

Araştırma Makalesi/Research Article

AKDENİZ BÖLGESİ'NİN GÜNEŞ ENERJİSİ YATIRIMINA YÖNELİK ÖZELLİKLERİNİN ENTEGRE ENTROPİ MULTIMOORA YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

*EVALUATING THE PROPERTIES OF MEDITERRANEAN REGION OF TURKEY FOR SOLAR POWER
INVESTMENT WITH INTEGRATED ENTROPY MULTIMOORA METHOD*

Yusuf ŞAHİN*

Öz


Dünya üzerinde oldukça geniş bir alana hızlı bir yayılım gösteren çevre kirliliğine karşı alınabilecek tedbirlerin başında yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimindeki payını arttırmak gelir. Yenilenebilir enerji yatırımlarının değerlendirilmesi ise teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal bir dizi kriterden etkilendiği için karar alması karmaşık bir konudur. Yaşam seyri analizi, fayda-maliyet analizi ve çok kriterli karar verme yöntemleri yatırım projelerinin değerlendirilmesi için yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Bu çalışmada, bir kısmı veya tamamı Akdeniz Bölgesi'nde yer alan şehirlerin güneş enerjisi santrali yatırımına uygunlukları değerlendirilmiştir. Değerlendirme için MULTIMOORA ve Geliştirilmiş MULTIMOORA yöntemleri kullanılmış, kriter ağırlıkları ise Entropi Yöntemi ile belirlenmiştir. 13 il için 12 kriter kullanılarak yapılan değerlendirmeler Kahramanmaraş ilinin her iki yöntem için de en uygun şehir olduğunu göstermiştir. Uygunluk açısından ilk beş içerisinde bulunan iller ise sıralamaları farklı olsa da her iki yöntem için aynıdır. Bu şehirler Kahramanmaraş, Mersin, Burdur, Gaziantep ve Osmaniye illeridir. Sonuç olarak, güneş enerjisi santrali yatırımı yapacak olan firmaların farklı ve kendilerine has kriterler ve çalışma kapsamında kullanılan yöntemleri ön planlama çalışmalarında proje seçimi için kullanabileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Güneş Enerjisi Santrali, Geliştirilmiş MULTIMOORA, Entropi

Abstract

Increasing the share of renewable energy sources in energy production is one of the most important measures that can be taken against environmental pollution which is spreading rapidly to a wide area in the world. The evaluation of renewable energy investments is a complex issue since it is influenced by a range of technical, economic, environmental and social criteria. Life cycle analysis, cost-benefit analysis, and multicriteria decision-making methods are widely used for the evaluation of investment projects. In this study, the suitability of cities in the Mediterranean region of Turkey for investment in solar power plants was evaluated. MULTIMOORA and Extended MULTIMOORA methods were used for evaluation and criteria weights were determined by Entropy Method. Evaluations made by using 12 criteria for 13 provinces showed that Kahramanmaraş is the most suitable city for both methods. In terms of eligibility, the provinces in the top five are the same for both methods, although their rankings are different. These cities are Kahramanmaraş, Mersin, Burdur, Gaziantep, and Osmaniye. As a result, it is considered that the companies that will invest in solar power plants can use different and unique criteria and methods used in the scope of the study for project selection in the preliminary planning studies.

Keywords: Renewable Energy, Solar Power Plant, Extended MULTIMOORA, Entropy

*  Dr. Öğr. Üyesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, ysahin@mehmetakif.edu.tr

EXTENDED SUMMARY

Background

The most important measure that can be taken against environmental pollution caused by increasing energy consumption is to increase the share of renewable energy sources in energy production. Renewable energy is expressed as energy collected from renewable sources that are naturally filled in the human timeline such as sunlight, wind, rain, tides, waves and geothermal heat (Islam and Khan, 2019). As of 2018, the share of energy generated from renewable energy sources globally, including the energy produced in hydroelectric power plants, is 26% in total production and 32.4% in our country (Enerdata, 2019). Many of the economic, technical, geographical and social criteria are taken into consideration in determining the location where these plants will be installed, as in the case of a typical plant location problem. The existence of multiple criteria and alternative site locations makes the problem of determining the appropriate site location for these facilities a multi-criteria decision problem.

Purpose

Investments in sustainable energy sources and scientific studies to evaluate these investments have increased significantly in recent years. The literature review showed that especially in studies related to site selection and comparison of investment project alternatives, life cycle analysis, cost-benefit analysis, and multicriteria decision-making methods are frequently used. The purpose of this study is to evaluate the suitability of 13 provinces, some or all of which are located in the Mediterranean Region, for solar power plant investment in two different versions of the MULTIMOORA method considering 12 different criteria.

Method

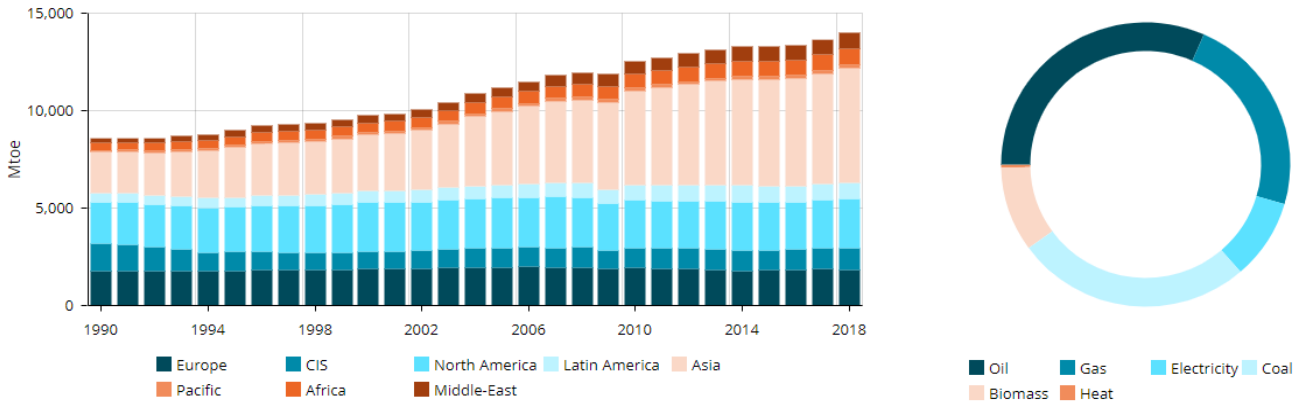
The suitability of the alternative cities determined in the study was evaluated with two different versions of the MULTIMOORA method. The entropy method (Shannon, 1948) was preferred for the determination of criterion weights. For evaluation, MULTIMOORA (Brauers and Zavadskas, 2006), where the criteria were equal weight, and Extended MULTIMOORA (Hafezalkotop and Hafezalkotop, 2016) methods with different weights were used.

Findings

As a result of the study, the most weighted criteria are Field Cost (CR3), Regional Incentives (CR2), Unemployment Rate (CR11) and Annual Rainfall (CR7). The cost of the land on which the facility will be established, the city is a city where significant investment incentives are given, the amount of precipitation and the investment made to cure unemployment in the province are important criteria. Antalya is the least suitable city for this type of investment due to the cost of the area, the incentive area it is located and the high humidity. When real-life investments are considered, it is seen that this province is not preferred for solar power investments. However, changing the criteria and weights used will naturally change the ranking. In both methods, the cities in the top five are the same, although their rankings are different. These cities are Kahramanmaraş, Mersin, Burdur, Gaziantep, and Osmaniye. In future studies, comparisons can be made with the same methods by using more detailed and technical criteria among certain projects. In addition, since solar power plant investment requires significant capital, the final decision by comparing life cycle analysis, benefit-cost analysis, and multi-criteria decision-making methods will naturally help the investor to make an accurate decision.

GİRİŞ

Dünya genelinde geniş bir alana hızlı bir şekilde yayılım gösteren çevre kirliliği, insanoğlu ve diğer canlı varlıkların hayatlarını tehdit eden en önemli olaydır. Günümüzde ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin üretimi, endüstriyel üretim, ısıtma ve taşıma gibi işlemler milyonlarca kilogram karbondioksitin (CO₂) atmosfere yayılmasına ve sonuç olarak hızla artan bir çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu sistemlerin bir kısmında filtrasyon ile ortaya çıkan CO₂ miktarı azaltılmaya çalışılsa da büyük bir kısmında filtrasyon işlemi uygulanamamaktadır (Karagül vd., 2019: 161). Atmosfere salınan CO₂ gazının önemli bir miktarı farklı alanlardaki (elektrik, taşıma, ısınma vb.) enerji ihtiyaçlarının karşılanması için fosil yakıtların kullanımdan kaynaklanmaktadır ve insanoğlunun enerji ihtiyacı da yıldan yıla artış eğilimindedir. Şekil 1’de gösterilen küresel enerji tüketimi verileri incelendiğinde, 1990 yılından bugüne enerji tüketiminin neredeyse iki katına çıktığı ve bu artışta en büyük pay sahibinin de Çin başta olmak üzere Asya ülkelerinin olduğu görülmektedir (Enerdata, 2019).



Şekil 1. 1990-2019 yılları arasında küresel enerji tüketimi (Enerdata, 2019)

Nüfus artışına paralel olarak enerji talebinin artmasıyla yenilenebilir enerji kaynakları enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli rol oynamaya başlamıştır (Koca vd., 2019). Yenilenebilir enerji, güneş ışığı, rüzgâr, yağmur, gelgitler, dalgalar ve jeotermal ısı gibi insan zaman çizelgesinde doğal olarak doldurulan yenilenebilir kaynaklardan toplanan enerji olarak ifade edilmektedir (Islam ve Khan, 2019). 2018 yılı itibari ile hidroelektrik santrallerinde üretilen enerji de dâhil olmak üzere küresel çapta yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin toplam üretim içerisindeki payı %26, Türkiye’de ise bu pay %32,4 seviyesindedir (Enerdata, 2019).

Türkiye gerek iklim koşulları gerekse jeolojik konumu ile yenilenebilir enerji konusunda büyük potansiyele sahip bir ülkedir. Sahip olduğu bu avantajlı durumlar resmi makamların sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmaya teşvik eden en önemli etmenlerdir (Ervural vd., 2018). Bu teşvikler sayesinde, Türkiye’de özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi santrallerine yapılan yatırımların son yıllarda büyük oranda arttığı gözlemlenmektedir. Bu santrallerin kurulacağı yerin belirlenmesi için tipik bir tesis yeri seçimi probleminde olduğu gibi ekonomik, teknik, coğrafik ve sosyal birçok kriter dikkate alınır. Birden çok kriterin ve alternatif kuruluş yerinin bulunması bu tesisler için uygun kuruluş yerinin belirlenmesi problemini çok kriterli bir karar problemi haline getirmektedir. Bu çalışmada, bir kısmı veya tamamı Akdeniz Bölgesi’nde yer alan 13 ilin güneş enerjisi santrali yatırımı için uygunlukları 12 farklı kriter dikkate alınarak MULTIMOORA yönteminin iki farklı versiyonu ile değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Kriter ağırlıkları için Entropi yöntemi (Shannon, 1948) tercih edilmiştir. Değerlendirme için kriterlerin eşit ağırlık aldığı MULTIMOORA (Brauers ve Zavadskas, 2006) ve farklı ağırlıkların kullanıldığı Geliştirilmiş MULTIMOORA (Hafezalkotop ve Hafezalkotop, 2016) yöntemleri kullanılmıştır. Birinci bölümde, güneş enerjisi santrali yer seçimi yapılan çalışmaların yanı sıra belirtilen yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar ile ilgili literatür bilgisi sunulmaktadır. İkinci bölümde çalışma kapsamında kullanılan yöntemlerin detaylarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde uygulama ve son bölümde ise sonuç ve öneriler yer almaktadır.

1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde enerji yatırımları ile ilgili olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde, enerji yatırımlarının değerlendirilmesi için çeşitli ekonomik analizler ve çok kriterli karar verme yöntemlerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bugüne kadar enerji sistemleri (Kumar vd., 2017), enerji planlaması (Pohekar ve Ramachandran, 2003; Strantzali ve Aravossis, 2016) ve yenilebilir enerji alternatiflerinin sürdürülebilirlik indikatörlerinin belirlenmesi (Liu, 2014) gibi konularda çok kriterli karar yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalarla ilgili çeşitli literatür araştırmaları yapılmıştır. Konu ile ilgili olarak yapılan diğer çalışmalar incelendiğinde ise iki amaç üzerine yoğunlaşıldığı görülmektedir. Bunlardan birincisi yer seçimi, diğeri ise farklı üretim alternatiflerinin birbiri ile kıyaslanmasıdır. Takip eden bölümlerde bu konularda yapılan çalışmalara ayrı ayrı yer verilmiştir.

1.1. Yer Seçimi ile İlgili Çalışmalar

Enerji sektörüne yapılacak bir yatırımın etkili olabilmesi için yapılması gereken öncelikli faaliyetlerin başında kurulacak tesis için uygun bir yer seçimi gelir. Literatürde farklı enerji üretim alternatifleri için yer seçiminin yapıldığı birçok çalışma yer almaktadır. Aragonés-Beltrán vd. (2010) fotovoltaik (PV) güneş enerjisi projelerinin seçimi için Analitik Ağ Sürecini (ANP) kullanmıştır. San Cristóbal (2012) elektrik üretimi için İspanya'nın kuzeyinde yer alan Cantabria özerk bölgesine kurulacak 5 yenilebilir enerji santralini kuruluş yerini çok kaynaklı ve çok tabakalı bir hedef programlama modeli ile belirlemiştir. Aragonés-Beltrán vd. (2014) güneş enerjisi yatırım şirketinin yönetim kuruluna belirli bir güneş enerjisi santrali projesine yatırım yapıp yapmamaya karar vermelerinde yardımcı olmak ve şirket portföyündeki projelerin öncelik sırasını belirlemek için AHP ve ANP yöntemlerini kullanmıştır. Aydın vd. (2013) hibrit rüzgâr solar-PV yenilenebilir enerji sistemlerinin saha seçimi için GIS tabanlı bir metodoloji sunmuştur. Vafaeipour vd. (2014) İran'da bulunan 25 şehri gelecekte yapılacak güneş enerjisi santralleri açısından hibrit SWARA ve WASPAS yöntemleri ile değerlendirmiştir.

Akkaş vd. (2017) İç Anadolu Bölgesi'nde bulunan beş şehir içerisinde güneş enerjisi santrali için en uygun kuruluş yerini AHP, ELECTRE, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile belirlemiştir. Güneş enerjisi potansiyeli, maksimum kapasite ve yüzey eğimi kriterleri kullanılarak yapılan değerlendirme sonucunda, Karaman bütün yöntemler için en iyi kuruluş yeri olarak belirlenmiştir. Özdemir vd. (2017), elektrik enerjisi üretebilme kapasitesi, arazi metrekare birim fiyatı, terör eylemi olmama ihtimali, deprensellik ve GES sanayisine yakınlık gibi kriterler ile bütünleşik AHS-VIKOR yöntemini kullanarak şehir alternatifleri arasından güneş enerjisi santrali kuruluşu için en uygun olanı belirlemiştir. Akçay ve Atak (2018) dört ana ve 12 alt kritere göre belirlenen beş kuruluş yeri alternatifinden en iyi olanı belirlemek için hibrit AHP-TOPSIS yöntemini kullanmıştır. Sonuç olarak beş alternatif arasından Mersin en iyi seçenek olarak belirlenmiştir. Bu çalışmaların yanı sıra diğer bir yenilebilir enerji üretim seçeneği olan rüzgâr enerjisi santrali yer seçimi (Öztürk ve Serkendiz, 2018; Toklu ve Uygun, 2018) ile ilgili de yapılan çalışmalar literatürde mevcuttur. İncelenen çalışmalardan da anlaşılacağı üzere değerlendirme için kullanılan kriter, yöntem ve alternatiflerin değişimi ile farklı yerler uygun yer olarak belirlenebilmektedir.

1.2. Yatırım Projesi Alternatiflerinin Değerlendirilmesi ile İlgili Çalışmalar

Yenilenebilir enerji yatırımları arasından en iyi yatırım alternatifinin belirlenmesi için çok kriterli karar verme yöntemleri ve coğrafi bilgi sistemleri gibi yöntemler yine yaygın olarak kullanılmaktadır. Rojanamon vd., (2009) Tayland'da küçük bir nehir kenarı hidroelektrik projesi için coğrafi bilgi sistemi ile yer seçimi yapmıştır. Evans vd. (2009) yenilenebilir enerji teknolojilerinin sürdürülebilirlik göstergelerini değerlendirmiş ve göstergelerin eşit öneme sahip olması durumu için alternatifleri sıralamıştır. Heo vd. (2010) yenilenebilir enerji dağıtım projelerine etki eden 17 faktörü, 5 adet kritere göre bulanık AHP ile değerlendirmeye tabi tutmuştur. Sonuç olarak, ekonomik fizibilitenin, küresel pazardaki hedef teknolojinin gelişiminin, politika yapıcı ile uzman grup arasındaki anlaşmazlığın ve sonuçların uygulanması konusunun bu tür projeler için önemli konu başlıkları olduğunu belirlenmiştir. San Cristóbal (2011) İspanya Hükümeti tarafından başlatılan Yenilenebilir Enerji Planını dikkate alarak farklı yenilenebilir enerji sistemlerini VIKOR ve AHP yöntemleri ile değerlendirmiştir. Sonuç olarak Biokütle tesisinin en iyi seçenek olduğu, bunu Rüzgâr enerjisi, Güneş Enerjisi alternatiflerinin izlediği belirlenmiştir.

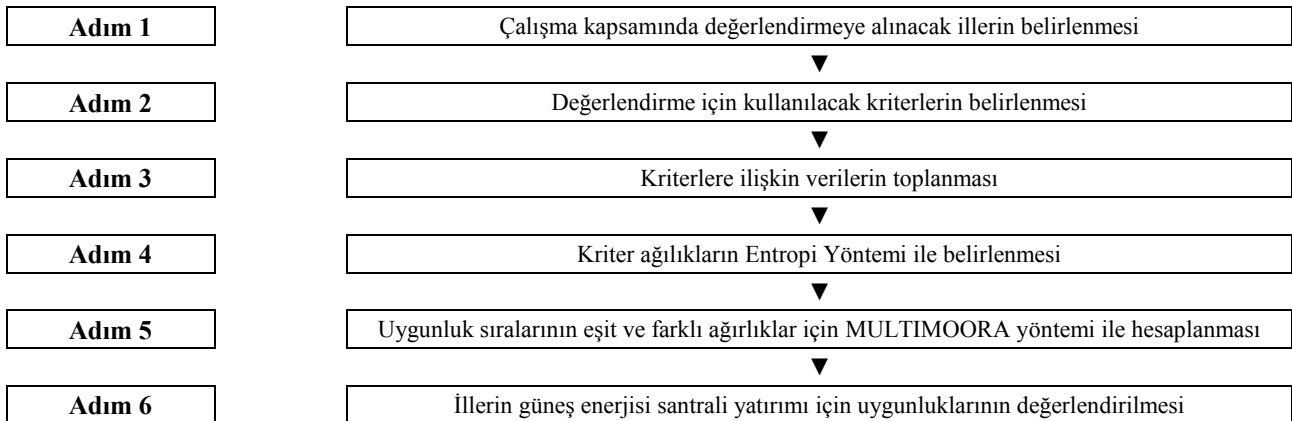
Uysal (2011) enerji yatırımları açısından en iyi yenilenebilir enerji alternatifinin seçimi için graf teorisi ve matris yaklaşımı kullanmıştır. Potansiyel, ekonomik, sosyo-politik, çevre ve teknoloji gibi kriterler dikkate alınarak yapılan değerlendirme neticesinde, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biokütle enerjisi, hidrolik enerji ve jeotermal enerji şeklinde bir sıralama belirlenmiştir. Kaya ve Kahraman (2011) rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji üretim alternatiflerinin de bulunduğu 7 farklı seçeneği 5 farklı durum için bulanık TOPSIS yöntemi ile değerlendirmiştir. Ertay vd. (2013) dört ana ve 15 alt kriter kullanarak Türkiye için yenilenebilir enerji alternatiflerini MACBETH ve AHP tabanlı çok kriterli yöntemleri ile belirsizlik altında değerlendirmiştir. Sonuç olarak Türkiye'deki potansiyel yenilenebilir enerji alternatifleri Güneş, Rüzgâr, Hidroelektrik ve Jeotermal olarak belirlenmiştir.

Şengül vd. (2013) dokuz adet kriteri dikkate alarak yenilenebilir enerji tedarik sistemlerinin seçimi için Aralık Shannon Entropisi (Interval Shannon's Entropy) ve bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda Hidroenerji santrali birinci sırada çıkarken, bunu sırasıyla Jeotermal Santrali, Regülatör ve Rüzgâr Santrali takip etmiştir. Büyüközkan ve Güleriyüz (2016) beş farklı yenilenebilir enerji yatırımı alternatifini ANP ve DEMANTEL yöntemleri ile yatırımcı odaklı olarak değerlendirmiştir. Sonuç olarak seçenekler rüzgâr, güneş, biokütle, jeotermal ve hidrolik enerji şeklinde sıralanmıştır. Hamal vd., (2018) dört kriter için beş alternatif enerji üretim sistemi içerisinde en iyi yenilenebilir enerji yatırımının seçimi için bulanık ANP yöntemini kullanmıştır. Ervural vd., (2018) sürdürülebilir enerji yatırımı planlaması ile ilgili olan çalışmalarında sosyal kabul faktörlerini belirlemek için Bulanık TOPSIS, faktör ağırlıkların belirlenmesi için AHP ve seçim için ise 0-1 hedef programlama yöntemlerini kullanmıştır.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, farklı bölgeler için farklı kriterler kullanılarak gerçekleştirilen birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Bugüne kadar yapılan yer seçimi çalışmalarından farklı olarak bu çalışmada, yatırım yeri alternatifi olabilecek illerin uygunlukları analiz edilmeye çalışılmıştır. Çalışma için Akdeniz Bölgesi'nin seçilmesinin en önemli nedeni ise bölgenin büyük kısmının güneş enerjisi santrali için önemli kriter olan güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu değerlerinin yüksek olması ve bu nedenle yoğun bir şekilde yatırım yapan illerden oluşmasıdır.

2. YÖNTEM

Çalışmanın değerlendirme prosedürü Şekil 2'de gösterildiği gibi altı adımdan oluşmaktadır. İlk olarak Türkiye'de güneş enerjisi santrali yatırımı için uygun alanların yoğun olarak bulunduğu Akdeniz Bölgesi'nde bir kısmı veya tamamı yer alan iller alternatif kuruluş yerleri olarak belirlenmiştir. İkinci aşamada yapılan literatür araştırmasına bağlı olarak değerlendirme için kullanılacak kriterler tespit edilmiş ve karar probleminin hiyerarşik yapısı oluşturulmuştur. Üçüncü aşamada şehirlerin belirlenen kriterlere ilişkin değerleri farklı kaynaklardan toplanmıştır. Dördüncü adımda Entropi yöntemi ile kriter ağırlıkları tespit edilmiş ve ardından beşinci adımda illerin uygunluk sıraları kriterlerin MULTIMOORA yönteminin iki farklı versiyonu kullanılarak ayrı ayrı tespit edilmiştir. Son adımda ise elde edilen sıralamalar ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 2. Değerlendirme Prosedürü

2.1. Entropi Yöntemi

Termodinamiğin ikinci kanunu olarak Rudolph Clausius tarafından 1865 yılında ortaya konan ve Claude E. Shannon (1948) tarafından bilgi teorisine uyarlanan Entropi kavramı, sistem içerisindeki düzensizlik ve belirsizliğin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır (Zhang vd., 2011; Ömürbek vd., 2017). Shannon (1948) tarafından bilgi teorisine uyarlanan kavram daha sonra mühendislik ve yönetim gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmıştır. Yöntemin temelini, karar verme ortamından edinilen bilgilerin sayısı veya kalitesinin karar verme probleminin doğruluğu ve güvenilirliği için belirleyici olması fikri oluşturmaktadır. Bu nedenle, verilerin kendisi tarafından sağlanan faydalı bilgilerin miktarını ölçmek için Entropi yöntemi kullanımı farklı karar alma süreçlerinde farklı değerlendirme durumlarına uygulanabilen çok iyi bir ölçek elde edilmesini sağlamaktadır (Wu vd., 2011). Yöntemin en güçlü yanı, AHP ve Delphi gibi büyük oranda karar vericilerin subjektif yargılarına göre ağırlıkların belirlendiği yöntemlerin aksine elde edilen veriyi kullanarak hesaplama yapan objektif bir ağırlık belirleme yöntemi olmasıdır (Çakır ve Perçin, 2013).

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, performans değerlendirme (Ömürbek vd., 2016; Akçakanat vd., 2017; Tunca vd., 2016; Orakçı ve Özdemir, 2017), pazar seçimi (Yavuz, 2016), kurumsal sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesi (Alp vd., 2015), tedarikçi seçimi (Shemshadi vd., 2011) ve istihdam tahmini (Blien ve Tassinopoulos, 2001) gibi çok kriterli karar problemlerinde Entropi yönteminin kullanıldığı görülmektedir. Yöntem temel olarak aşağıda belirtilen 4 adımdan oluşmaktadır (Karami ve Johansson, 2014);

Adım 1: m adet alternatif n adet kriter bulunan karar probleminde Eşitlik (1) yardımıyla normalizasyon işlemi uygulanır ve normalize edilmiş karar matrisi ($A = [P_{ij}]_{m \times n}$) oluşturulur.

x_{ij} : i numaralı alternatif için j numaralı kriterin aldığı başlangıç değeri

P_{ij} : i . alternatifin j . kriter için normalize edilmiş değeri

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad \forall j \quad (1)$$

Adım 2: Eşitlik (2) ile her bir ölçüt için Entropi değeri (E_j) hesaplanır.

$$E_j = \left(\frac{-1}{\ln(m)} \right) \sum_{i=1}^m [P_{ij} \ln P_{ij}] \quad \forall j \quad (2)$$

Adım 3: Çeşitliliğin derecesi olarak d_j belirsizlik değeri Eşitlik 3 ile hesaplanır.

$$d_j = 1 - E_j \quad \forall j \quad (3)$$

Adım 4: j . kriterin önem derecesi olarak " W_j " ağırlığını Eşitlik 4 ile hesaplanır.

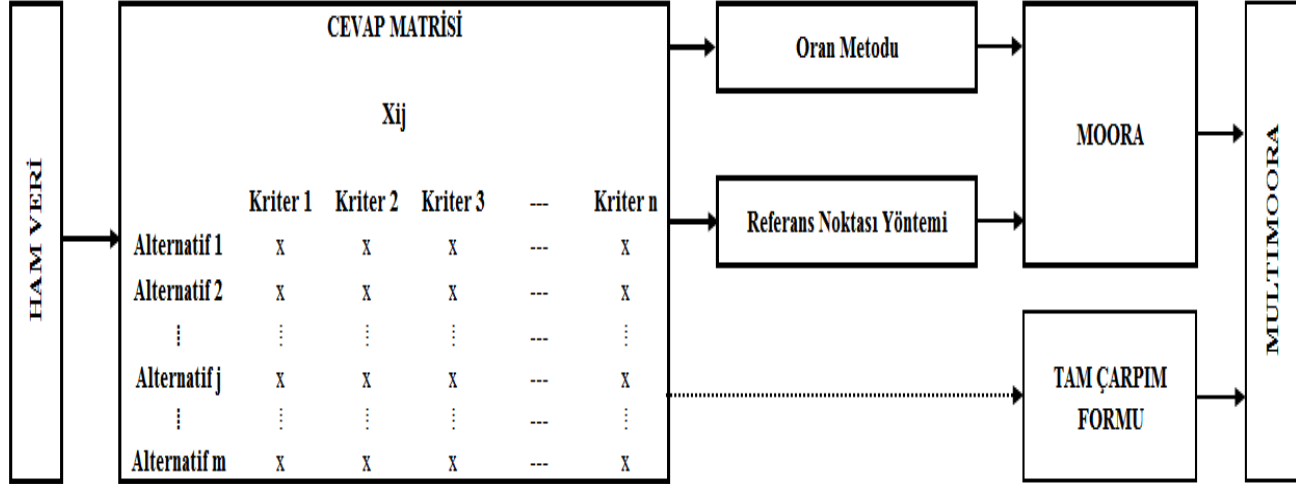
$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad \forall j \quad (4)$$

Adım 4 ile birlikte ölçüt ağırlıkları elde edilmiş olur ve ağırlıkları belirlenen ölçütler karar probleminin çözümünde kullanılabilir. Elde edilen ağırlıkların toplamı 1'e eşittir.

2.2. MULTIMOORA Yöntemi

Oran Analizi Temelinde Çok Amaçlı Optimizasyon (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis - MOORA) yöntemi kesikli alternatiflerle çok amaçlı optimizasyon için Brauers ve Zavadskas (2006) tarafından önerilmiştir (Aydemir ve Şahin, 2019). Yöntem, oranların uygulandığı hedeflere alternatiflerin cevap matrisini ifade eder (Brauers ve Zavadskas, 2006). Genel olarak bakıldığında ise MULTIMOORA, oran sistemi ve referans noktası yöntemlerinden oluşan MOORA yönteminin daha güçlü hale getirilmesi için tam çarpım formu eklenmiş hali olarak kabul edilir (Li, 2014: 5). Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, mühendislikte grup kararı verme (Zavadskas vd., 2015), personel seçimi (Baležentis vd., 2012; Baležentis ve Zeng, 2013), Litvanya'nın Avrupa Birliği'ndeki durumunun

değerlendirilmesi (Baležentis vd., 2010), firma ve sektör seviyesinde kıyaslama (Brauers ve Zavadskas, 2009; García Alcaráz vd., 2010; Chakraborty ve Karande, 2012; Önay ve Çetin, 2012; Kildiene, 2013; Karabasevic vd., 2015), sürdürülebilir enerji (Streimikiene vd., 2012), risk değerlendirme (Fattahi ve Khalilzadeh, 2018), malzeme seçimi (Karande ve Chakraborty, 2012, Hafezalkotob vd., 2016), ve proje yönetimi (Brauers ve Zavadskas, 2010) gibi birçok alanda gerek bulanık gerekse deterministik versiyonu ile bu yöntemin uygulandığı görülmektedir. MULTIMOORA yönteminin akış diyagramı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 2. MULTIMOORA yönteminin akışı (Brauers ve Zavadskas, 2012)

2.2.1. Oran Sistemi

MOORA yöntemi, bir hedef üzerindeki alternatifin her bir değerinin, o hedefle ilgili tüm alternatifleri temsil eden bir payda ile karşılaştırıldığı bir oran sistemine (OS) dayanır. MULTIMOORA uygulamasında Brauers ve Zavadskas (2006) tarafından en güçlü yöntem olduğu ispatlanan Van Delft ve Nijkamp (1977) normalizasyon yaklaşımı Eşitlik (5)'te yer alan paydanın hesaplanması için kullanılmaktadır (Brauers ve Zavadskas, 2012). Alternatiflere ait değerlerin bu değere bölünmesi ile normalize edilmiş karar matrisi oluşturulur. “ x_{ij}^* ” normalleştirilmiş değere karşılık gelir.

$$x_{ij}^* = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij})^2} \quad (5)$$

Normalizasyon işleminin ardından minimize ve maksimize edilmek istenen kriterlerin bulunduğu karar problem için Eşitlik (6) ile j . alternatifin tüm kriterlere göre normalleştirilmiş değeri hesaplanır. Maksimize edilecek kriterlere ait değerler toplanırken minimize edilmek istenen kriterlere ait değerler çıkarılır. Bulunan y_i değerlerinin Eşitlik (7)'de büyükten küçüğe sıralaması ise oran sistemi kullanılarak elde edilen tercih sırasımı (S_{OS}) verecektir (Hafezalkotob vd. 2019). Eşitlikte yer alan “ w_j ” değerinin 1 olması halinde kriterler eşit ağırlıklı olarak değerlendirmeye tabi tutulur.

$$y_i = \sum_{j=1}^g w_j x_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n w_j x_{ij}^* \quad (6)$$

$$S_{OS} = \left\{ A_i | \max_{y_i} > \dots > \min_{y_i} \right\} \quad (7)$$

2.2.2. Referans Noktası Yaklaşımı

MULTIMOORA yönteminin ikinci ögesi olan Referans Noktası Yaklaşımı (RNY) Eşitlik (5)'te gösterilen normalleştirilmiş oran adımından başlar. Karar matrisinin her bir sütununda, amacın maksimizasyon olduğu kriterler için en yüksek, minimizasyon olduğu kriterler için ise en düşük değer alınarak Eşitlik (8) yardımıyla maksimum objektif referans noktası (MORN) vektörü oluşturulur. Referans

noktası ile alternatifler arasındaki mesafeyi ölçmek için Eşitlik (9), referans noktası yöntemi için kullanılacak değerlendirme değeri Eşit (10) ve nihai değerlendirme sırasını belirlemek için Eşitlik (11) kullanılır (Hafezalkotop vd., 2019).

$$r_j = \{ \max_i x_{ij}^*, j \leq g, \min_i x_{ij}^*, j > g \} \quad (8)$$

$$d_{ij} = |w_j r_j - w_j x_{ij}^*| \quad (9)$$

$$z_i = \max_j d_{ij} \quad (10)$$

$$S_{RNY} = \{ A_{i| \min_i z_i} > \dots > A_{i| \max_i z_i} \} \quad (11)$$

2.2.3. Tam Çarpım Formu

MULTIMOORA yönteminin üçüncü bileşeni ise tam çarpım formudur. Bu yöntemde kriterin önem katsayısının çarpan olarak bulunması anlamsızdır. Tamamen çarpımsal bir fayda fonksiyonunun aynı anda hem maksimize hem de minimize edilmesini durumunu içerir. Bu formun temel özellikleri doğrusal olmaması, katkı içermemesi ve kriter ağırlıklarının kullanılmamasıdır (Kracka vd., 2010; Adalı ve Işık, 2017). Brauers ve Zavadskas (2012) tam çarpım formunda ağırlıkların çarpan olarak kullanımının anlamsız olduğunu ispatlamış olmasına karşın, Hafezalkotop ve Hafezalkotop (2016) tarafından önerilen Geliştirilmiş MULTIMOORA yaklaşımda belirlenen ağırlıkların tam çarpım formunda denkleme üs olarak eklenerek Eşitlik (12)'de gösterildiği gibi hesaplanabileceği ifade edilmiştir. Sonuç olarak amacın maksimizasyon olduğu kriterlere ait değerler çarpılarak pay ve minimizasyon olan kriterler payda olarak alınır ve alternatifin genel faydası (u_j) belirlenir. Tam Çarpım Formuna (TCF) dayanan en iyi alternatif, maksimum fayda sağlayan alternatiftir ve bu tekniğin sıralaması (S_{TCF}) azalan düzende Eşitlik (13) ile elde edilir. MULTIMOORA yönteminin son aşamasında ise farklı şekilde elde edilen sıralamalar baskınlık teorisi ile birleştirilir (Hafezalkotop ve Hafezalkotop, 2016; Hafezalkotop vd., 2019)

$$u_i = \prod_{j=1}^g (x_{ij}^*)^{w_j} / \prod_{j=g+1}^n (x_{ij}^*)^{w_j} \quad (12)$$

$$S_{TCF} = \{ A_{i| \max_i u_i} > \dots > A_{i| \min_i u_i} \} \quad (13)$$

Farklı yaklaşımlar ile sıralama işlem yapıldıktan sonra baskınlık teorisi, matematiksel operatörler (aritmetik, geometrik ortalama vb.), çok kriterli karar verme yaklaşımları (ORESTE) ve doğrusal olmayan programlama gibi yöntemler ile final sıralar belirlenebilir (Hafezalkotop vd., 2019).

3. UYGULAMA

Bu kısımda, önceki bölümde detayları verilen yöntemlerin uygulaması için bir kısmı veya tamamı Akdeniz Bölgesinde yer alan 13 şehir için 12 adet kriter baz alınarak illerin uygunlukları değerlendirilmiştir. Güneş enerjisi yatırımı yapılırken teknik, ekonomik, coğrafik ve sosyal bir dizi kriter göz önünde bulundurulur. Çalışma kapsamında hâlihazırda yatırım yapılması düşünülen projelerden ziyade Akdeniz Bölgesi'nde bulunan illerin uygunlukları değerlendirilmek istendiği için Akçay ve Atak (2018)'de yer alan kriterlerin bazıları değiştirilerek çalışmaya dâhil edilmiştir. Ekonomik kriterler olarak trafo kullanım ücreti (CR1), devlet tarafından verilen bölgesel teşvikler (CR2) ve yatırımın yapılacağı yerdeki alan/arazi maliyetleri (CR3) alınmıştır. Yatırımın yapılacağı bölgenin teknik özellikleri için ise güneşlenme süresi (CR4), güneş radyasyonu (CR5) ve üretilebilecek maksimum enerji miktarı (CR6) kriterleri kullanılmıştır. İllerin coğrafi konumları ile yakından ilişkili olan yıllık yağış miktarı (CR7), yağışlı gün sayısı (CR8), ortalama nem oranı (CR9) ve erozyon riski (CR10) yatırım kararını etkileyen önemli kriterlerdir. İşsizlik oranı (CR11) ve kişi başına düşen gelir (CR12) ise yatırım için dikkate alınan sosyal kriterlerdir. Değerlendirmeye tabi tutulan şehirler ve değerlendirme kriterleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Alternatif iller ve değerlendirme kriterleri

Sıra No	İller	Özellik	Kısaltma	Kriter	Veri Kaynağı
1	Adana	Ekonomik	CR1	Trafo kullanım ücreti (TL/MW-YIL)	TEİAŞ (2018)
2	Antalya		CR2	Bölgesel Teşvikler (Bölge)	TCBYO (2019)
3	Burdur		CR3	Alan Maliyeti (TL)	GİB (2014)
4	Hatay	Teknik	CR4	Güneşlenme Süresi (saat)	EİGM (2019)
5	Isparta		CR5	Güneş Radyasyonu (KWh/m ² -gün)	
6	Mersin		CR6	Enerji Miktarı (Kwh/m ² -Yıl)	
7	Osmaniye	Coğrafik	CR7	Yıllık Yağış Miktarı	MGM (2019)
8	Konya		CR8	Yağışlı gün sayısı	
9	Kahramanmaraş		CR9	Ortalama nem oranı (%)	
10	Karaman		CR10	Erozyon Riski	
11	Afyonkarahisar	Sosyal	CR11	İşsizlik oranı (%)	TUİK (2013)
12	Denizli		CR12	Kişi başına düşen gelir (\$)	Drdatastats (2019)
13	Gaziantep				

Değerlendirme kriterleri ve alternatiflerin belirlenmesinin ardından Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim A.Ş.), Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK) ve Gelir İdaresi Başkanlığı (GİB) gibi kurumlardan elde bilgiler kullanılarak Tablo 2’de gösteriler ham veri tablosu oluşturulmuştur.

Tablo 2. Ham verilerden oluşan karar matrisi

İL	CR1 (min)	CR2 (max)	CR3 (min)	CR4 (max)	CR5 (max)	CR6 (max)	CR7 (min)	CR8 (min)	CR9 (min)	CR10 (min)	CR11 (max)	CR12 (min)
1	52471,90	2	0,623	7,58	4,29	26000	647,5	74,8	66,75	3	13,2	7735
2	38967,37	1	0,704	8,16	4,43	27600	1058,3	74	64,00	2	7,9	10528
3	37081,69	3	0,368	7,45	4,47	27500	426,9	88,7	60,67	3	6,9	8687
4	52471,90	4	0,207	6,66	4,21	27000	1125	93,2	71,33	2	12,2	7084
5	37081,69	2	0,444	7,20	4,42	27000	564	99,1	61,75	3	8,7	8167
6	49817,94	3	0,312	7,50	4,45	27000	597,3	66,6	71,08	3	12,4	8538
7	52471,90	5	0,686	6,73	4,26	26000	827,6	77,3	62,42	2	14	6513
8	43168,32	2	0,251	7,37	4,41	27000	323,3	82,8	59,17	4	4,7	8349
9	57059,70	5	0,423	6,76	4,40	27000	725,4	80	60,67	2	11,6	6295
10	43168,32	3	0,350	8,00	4,55	28000	331,7	77,3	61,33	4	4,2	9688
11	37081,69	4	0,589	6,81	4,27	26000	438,9	107,6	65,00	4	5,6	7051
12	38967,37	2	0,245	7,35	4,36	27000	565	91	61,67	2	6,5	9797
13	57059,70	3	0,200	7,20	4,34	25000	552,8	85,4	62,67	3	6,9	7656

3.1. MULTIMOORA Yöntemiyle Uygunluk Sıralarının Belirlenmesi

Çalışma kapsamında illerin uygunluk sırası iki farklı şekilde belirlenmiştir. İlk yöntemde ağırlıklar dikkate alınmadan Blauers ve Zavadskas (2006) tarafından önerilen MULTIMOORA ile doğrudan şehirlerin uygunluk sıraları belirlenmiştir. Bu sıralamalar için Eşitlik (5) – Eşitlik (13) arasında yer alan eşitlikler “ w_j ” ağırlık değeri dikkate alınmadan kullanılmıştır.

MULTIMOORA yönteminin ilk bileşeni oran sistemidir. Oran sistemi için yapılan ilk işlem ise Entropi yönteminde olduğu gibi normalizasyon işlemidir. Ancak bu yöntemde yapılan normalizasyon işlemi Entropi yönteminde farklı olarak Eşitlik (5) ile yapılır. Tablo 2’de yer alan ham veriler ve Eşitlik (5) kullanılarak elde edilen normalize karar matrisi Tablo 5’te gösterilmektedir. Normalizasyon işleminden sonra Eşitlik (6) yardımıyla her bir şehir için normalize edilmiş değerlendirme değeri (y_i) belirlenir. Bulunan bu değerlerin Eşitlik (7)’de ifade edildiği gibi büyükten küçüğe sıralanması sonucu şehirlerin uygunluk sıraları Tablo 3’te gösterildiği şekilde belirlenmiş olur. Buna göre şehirlerin güneş enerjisi santrali yatırıma uygunluk sırası $9 > 6 > 7 > 3 > 4 > 12 > 13 > 10 > 8 > 5 > 1 > 11 > 2$ şeklindedir. Bu yöntemde göre en uygun şehir Kahramanmaraş, en az uygun olan ise Antalya ilidir.

Tablo 3. OS ile elde edilen sıralama

İL	CR1 (min)	CR2 (max)	CR3 (max)	CR4 (max)	CR5 (max)	CR6 (max)	CR7 (min)	CR8 (min)	CR9 (min)	CR10 (min)	CR11 (max)	CR12 (min)	y_i	SIRA
1	0,31	0,17	0,38	0,29	0,27	0,27	0,27	0,24	0,29	0,28	0,39	0,26	-0,65	11
2	0,23	0,09	0,43	0,31	0,28	0,29	0,44	0,24	0,28	0,19	0,23	0,35	-0,97	13
3	0,22	0,26	0,23	0,28	0,28	0,28	0,18	0,29	0,26	0,28	0,20	0,29	-0,44	4
4	0,31	0,34	0,13	0,25	0,27	0,28	0,46	0,30	0,31	0,19	0,36	0,24	-0,44	5
5	0,22	0,17	0,27	0,27	0,28	0,28	0,23	0,32	0,27	0,28	0,26	0,27	-0,61	10
6	0,30	0,26	0,19	0,28	0,28	0,28	0,25	0,22	0,31	0,28	0,37	0,29	-0,36	2
7	0,31	0,43	0,42	0,26	0,27	0,27	0,34	0,25	0,27	0,19	0,41	0,22	-0,37	3
8	0,26	0,17	0,14	0,28	0,28	0,28	0,13	0,27	0,26	0,38	0,14	0,28	-0,57	9
9	0,34	0,43	0,26	0,26	0,28	0,28	0,30	0,26	0,26	0,19	0,34	0,21	-0,24	1
10	0,26	0,26	0,22	0,30	0,29	0,29	0,14	0,25	0,27	0,38	0,12	0,33	-0,57	8
11	0,22	0,34	0,36	0,26	0,27	0,27	0,18	0,35	0,28	0,38	0,16	0,24	-0,70	12
12	0,23	0,17	0,15	0,28	0,28	0,28	0,23	0,30	0,27	0,19	0,19	0,33	-0,50	6
13	0,34	0,26	0,12	0,27	0,27	0,26	0,23	0,28	0,27	0,28	0,20	0,26	-0,51	7

MULTIMOORA yönteminin ikinci bileşeni referans noktası yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda ilk olarak Eşitlik (8) ve normalize edilmiş karar matrisinde yer alan değerler kullanılarak maksimum objektif referans noktası (MORN) vektörü (r_j) oluşturulur. Ardından Eşitlik (9) ile " r_j " vektörü ile normalleştirilmiş değerler arasındaki farklar (d_{ij}) hesaplanır. Ardından her bir alternatif için hesaplanan maksimum " d_{ij} " değerlerinin artan sırasına göre de şehirlerin uygunluk sırası belirlenmiş olur. RNY ile belirlenen uygunluk sırası $9 > 6 > 3 > 13 > 11 > 5 > 12 > 1 > 8 > 10 > 7 > 4 > 13$ şeklindedir. Bu yönetime göre en uygun şehir Kahramanmaraş, en az uygun olan ise Antalya ilidir.

Tablo 4. RNY ile elde edilen sıralama

İL	CR1 (min)	CR2 (max)	CR3 (max)	CR4 (max)	CR5 (max)	CR6 (max)	CR7 (min)	CR8 (min)	CR9 (min)	CR10 (min)	CR11 (max)	CR12 (min)	Maks. $ d_{ij} $	SIRA
1	0,0917	0,2582	0,2606	0,0220	0,0166	0,0207	0,1334	0,0267	0,0329	0,0941	0,0235	0,0484	0,2606	8
2	0,0112	0,3443	0,3104	0,0000	0,0075	0,0041	0,3025	0,0241	0,0210	0,0000	0,1796	0,1422	0,3443	13
3	0,0000	0,1721	0,1034	0,0270	0,0049	0,0052	0,0426	0,0720	0,0065	0,0941	0,2090	0,0804	0,2090	3
4	0,0917	0,0861	0,0041	0,0570	0,0215	0,0104	0,3299	0,0866	0,0529	0,0000	0,0530	0,0265	0,3299	12
5	0,0000	0,2582	0,1501	0,0365	0,0083	0,0104	0,0991	0,1059	0,0112	0,0941	0,1560	0,0629	0,2582	6
6	0,0759	0,1721	0,0687	0,0251	0,0062	0,0104	0,1128	0,0000	0,0518	0,0941	0,0471	0,0754	0,1721	2
7	0,0917	0,0000	0,2990	0,0543	0,0182	0,0207	0,2075	0,0349	0,0141	0,0000	0,0000	0,0073	0,2990	11
8	0,0363	0,2582	0,0314	0,0300	0,0089	0,0104	0,0000	0,0528	0,0000	0,1881	0,2738	0,0690	0,2738	9
9	0,1191	0,0000	0,1373	0,0532	0,0097	0,0104	0,1655	0,0437	0,0065	0,0000	0,0706	0,0000	0,1655	1
10	0,0363	0,1721	0,0923	0,0061	0,0000	0,0000	0,0035	0,0349	0,0094	0,1881	0,2885	0,1140	0,2885	10
11	0,0000	0,0861	0,2394	0,0513	0,0178	0,0207	0,0476	0,1336	0,0253	0,1881	0,2473	0,0254	0,2473	5
12	0,0112	0,2582	0,0279	0,0308	0,0119	0,0104	0,0995	0,0795	0,0109	0,0000	0,2208	0,1177	0,2582	7
13	0,1191	0,1721	0,0000	0,0365	0,0135	0,0311	0,0944	0,0612	0,0152	0,0941	0,2090	0,0457	0,2090	4
r_j	0,2210	0,4303	0,1231	0,3099	0,2884	0,2899	0,1330	0,2169	0,2571	0,1881	0,4121	0,2115		

MULTIMOORA yönteminin son bileşeni olan TCF için standart yöntemde ham veriler kullanılarak işlem yapılırken geliştirilmiş versiyonda normalize edilmiş değerler ile işlem yapılmaktadır. Yani standart yöntemde Eşitlik (12) ve Eşitlik (13)'te ağırlık (w_j) ifadesi göz ardı edilirken, " x_{ij}^* " ifadesi yerine ham veri tablosundaki değerler yazılır. Standart yöntem için yapılan hesaplamalar ve elde edilen sıralar Tablo 5'te gösterilmiştir. Buna göre şehirlerin uygunluk sırası $9 > 4 > 6 > 7 > 3 > 13 > 12 > 8 > 10 > 5 > 1 > 11 > 2$ şeklindedir. Bu yönetime göre en uygun şehir Kahramanmaraş, en az uygun olan ise yine Antalya ilidir.

Tablo 5. TCF ile elde edilen sıralama

İL	CR1	CR2	(2.1)	CR3	(3.1)	CR4	(4.1)	CR5	(5.1)	CR6	(6.1)	CR7
	(min)	(max)		(max)		(max)		(max)		(max)		(min)
	(1)	(2)	1:(1) * 2	(3)	1/(2.1)	(4)	(3.1)*(4)	(5)	(4.1)*(5)	(6)	(5.1)*(6)	(7)
1	52471,90	2	3,81E-05	0,623	6,11E-05	7,58	4,64E-04	4,29	1,99E-03	26000	5,17E+01	647,5
2	38967,37	1	2,57E-05	0,704	3,64E-05	8,16	2,97E-04	4,43	1,32E-03	27600	3,64E+01	1058,3
3	37081,69	3	8,09E-05	0,368	2,20E-04	7,45	1,64E-03	4,47	7,32E-03	27500	2,01E+02	426,9
4	52471,90	4	7,62E-05	0,207	3,69E-04	6,66	2,46E-03	4,21	1,03E-02	27000	2,79E+02	1125
5	37081,69	2	5,39E-05	0,444	1,22E-04	7,20	8,75E-04	4,42	3,86E-03	27000	1,04E+02	564
6	49817,94	3	6,02E-05	0,312	1,93E-04	7,50	1,45E-03	4,45	6,45E-03	27000	1,74E+02	597,3
7	52471,90	5	9,53E-05	0,686	1,39E-04	6,73	9,35E-04	4,26	3,98E-03	26000	1,04E+02	827,6
8	43168,32	2	4,63E-05	0,235	1,97E-04	7,37	1,45E-03	4,41	6,40E-03	27000	1,73E+02	323,3
9	57059,70	5	8,76E-05	0,423	2,07E-04	6,76	1,40E-03	4,40	6,16E-03	27000	1,66E+02	725,4
10	43168,32	3	6,95E-05	0,350	1,99E-04	8,00	1,59E-03	4,55	7,22E-03	28000	2,02E+02	331,7
11	37081,69	4	1,08E-04	0,589	1,83E-04	6,81	1,25E-03	4,27	5,32E-03	26000	1,38E+02	438,9
12	38967,37	2	5,13E-05	0,245	2,09E-04	7,35	1,54E-03	4,36	6,71E-03	27000	1,81E+02	565
13	57059,70	3	5,26E-05	0,200	2,63E-04	7,20	1,89E-03	4,34	8,21E-03	25000	2,05E+02	552,8
TOPLAM	596869,49	39		5,133		103,72		57,16		348100		8183,70
İL	(7.1)	CR8	(8.1)	CR9	(9.1)	CR10	(10.1)	CR11	(11.1)	CR12	(12.1)	SIRA
	1:(7)*(6.1)	(min)	1:(8)*(7.1)	(min)	1:(9.1)*(8.1)	(min)	1:(10)*(9.1)	(max)	(10.1)*(11)	(min)	(11.1)*(1/(12))	
1	7,98E-02	74,8	1,07E-03	66,75	1,60E-05	3	5,33E-06	13,2	7,03E-05	7735	9,09E-09	11
2	3,44E-02	74	4,64E-04	64,00	7,25E-06	2	3,63E-06	7,9	2,87E-05	10528	2,72E-09	13
3	4,72E-01	88,7	5,32E-03	60,67	8,77E-05	3	2,92E-05	6,9	2,02E-04	8687	2,32E-08	5
4	2,48E-01	93,2	2,66E-03	71,33	3,73E-05	2	1,87E-05	12,2	2,28E-04	7084	3,21E-08	2
5	1,85E-01	99,1	1,87E-03	61,75	3,02E-05	3	1,01E-05	8,7	8,77E-05	8167	1,07E-08	10
6	2,92E-01	66,6	4,38E-03	71,08	6,16E-05	3	2,05E-05	12,4	2,55E-04	8538	2,98E-08	3
7	1,25E-01	77,3	1,62E-03	62,42	2,59E-05	2	1,30E-05	14	1,82E-04	6513	2,79E-08	4
8	5,35E-01	82,8	6,46E-03	59,17	1,09E-04	4	2,73E-05	4,7	1,28E-04	8349	1,54E-08	8
9	2,29E-01	80	2,86E-03	60,67	4,72E-05	2	2,36E-05	11,6	2,74E-04	6295	4,35E-08	1
10	6,10E-01	77,3	7,89E-03	61,33	1,29E-04	4	3,22E-05	4,2	1,35E-04	9688	1,39E-08	9
11	3,15E-01	107,6	2,93E-03	65,00	4,51E-05	4	1,13E-05	5,6	6,31E-05	7051	8,95E-09	12
12	3,20E-01	91	3,52E-03	61,67	5,71E-05	2	2,86E-05	6,5	1,86E-04	9797	1,89E-08	7
13	3,71E-01	85,4	4,35E-03	62,67	6,93E-05	3	2,31E-05	6,9	1,60E-04	7656	2,08E-08	6
		1097,80		828,50		37		114,80		106088		

3.2. Geliştirilmiş Entropi Ağırlıklı MULTIMOORA Yöntemiyle Uygunluk Sıralarının Belirlenmesi

3.2.1. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Ham verilerden yola çıkarak Entropi yönteminin adımları uygulanarak kriter ağırlıkları belirlenebilir. Bu aşamada ilk olarak yapılması gereken işlem ise farklı ölçü birimleri ve değerleri içeren verilerin normalleştirilmesidir. Eşitlik (1) kullanılarak yapılan normalizasyon işlemi sonucunda Tablo 6'da gösterilen değerler elde edilmiştir.

Tablo 6. Normalize edilmiş karar matrisi

İL	CR1 (min)	CR2 (max)	CR3 (max)	CR4 (max)	CR5 (max)	CR6 (max)	CR7 (min)	CR8 (min)	CR9 (min)	CR10 (min)	CR11 (max)	CR12 (min)
1	0,09	0,05	0,12	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,11	0,07
2	0,07	0,03	0,13	0,09	0,08	0,08	0,13	0,07	0,08	0,05	0,07	0,10
3	0,06	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,05	0,08	0,07	0,08	0,06	0,08
4	0,09	0,10	0,04	0,07	0,07	0,08	0,14	0,08	0,09	0,05	0,11	0,07
5	0,06	0,05	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,09	0,07	0,08	0,08	0,08
6	0,08	0,08	0,06	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,09	0,08	0,11	0,08
7	0,09	0,13	0,13	0,07	0,07	0,07	0,10	0,07	0,08	0,05	0,12	0,06
8	0,07	0,05	0,04	0,08	0,08	0,08	0,04	0,08	0,07	0,11	0,04	0,08
9	0,10	0,13	0,08	0,07	0,08	0,08	0,09	0,07	0,07	0,05	0,10	0,06
10	0,07	0,08	0,06	0,08	0,08	0,08	0,04	0,07	0,07	0,11	0,04	0,09
11	0,06	0,10	0,11	0,07	0,08	0,07	0,05	0,10	0,08	0,11	0,05	0,07
12	0,07	0,05	0,05	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,05	0,06	0,09
13	0,10	0,08	0,04	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,06	0,07

Normalizasyon işleminin ardından ise sırasıyla Eşitlik (2), Eşitlik (3) ve Eşitlik (4) kullanılarak kriterlerin ağırlıkları belirlenir. Yapılan hesaplamalar ve elde edilen kriter ağırlıkları (w_j) Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Kriter ağırlığı hesaplamaları

İL	$(P_{ij} \ln P_{ij})$ Değerleri											
	CR1 (min)	CR2 (max)	CR3 (max)	CR4 (max)	CR5 (max)	CR6 (max)	CR7 (min)	CR8 (min)	CR9 (min)	CR10 (min)	CR11 (max)	CR12 (min)
1	-0,21	-0,15	-0,25	-0,20	-0,19	-0,19	-0,20	-0,18	-0,20	-0,20	-0,25	-0,19
2	-0,18	-0,09	-0,27	-0,21	-0,20	-0,20	-0,26	-0,18	-0,20	-0,16	-0,18	-0,23
3	-0,17	-0,20	-0,18	-0,20	-0,20	-0,20	-0,15	-0,20	-0,19	-0,20	-0,17	-0,20
4	-0,21	-0,23	-0,13	-0,19	-0,19	-0,20	-0,27	-0,21	-0,21	-0,16	-0,24	-0,18
5	-0,17	-0,15	-0,21	-0,20	-0,20	-0,20	-0,18	-0,22	-0,19	-0,20	-0,20	-0,20
6	-0,21	-0,20	-0,16	-0,20	-0,20	-0,20	-0,19	-0,17	-0,21	-0,20	-0,24	-0,20
7	-0,21	-0,26	-0,26	-0,19	-0,19	-0,19	-0,23	-0,19	-0,19	-0,16	-0,26	-0,17
8	-0,19	-0,15	-0,14	-0,20	-0,20	-0,20	-0,13	-0,19	-0,19	-0,24	-0,13	-0,20
9	-0,22	-0,26	-0,20	-0,19	-0,20	-0,20	-0,21	-0,19	-0,19	-0,16	-0,23	-0,17
10	-0,19	-0,20	-0,18	-0,21	-0,20	-0,20	-0,13	-0,19	-0,19	-0,24	-0,12	-0,22
11	-0,17	-0,23	-0,24	-0,19	-0,19	-0,19	-0,16	-0,23	-0,20	-0,24	-0,15	-0,18
12	-0,18	-0,15	-0,14	-0,20	-0,20	-0,20	-0,18	-0,21	-0,19	-0,16	-0,16	-0,22
13	-0,22	-0,20	-0,12	-0,20	-0,20	-0,19	-0,18	-0,20	-0,20	-0,20	-0,17	-0,19
TOPLAM	-2,55	-2,49	-2,48	-2,56	-2,56	-2,56	-2,50	-2,56	-2,56	-2,53	-2,49	-2,55
E_j	0,9948	0,9693	0,9654	0,9993	0,9999	0,9998	0,9727	0,9968	0,9994	0,9858	0,9727	0,9955
d_j	0,0052	0,0307	0,0346	0,0007	0,0001	0,0002	0,0273	0,0032	0,0006	0,0142	0,0273	0,0045
w_j	0,0353	0,2064	0,2329	0,0050	0,0006	0,0011	0,1835	0,0214	0,0044	0,0954	0,1836	0,0302

Entropi yöntemi ile yapılan hesaplamalar sonucunda ağırlıklarına göre kriterlerin önem sırası $CR3 > CR2 > CR11 > CR7 > CR10 > CR1 > CR12 > CR8 > CR4 > CR9 > CR6 > CR5$ olarak belirlenmiştir.

3.2.2. Uygunluk Sıralarının Belirlenmesi

Şehirlerin güneş enerjisi santrali yatırımına uygunluklarını değerlendirmek için kullanılan ikinci yöntem Geliştirilmiş MULTIMOORA yöntemidir. Geliştirilmiş MUTLIMOORA ile MULTIMOORA yöntemlerinin en önemli farkı ilkinde tam çarpım formunda da ağırlıkların değerlendirmeye alınmasıdır. Bu

kısımda kriterlerin belirli bir önem ağırlığına sahip olması durumuna göre sıralamalar yapılmıştır. Kriter ağırlıkları için Bölüm 3.2.1’de Entropi yöntemiyle elde edilen ağırlıklar kullanılmıştır. Standart MULTIMOORA yönteminde olduğu gibi yine işlemler verilerin normalizasyonu ile başlamaktadır. Tablo 6’da yer alan normalleştirilmiş karar matrisi ile Eşitlik (6) ve Eşitlik (7) kullanılarak yapılan hesaplamalar ve OS bileşeni ile elde edilen uygunluk sıraları Tablo 8’de gösterilmektedir. Bu yöntem ile elde edilen sıralama $7 > 9 > 4 > 3 > 10 > 6 > 1 > 13 > 11 > 5 > 12 > 2 > 8$ şeklindedir. Bu yöntem ile en uygun şehir Osmaniye, en az uygun olan ise Konya ili olarak belirlenmiştir.

Tablo 8. Geliştirilmiş MULTIMOORA OS ile elde edilen sıralama

İL	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7	CR8	CR9	CR10	CR11	CR12	y_i	SIRA
	(min)	(max)	(max)	(max)	(max)	(max)	(min)	(min)	(min)	(min)	(max)	(min)		
	0,0353	0,2064	0,2329	0,0050	0,0006	0,0011	0,1835	0,0214	0,0044	0,0954	0,1836	0,0302		
1	0,31	0,17	0,14	0,29	0,27	0,27	0,27	0,24	0,29	0,28	0,39	0,26	-0,0240	7
2	0,23	0,09	0,19	0,31	0,28	0,29	0,44	0,24	0,28	0,19	0,23	0,35	-0,1060	12
3	0,22	0,26	0,08	0,28	0,28	0,28	0,18	0,29	0,26	0,28	0,20	0,29	-0,0085	4
4	0,31	0,34	0,06	0,25	0,27	0,28	0,46	0,30	0,31	0,19	0,36	0,24	-0,0046	3
5	0,22	0,17	0,09	0,27	0,28	0,28	0,23	0,32	0,27	0,28	0,26	0,27	-0,0309	10
6	0,30	0,26	0,15	0,28	0,28	0,28	0,25	0,22	0,31	0,28	0,37	0,29	-0,0101	6
7	0,31	0,43	0,06	0,26	0,27	0,27	0,34	0,25	0,27	0,19	0,41	0,22	0,0470	1
8	0,26	0,17	0,92	0,28	0,28	0,28	0,13	0,27	0,26	0,38	0,14	0,28	-0,2369	13
9	0,34	0,43	0,07	0,26	0,28	0,28	0,30	0,26	0,26	0,19	0,34	0,21	0,0394	2
10	0,26	0,26	0,00	0,30	0,29	0,29	0,14	0,25	0,27	0,38	0,12	0,33	-0,0089	5
11	0,22	0,34	0,16	0,26	0,27	0,27	0,18	0,35	0,28	0,38	0,16	0,24	-0,0269	9
12	0,23	0,17	0,08	0,28	0,28	0,28	0,23	0,30	0,27	0,19	0,19	0,33	-0,0334	11
13	0,34	0,26	0,10	0,27	0,27	0,26	0,23	0,28	0,27	0,28	0,20	0,26	-0,0257	8

İkinci bileşen olan RNY ile yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan sıralamalar ise Tablo 9’da gösterilmektedir. Bu yöntemle şehirlerin uygunluk sırası $9 > 6 > 7 > 3 > 13 > 11 > 10 > 1 > 5 > 12 > 4 > 2 > 8$ olarak belirlenmiştir. Buna göre en uygun şehir Kahramanmaraş, en az uygun olan ise Konya ilidir.

Tablo 9. Geliştirilmiş MULTIMOORA RNY ile elde edilen sıralama

İL	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7	CR8	CR9	CR10	CR11	CR12	Maks. $ d_{ij} $	SIRA
	(min)	(max)	(max)	(max)	(max)	(max)	(min)	(min)	(min)	(min)	(max)	(min)		
	0,0353	0,2064	0,2329	0,0050	0,0006	0,0011	0,1835	0,0214	0,0044	0,0954	0,1836	0,0302		
1	3,2E-03	5,3E-02	3,1E-02	1,1E-04	9,8E-06	2,3E-05	2,4E-02	5,7E-04	1,4E-04	9,0E-03	4,3E-03	1,5E-03	5,3E-02	8
2	4,0E-04	7,1E-02	4,5E-02	0,0E+00	4,5E-06	4,7E-06	5,5E-02	5,2E-04	9,2E-05	0,0E+00	3,3E-02	4,3E-03	7,1E-02	12
3	0,0E+00	3,6E-02	1,7E-02	1,4E-04	2,9E-06	5,8E-06	7,8E-03	1,5E-03	2,8E-05	9,0E-03	3,8E-02	2,4E-03	3,8E-02	4
4	3,2E-03	1,8E-02	1,4E-02	2,9E-04	1,3E-05	1,2E-05	6,1E-02	1,9E-03	2,3E-04	0,0E+00	9,7E-03	8,0E-04	6,1E-02	11
5	0,0E+00	5,3E-02	2,1E-02	1,8E-04	5,0E-06	1,2E-05	1,8E-02	2,3E-03	4,9E-05	9,0E-03	2,9E-02	1,9E-03	5,3E-02	9
6	2,7E-03	3,6E-02	3,5E-02	1,3E-04	3,7E-06	1,2E-05	2,1E-02	0,0E+00	2,3E-04	9,0E-03	8,6E-03	2,3E-03	3,6E-02	2
7	3,2E-03	0,0E+00	1,4E-02	2,7E-04	1,1E-05	2,3E-05	3,8E-02	7,5E-04	6,2E-05	0,0E+00	0,0E+00	2,2E-04	3,8E-02	3
8	1,3E-03	5,3E-02	2,1E-01	1,5E-04	5,3E-06	1,2E-05	0,0E+00	1,1E-03	0,0E+00	1,8E-02	5,0E-02	2,1E-03	2,1E-01	13
9	4,2E-03	0,0E+00	1,6E-02	2,7E-04	5,7E-06	1,2E-05	3,0E-02	9,4E-04	2,8E-05	0,0E+00	1,3E-02	0,0E+00	3,0E-02	1
10	1,3E-03	3,6E-02	0,0E+00	3,1E-05	0,0E+00	0,0E+00	6,3E-04	7,5E-04	4,1E-05	1,8E-02	5,3E-02	3,4E-03	5,3E-02	7
11	0,0E+00	1,8E-02	3,7E-02	2,6E-04	1,1E-05	2,3E-05	8,7E-03	2,9E-03	1,1E-04	1,8E-02	4,5E-02	7,7E-04	4,5E-02	6
12	4,0E-04	5,3E-02	1,9E-02	1,5E-04	7,1E-06	1,2E-05	1,8E-02	1,7E-03	4,7E-05	0,0E+00	4,1E-02	3,6E-03	5,3E-02	10
13	4,2E-03	3,6E-02	2,2E-02	1,8E-04	8,0E-06	3,5E-05	1,7E-02	1,3E-03	6,6E-05	9,0E-03	3,8E-02	1,4E-03	3,8E-02	5
r_j	7,8E-03	8,9E-02	4,7E-04	1,6E-03	1,7E-04	3,3E-04	2,4E-02	4,6E-03	1,1E-03	1,8E-02	7,6E-02	6,4E-03		

Tablo 10. Geliştirilmiş MULTIMOORA TCF ile elde edilen sıralama

İL	CR1	CR2	(2.1)	CR3	(3.1)	CR4	(4.1)	CR5	(5.1)	CR6	(6.1)	CR7
	0,0328	0,1919		0,2904		0,0014		0,0005		0,0010		0,1705
	(1)	(2)	(1/(1))*(2)	(3)	(2.1)/(3)	(4)	(3.1)*(4)	(5)	(4.1)*(5)	(6)	(5.1)*(6)	(7)
1	0,9598	0,6954	0,7245	0,8066	0,8983	0,9936	0,8925	0,9992	0,8918	0,9985	0,8905	0,7845
2	0,9498	0,6027	0,6345	0,8299	0,7646	0,9937	0,7598	0,9993	0,7593	0,9986	0,7582	0,8585
3	0,9482	0,7561	0,7975	0,7126	1,1191	0,9936	1,1120	0,9992	1,1112	0,9986	1,1096	0,7268
4	0,9598	0,8024	0,8360	0,6233	1,3412	0,9937	1,3328	0,9992	1,3318	0,9986	1,3299	0,8682
5	0,9482	0,6954	0,7334	0,7450	0,9845	0,9935	0,9781	0,9992	0,9773	0,9986	0,9759	0,7649
6	0,9581	0,7561	0,7892	0,6866	1,1495	0,9937	1,1423	0,9992	1,1414	0,9986	1,1398	0,7730
7	0,9598	0,8402	0,8754	0,7926	1,1044	0,9936	1,0974	0,9992	1,0966	0,9985	1,0949	0,8207
8	0,9533	0,6954	0,7295	0,6490	1,1241	0,9935	1,1168	0,9992	1,1160	0,9986	1,1144	0,6907
9	0,9627	0,8402	0,8728	0,7370	1,1842	0,9936	1,1766	0,9992	1,1757	0,9986	1,1740	0,8011
10	0,9533	0,7561	0,7932	0,7052	1,1248	0,9932	1,1172	0,9993	1,1163	0,9986	1,1148	0,6939
11	0,9482	0,8024	0,8463	0,7958	1,0634	0,9932	1,0562	0,9992	1,0554	0,9985	1,0538	0,7305
12	0,9498	0,6954	0,7322	0,6490	1,1282	0,9936	1,1209	0,9992	1,1201	0,9986	1,1185	0,7652
13	0,9627	0,7561	0,7854	0,4482	1,7525	0,9937	1,7414	0,9992	1,7401	0,9985	1,7375	0,7621
İL	(7.1)	CR8	(8.1)	CR9	(9.1)	CR10	(10.1)	CR11	(11.1)	CR12	(12.1)	SIRA
	0,0199	0,0041		0,0887		0,1707		0,0281				
	(6.1)/(7)	(8)	(7.1)/(8)	(9)	(8.1)/(9)	(10)	(9.1)/(10)	(11)	(10.1)*(11)	(12)	(11.1)*(12)	
1	1,1351	0,9702	1,1700	0,9946	1,1763	0,8863	1,3273	0,8406	1,1158	0,9601	1,1621	12
2	0,8831	0,9700	0,9104	0,9944	0,9155	0,8526	1,0738	0,7650	0,8215	0,9691	0,8477	13
3	1,5267	0,9738	1,5678	0,9942	1,5770	0,8863	1,7794	0,7462	1,3278	0,9635	1,3782	6
4	1,5317	0,9748	1,5713	0,9949	1,5794	0,8526	1,8524	0,8286	1,5349	0,9575	1,6029	2
5	1,2759	0,9761	1,3071	0,9943	1,3147	0,8863	1,4834	0,7787	1,1551	0,9617	1,2012	11
6	1,4745	0,9678	1,5236	0,9949	1,5314	0,8863	1,7280	0,8310	1,4360	0,9630	1,4913	4
7	1,3342	0,9709	1,3742	0,9943	1,3821	0,8526	1,6210	0,8498	1,3774	0,9551	1,4422	5
8	1,6135	0,9723	1,6594	0,9941	1,6693	0,9109	1,8325	0,6954	1,2744	0,9623	1,3243	8
9	1,4656	0,9716	1,5084	0,9942	1,5173	0,8526	1,7795	0,8209	1,4609	0,9541	1,5311	3
10	1,6065	0,9709	1,6546	0,9942	1,6642	0,9109	1,8269	0,6812	1,2445	0,9666	1,2875	9
11	1,4426	0,9778	1,4754	0,9945	1,4835	0,9109	1,6286	0,7182	1,1696	0,9574	1,2216	10
12	1,4618	0,9743	1,5003	0,9943	1,5090	0,8526	1,7698	0,7381	1,3063	0,9670	1,3509	7
13	2,2798	0,9730	2,3432	0,9943	2,3565	0,8863	2,6590	0,7462	1,9842	0,9598	2,0673	1

Geliştirilmiş MULTIMOORA yönteminin son bileşeni olan *TCF* ile yapılan hesaplamalar ve elde edilen nihai sıralar Tablo 10'da gösterilmektedir. Bu yöntemin standart MULTIMOORA'dan iki temel farkı vardır. Bunlardan birincisi kriter ağırlıklarının dikkate alınması, ikincisi ise normalleştirilmiş değerler üzerinden hesaplamaların yapılmasıdır. Tablo 10'da gösterilen değerler normalleştirilmiş verilerin kriter ağırlığı kullanılarak alınan üslerine karşılık gelmektedir. Eşitlik (12) ve Eşitlik (13) kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda şehirler uygunluk sırası $13 > 4 > 9 > 6 > 7 > 3 > 12 > 8 > 10 > 11 > 5 > 1 > 2$ şeklinde belirlenmiştir. Bu yöntemle göre en uygun şehir Gaziantep, en az uygun olan ise yine Antalya olarak belirlenmiştir. Buraya kadar elde edilen sıralamalar ve yöntem bazında belirlenen nihai sıralamalar Tablo 11'de özetlenmiştir. Her iki yöntem için de belirlenen farklı sıraların aritmetik ortalaması alınarak nihai uygunluk sıraları belirlenmiştir. Hem MULTIMOORA hem de Entropi Ağırlıklı Geliştirilmiş MULTIMOORA için yatırıma en uygun şehir Kahramanmaraş, en az uygun olan şehir ise Antalya ilidir.

Sıralamaları farklı olsa da her iki çözümde ilk beş şehir arasında yer alan iller ise Kahramanmaraş, Mersin, Burdur, Gaziantep ve Osmaniye illeridir.

Tablo 11. Sonuçların karşılaştırılması

İL KODU	İLLER	MULTIMOORA				ENTROPİ AĞIRLIKLIL GELİŞTİRİLMİŞ MULTIMOORA			
		OS	RNY	TCF	FİNAL SİRALAMA	OS	RNY	TCF	FİNAL SİRALAMA
1	Adana	11	8	11	12	7	8	12	9
2	Antalya	13	13	13	13	12	12	13	13
3	Burdur	4	3	5	3	4	4	6	5
4	Hatay	5	12	2	6	3	11	2	6
5	Isparta	10	6	10	9	10	9	11	11
6	Mersin	2	2	3	2	6	2	4	3
7	Osmaniye	3	11	4	5	1	3	5	2
8	Konya	9	9	8	8	13	13	8	12
9	Kahramanmaraş	1	1	1	1	2	1	3	1
10	Karaman	8	10	9	10	5	7	9	7
11	Afyonkarahisar	12	5	12	11	9	6	10	8
12	Denizli	6	7	7	7	11	10	7	10
13	Gaziantep	7	4	6	4	8	5	1	4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sürdürülebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar ve bu yatırımların değerlendirilmesi için yapılan bilimsel çalışmalar son yıllarda önemli bir artış göstermiştir. Yapılan literatür araştırmasından da görüleceği üzere özellikle yer seçimi ve yatırım projesi alternatiflerinin kıyaslaması ile ilgili olan çalışmalarda genellikle yaşam döngüsü analizi, fayda-maliyet analizi ve çok kriterli karar verme yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada daha önce yapılan birçok çalışmadan farklı olarak bir kısmı veya tamamı Akdeniz Bölgesi'nde yer alan illerin güneş enerjisi santrali yatırımına uygunlukları MULTIMOORA ve Geliştirilmiş MULTIMOORA yöntemleri ile analiz edilmiştir. Akçay ve Atak (2018) tarafından önerilen değerlendirme kriterlerinden bir kısmı değiştirilerek belirlenen 12 kritere göre 13 ilin yatırıma uygunlukları değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme yapılırken Geliştirilmiş MULTIMOORA yöntemi içerisinde kullanılacak ağırlıklar ise Entropi yöntemiyle belirlenmiştir.

Yapılan hesaplama sonucunda en fazla ağırlığa sahip kriterler Alan Maliyeti (CR3), Bölgesel Teşvikler (CR2), İşsizlik Oranı (CR11) ve Yıllık Yağış Miktarı (CR7) şeklinde sıralanmaktadır. Tesisin kurulacağı arazinin maliyeti, ilin önemli yatırım teşvikleri verilen bir şehir olması, yağış miktarı ve yapılan yatırımın sosyal anlamda ildeki işsizliğe çare olması önemli kriterlerdir. Alan maliyeti, bulunduğu teşvik bölgesi ve nem oranının yüksek olması gibi sebeplerle bu tip bir yatırım için en az uygun olan şehir Antalya ilidir. Günümüzde bu ilin güneş enerjisi santrali yatırımları için çok fazla tercih edilmediği bilinmektedir. Ancak kullanılan kriterlerin ve ağırlıkların değişmesi doğal olarak yapılan sıralamayı da değiştirecektir. Bu noktada yatırımcılar, değerlendirme kriterleri için farklı ağırlıklandırma yöntemleri ile ağırlıklandırma yapabilirler. Bu çalışmada kullanılan her iki yöntemde sıralamaları farklı olmakla beraber ilk beş içerisinde yer alan şehirler aynıdır. Bu şehirler sırasıyla Kahramanmaraş, Mersin, Burdur, Gaziantep ve Osmaniye illeridir. Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda ise belirli projeler arasından daha detaylı ve teknik kriterler kullanılarak yine aynı yöntemlerle kıyaslama yapılabilir. Bunun yanı sıra, güneş enerjisi santrali yatırımın önemli bir sermaye gerektirmesi nedeniyle yaşam döngüsü analizi, fayda-maliyet analizi ve çok kriterli karar verme yöntemleri ile belirlenen sıralamaların birbiri ile kıyaslanarak nihai kararın verilmesi doğal olarak yatırımcının isabetli bir karar vermesine yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- ADALI, E.A., ve IŞIK, A.T. (2017), The multi-objective decision making methods based on MULTIMOORA and MOOSRA for the laptop selection problem. *Journal of Industrial Engineering International*, 13(2), 229-237.
- AKCAY, M., ve ATAK, M. (2018), Optimal Site Selection for a Solar Power Plant in Turkey Using a Hybrid AHP-TOPSIS Method, *Celal Bayar University Journal of Science*, 14(4), 413-420.
- AKÇAKANAT, Ö., EREN, H., AKSOY, E., ve ÖMÜRBEK, V. (2017), Bankacılık Sektöründe Entropi ve WASPAS Yöntemleri ile Performans Değerlendirmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(2), 285-300.
- AKKAS, O.P., ERTEN, M.Y., CAM, E., ve INANC, N. (2017), Optimal site selection for a solar power plant in the Central Anatolian Region of Turkey, *International Journal of Photoenergy*, 2017, Article ID 7452715, 1-13.
- ALP, İ., ÖZTEL, A., ve KÖSE, M.S. (2015), Entropi tabanlı MAUT yöntemi ile kurumsal sürdürülebilirlik performansı ölçümü: Bir vaka çalışması. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 11(2), 65-81.
- ARAGONÉS-BELTRÁN, P., CHAPARRO-GONZÁLEZ, F., PASTOR-FERRANDO, J.P., ve RODRIGUEZ-POZO, F. (2010), An ANP-based approach for the selection of photovoltaic solar power plant investment projects. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(1), 249-264.
- ARAGONÉS-BELTRÁN, P., CHAPARRO-GONZÁLEZ, F., PASTOR-FERRANDO, J.P., ve PLA-RUBIO, A. (2014), An AHP (Analytic Hierarchy Process)/ANP (Analytic Network Process)-based multi-criteria decision approach for the selection of solar-thermal power plant investment projects. *Energy*, 66, 222-238.
- AYDEMİR, E., ve ŞAHİN, Y. (2019, September). A variable weighted MULTIMOORA method to CNC machine selection. In *Proceedings of 10th International Symposium on Intelligent Manufacturing and Service Systems (IMSS'19)*, pp. 767-776, Sakarya, Turkey.
- AYDIN, N.Y., KENTEL, E., ve DUZGUN, H. S. (2013), GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey. *Energy Conversion and Management*, 70, 90-106.
- BALEŽENTIS, A., BALEŽENTIS, T., ve BRAUERS, W.K. (2012), Personnel selection based on computing with words and fuzzy MULTIMOORA, *Expert Systems with applications*, 39(9), 7961-7967.
- BALEŽENTIS, A., BALEŽENTIS, T., ve VALKAUSKAS, R. (2010), Evaluating situation of Lithuania in the European Union: Structural indicators and MULTIMOORA method, *Technological and Economic Development of Economy*, 16(4), 578-602.
- BALEŽENTIS, T., ve ZENG, S. (2013), Group multi-criteria decision making based upon interval-valued fuzzy numbers: an extension of the MULTIMOORA method, *Expert Systems with Applications*, 40(2), 543-550.
- BLIEN, U., ve TASSINOPOULOS, A. (2001), Forecasting regional employment with the ENTROPY method, *Regional Studies*, 35(2), 113-124.
- BRAUERS, W. K., ve ZAVADSKAS, E.K. (2006), The MOORA method and its application to privatization in a transition economy, *Control and Cybernetics*, 35(2), 445-469.
- BRAUERS, W.K.M, ve ZAVADSKAS, E.K. (2009), Robustness of the multi-objective MOORA method with a test for the facilities sector. *Technological and economic development of economy*, 15(2), 352-37.
- BRAUERS, W.K.M., ve ZAVADSKAS, E.K. (2010), Project management by MULTIMOORA as an instrument for transition economies, *Technological and Economic Development of Economy*, 16(1), 5-24
- BRAUERS, W.K.M., ve ZAVADSKAS, E.K. (2012), Robustness of MULTIMOORA: a method for multi-objective optimization. *Informatica*, 23(1), 1-25.
- BUYUKOZKAN, G., ve GULERYUZ, S. (2016), An Integrated DEMATEL-ANP Approach for Renewable Energy Resources Selection in Turkey, *International Journal of Production Economics*, 182, 435-448.
- ÇAKIR, S., ve PERÇİN, S. (2013), AB Ülkeleri'nde Bütünleşik Entropi Ağırlık-Topsis Yöntemiyle Ar-Ge Performansının Ölçülmesi, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 32(1), 77-95.
- DrDataStats (2019), Türkiye İller Bazında Milli Gelir Haritası, 16.04.2019 tarihinde [DrDataStats: https://www.drdatastats.com/turkiye-iller-bazinda-milli-gelir-haritasi/](https://www.drdatastats.com/turkiye-iller-bazinda-milli-gelir-haritasi/) adresinden alınmıştır.
- ENERDATA (2019), *Global Energy Statistical Yearbook*, 02 Haziran 2019 tarihinde <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html> adresinden alındı.
- ENERJİ İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ (EİGM) (2019), *Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası*, 14.04.2019 tarihinde EİGM: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/> adresinden alındı.
- ERTAY, T., KAHRAMAN, C., ve KAYA, I. (2013), Evaluation of renewable energy alternatives using MACBETH and fuzzy AHP multicriteria methods: the case of Turkey. *Technological and Economic Development of Economy*, 19(1), 38-62.

- ERVURAL, B.C., EVREN, R., ve DELEN, D. (2018b), A multi-objective decision-making approach for sustainable energy investment planning. *Renewable energy*, 126, 387-402.
- ERVURAL, B.Ç., ZAIM, S., DEMIREL, O.F., AYDIN, Z., ve DELEN, D. (2018a), An ANP and fuzzy TOPSIS-based SWOT analysis for Turkey's energy planning, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1538-1550.
- EVANS, A., STREZOV, V., ve EVANS, T.J. (2009). Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(5), 1082-1088.
- FATTAHI, R., ve KHALILZADEH, M. (2018), Risk evaluation using a novel hybrid method based on FMEA, extended MULTIMOORA, and AHP methods under fuzzy environment. *Safety science*, 102, 290-300.
- GARCIA ALCARÁZ J.L., GONZÁLEZ J.R., ve VALDIVIESO I.C. (2010), Selección de proveedores usando el método MOORA. *Cultura Científica y Tecnológica*, 7(40-41), 94- 105.
- GELİR İDARESİ BAŞKANLIĞI (GİB) (2014), *Asgari ölçüde Arsa ve Arazi Metrekare Birim Değerleri*, 12.04.2019 tarihinde GİB: https://intvd.gib.gov.tr/2014_Emlak_Arsa/ adresinden alındı.
- HAFEZALKOTOB, A., HAFEZALKOTOB, A., LIAO, H., ve HERRERA, F. (2019), An overview of MULTIMOORA for multi-criteria decision-making: Theory, developments, applications, and challenges, *Information Fusion*, 51, 145-177.
- HAFEZALKOTOB, A., ve HAFEZALKOTOB, A. (2016), Extended MULTIMOORA method based on Shannon entropy weight for materials selection, *Journal of Industrial Engineering International*, 12(1), 1-13.
- HAMAL, S., SENVAR, O., ve VAYVAY, O. (2018), Selection of Optimal Renewable Energy Investment Project Via Fuzzy ANP, *Journal of Economics Finance and Accounting*, 5(2), 224-233.
- HEO, E., KIM, J., ve BOO, K.J. (2010), Analysis of the assessment factors for renewable energy dissemination program evaluation using fuzzy AHP, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(8), 2214-2220.
- ISLAM, M.R. ve KHAN, M.M. (2019), *The Science of Climate Change*, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.
- KARABASEVIC, D., STANUJKIC, D., UROSEVIC, S., ve MAKSIMOVIC, M. (2015). Selection of candidates in the mining industry based on the application of the SWARA and the MULTIMOORA methods, *Acta Montanistica Slovaca*, 20(2), 116-124.
- KARAGUL, K., SAHİN, Y., AYDEMİR, E., ve ORAL, A. (2019), A simulated annealing algorithm based solution method for a green vehicle routing problem with fuel consumption. In *Lean and green supply chain management* (s. 161-187). Cham: Springer.
- KARAMI, A., ve JOHANSSON, R., (2014), Utilization of Multi Attribute Decision Making Techniques to Integrate Automatic and Manual Ranking of Options, *Journal of Information Science and Engineering*, 30, 519-534.
- KARANDE, P., ve CHAKRABORTY, S. (2012). Application of multi-objective optimization on the basis of ratio analysis (MOORA) method for materials selection. *Materials & Design*, 37, 317-324.
- KAYA, T., ve KAHRAMAN, C. (2011), Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology, *Expert Systems with Applications*, 38(6), 6577-6585.
- KILDIENE, S. (2013), Assessment of opportunities for construction enterprises in European Union member states using the MULTIMOORA method, *Procedia Engineering*, 57, 557-564.
- KOCA, M.B., KILIÇ, M.B., ve ŞAHİN, Y. (2019). Assessing wind energy potential using finite mixture distributions. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 27(3), 2276-2294.
- KRACKA, M., BRAUERS, W. K. M., ve ZAVADSKAS, E. K. (2010), Ranking heating losses in a building by applying the MULTIMOORA, *Engineering economics.-Kaunas*, 21(4), 352-359.
- KUMAR, A., SAH, B., SINGH, A.R., DENG, Y., HE, X., KUMAR, P., ve BANSAL, R.C. (2017), A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 596-609.
- LI, Z.H. (2014), An extension of the MULTIMOORA method for multiple criteria group decision making based upon hesitant fuzzy sets, *Journal of Applied Mathematics*, 2014, 1-16.
- LIU, G. (2014), Development of a general sustainability indicator for renewable energy systems: a review, *Renewable and sustainable energy reviews*, 31, 611-621.
- METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ (MGM) (2019), *Resmi İstatistikler*, 15.04.2019 tarihinde MGM: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx> adresinden alındı.
- NIJKAMP, P., ve VAN DELFT, A. (1977). *Multi-criteria analysis and regional decision-making*, Netherlands: Springer Science & Business Media.

- ORAKÇI, E., ve ÖZDEMİR, A. (2017), Telafi edici çok kriterli karar verme yöntemleri ile Türkiye ve AB ülkelerinin insani gelişmişlik düzeylerinin belirlenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(1), 61-74.
- ÖMÜRBEK, N., EREN, H., ve DAĞ, O. (2017), Entropi-Aras ve Entropi-MOOSRA Yöntemleri ile Yaşam Kalitesi Açısından AB Ülkelerinin Değerlendirilmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(2), 29-48.
- ÖMÜRBEK, N., KARAAATLI, M., ve BALCI, H.F. (2016), Entropi temelli MAUT ve SAW yöntemleri ile otomotiv firmalarının performans değerlemesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 31(1), 227-255.
- ÖNAY, O., ve ÇETİN, E. (2012), Turistik yerlerin popülaritesinin belirlenmesi: İstanbul örneği. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 23(72), 90-109.
- ÖZDEMİR, B., ÖZCAN, B., ve ALADAĞ, Z. (2017), Güneş enerjisi santrali kuruluş yerinin AHS ve VIKOR yöntemlerine dayalı bütünlük yaklaşım ile değerlendirilmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 33(2), 16-34.
- ÖZTÜRK, B., ve SERKENDİZ, H. (2018). Location Selection for Wind Turbines in Balıkesir, NW Turkey, Using GIS, *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 5(3), 284-295.
- POHEKAR, S.D., ve RAMACHANDRAN, M. (2004), Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8(4), 365-381.
- ROJANAMON, P., CHAISOMPHOB, T., ve BUREEKUL, T. (2009), Application of geographical information system to site selection of small run-of-river hydropower project by considering engineering/economic/environmental criteria and social impact, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2336-2348.
- SAN CRISTÓBAL, J.R. (2011), Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in Spain: The Vikor method, *Renewable energy*, 36(2), 498-502.
- SAN CRISTÓBAL, J.R. (2012), A goal programming model for the optimal mix and location of renewable energy plants in the north of Spain, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4461-4464.
- SHANNON, C.E. (1948), A mathematical theory of communication, *Bell System Technical Journal*, 27(3), 623-656.
- SHEMASHADI, A., SHIRAZI, H., TOREIHI, M., ve TAROKH, M. J. (2011), A fuzzy VIKOR method for supplier selection based on entropy measure for objective weighting, *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12160-12167.
- STRANTZALI, E., ve ARAVOSSIS, K. (2016), Decision making in renewable energy investments: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 885-898.
- STREIMIKIENE, D., BALEZENTIS, T., KRISCIUKAITIENĖ, I., & BALEZENTIS, A. (2012), Prioritizing sustainable electricity production technologies: MCDM approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3302-3311.
- ŞENGÜL, Ü., EREN, M., SHIRAZ, S. E., GEZDER, V., ve ŞENGÜL, A.B. (2015), Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey, *Renewable Energy*, 75, 617-625.
- T.C. CUMHURBAŞKANLIĞI YATIRIM OFİSİ (TCBYO) (2019), *Yatırım Teşvikleri*, 12.04.2019 tarihinde TCBYO: <http://v1.invest.gov.tr/tr-TR/investmentguide/investorguide/Pages/Incentives.aspx> adresinden alındı.
- TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI (TOB) (2019), *Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi (DEMİS)*, 16.04.2019 tarihinde TOB: <https://www.tarimorman.gov.tr/CEM/Link/9/Izleme-Sistemleri> adresinden alındı.
- TOKLU, M.C., ve UYGUN, Ö. (2018), Location Selection for Wind Plant using AHP and Axiomatic Design in Fuzzy Environment, *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 6(2), 120-128.
- TUNCA, M. Z., ÖMÜRBEK, N., CÖMERT, H. G., ve AKSOY, E. (2016), OPEC Ülkelerinin Performanslarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden Entropi ve MAUT ile Değerlendirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 7(14), 1-12.
- TÜRKİYE ELEKTRİK İLETİM A.Ş. (TEİAŞ) (2018), *Tarifeler*, 12.04.2019 tarihinde TEİAŞ: <https://www.teias.gov.tr/tr/tarifeler> adresinden alındı.
- TÜRKİYE İSTATİSTİK KURUMU (TUİK) (2013), *İl Bazında Temel İşgücü göstergeleri*, 16.04.2019 tarihinde TUİK: <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist> adresinden alınmıştır.
- UYSAL, F. (2011), Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Seçimi için Graf Teori ve Matris Yaklaşım. *Ekonometri ve İstatistik e-Dergisi*, (13), 23-40.

- VAFAEIPOUR, M., ZOLFANI, S.H., VARZANDEH, M.H.M., DERAKHTI, A., ve ESHKALAG, M.K. (2014), Assessment of regions priority for implementation of solar projects in Iran: New application of a hybrid multi-criteria decision making approach, *Energy Conversion and Management*, 86, 653-663.
- WU, J., SUN, J., LIANG, L. ve ZHA, Y. (2011), Determination of weights for ultimate cross efficiency using Shannon ENTROPY, *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5162-5165.
- YAVUZ, V. (2016), Coğrafi Pazar Seçiminde PROMETHEE ve Entropi Yöntemlerine Dayalı Çok Kriterli Bir Analiz: Mobilya Sektöründe Bir Uygulama, *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(2), 163-177.
- ZAVADSKAS, E.K., ANTUCHEVICIENE, J., HAJIAGHA, R., HOSSEIN, S., ve HASHEMI, S.S. (2015), The interval-valued intuitionistic fuzzy MULTIMOORA method for group decision making in engineering, *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, 1-13.
- ZHANG, H., GU, C.L., GU, L.W., ve ZHANG, Y. (2011), The Evaluation of Tourism Destination Competitiveness by TOPSIS & Information ENTROPY - A Case in the Yangtze River Delta of China, *Tourism Management*, 32(2), 443-451.