülkelerin dağıldığı görülmüştür. En yüksek üretime sahip AB ülkeleri arasında yenilenebilir enerji üretiminin hem yapısı hem de hacmi bakımından benzerliklerin İspanya ve Birleşik Krallık birinci kümede; Fransa, İtalya, İsveç ve Avusturya dördüncü kümede bulunmuştur. Buna karşılık Almanya, diğer AB ülkeleriyle karşılaştırılacak kadar benzerlikler göstermeyen homojen bir küme olarak bulunmuştur.

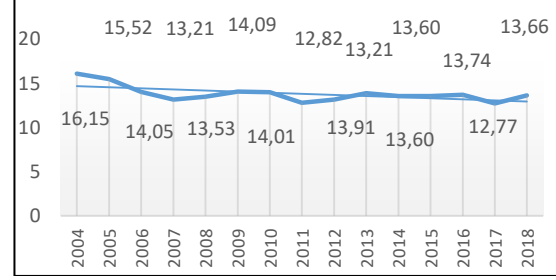
Avrupa Bölgesi Ülkelerinde Enerji Görünümü

Enerji kaynakları bakımından yoksun olan Avrupa Bölgesi enerji ihtiyacının çoğunu dış kaynaklardan ithal ederek sağlamaktadır. Bundan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetleri yüksek olmasına rağmen Avrupa Bölgesi için önemli bir yeri vardır.

Avrupa ülkeleri enerji verimliliği kazanımlarından dolayı 10 yıl öncesine kıyasla daha az enerji tüketmektedir. Aynı zamanda Avrupa ülkeleri enerji tasarrufları ve yenilenebilir enerji üretimine beklenenden daha hızlı uyum sağlamışlardır. Bundan dolayı Avrupa fosil yakıtlara daha az bağımlı hale gelmiştir. 2005-2015 yılları arasında AB'nin enerji tüketiminde yenilenebilir enerji payını %9'dan %17'ye çıkararak neredeyse ikiye katlamıştır. Ancak pazar payı giderek azalsa da fosil yakıtlar Avrupa'da baskın enerji kaynağı olmayı sürdürmektedir. 2015 yılı için enerji kullanımında fosil yakıtlar %72,6 pay ile hala ilk sırada yer almaktadır (Avrupa Çevre Ajansı, 2019). Fosil yakıtların kullanımının azaltılmasının ekonomik sebepleri olduğu gibi çevresel sebepleri de bulunmaktadır. AB sera gazı emisyonlarının azaltılması için gerekli çalışmaları yürüterek bu konuda hedefler belirlemektedir.

Avrupa Bölgesi ülkelerinin enerji konusundaki değerlendirmeleri incelendiğinde AB'ye üye olan ülkeler için karbon salınımının ön plana çıktığı görülmüştür. Sera gazı emisyonlarının azaltılarak ekonomik faaliyetler için yenilenebilir enerji kaynaklarını ön plana çıkarmak başlıca hedefler arasında gösterilmektedir. Hedefler incelendiğinde yenilenebilir enerjinin nihai tüketim içindeki payının 2020 yılında %20, 2030 yılında %32 ve 2050 yılında karbon salınımının sıfırlanması olarak görülmüştür (European Commission, 2014). 2018 yılı için AB ülkeleri için yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketim içindeki paylarının dağılımı Grafik 1'de görülebilir.

Grafik 1. incelendiğinde nihai tüketim içindeki yenilenebilir enerji kaynakları payının Avrupa ortalamasının %17,99 olduğu görülmektedir. 2020 hedefi olan %20 payı incelendiğinde sırasıyla Norveç, İsveç, Finlandiya, Letonya, Danimarka, Avusturya, Hırvatistan, Romanya, Bulgaristan, Çekya ve Sırbistan'ın hedeflerine ulaştıkları görülmektedir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji payı ise %13,66 ile Avrupa ortalamasının altındadır. Türkiye'nin yenilenebilir enerji payı yıllara göre değişimi Grafik 2'de görülebilir.



Grafik 2. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Payları
Kaynak: Eurostat

Grafik 2 incelendiğinde yenilenebilir enerji payının düşüş trendinde olduğu görülmektedir. AB ülkeleri için hedeflenen %20 oranının yakalanabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla yatırım yapılması gerekmektedir. Türkiye'nin enerji kaynakları kullanımı ve verimliliği konusunda çalışmaları devam etmektedir.

Enerji konusunda Türkiye'nin hedefleri ve yürüttüğü çalışmalar incelendiğinde, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı sitesinde yer alan enerji verimliliği bölümünde (<https://enerji.gov.tr/enerji-verimliliği>) Türkiye'nin Enerji Yoğunluğunun (milli gelir başına tüketilen enerji) 2023 yılına kadar, 2011 yılına göre en az %20 azaltılması hedeflenmiştir. Ayrıca, Türkiye'nin ilk enerji verimliliği eylem planı olan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2017-2023) 02/01/2018 tarihinde yürürlüğe girmiştir. 6 farklı sektörde bulunan 55 adet eylemin hayata geçirilmesi ile 2023 yılına kadar 10,9 milyar ABD Doları yatırım ile kümülatif olarak 23,9 milyon ton eşdeğer petrol enerji tasarrufu sağlanması beklenmektedir. Bu da 2023 yılında Türkiye'nin birincil enerji tüketiminde %14 oranında bir azalmaya denk gelmektedir. 2033 yılına kadar sağlanması beklenen tasarruf karşılığı ise 30,2 milyar dolardır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2019). Ekonomik olarak yaklaşıldığında bu hedeflerin öncelikle fosil yakıt tüketiminin azaltılması adına yapılması gerekenler olarak görülebilir.

Yenilenebilir enerji kaynakları adına Türkiye'nin çalışmaları değerlendirildiğinde, Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) "Yenilenebilir Enerji 2019" raporuna göre Türkiye'nin var olan yatırımlarının hayata geçmesiyle birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının 2024'te 63 gigavat olması beklenmektedir. Böylelikle yüzde 50 artış olacağı öngörülmektedir. Nihai kullanım içindeki %13,69 yenilenebilir enerji payı dikkate alındığında bu artışla birlikte AB hedefi olan %20'ye bir nebze yaklaşacağı söylenebilir.

ABÜ için enerji kullanımlarının incelenmesinde klasik kümeleme yerine bulanık kümeleme yöntemi tercih

edilmiştir. Böylelikle küme dışında kalan bir ülke olmadığı gibi alternatif kümeleme sonuçları da bulunmuştur.

Bulanık Kümeleme Analizi

Kümeleme analizi, bir araştırmada incelenen birimleri aralarındaki benzerliklerine göre belirli gruplar içinde toplayarak sınıflandırma yapmayı, birimlerin ortak özelliklerini ortaya koymayı ve bu sınıflar ile ilgili genel tanımlamalar yapmayı sağlayan bir yöntemdir. Burada amaç; gruplanmamış verileri benzerliklerine göre sınıflandırmak ve araştırmacıya uygun, işe yarar özetleyici bilgiler elde etmede yardımcı olmaktır (Tatlidil, 2002). Böylece kümeler arasında heterojen bir yapı elde edilirken küme içindeki elemanların homojen yapıda olması sağlanır.

Bulanık kümeleme analizi, kümeler birbirinden belirgin bir şekilde ayrılmıyorsa ya da üyeliklerinde bazı birimler küme üyeliğinde kararsızsa uygun bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Bulanık Kümeler kümedeki birimin üyeliği olarak tanımlanan 0 ile 1 arasındaki her birimi belirleyen fonksiyonlardır. Birbirine çok benzeyen birimler aynı kümede yüksek üyelik derecesine göre yer alırlar (Erilli, 2009). Birimlerin nihai kümeleme sonuçlarına karar verilirken üyelik dereceleri dikkate alınır. Genel olarak üyelik derecesi 0,5 ve daha büyük olan birimler ilgili kümenin elemanı olarak değerlendirilir. Ancak birimlerin tamamında üyelik dereceleri 0,5'ten küçük olması durumunda en büyük üyelik derecesine sahip olan birim kümeye dahil edilmektedir. Bu çalışmada bulanık kümeleme yöntemlerinden Bulanık C-Ortalamlar, Polinomal Bulanık Kümeler ve Bulanık K-Medoids incelenmiştir. Farklı kümeleme yöntemleri seçilerek elde edilen sonuçların karşılaştırılmaları yapılarak ortak sonuç çıkartılmıştır. Burada;

$X = [x_{ij}]$: (nxt) boyutunda veri matrisi

$U = [u_{ig}]$: (n x k) boyutunda üyelik derecesi matrisi

$H = [h_{gj}]$: (kxt) prototip matrisi

$m(>1)$: bulanıklık parametresi

k: küme sayısı, n: nesne sayısı ve t: veri sayısıdır. Bu durumda Bulanık C-Ortalamlar (Fuzzy C-Means) (FCM) kümeleme yöntemi amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\min_{U,H} J_{FKM} = \sum_{i=1}^n \sum_{g=1}^k u_{ig}^m d^2(x_i, h_g) = \sum_{i=1}^n \sum_{g=1}^k u_{ig}^m \|x_i - h_g\|^2$$

Olmak üzere,

$$u_{ig} \in [0,1], \sum_{g=1}^k u_{ig} = 1, \text{şeklindedir.}$$

FkM algoritması sonuçlandırıldığında, p boyutlu uzaydaki noktalar küresel bir şekil halini alır. Her bir kümeyi, küme merkezleri temsil eder ve bunlara prototip denmektedir. Uzaklık ölçüsü olarak, veriler ile küme merkezleri arasındaki Öklid uzaklığı kullanılır (Bezdek, 1974).

Polinomal Bulanık Kümeler (Fuzzy Clustering with Polynomial Fuzzifier) (FkM.pf) bulanık kümeleme yönteminde üyelik derecelerini [0,1] aralığında değerlendirir. Buna göre;

$$\min_{U,H,F_1 \dots F_k} J_{FKM.pf} = \sum_{i=1}^n \sum_{g=1}^k h(u_{ig}^m) d^2(x_i, h_g),$$

olmak üzere

$$u_{ig} \in [0,1], \sum_{g=1}^k u_{ig} = 1 \text{ 'dir.}$$

Burada $h(u_{ig}) = \left(\frac{1-\beta}{1+\beta} u_{ig}^2 + \frac{2\beta}{1+\beta} u_{ig} \right)$ polinomal

bulanıklaştırma fonksiyonu ve $\beta \in [0,1]$ için $\beta = 0$ ise $m=2$ olan FkM iken $\beta = 1$ kaba K-ortalamlar kümeleme yöntemi elde edilmiş olur (Klawonn ve Höppner, 2003).

Bulanık K-Medoids (Fuzzy K-Medoids)(FkMed) kümeleme yönteminde bulanık k-medoid kümeleme algoritmasını kullanır. Burada FkM'de kümeleme nesnelerin ağırlıklı ortalamaları üzerinden hesaplanırken, FkMed yönteminde küme prototipleri (medoidler) gözlemlenen nesnelerin bir alt kümesidir. Buna göre,

$$\min_{U,M} J_{FKMed} = \sum_{i=1}^n \sum_{g=1}^k u_{ig}^m d^2(x_i, m_g), \text{ olmak üzere,}$$

$u_{ig} \in [0,1], \sum_{g=1}^k u_{ig} = 1 \text{ 'dir. Ayrıca bu denklem}$

$\{m_g, g = 1, \dots, k\} \subset \{x_i, i = 1, \dots, n\}$ şeklinde tanımlanır.

Burada $\{m_g, g = 1, \dots, k\} \subseteq \{x_i, i = 1, \dots, n\}$ medoidler gözlenen kümenin bir alt kümesidir. Bulanık k-medoid algoritması genellikle standart FkM algoritmasından daha güçlü olduğu söylenebilir (Krishnapuram vd., 2001). Uygulama da R program dili için açık kaynak kodlar

kullanılmıştır (Ferraro ve Giordani, 2015). Ayrıca R programlama dili bulanık kümeleme paketlerinden yararlanılmıştır (Maechler, Rousseeuw, Struyf, Hubert, Hornik, 2017; Kassambara ve Mundt, 2017).

Bulanık Kümeleme Yöntemlerinde Küme Geçerlilik İndeksleri

Kümeleme sonuçlarının doğrulaması, yapılan analizlerin değerlendirme sürecidir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda çeşitli küme geçerlilik indeksleri önerilmiştir. Önsel bilginin yer almadığı kümeleme analizi yöntemlerinde dışarıdan herhangi bir bilgi girdisi olmadan eldeki veriler yardımıyla analiz yapılmaktadır. Bundan dolayı analizde kullanılan veriler aynı zamanda kümeleme sonuçlarını doğrulamak içinde kullanılır. Klasik kümeleme yöntemleri için kullanılan küme geçerlilik indeksleri bulanık yapılara uyarlanarak bulanık kümeleme yöntemlerinde de kullanılmaktadır.

Birçok kümeleme algoritması küme sayısının önceden bilinmesini gerektirir. Gerçek verilere dayalı çalışmalarda; araştırmacının küme sayısı hakkında ön bilgisinin olmaması, bulunan küme sayısının gerçek küme sayısından az ya da çok olup olmadığının bilinmemesine yol açmaktadır. Optimal küme sayısının belirlenme işlemlerine genel olarak Küme Geçerliliği (Cluster Validity) adı verilmektedir. Böylece kümeleme işlemleri yapıldıktan sonra bulunan küme sayısının doğruluğunu tespit edilebilmektedir (Erilli, 2009). Uygulama sırasında kümeleme sonuçlarını doğrulamak için Bulanık Silhouette, Bölünme Entropi, Bölünme Katsayısı, Düzenlenmiş Bölünme Katsayısı ile Xie ve Beni indeksleri kullanılmıştır. Burada;

n ; küme sayısı için k , optimal küme sayısı
 a_i ; ilgili nesne ile aynı kümeye ait tüm nesnelere arasındaki ortalama benzerlik
 b_i ; i 'nin üye olmayan diğer kümelere en düşük ortalama benzerliği
 $u_{ig}, u_{ig'}$; U -uncu satırının birinci ve ikinci en büyük elemanları
 α ; ağırlıklandırma katsayısı (genellikle $\alpha=1$) kullanılır
 x_i ; i . veri noktasını
 h_g ; g . küme prototipini göstermektedir. Buradaki tanımlar yardımıyla Bulanık Silhouette İndeksi (Fuzzy Silhouette Index) (FSI) hesaplanması aşağıdaki gibidir.

$$FS(k) = \frac{\sum_{i=1}^n (u_{ig} - u_{ig'})^\alpha s_i(k)}{\sum_{i=1}^n (u_{ig} - u_{ig'})^\alpha}, \text{ olmak üzere burada}$$

$$s_i(k) = \frac{b_i - a_i}{\max(b_i, a_i)}, \text{ } i \text{ nesne için Silhouette indeksidir}$$

(Campello ve Hruschka, 2006). İndeks değeri en büyük olan kümeleme sonucu ideal küme sayısı olarak belirlenir.

Bölünme Entropi İndeksi (Partition Entropy) (PE) belirlenmesinde ise aşağıdaki formül kullanılır.

$$PE(k) = - \sum_{i=1}^n \sum_{g=1}^k \frac{u_{ig} \log(u_{ig})}{n} \text{ formülü ile PE}$$

hesaplanır (Bezdek, 1974). PE küme geçerlilik indeksi için indeks değeri en küçük olan kümeleme sonucu ideal küme sayısını vermektedir.,

Bölünme Katsayısı (Partititon Coefficient) (PC) küme geçerlilik indeksi hesaplamasında aşağıdaki formül kullanılır.

$$PC(k) = \sum_{i=1}^n \sum_{g=1}^k \frac{(u_{ig})^2}{n}, \text{ formülü yardımıyla PC hesaplanır}$$

(Bezdek, 1974). PC yöntemi için en büyük indeks değeri ideal küme sayısı olarak belirlenmektedir.

Düzenlenmiş Bölünme Katsayısı (Modified Partition Coefficient) (MPC) yöntemi ile hesaplamalarda aşağıdaki formül kullanılır.

$$MPC(k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\max_{j=1}^k u_{ij} \right)^2, \text{ formülü ile MPC}$$

hesaplanır (Fan, Wu ve Ma, 2000). MPC yöntemi için en büyük indeks değeri ideal küme sayısı olarak belirlenmektedir

Xie ve Beni İndeksi (XB) yöntemi kullanılırken aşağıdaki formül kullanılır.

$$XB(k) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{g=1}^k \frac{u_{ig}^m d^2(x_i, h_g)}{n}}{n \min_{g, g' (g \neq g')} d^2(h_g, h_{g'})}, \text{ formülü yardımıyla XB}$$

hesaplanır (Xie ve Beni, 1991). XB yöntemi için en küçük indeks değeri ideal küme sayısı olarak belirlenmektedir.

Bulanık Kümeleme Sonuçları Görselleştirme Yöntemleri

Kümeleme işlemlerinde elde edilen sonuçların görselleştirilmesi yorumlama adımında kolaylık sağlamaktadır. Bulanık kümeleme sonuçlarında küme sınırları klasik kümelemeye ayrı olarak üyelik derecelerine göre esnek bir yapıya sahiptir.

İlk olarak Bulanık Kümeleme Sonuçlarının Görsel Denetimi (Visual Inspection of Fuzzy Clustering Results) (VIFCR) yöntemiyle sonuçlar görselleştirilmiştir. Üyelik

dereceleriyle ilgili ölçeklenmiş frekansların grafik diyagramıdır. Elde edilmek istenilen küçük mesafeler için yüksek üyelik dereceleri ve büyük mesafeler için düşük üyelik dereceleri elde etmektir (Klawonn vd., 2003). Üyelik derecelerin normalleştirilmesi sonucunda elde edilen üyelik derecelerini gösteren görselleştirme yöntemidir.

Eğilimin Görsel Değerlendirmesi Yöntemi (Visual Assessment of Tendency) (VAT) görselleştirme yönteminde ise; nesnelere arasındaki benzerlik matrisi, $R = [rij]$ dikkate alınır. Matris benzerlik derecelerine göre yeniden düzenlenerek R^* elde edilir. Görüntü çıktısı olarak $I(R^*)$ değeri verilir. Ana diyagonal boyunca koyu blokların sayısı, kümelerin sayısını ve her bloğun boyutunu kümenin yaklaşık büyüklüğünü temsil eder (Bezdek ve Hataway, 2003).

Görsel Küme Geçerliliği Yöntemi (Visual cluster validity) (VCV) yönteminde; öncelikle kümeler sıralanır ve her kümedeki nesnelere üyelik dereceleri dikkate alınarak sıralanır. Daha sonra, x_i ve x_j nesnesi arasındaki farklar dikkate alınır. “d” uzaklık belirtmek üzere aşağıdaki farklılıklar kullanılır:

$$r_{ij} = \min_{1 \leq g \leq k} \{d_{ig} + d_{jg}\}, \quad \text{olmak üzere burada}$$

$d_{ig} = d(x_i, h_g)$ hesaplanır. Son olarak, bilgi ve yoğunluk görüntüsü $I(R^*)$ görüntülenir (Hathaway ve Bezdek, 2003).

Görsel Küme Geçerliliği Yöntemi-2 (Visual cluster validity-2) (VCV2) yönteminde ise; üyelik dereceleri matrisi U , VAT yöntemiyle elde edilen R^* indeks dizisi kullanılarak yeniden sıralanır. Elde edilen \hat{U} matrisi, kare matrise dönüştürülür.

$U^* = \mathbf{1}_n - (\hat{U}^T \hat{U} / \max\{\hat{U}^T \hat{U}\}_{ij})$ sonucunda ekran görüntüsü $I(U^*)$, küme sayısının yeterliliğini kontrol etmek için $I(R^*)$ ile karşılaştırılır (Huband ve Bezdek, 2008).

Uygulama

Bulanık kümeleme yöntemleri ile küme geçerlilik indeksleri ve görselleştirme yöntemleri açıklandıktan sonra uygulama adımına geçilmiştir. Uygulama adımında öncelikle veri seti ile kullanılan değişkenler tanımlanmıştır. Normalleştirme işlemi sonucunda elde edilen veriler için Bulanık C-Ortalamalar, Polinomal

Bulanık Kümeler ve Bulanık K-Medoids kümeleme yöntemleri kullanılmıştır. Her kümeleme yöntemi adımında küme geçerlilik indeksleri, kümelerin Öklid uzaklıkları, kümelerin dağılımı ve görüntü çıktısı sırasıyla gösterilmiştir.

Veri Seti ve Kullanılan Değişkenler

Çalışma kullanılan değişkenler Avrupa Bölgesi içerisinde yer alan ülkelerin 1990-2017 yılları arasındaki Dünya Bankası veri tabanında bulunan 13 adet enerji verisini kapsamaktadır

(<https://databank.worldbank.org/source/sustainable-energy-for-all>). 41 adet Avrupa Bölgesi ülkesi için Liechtenstein ve Moldova için enerji verilerinin eksik olmasından dolayı değerlendirmeye alınmamıştır. Enerji verisi olarak alınan değerler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Enerji Kullanımı Değişkenleri

Kodu	Açıklaması
D-1	Brüt mevcut enerjide fosil yakıtların payı (Oran)
D-2	Elektrik tedariki, dönüşümü ve tüketimi (Gigavat/Saat)
D-3	Enerji ithalatı bağımlılığı (Oran)
D-4	Enerji verimliliği (Milyon ton petrol eşdeğeri)
D-5	Doğalgaz nihai enerji kullanımı (Terajoule)
D-6	Güneş kolektörleri yüzeyi (Bin metrekaare)
D-7	Isınma ortalama kullanılan ham petrol net kalorifik değeri (Ton başına megajoule)
D-8	Katı fosil yakıtlar nihai tüketim (Bin ton)
D-9	Nihai enerji tüketiminde yakıtların payı (Oran)
D-10	Petrol ve petrol ürünleri nihai tüketim (Bin ton)
D-11	Isınma için son tüketim (Terajoule)
D-12	Brüt elektrik üretimi toplamı (Bin ton petrol eşdeğeri)
D-13	Yenilenebilir enerji ve atıkların temini, dönüşümü ve tüketimi toplamı (Terajoule)

Uygulama sırasında analiz adımına geçilmeden önce değişkenler arasındaki ilişkiler kontrol edilmiş ve normalleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Normalizasyon için X^* yeni değeri göstermek üzere aşağıda tanımlanan min-max yöntemi kullanılmıştır.

$$X^* = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

Uygulama sırasında FCM, FkM.pf ve FkMed bulanık kümeleme yöntemleri kullanılmıştır. Küme sayıları küme geçerlilik indeksleri sonuçlarına göre karar verilmiştir. Öncelikle FCM kümeleme analizi sonucunda elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Kümeleme işlemine başlamadan önce ideal küme sayısı için elde edilen indeks değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. FCM Küme Geçerlilik İndeks Değerleri

Küme Sayısı	2	3	4	5	6
FSI	0.4875	0.6477	0.5398	0.6310	0.6421
PE	0.6317	0.5333	0.9736	1.0449	1.2539
PC	0.6485	0.6496	0.4551	0.4551	0.3810
MPC	0.2970	0.4744	0.2735	0.3189	0.2572
XB	0.2559	1.8210	1.2909	1.9231	1.8841

Tablo 2 incelendiğinde ideal küme sayısı 3 olarak belirlenmiştir.

Kümeleme işlemi sonucunda oluşan kümelerin Öklid uzaklıkları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. FCM Kümelerin Öklid Uzaklık Matrisi

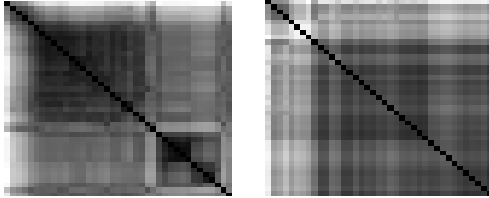
	Küme-1	Küme-2
Küme-2	16.96	
Küme-3	38.64	64.84

Kümeleme işlemi sonucunda maksimum üyelik derecesi 0.5'ten küçük bir sonuçla karşılaşmadığı için küme değeri belli olmayan herhangi bir ülke yoktur. Kümeleme işlemi sonucunda elde edilen kümelere göre ülkelerin dağılımı Tablo 4'te verilmiştir. Kümeleme sonuçları enerji kullanım değerlerine göre yüksek, orta ve düşük olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. FCM Kümelerin Dağılımı

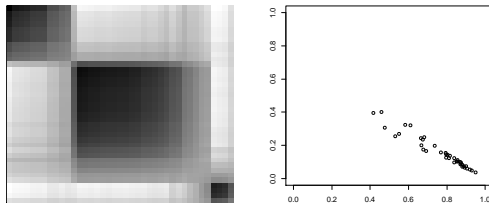
Orta		Yüksek	Düşük
Norveç	Belçika	Macaristan	Almanya
Hırvatistan	Bulgaristan	Polonya	Fransa
Makedonya	Çekya	Türkiye	İtalya
Arnavutluk	Danimarka	Hollanda	İngiltere
Sırbistan	Letonya	Avusturya	İspanya
Slovakya	İrlanda	Portekiz	Slovenya
Finlandiya	Yunanistan	Romanya	İzlanda
İsveç	Ukrayna		Karadağ
			Bosna Hersek
			Kosova
			Gürcistan

Tablo 4 incelendiğinde yüksek değerlere sahip ülkelerin Almanya, Fransa, İtalya, İngiltere ve İspanya olduğu görülmüştür. Şekil 1' de FCM sonuçları için sırasıyla VAT ve VCV görsel sonuçları verilmiştir.



Şekil 1. FCM için VAT ve VCV Görüntü Çıktısı

Şekil 1 incelendiğinde VAT görselinde bulunan ana köşegen boyunca kümelerin dağılımı ve sınırları görülebilmektedir. Burada koyudan açık renge doğru kümelerin sınırları verilmiştir. VCV çıktısında ise kümelerin sıralanması sonrası elemanların küme üyelik derecelerine göre çıktısını vermektedir. Şekil 2' de FCM için VCV2 ve VIFCR sonuçları verilmiştir.



Şekil 2. FCM için VCV2 ve VIFCR Görüntü Çıktısı

Şekil 2 incelendiğinde VCV2 çıktısı üyelik dereceleri sonuçlarının VAT yöntemiyle sıralanmasıdır. Kümelerin sınırları koyudan açık renge doğru belirlenmiştir. VIFCR çıktısında ise üyelik derecelerinin normalleştirme sonucunda elde edilen değerlerinin görselidir. Diğer kümeleme sonuçları için elde edilen görsel çıktılar aynı şekilde yorumlanabilir.

Uygulamaya diğer bulanık kümeleme yöntemi olan FKM.pf sonuçları incelenerek devam edilmiştir. Kümeleme işlemine başlamadan önce ideal küme sayısı için elde edilen indeks değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. FkM.pf İdeal Küme Sayısı İndeksleri

Küme Sayısı	2	3	4	5	6
FSI	0.6968	0.6997	0.3343	0.3329	0.3212
PE	0.0662	0.0453	0.0562	0.0472	0.1212
PC	0.9561	0.9688	0.9667	0.9609	0.9212
MPC	0.9123	0.9533	0.9556	0.9636	0.9054
XB	0.2354	0.2233	0.9734	0.8246	1.2106

Tablo 5 incelendiğinde ideal küme sayısı 3 olarak belirlenmiştir. Kümeleme işlemi sonucunda oluşan kümelerin Öklid uzaklıkları Tablo 6' da verilmiştir.

Tablo 6. FkM.pf Kümelerin Öklid Uzaklık Matrisi

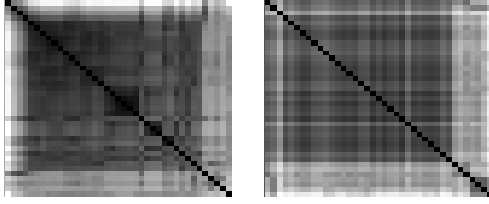
	Küme-1	Küme-2
Küme-2	31.24	
Küme-3	25.84	36.03

Kümeleme işlemi sonucunda elde edilen kümelere göre ülkelerin dağılımı Tablo 7'de verilmiştir. Kümeleme işlemi sonucunda maksimum üyelik derecesi 0.5'ten küçük bir sonuçla karşılaşmadığı için küme değeri belli olmayan herhangi bir ülke yoktur.

Tablo 7. FkM.pf Kümelerin Dağılımı

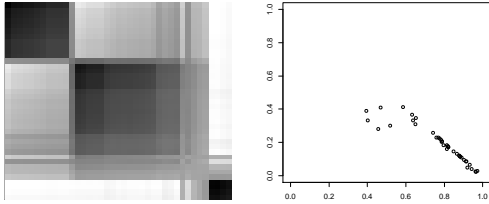
Düşük		Yüksek	Orta
Norveç	Belçika	Macaristan	Almanya
Hırvatistan	Bulgaristan	İspanya	Fransa
Makedonya	Çekya	Gürcistan	İtalya
Arnavutluk	Danimarka	Hollanda	İngiltere
Sırbistan	Letonya	Avusturya	
Slovakya	İrlanda	Portekiz	
Finlandiya	Yunanistan	Romanya	
İsveç	İzlanda	Lüksemburg	
Estonya	Karadağ	Malta	
Kıbrıs	Bosna Hersek	Slovenya	
Litvanya	Kosova		

Tablo 7 incelendiğinde enerji kullanımı yüksek olan ülkeler Almanya, Fransa, İtalya ve İngiltere olarak belirlenmiştir. FkM.pf için VAT ve VCV görüntü çıktıları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. FkM.pf için VAT ve VCV Görüntü Çıktısı

FkM.pf için VCV2 ve VIFCR görüntü çıktıları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. FkM.pf için VCV2 ve VIFCR Görüntü Çıktısı

Son bulanık kümeleme sonucu olan FkMed kümeleme analizi sonuçları incelenmiştir. Kümeleme işlemine başlamadan önce ideal küme sayısı için elde edilen indeks değerleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. FkMed İdeal Küme Sayısı İndeksleri

Küme Sayısı	2	3	4	5	6
FSI	0.6797	0.3362	0.2587	0.0141	0.1044
PE	0.0454	0.2357	0.3834	0.5499	0.5436
PC	0.9707	0.8558	0.7787	0.6803	0.7060
MPC	0.9415	0.7837	0.7050	0.6004	0.6473
XB	0.3463	2.4258	3.3619	3.9291	3.2990

Tablo 8 incelendiğinde ideal küme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Kümeleme işlemi sonucunda oluşan kümelerin Öklid uzaklıkları Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. FkMed Kümelerin Öklid Uzaklık Matrisi

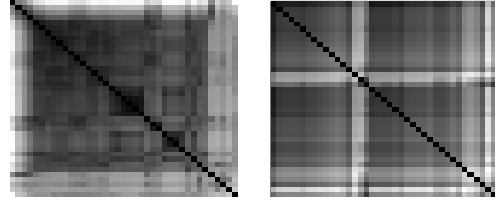
	Küme-1
Küme-2	28.76

Kümeleme işlemi sonucunda elde edilen kümelere göre ülkelerin dağılımı Tablo 10'da verilmiştir. FkMed kümeleme analizi sonucunda oluşan kümeler için ülkelerin kümelere ait olma yani üyelik dereceleri 0.5'ten küçük bir sonuçla karşılaşmadığı için küme değeri belli olmayan herhangi bir ülke yoktur.

Tablo 10. FkMed Kümelerin Dağılımı

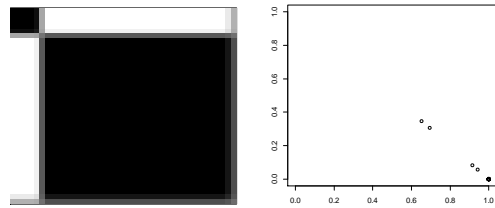
Düşük				Yüksek
Belçika	Bulgaristan	Çekya	Malta	Almanya
Danimarka	İrlanda	Yunanistan	Slovenya	Fransa
Estonya	Hırvatistan	Letonya	İzlanda	İtalya
Macaristan	Hollanda	Avusturya	Karadağ	İngiltere
Kıbrıs	Portekiz	Romanya	Bosna Hersek	İspanya
Slovakya	Finlandiya	İsveç	Kosova	
Norveç	Makedonya	Arnavutluk	Gürcistan	
Sırbistan	Litvanya	Lüksemburg	Türkiye	
Polonya	Ukrayna			

Tablo 10 incelendiğinde yüksek yoğunlukta enerji kullanımı olan ülkelerin Almanya, Fransa, İtalya, İngiltere ve İspanya olduğu görülmüştür. Şekil 5'te FkMed için VAT ve VCV görüntü çıktıları verilmiştir.



Şekil 5. FkMed için VAT ve VCV Görüntü Çıktısı

FkMed için VCV2 ve VIFCR sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. FkMed için VCV2 ve VIFCR Görüntü Çıktısı

Elde edilen kümeleme sonuçları için Tablo 4, Tablo 7 ve Tablo 10 incelendiğinde tablolarda her seferinde aynı kümede yer alan elemanlar dikkate alınarak tablolar birleştirilmiştir. Birleşim tablosu olan Tablo 11.'de FkM, FkM.pf ve FkMed bulanık kümeleme yöntemlerinin ayrı ayrı düşük, orta ve yüksek seviyelerinde kesişim kümelerinde yer alan elemanlar kullanılmıştır.

Tablo 11. Bulanık Kümeleme Birleşim Tablosu

	Düşük	Orta	Yüksek
Norveç	Belçika	Macaristan	Polonya
Hırvatistan	Bulgaristan	Kosova	Türkiye
Makedonya	Çekya	Gürcistan	Ukrayna
Arnavutluk	Danimarka	Hollanda	İngiltere
Sırbistan	Letonya	Avusturya	İspanya
Slovakya	İrlanda	Portekiz	
Finlandiya	Yunanistan	Romanya	
İsveç	İzlanda	Lüksemburg	
Estonya	Karadağ	Malta	
Kıbrıs	Bosna Hersek	Slovenya	
Litvanya			

SONUÇ

Enerjiye kaynaklarına erişim, toplumların gelişmesi ve varoluşu için stratejik öneme sahip olduğundan, kesintisiz teslimatlarının sağlanması konusu, ABÜ ekonomileri için öncelikli önem taşımaktadır. Bölge devletlerin ithalata bağımlı olmalarından dolayı enerji politikasında stratejik çözümlerin hazırlanması ve tasarlanması ihtiyacını doğurmaktadır. Örneğin bölge ülkelerinin kümelere benzer yapılarını dikkate alarak uzun vadeli stratejiler oluşturmak için kullanılabilir.

Avrupa Bölgesi ülkelerinin enerji kaynakları bakımından kümeleme sonuçları FkM, FkM.pf ve FkMed bulanık kümeleme yöntemleri ile incelenmiştir. Kümeleme yöntemleri öncesinde ideal küme sayıları FSI, PE, PC, MPC ve XB yöntemleri ile küme sayısı iki ile altı arasında değişecek şekilde kontrol edilmiştir. İdeal küme sayısı, FkM için üç, FkM.pf için üç ve FkMed içinde iki bulunmuştur.

Bulanık kümeleme sonuçları ortak olarak incelendiğinde kümeleme sonuçları üç ana küme altında toplanacak şekilde elde edilmiştir. Kümeler enerji kullanımı düzeyine göre yüksek, orta ve düşük olacak şekilde belirlenmiştir. Kümeleme yöntemlerinin tamamında yüksek düzey kümesi elemanlarının ortak olarak yer aldığı görülmüştür. FkMed kümeleme sonucunun düşük ve yüksek düzey şeklinde iki küme elde edilmesi harici FkM ve FkM.pf yöntemlerinde orta düzey kümesinde elemanların ortak olduğu görülmüştür. Buna göre yüksek düzey enerji kullanımında Almanya, Fransa, İngiltere, İtalya ve İspanya, orta düzey enerji kullanımında ise Polonya, Türkiye ve Ukrayna olmak üzere diğer ülkelerin düşük düzeyde enerji kullanımı kümesinde olduğu görülmüştür. Uygulamaya konu olan ülkelerin ele alınan değerleri incelendiğinde yüksek düzey enerji kullanımı kümesinde yer alan ülkeler tüm ülkelerin %12,82'si olmasına rağmen enerji kullanımları ortalamalarına göre %24,41'ine tekabül etmektedir. Orta düzey enerji kullanımlarında ise ülkeler %7,69'u olmasına rağmen enerji kullanımı ortalamalarına göre %12,16'sına karşılık gelmektedir. Düşük düzey enerji kullanımlarında ise ülkeler %79,49'u olmak üzere enerji kullanımı ortalamalarına göre %63,43'üne karşılık gelmektedir.

Enerji kullanımı ve karbon salınımı konusunda ABÜ dikkate alındığında yüksek, orta ve düşük düzey ülkeler dikkate alınarak planların yapılması etkinliğini artıracaktır. Ayrıca Avrupa enerji ithalatçısı konumunda olduğundan enerji yolları bu kümeleme sonuçları dikkate alınarak yapılabilir. Sonuçlar ortak bir enerji ve iklim politikasının geliştirilmesi ve AB ülkelerinin ekonomik entegrasyonu için kullanılabilir. Sonraki çalışmalar için farklı değişkenler ve kümeleme yöntemleri kullanılarak bölgesel analizler yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Aksoy M. (2016). “Dünyanın Enerji Görünümü”, İHH İnsani ve Sosyal Araştırmalar Merkezi, Araştırma Raporları.
- Atal, S. (2015). “Bulanık kümeleme analizi ve OECD ülkelerinin gelişmişlik bakımından kümelendirilmesi” (Master's thesis, ESOGÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Avrupa Çevre Ajansı, (2019). “Avrupa’da Enerji” — Mevcut durum. <https://www.eea.europa.eu/tr/isaretler/isaretler-2017-avrupa2019da-enerjinin-gelecegini/makaleler/avrupa2019da-enerji-2014-mevcut-durum>
- Bezdek, J.C. (1974). “Cluster validity with fuzzy sets”, J. Cybern., 3: 58-73.
- Bezdek J.C., (1981). “Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms”, Plenum. NY. <https://isbsearch.org/isbn/0306406713>
- Bluszcz, A. (2017). “European economies in terms of energy dependence”, Quality & Quantity, 51(4), 1531-1548.
- Bocquillon, P., & Maltby, T. (2020). “EU energy policy integration as embedded intergovernmentalism: the case of Energy Union governance”, Journal of European Integration, 42(1), 39-57.
- Brodny, J., & Tutak, M. (2020). “Analyzing similarities between the European Union countries in terms of the structure and volume of energy production from renewable energy sources”, Energies, 13(4), 913.
- Campello, R. J., & Hruschka, E. R. (2006). “A fuzzy extension of the silhouette width criterion for cluster analysis”, Fuzzy Sets and Systems, 157(21), 2858-2875.
- Erilli, N.A. (2009). “Kümeleme Analizine Bulanık Yaklaşım Algoritmaları ve Uygulamaları”, 19 Mayıs Üniv., Fen Bilimleri Enst., Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Samsun.
- Erilli, N. A., & Karaköy, Ç. (2015). “Türk Cumhuriyetlerinin Bulanık Kümeleme Analizi ile Belirlenen Ekonomik Göstergelerle Sınıflandırılması”, International Conference on Eurasian Economies, Session 6B: Bölgesel Ekonomiler II, 305-310.
- European Commission (2014), “A Policy Framework for Climate and Energy in The Period from 2020 to 2030”, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52014DC0015>, (13.10.2020).
- European Statistical System, Eurostat Documents, (12 February 2019). Renewable energy in the EU. <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- Fan, J. L., Wu, C. M., & Ma, Y. L. (2000, August). “A modified partition coefficient. In WCC 2000-ICSP 2000. 2000 5th International Conference on Signal Processing Proceedings”, 16th World Computer Congress 2000 (Vol. 3, pp. 1496-1499). IEEE.
- Ferraro, M.B. & Giordani, P. (2015). “A toolbox for fuzzy clustering using the R programming language”, Fuzzy Sets and Systems, 279, 1-16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fss.2015.05.001>
- Hathaway RJ, Bezdek JC., (2003). Pattern Recognition Letters 24, 1563–1569.
- Huband JM, Bezdek JC. In: J.M. Zurada et al. (eds.), (2008). WCCI 2008, LNCS 5050, pp. 293–308.
- İHH İnsani ve Sosyal Araştırmalar Merkezi (2016). Araştırma Raporları, Dünyanın Enerji Görünümü, https://insamer.com/tr/dunyanin-enerji-gorunumu_388.html
- <http://cran.r-project.org/web/packages/fclust/index.html>, Erişim(12/12/2019)
- <https://www.iea.org/reports/renewables-2019>, Erişim (10/11/2019)
- Kassambara, A. & Mundt, F. (2017). “factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses”, R package version 1.0.5. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>
- Kesbiç, C. Y., & Şimşek, H. (2011). “Avrupa Birliği Ortak Enerji Politikası”, Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırmaları Dergisi, 1(5).
- Klawonn F., Chekhtman V., Janz E., (2003). “Visual inspection of fuzzy clustering results”, In Benitez J.M., Cordon O., Hoffmann, F., Roy R. (Eds.): Advances in Soft Computing - Engineering Design and Manufacturing, pp. 65-76. Springer, Londo
- Klawonn F, Höppner F., (2003). In: Advances in intelligent data analysis (LNCS 2779, pp. 254-264).
- Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M. & Hornik, K.(2017). cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions. R package version 2.0.6. <https://CRAN.R-project.org/package=cluster>
- Parobek, J., Paluš, H., Kalamárová, M., Loučanová, E., Šupín, M., Křižanová, A., & Štofková, K. R. (2016). “Energy Utilization of Renewable Resources in the European Union—Cluster Analysis Approach”, BioResources, 11(1), 984-995.
- Krishnapuram, R., Joshi, A., Nasraoui, O., & Yi, L. (2001). “Low-complexity fuzzy relational clustering algorithms for web mining”, IEEE transactions on Fuzzy Systems, 9(4), 595-607.
- Sepehr, M. J., Haeri, A., & Ghousi, R. (2019). “A cross-country evaluation of energy efficiency from the sustainable development perspective”, International Journal of Energy Sector Management.
- Xie L., Beni G., (1991). “A Validity Measure For Fuzzy Clustering”, IEEE Trans, On Pattern Analysis And Machine Int. 13(4),pp 841-846.
- Tatlıdil, H. (2002). “Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel analiz”, Engin Yayınları, Akademi Matbaası, Ankara.
- Türe, H., & Başer, F. (2015). “Bulanık C-Ortalama Kümeleme Algoritması ile Ülke Risk Değerlendirmesi”, Ekonometri ve İstatistik Dergisi, (23), 16-33.
- Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2019). “Enerji Verimliliği”, <https://enerji.gov.tr/enerji-verimliliği>, Erişim (10/11/2019)
- Yorkan, A. (2009). “Avrupa Birliği'nin Enerji Politikası ve Türkiye'ye Etkileri”, Bilge Strateji, 1(1), 24-39.
- Zippel, W. (2006). “Enerji Kaynaklarını Çeşitlendirme Yaklaşımları Altında AB'nin Enerji Politikası”, Avrupa ve Orta Asya Arasındaki Enerji Köprüsü Türkiye, Editörler: Werner Gumpel-Alpay Hekimler, Konrad-Adenauer-Stiftung Yayını, Ankara.

EK-1

1. Adım Gerekli Program Paketleri
 - require(ppclust)
 - require(factoextra)
 - require(dplyr)

- require(cluster)
- require(fclust)
- require(psych)
- 2. Adım Uygulama Dosyası “ne” R Programına Tanıtılması
- “ne” dosyası not defteri üzerinden ondalık ayıracı nokta olacak şekilde seçilmelidir.
- Her satırda ülkeler yer almak üzere sütunlar değişkenlerin normalleştirilmiş değerleridir.
- data(ne)
- 3. Adım FkM, FkM.pf ve FkMed için “k” Küme Sayısını Belirtmek Üzere
- fkm <- FKM(X = ne[,1:(ncol(ne)-1)], k = 2, m = 1.5, stand = 1, RS = 10)
- fkm <- FKM.pf(X = ne, k = 2, stand = 1, RS = 10)
- fkm <- FKM.med(ne[,1:(ncol(ne)-1)],k=2,m=1.1,RS=10,stand=1)
- Bulanık kümeleme yöntemi ve “k” değeri değiştirilerek kümeleme sonuçları incelenebilir.
- 4. Adım FkM için Küme Geçerlilik İndekslerinin Hesaplanması
- idxsf <- SIL.F(fkm\$Xca, fkm\$U, alpha=1)
- idxpe <- PE(fkm\$U)
- idxpc <- PC(fkm\$U)
- idxmpc <- MPC(fkm\$U)
- xb <- XB(fkm\$Xca,fkm\$U,fkm\$H,fkm\$m)
- 5. Adım FkM için Küme Geçerlilik İndekslerinin Çıktısı
- cat("Fuzzy Silhouette Index: ", idxsf)
- cat("Partition Entropy: ", idxpe)
- cat("Partition Coefficient: ", idxpc)
- cat("Modified Partition Coefficient: ", idxmpc)
- cat("Modified Partition Coefficient: ", xb)
- 6. Adım Uygun Küme Sayısı için Görsel Çıktılar
- VAT(fkm\$Xca)
- VCV(fkm\$Xca,fkm\$U,fkm\$H)
- VCV2(fkm\$Xca, fkm\$U, 2)
- VIFCR(fkm,2)

EXTENDED ABSTRACT

- Aksoy M. (2016). “Dünyanın Enerji Görünümü”, İHH İnsani ve Sosyal Araştırmalar Merkezi, Araştırma Raporları.
- Atal, S. (2015). “Bulanık kümeleme analizi ve OECD ülkelerinin gelişmişlik bakımından kümelendirilmesi” (Master's thesis, ESOGÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Avrupa Çevre Ajansı, (2019). “Avrupa’da Enerji” — Mevcut durum. <https://www.eea.europa.eu/tr/isaretler/isaretler-2017-avrupa2019da-enerjinin-gelecegini/makaleler/avrupa2019da-enerji-2014-mevcut-durum>
- Bezdek, J.C. (1974). “Cluster validity with fuzzy sets”, J. Cybern., 3: 58-73.
- Bezdek J.C., (1981). “Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms”, Plenum. NY. <https://isbsearch.org/isbn/0306406713>
- Bluszcz, A. (2017). “European economies in terms of energy dependence”, Quality & Quantity, 51(4), 1531-1548.
- Bocquillon, P., & Maltby, T. (2020). “EU energy policy integration as embedded intergovernmentalism: the case of Energy Union governance”, Journal of European Integration, 42(1), 39-57.
- Brodny, J., & Tutak, M. (2020). “Analyzing similarities between the European Union countries in terms of the structure and volume of energy production from renewable energy sources”, Energies, 13(4), 913.
- Campello, R. J., & Hruschka, E. R. (2006). “A fuzzy extension of the silhouette width criterion for cluster analysis”, Fuzzy Sets and Systems, 157(21), 2858-2875.
- Erilli, N.A. (2019). “Kümeleme Analizine Bulanık Yaklaşım Algoritmaları ve Uygulamaları”, 19 Mayıs Üniv., Fen Bilimleri Inst., Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Samsun.
- Erilli, N. A., & Karaköy, Ç. (2015). “Türk Cumhuriyetlerinin Bulanık Kümeleme Analizi ile Belirlenen Ekonomik Göstergelerle Sınıflandırılması”, International Conference on Eurasian Economics, Session 6B: Bölgesel Ekonomiler II, 305-310.
- European Commission (2014), “A Policy Framework for Climate and Energy in The Period from 2020 to 2030”, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52014DC0015>, (13.10.2020).
- European Statistical System, Eurostat Documents, (12 February 2019). Renewable energy in the EU. <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- Fan, J. L., Wu, C. M., & Ma, Y. L. (2000, August). “A modified partition coefficient. In WCC 2000-ICSP 2000. 2000 5th International Conference on Signal Processing Proceedings”, 16th World Computer Congress 2000 (Vol. 3, pp. 1496-1499). IEEE.
- Ferraro, M.B. & Giordani, P. (2015). “A toolbox for fuzzy clustering using the R programming language”, Fuzzy Sets and Systems, 279, 1-16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fss.2015.05.001>
- Hathaway RJ, Bezdek JC., (2003). Pattern Recognition Letters 24, 1563–1569.
- Huband JM, Bezdek JC. In: J.M. Zurada et al. (eds.), (2008). WCCI 2008, LNCS 5050, pp. 293–308.
- İHH İnsani ve Sosyal Araştırmalar Merkezi (2016). Araştırma Raporları, Dünyanın Enerji Görünümü, https://insamer.com/tr/dunyanin-enerji-gorunumu_388.html.
- <http://cran.r-project.org/web/packages/fclust/index.html>, Erişim(12/12/2019)
- <https://www.iea.org/reports/renewables-2019>, Erişim (10/11/2019)
- Kassambara, A. & Mundt, F. (2017). “factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses”, R package version 1.0.5. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>
- Kesbiç, C. Y., & Şimşek, H. (2011). “Avrupa Birliği Ortak Enerji Politikası”, Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırmaları Dergisi, 1(5).
- Klawonn F., Chekhtman V., Janz E., (2003). “Visual inspection of fuzzy clustering results”, In Benitez J.M., Cordon O., Hoffmann, F., Roy R. (Eds.): Advances in Soft Computing - Engineering Design and Manufacturing, pp. 65-76. Springer, Londo
- Klawonn F, Hoppner F., (2003). In: Advances in intelligent data analysis (LNCS 2779, pp. 254-264).
- Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M. & Hornik, K.(2017). cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions. R package version 2.0.6. <https://CRAN.R-project.org/package=cluster>
- Parobek, J., Paluš, H., Kalamárová, M., Loučanová, E., Šupín, M., Křižanová, A., & Štofková, K. R. (2016). “Energy Utilization of Renewable Resources in the European Union—Cluster Analysis Approach”, BioResources, 11(1), 984-995.
- Krishnapuram, R., Joshi, A., Nasraoui, O., & Yi, L. (2001). “Low-complexity fuzzy relational clustering algorithms for web mining”, IEEE transactions on Fuzzy Systems, 9(4), 595-607.
- Sepehr, M. J., Haeri, A., & Ghousi, R. (2019). “A cross-country evaluation of energy efficiency from the sustainable development perspective”, International Journal of Energy Sector Management.
- Xie L., Beni G., (1991). “A Validity Measure For Fuzzy Clustering”, IEEE Trans, On Pattern Analysis And Machine Int. 13(4),pp 841-846.
- Tatlıdil, H. (2002). “Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel analiz”, Engin Yayınları, Akademi Matbaası, Ankara.
- Türe, H., & Başer, F. (2015). “Bulanık C-Ortalama Kümeleme Algoritması ile Ülke Risk Değerlendirmesi”, Ekonometri ve İstatistik Dergisi, (23), 16-33.
- Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2019). “Enerji Verimliliği”, <https://enerji.gov.tr/enerji-verimliliği>, Erişim (10/11/2019)
- Yorkan, A. (2009). “Avrupa Birliği'nin Enerji Politikası ve Türkiye'ye Etkileri”, Bilge Strateji, 1(1), 24-39.
- Zippel, W. (2006). “Enerji Kaynaklarını Çeşitlendirme Yaklaşımları Altında AB'nin Enerji Politikası”, Avrupa ve Orta Asya Arasındaki Enerji Köprüsü Türkiye, Editörler: Werner Gumpel-Alpay Hekimler, Konrad-Adenauer-Stiftung Yayını, Ankara.

EK-1

7. Adım Gerekli Program Paketleri
- require(ppclust)
 - require(factoextra)
 - require(dplyr)

- require(cluster)
- require(fclust)
- require(psych)
- 8. Adım Uygulama Dosyası “ne” R Programına Tanıtılması
- “ne” dosyası not defteri üzerinden ondalık ayırıcı nokta olacak şekilde seçilmelidir.
- Her satırda ülkeler yer almak üzere sütunlar değişkenlerin normalleştirilmiş değerleridir.
- data(ne)
- 9. Adım FkM, FkM.pf ve FkMed için “k” Küme Sayısını Belirtmek Üzere
- fkm <- FKM(X = ne[,1:(ncol(ne)-1)], k = 2, m = 1.5, stand = 1, RS = 10)
- fkm <- FKM.pf(X = ne, k = 2, stand = 1, RS = 10)
- fkm <- FKM.med(ne[,1:(ncol(ne)-1)],k=2,m=1.1,RS=10,stand=1)
- Bulanık kümeleme yöntemi ve “k” değeri değiştirilerek kümeleme sonuçları incelenebilir.
- 10. Adım FkM için Küme Geçerlilik İndekslerinin Hesaplanması
- idxsf <- SIL.F(fkm\$Xca, fkm\$U, alpha=1)
- idxpe <- PE(fkm\$U)
- idxpc <- PC(fkm\$U)
- idxmpc <- MPC(fkm\$U)
- xb <- XB(fkm\$Xca,fkm\$U,fkm\$H,fkm\$m)
- 11. Adım FkM için Küme Geçerlilik İndekslerinin Çıktısı
- cat("Fuzzy Silhouette Index: ", idxsf)
- cat("Partition Entropy: ", idxpe)
- cat("Partition Coefficient: ", idxpc)
- cat("Modified Partition Coefficient: ", idxmpc)
- cat("Modified Partition Coefficient: ", xb)
- 12. Adım Uygun Küme Sayısı için Görsel Çıktılar
- VAT(fkm\$Xca)
- VCV(fkm\$Xca,fkm\$U,fkm\$H)
- VCV2(fkm\$Xca, fkm\$U, 2)
- VIFCR(fkm,2)

EXTENDED ABSTRACT

The utilization of energy and energy assets has consistently been at the front line of the monetary and social improvement of nations. It represents a significant issue particularly for nations that created after the modern upheaval and whose own assets are inadequate. Energy assets can be depicted as the main source that takes care of modern creation, which is the soul of the economy. It is known that the European Region Countries (ERC) are poor in fossil fuel, which is described as the primary energy source. Therefore, Europe is one of the regions importing energy resources. Turkey assumes the bridging point in the transportation of energy resources to the ERC in this context.

In corresponding with the monetary explanations behind its foundation, the European Union (EU) has acquired participation the field of energy. England pulled out from participation in 2020 when it was an individual from the EU. Therefore, the examination was done in an approach to cover the nations inside the European Region rather than the EU part nations. The principle justification this is that energy courses and their uses are assessed overall inside the European mainland. There are 41 nations in the European Region. By and by, Liechtenstein and Moldova were not assessed because of their absence of energy esteems.

In this study, ERC was analyzed with fuzzy clustering methods, taking into account the energy statistics in the World Bank data. The main purpose of using fuzzy clustering methods is to benefit from membership degree flexibility. In addition, for fuzzy clustering operations, the analysis used cluster validity indexes and visualization tools. All of the applications were made in R programming language and their codes are given in Annex-1. The results are expected to contribute to energy routes and policies.

Due to improvements in energy quality, European countries now use less energy than they did ten years ago. At the same time, European countries have adapted to energy conservation and renewable energy production faster than predicted. As a result, Europe's reliance on fossil fuels has decreased. Between 2005 and 2015, renewable energy's share of total energy consumption in the EU increased from 9% to 17%, nearly doubling. Nonetheless, even though their market share is shrinking, fossil fuels remain Europe's dominant energy source. With a share of 72.6 percent in energy usage in 2015, fossil fuels are already in first place (European Environment Agency, 2019).

If clusters cannot be clearly separated from one another or if certain units in cluster membership are unstable, fuzzy cluster analysis is a good option. Fuzzy Sets are functions that determine each unit between 0 and 1, defined as the membership of the unit in the set. Units that are very similar to each other are located in the same cluster according to their high membership level (Erilli, 2009).

Verification of clustering results is the evaluation process of the analysis. Various cluster validity indices have been proposed in studies conducted for this purpose. In cluster analysis methods where a priori information is not included, analysis is made with the help of the available data without any external information input. Therefore, the data used in the analysis are also used to verify the clustering results. The cluster validity indices used for classical clustering methods are adapted to fuzzy structures and are also used in fuzzy clustering methods.

The variables used in the study include 13 energy data in the World Bank database between 1990 and 2017 for the countries in the European Region. The clustering results of the European Region countries in terms of energy resources were analyzed by FkM, FkM.pf and FkMed fuzzy clustering methods. Before clustering methods, ideal cluster numbers were controlled by FSI, PE, PC, MPC and XB methods in such a way that the number of clusters varied between two and six. The ideal cluster number was found to be three for FkM, three for FkM.pf and two for FkMed.

When the fuzzy clustering results were examined jointly, the clustering results were obtained under three main clusters. Clusters are determined to be high, medium and low according to the level of energy use. Accordingly, high levels of energy use in Germany, France, Britain, Italy and Spain, moderate use of energy in Poland, Turkey and Ukraine, while the other countries were found to be set at a low level of energy use.

When the values of the countries subject to implementation are examined, although the countries in the high-level energy use cluster are 12.82% of all countries, they correspond to 24.41% according to their energy usage average. In medium level energy use, although countries have 7.69%, they correspond to 12.16% according to their energy use average. In low-level energy use, it corresponds to 63.43% according to the energy use averages, 79.49% of the countries.

Considering ERC on energy use and carbon emissions, making plans by taking high, middle and low level countries into account will increase its effectiveness. In addition, since Europe is an energy importer, energy routes can be made taking into account these clustering results. The results can be used for the development of a common energy and climate policy and the economic integration of EU countries. Applications can guide regional analysis using different variables and clustering methods.