



MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS MODEL FOR WAREHOUSE LOCATION IN DISASTER LOGISTICS

DOI: 10.17261/Pressacademia.2017.454

JMML- V.4-ISS.2-2017(3)-p.89-106

Aylin Ofluoglu¹, Birdogan Baki², İlker Murat Ar³

¹ Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey. aylinofluoglu@ktu.edu.tr

² Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey. bbaki@ktu.edu.tr

³ Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey. ilkerar@ktu.edu.tr

To cite this document

Ofluoglu, A., B. Baki and I.M. Ar, (2017). Multi-criteria decision analysis model for warehouse location in disaster logistics. Journal of Management, Marketing and Logistics (JMML), V.4, Iss.2, p.89-106.

Permant link to this document: <http://doi.org/10.17261/Pressacademia.2017.454>

Copyright: Published by PressAcademia and limited licenced re-use rights only.

ABSTRACT

Purpose- Optimum location of warehouses for disaster logistics increases the performance of humanitarian logistics, so that all the needs of beneficiaries can be delivered in a short time. In this paper, a multi-criteria decision analysis model is designed to decide the best warehouse location in disaster logistics in Trabzon, Turkey.

Methodology- *Entropy* is used to determine the important weights of the criteria. The *SAW*, *TOPSIS* and *VIKOR* methods are utilized to rank the warehouse location alternatives. The ranking results are also combined by the *Borda Count* method to obtain a final ranking. The robustness of the model is examined by the sensitivity analysis.

Findings- According to the results of the analysis, the disaster situation of the land, land size, and the distance of settlement were determined as the three most important criteria. Sensitivity analysis also proved the robustness of the model.

Conclusion- The results are consistent with the expectations of the decision makers and seem to support their decisions. For future studies, the results can be compared using fuzzy techniques.

Keywords: Disaster logistics, warehouse location decision, multicriteria decision making techniques.

JEL Codes: C44, L81, Q54

AFET DEPO YERİ SEÇİMİ İÇİN ÇOK KRİTERLİ KARAR ANALİZİ MODELİ

ÖZET

Amaç- Afet lojistiği kapsamında depoların en uygun yerlere kurulması, insani yardım lojistiğinin performansını artırarak afetzedeler için gerekli tüm malzemelerin kısa bir sürede ihtiyaç yerlerine ulaştırılmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada, Trabzon'da afet lojistiği kapsamında en uygun depo yerinin belirlenmesi amacıyla bir çok kriterli karar analizi modeli tasarlanmıştır.

Yöntem- Bu model kapsamında ilk olarak *Entropi* Tekniği yardımıyla kriter ağırlıkları hesaplanmış ve ardından alternatif depo yerleri, çok kriterli karar verme teknikleri olan *SAW*, *TOPSIS* ve *VIKOR* kullanılarak sıralanmıştır. Elde edilen sonuçlar, *Borda Sayım* yöntemi kullanılarak bütünlük bir sıralama elde edilmiştir. Ayrıca, son aşamada gerçekleştirilen duyarlılık analizi ile modelinin uygunluğu incelenmiştir.

Bulgular- Analiz sonuçlarına göre arazinin afetselliği, arazi büyüklüğü ve yerleşim yerine uzaklık kriterleri en önemli üç kriter olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, duyarlılık analizi ile de modelin uygunluğu ortaya konmuştur.

Sonuç- Çalışmada elde edilen sonuçların karar vericilerin beklentileri ile örtüştüğü ve kararlarını desteklediği görülmektedir. Sonuçlar, gelecekte çalışmalarda bulanık yöntemler kullanılarak elde edilecek sonuçlar ile karşılaştırılabilir.

Anahtar Kelimeler: Afet lojistiği, depo yer seçimi, çok kriterli karar verme teknikleri.

JEL Kodları: C44, L81, Q54

1.GİRİŞ

Son yıllarda gerçekleşen afetlerin sayısı giderek artmakta ve birçok insan bu afetlerden etkilenmektedir. 2015 yılında doğa kaynaklı afetlerdeki can kaybı 19.241 olarak saptanmıştır (Ersoy, 2016:21). EM-DAT (Emergency Event Database: Acil Durum Veritabanı) verilerine göre son 20 yıllık dönemde (1995-2015) dünyada meydana gelen afet sayısı 13.947 iken, afetlerden toplam etkilenen insan sayısı ise yaklaşık 4,4 milyar olup, yaşanan afetler sonucunda 2,3 Trilyon Dolar'lık zarar ortaya çıkmıştır (EMDAT, 2016).

Afet terimi bir sistemi bir bütün olarak etkileyen, onun önceliklerini ve amaçlarını tehdit eden karmaşa durumu olarak açıklanmaktadır (Van Wassenhove, 2006:476). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) afeti; zarar, yıkım, ekolojik bozulma, insan kayıpları, insan acıları ve etkilenen topluluk veya alandan gelen olağanüstü yardım talebine destek verecek yeterli ölçekteki sağlık hizmetlerinde bozulmalara sebep olan olaylar şeklinde ifade etmektedir (Safeer vd. 2014:2248). Van Wassenhove (2006:476) afetleri; ani başlayan doğal (deprem, hortum, kasırga), yavaş gelişen doğal (kıtlık, kuraklık and açlık), insan kaynaklı ani başlayan (terör saldırıları, kimyasal sızıntı) ve insan kaynaklı yavaş gelişen (politik kriz, mülteci krizi) şeklinde sınıflandırmıştır.

İnsan kaynaklı ya da doğal oluşan afetlerin yönetiminden sorumlu afet yönetimi ise; afet faaliyetlerine ilişkin *azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileşme* süreçlerinden sorumludur (Ahmadi vd. 2015:145). *Azaltma süreci*, felaketi ortadan kaldırmak ya da etkilerini azaltmak amacıyla uzun dönemli çabaları; *hazırlık süreci*, afetten önce ana dağıtım merkezlerinin sayısı ve kuruluş yeri kararları gibi stratejik karar ve prosedürleri; *müdahale süreci* afetten sonra etkilenen alanlara yardım malzemelerinin dağıtımını ve *iyileşme süreci* ise etkilenen alanların öncelikli yerlerin kamu ya da sivil toplum kuruluşları tarafından yenilenmesini içermektedir (Ahmadi vd. 2015:145).

Rapor edilen afetlerin sayısı gittikçe artmakta ve afet lojistiği büyük ölçekli yaşanan olağanüstü hallerde gerekli yardım malzemelerinin (yiyecek, su, ilaç, çadır ve tedarikler) hızlıca ulaştırılmasında önemli rol oynamakta ve sonuç olarak insan kayıplarının ve acılarının en aza indirilmesi amaçlanmaktadır (Balcık ve Beamon, 2008:101). Bu açıdan bakıldığında afet lojistiği "savunmasız insanların acılarını azaltmak amacıyla üretim noktasından tüketim noktasına kadar yiyecek, malzeme ve ilgili bilginin etkin, uygun maliyetli akış ve depolanmasının planlanması, yürütülmesi ve kontrol edilmesi süreci" olarak ifade edilmektedir (Thomas ve Kopczak, 2005:2).

Afet lojistiği; ilgili faaliyetlerin etkin bir şekilde yürütülmesi, afetler sonucu oluşan ya da oluşacak olan zararların en aza indirilmesi noktasında önemli bir rol oynamaktadır. İnsani yardım için depoların en uygun yerlerde kurulmuş olmaları, etkin filo yönetiminin yürütülmesini ve nakliye mesafesinin azalmasını sağlayarak afet lojistiğinin performansını artırmaktadır. Bunun sonucunda da yiyecek, su, ilaç, çadır ve afetzedeler için gerekli tüm malzemeler kısa bir sürede ihtiyaç yerlerine ulaştırılabilmekte ve malzemelerin tükenmesi ya da yetersiz kalması sorunu büyük ölçüde aşılabilmektedir (Kandel vd. 2011:289). Belirlenen tüm bu hedeflere ulaşılabilmesi ve çalışmaların etkin bir şekilde yürütülmesi ancak doğru depo yeri seçimi ile mümkün olmaktadır.

Depo yeri seçimi, birbiriyle çelişen çok sayıda kriteri bünyesinde barındıran Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemidir. Bu çalışmada insani yardım lojistiği kapsamında depo kuruluş yeri seçimi problemi için ÇKKV teknikleri kullanılarak bir model önerilmesi amaçlanmıştır. İlgili literatür incelendiğinde; insani yardım lojistiği kapsamında depo kuruluş yeri seçimi problemi için ÇKKV tekniklerinin kullanıldığı sınırlı sayıda çalışma bulunduğu görülmüştür.

Çalışma kapsamında kriter ağırlıklarını belirlemek amacıyla öznel ağırlıklandırma yöntemleri olan AHP ve Delphi gibi yöntemlerin aksine, hesaplamaları eldeki verilere göre yapan (Çakır ve Perçin, 2013:79) nesnel ağırlıklandırma yöntemlerinden Entropi Ağırlık Yöntemi kullanılmıştır. Depo kuruluş yeri alternatiflerinin sıralanması amacıyla ise SAW, TOPSIS, VIKOR yöntemleri kullanılmıştır. Daha sonra sonuçlar karşılaştırılarak yöntemler arasında farklılık olup olmadığı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Her yöntemin sonuçları birbirinden farklı olabileceğinden hareketle bütünlük bir sıralama elde etmek amacıyla olan Borda Sayım yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmanın ilerleyen bölümünde ilk olarak depo kuruluş yeri seçimi ile ilgili yaklaşımları ve depo kuruluş yeri seçim kriterlerini içeren literatür araştırması yer almaktadır. Ardından üçüncü bölümde Entropi Ağırlık Yöntemi, SAW, TOPSIS, VIKOR ve Borda Sayım yöntemleri anlatılmıştır. Daha sonraki bölümde, Trabzon'da afet lojistiği kapsamında depo kuruluş yeri seçimi problemi ile ilgili gerçekleştirilen uygulamaya ilişkin bulgular verilmektedir. Çalışmanın son bölümünde ise bulgulara dayalı sonuçlar ve gelecekte konuyla ilgili yapılacak çalışmalar vurgulanmaktadır.

2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Son zamanlarda araştırmacılar ve uygulayıcılar afet lojistiği konusuna oldukça ilgi göstermektedir. Afet lojistiği alanında (Roh vd., 2015) tarafından yapılan sınıflandırmadan hareketle; tahliye (Hadiguna vd. 2014; Na ve Banerjee, 2015), stoğun önceden konumlandırılması (Lee vd. 2014; Opit ve Nakade, 2016), kuruluş yeri seçimi (Salman ve Yücel, 2015; Verma ve

Gaukler, 2015), yardım dağıtımı (Ahmadi vd. 2015; Fikar vd. 2016) ve afetzedelerin taşınması (Safeer vd. 2014; Na ve Banerjee, 2015) ile ilgili konularda çalışmalar bulunmaktadır.

2.1. Depo Kuruluş Yeri Kriterleri

Depo kuruluş yeri kararları dağıtım ağı tasarımında en önemli kararlardan biri olup, nitel ve nicel çok sayıda kriteri içermektedir. Literatürde depo kuruluş yeri seçim problemi için belirlenen birçok kriter bulunmaktadır (Roh vd. 2015). Bu kriterleri; Korpela ve Tuominen (1996) güvenilirlik, esneklik ve stratejik uygunluğu olarak belirlerken Alberto (2000) çevresel faktörler, maliyet, yaşam kalitesi, yerel güdüler, müşterilere tedarikte zaman güvenilirliği, müşteri taleplerine yanıt esnekliği ve müşterilerle bütünleşme olarak ifade etmiştir. Demirel vd. (2010) çalışmalarında Türkiye’de depo seçimi için maliyet, işgücü özellikleri, altyapı, pazarlar ve makro çevreyi kriter olarak ele almıştır. Kapasite, maliyet ve müşteri kriterleri temel alınarak Özcan vd. (2011)’nin çalışmalarında birim fiyat, stok tutma kapasitesi, pazara ortalama uzaklık, ana tedarikçilere ortalama uzaklık ve hareket esnekliği değerlendirme kriteri olarak belirlenmiştir.

Dağıtım/lojistik merkez kriterlerinin ele alındığı Awasthi vd. (2011) nin çalışmasında; kabul görme, güvenlik, çoklu ulaşım yollarına bağlantı, maliyetler, çevresel etki, müşterilere yakınlık, tedarikçilere yakınlık, kaynak uygunluğu, taşıma yönetmeliklerine uygunluk, gelişme olasılığı ve hizmet kalitesi dikkate alınırken Sarkis ve Sundarraj (2002) bu kriterleri maliyet, kabul görme, zaman, mevzuat, risk, işgücü ve stratejik faktörler olarak sıralanmıştır. Öte yandan, konuya lojistik merkez seçimi açısından bakıldığında Kayıkcı (2010) ekonomik büyüklük, ulusal istikrar, intermodal işlem ve yönetim, uluslararası pazar konumu ve çevresel etki faktörlerini kriter olarak belirlemiştir. Li vd. (2011b) ise hava durumu ve arazi yapısı, su tedarigi, elektrik tedarigi, katı atıkların ortadan kaldırılması, iletişim, trafik, arazi alanı, arazi şekli, arazinin çevredeki ana yollara bağlantısı, arazi bedeli, yük taşıma ve temel inşaat yatırımları kriterlerini ele almıştır.

2.2. Afet Lojistiği Depo Kuruluş Yeri Kriterleri

Hong ve Xiaohua (2011) çok amaçlı acil durum lojistik merkez kuruluş yeri seçim problemi için çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik faktörleri göz önünde bulundurmıştır. Roh vd. (2013) insani yardım için depoların önceden konumlandırılması problemi için konum, lojistik, ulusal istikrar, maliyet ve işbirliğinden oluşan ana kriterleri ve ilgili alt kriterleri dikkate almıştır. Ağdaş vd. (2014) çalışmalarında afetzedelere ulaşım süresini, sel riski derecesini, ulaşım imkânını, bölge afet deposuna uzaklığı ve toplam maliyeti birer kriter olarak değerlendirmiştir. Roh vd. (2015) ise kriter olarak; uzaklık, güvenlik, büro imkanları ve depo imkanlarını mikro seviyede, kurulum için uygunluk, ulusal istikrar, maliyet, işbirliği ve lojistik kriterlerini ise makro seviyede ele almıştır. Peker vd. (2016) ise konum, altyapı ve işbirliğini ana kriter olarak belirlemiştir.

Bu çalışmalar genel olarak incelendiğinde; afetin türüne ve oluşturacağı olası hasarlara göre depo kuruluş yeri seçim kriterlerinin farklılaştığı görülmektedir. Bununla birlikte konum (ulaşım), maliyet ve altyapı sık kullanılan kriterler olarak dikkat çekmektedir.

2.3. Afet Lojistiği Depo Kuruluş Yeri Seçim Yöntemleri

Literatür incelendiğinde afet lojistiği kapsamında depo kuruluş yeri yaklaşımları ile ilgili çalışmalar Tablo 1’de ortaya konmuştur.

2.4. Çalışmanın Katkısı

Doğu Karadeniz Bölgesinde yaşanan doğal afetlerin çoğunluğunu heyelan ve su baskınlarının oluşturduğu ve olay sayılarına göre illere bakıldığında bu afet türlerinin en çok Trabzon’da olduğu görülmektedir (TRABZON AFAD, 2016). Trabzon’un hem afet riski taşıyan önemli bir bölgede olması hem de Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD) tarafından bölgedeki beş il (Trabzon, Rize, Artvin, Gümüşhane, Bayburt) için depo yeri olarak belirlenmesi, Trabzon’da afet lojistiği kapsamında bir depo kurulmasını gereklilik hale getirmiştir. Öte yandan, literatürde insani yardım lojistiği kapsamında ön hazırlık aşamasının önemine ve önceden konumlandırılmış depoların varlığına olan ihtiyaca vurgu yapan birçok çalışma mevcutken, kuruluş kararı ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Roh vd. 2015:617). Tablo 1’de de görüldüğü gibi Roh vd. (2013) tarafından yapılan çalışma sadece kriter ağırlıklarının belirlendiği çalışmadır. Yine aynı tablodan Hong ve Xiaohua (2011), Turgut vd. (2011), Roh vd. (2015) ve Peker vd. (2016) afet depo yeri seçiminde Çok Kriterli Karar Verme yaklaşımlarının kullanıldığı çalışmalar olduğu görülebilir. Bu çalışmanın literatüre en önemli katkısı, afet lojistiği kapsamında depo kuruluş yeri seçiminde birden fazla çok kriterli karar verme tekniklerinin sonuçlarının karşılaştırıldığı ve bütünleşik bir sonucun elde edildiği ilk çalışma olmasıdır. Ayrıca, bu çalışmanın diğer bir katkısı da kriter ağırlıklarını elde etmek amacıyla öznel ağırlıklandırma tekniği olan AHP yerine nesnel ağırlıklandırma yöntemi Entropi tekniğinin kullanılmasıdır.

Tablo 1: Afet Lojistiği Kapsamında Depo Kuruluş Yeri Seçiminde Kullanılan Yöntemler

Yazar (Yıl)	Çalışmanın İçeriği	Kullanılan Yöntem
Dekle vd. (2005)	Afet iyileştirme merkezi yerleri bulmak, tavsiye etmek ve kabul ettirmek amacıyla iki aşamalı kapsama yer modeli yaklaşımının sunulması	Tamsayıli matematiksel programlama
Balcık ve Beamon (2008)	Bir insani yardım ağındaki dağıtım merkezlerinin sayısına, yerlerine, afetlerden etkilenen insanlara yardım etmek amacıyla her bir dağıtım merkezinde stoklanması gereken yardım miktarına karar verilmesi	Karma tamsayıli matematiksel programlama
Ukkusuri ve Yushimito (2008)	Afetlerde tedariklerin önceden konumlandırılması amacıyla kuruluş yeri problemi için bir model geliştirilmesi	En güvenilir yol (most reliable path) ve tam sayılı matematiksel programlama
Campbell ve Jones (2011)	Felaket hazırlık sürecinde tedariklerin önceden konumlandırılacağı yerlerin seçim ve ne kadar konumlandırılacağı kararlarının belirlenmesi	Maliyet modeli
Gatignon vd. (2010)	Yaşanan büyük bir deprem için üç bölgesel lojistik birim kurarak Uluslararası bir yardım kuruluşunun merkezileşme olmadığı bu durumdan nasıl etkilendiğinin sonuçlarının analiz edilmesi	İnsani yardım lojistiği yazılımı (Humanitarian Logistics Software - HLS)
Mete ve Zabinsky (2010)	Afet yönetiminde ilaç tedariklerinin depolanma yeri ve dağıtım probleminin ele alınması	Stokastik programlama modeli
Rawls ve Turnquist (2010)	Değişik türdeki acil durum tedariklerinin ne miktarda ve nerede önceden konumlandırılacağına karar verilmesi	İki aşamalı stokastik karma tamsayıli programlama ve Lagrangian L-shaped (LLSM) sezgiseli
Hong ve Xiaohua (2011)	Çok amaçlı acil durum lojistik merkez kuruluş yeri seçim probleminin çevresel, ekonomik ve teknik faktörler göz önünde bulundurularak ele alınması	AHP bazlı çok amaçlı bir model
Kandel vd. (2011)	Önceden konumlandırılması gereken tedarikler için merkezi bir insani yardım lojistik deposu kuruluş yeri seçim probleminin ele alınması	Matematiksel model
Turgut vd. (2011)	Afet lojistik merkez kuruluş yeri karar destek sistemi geliştirilmesi	AHP ve bulanık AHP
Lin vd. (2012)	Lojistik etkinliği iyileştirmek amacıyla afetten etkilenen alanın çevresinde geçici depoların kuruluş yeri probleminin ele alınması	İki aşamalı sezgisel algoritma (Decomposition and Assignment Heuristic)
Gözaydın ve Can (2013)	Deprem yardım istasyonları için lojistik merkezi yer seçimi	P-Medyan ve maksimum kapsama alanı
Roh vd. (2013)	İnsani yardım amacıyla depoların önceden konumlandırılması problemi için kriterlerin ve ağırlıklarının belirlenmesi	AHP
Nahleh vd. (2013)	Afet bölgesindeki afetzedeler için gerekli yardım ekiplerinin ve yardım malzemelerinin en yakın bölgesel depodan tedarik edilebilmesi için tam zamanında ve seferberlik sistemini birleştiren bir kuruluş yeri modelinin geliştirilmesi	Ağırlık merkezi yöntemi
Ağdaş vd. (2014)	Bir afet dağıtım merkezi için en uygun yer seçimi probleminin ele alınması	Stokastik çok kriterli kabul edilebilirlik analizi (Stochastic Multi-Criteria Acceptability Analysis) (SMAA-2)
Rat ve Gutjahr (2014)	Afet yardımında depo yerleşim ve rotalama probleminin ele alınması	Karma tamsayıli matematiksel programlama ve komşu arama sezgisel algoritması
Akgün vd. (2015)	Talebi karşılamak için güvenilir bir kuruluş yeri seçiminin sağlanması amacıyla talep noktasının	Hata ağacı analizi yöntemi ve doğrusal tamsayıli programlama

	afetten zarar görme riskini en aza indiren bir optimizasyon modeli önerilmesi	
Roh vd. (2015)	İnsani yardım organizasyonları için depoların bölgesel ve yerel olarak konumlandırılması	AHP ve bulanık TOPSIS
Verma ve Gaukler (2015)	Acil durum tedariklerinin önceden stoklanması için gerekli uygun yerlerin belirlenmesi	Matematiksel model ve stokastik programlama
Peker vd. (2016)	Afet lojistiği kapsamında dağıtım merkezi kuruluş yeri karar kriterlerinin belirlenmesi ve alternatiflerin sıralanması	AHP ve VIKOR
Aslan ve Yıldız (2016)	Afetlerde yaralı toplanma merkezlerinin belirlenmesi	P-medyan ve Genetik algoritma
Saeidian vd. (2016)	Yardım merkezleri için en uygun kuruluş yerini belirlemek ve malların dağılımını yapmak amacıyla kullanılan metasezgisel yöntemlerin sonuçlarının karşılaştırılması	Genetik Algoritma ve Arı Kolonisi Algoritmasını
Tofighi vd. (2016)	Çoklu depo merkezleri, yerel dağıtım merkezleri kuruluş yerleri ve yardım dağıtım probleminin ele alınması	İki aşamalı senaryo temelli olabilirlikli-stokastik programlama (Scenario-Based Possibilistic-Stochastic Programming - SBPSP)

3.ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1. Entropi Ağırlık Yöntemi

İlk olarak 1865 yılında Rudolph Clausius tarafından termodinamikte düzensizlik ölçüsü olarak açıklanan Entropi kavramı (Zhang vd. 2011:444), 1948'de Claude E. Shannon tarafından bilgi entropisi kavramı olarak geliştirilmiştir (Karaatlı, 2016:66). Bilgideki belirsizlik ölçüsü olarak ifade edilen bilgi entropisi kavramı olasılık teorisi kullanılarak formüle edilmektedir (Shemshadi vd. 2011:12161). İnsan kaynaklı hataları ortadan kaldıran ve gerçeği yansıtan nesnel ağırlıklandırma yöntemlerinden olan, eldeki verinin sağladığı yararlı bilginin miktarını ölçmede kullanılan Entropi Ağırlık yönteminde entropi değeri küçüldükçe düzensizlik derecesi de küçülmektedir (Wu vd. 2011:5163; Li vd. 2011a:2087). Entropi Ağırlık yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibidir (Shemshadi vd. 2011:12162; Zhang vd. 2011:444; Malekian ve Azarnivand, 2016:413-414):

1.Aşama: Başlangıç Karar Matrisinin Oluşturulması

m tane karar alternatifi ve n tane değerlendirme kriterine sahip olan çok kriterli karar problemi için başlangıç karar matrisi oluşturulur.

$$X_{m \times n} = \begin{matrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1j} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{i1} & X_{i2} & \cdots & X_{ij} \end{matrix}$$

2.Aşama: Başlangıç Karar Matrisinin Normalize Edilmesi

Normalizasyon işleminde kriterlerin fayda (1) ya da maliyet (2) yönlü olmasına göre aşağıdaki formüller uygulanır:

$$P_{ij} = \frac{X_{ij} - X_j^{\min}}{X_j^{\max} - X_j^{\min}} \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (1)$$

$$P_{ij} = \frac{X_j^{\max} - X_{ij}}{X_j^{\max} - X_j^{\min}} \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (2)$$

Başlangıç matrisi normalize edildikten sonra $R = [r_{ij}]_{m \times n}$ matrisinde gösterilerek eşitlik (3)'ten faydalanılmaktadır.

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad (3)$$

3.Aşama: Entropi Değerinin Hesaplanması

Entropi değeri (E_j), aşağıdaki eşitlik (4) yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij}) \quad (4)$$

Burada k değeri, $k = (\ln(m))^{-1}$ formülü ile hesaplanmaktadır.

4.Aşama: Farklılaşma Derecesinin Hesaplanması

Entropi değerinin farklılaşma derecesi (d_j) hesaplanmaktadır (5):

$$d_j = 1 - E_j, \forall j \quad (5)$$

5.Aşama: Entropi Ağırlığının Hesaplanması

Her bir kriterin nesnel ağırlığı (W_j), aşağıdaki eşitliğe (6) göre tanımlanmaktadır:

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}, \forall j \quad (6)$$

3.2. SAW

Matematiksel basitliği sebebiyle en çok bilinen ve kullanılan ÇKKV tekniklerinden biri olan SAW (Simple Additive Weighting: Basit Toplamlı Ağırlıklandırma) yönteminde nihai sonuç, kriter değerlerinin ağırlıklandırılmış toplamıdır (Wang vd. 2016:29). Literatürde Ağırlıklı Toplam Model (Weighted Sum Model) ya da Skorlama Yöntemi (Scoring Method) olarak da bilinmektedir (Karami, 2011:7). İlk olarak portföy seçim probleminde 1954 yılında Churchman ve Ackoff tarafından kullanılan (Tzeng ve Huang, 2011:55) SAW yönteminin adımları aşağıdaki şekildedir (Tzeng ve Huang, 2011:56; Wang vd. 2016:29):

1.Adım: Başlangıç Karar Matrisinin Normalize Edilmesi

m tane karar alternatifi ve n tane değerlendirme kriterinden oluşan çok kriterli karar probleminde başlangıç karar matrisi ($X_{m \times n}$) oluşturulduktan sonra normalizasyon işlemi, fayda (7) ve maliyet (8) kriterleri için sırasıyla aşağıdaki formüller yardımıyla yapılmaktadır:

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\max_i X_{ij}} \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (7)$$

$$r_{ij} = \frac{\min_i X_{ij}}{X_{ij}} \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (8)$$

2.Adım: Alternatiflerin Tercih Değerlerinin Hesaplanması

Kriter ağırlıklarının (W_j), normalize edilmiş karar matrisindeki tüm satır vektörleriyle çarpılıp toplamının alınmasıyla (9) alternatiflerin tercih değerleri (V_i) hesaplanmakta ve en yüksek (V_i) değerine sahip olan alternatif en iyi alternatif olarak ele alınmaktadır.

$$V_i = \sum_{j=1}^n W_j r_{ij} \quad i=1, \dots, m \quad (9)$$

3.3. TOPSIS

Çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan ve alternatifleri sıralamak amacıyla sıklıkla kullanılan TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi, Hwang and Yoon (1981) tarafından geliştirilmiştir (Li vd. 2011b:7905). Yöntemde, pozitif ve negatif ideal çözümler hesaplanarak ideal çözümle arasındaki yakınlığa göre alternatifler sıralanmaktadır. Pozitif ideal çözüm fayda kriterini maksimize edip maliyet kriterini minimize ederken; negatif ideal çözüm maliyet kriterini maksimize edip fayda kriterini minimize etmektedir (Li vd. 2011b:7905). Yöntemin uygulama adımları şu şekildedir (Kumar ve Singh, 2012:295):

1.Adım: Başlangıç Karar Matrisinin Oluşturulması

m tane karar alternatifi ve n tane değerlendirme kriterine sahip olan çok kriterli karar problemi için başlangıç karar matrisi oluşturulur.

$$X_{m \times n} = \begin{matrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1j} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{i1} & X_{i2} & \dots & X_{ij} \end{matrix}$$

2.Adım: Başlangıç Karar Matrisinin Normalize Edilmesi

Normalizasyon işlemi, aşağıdaki formül (10) aracılığıyla gerçekleştirilmektedir:

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m X_{kj}^2}} \quad (10)$$

3.Adım: Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

Normalize edilmiş karar matrisi ile kriter ağırlıkları (W_j) çarpılarak (11) ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi (V_{ij}) elde edilmektedir.

$$V_{ij} = r \times W_j \quad (11)$$

4.Adım: Pozitif ve Negatif İdeal Referans Noktalarının Hesaplanması

Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinde (V_{ij}) her sütundaki maksimum ve minimum değerler bulunarak pozitif (V_j^+) (12) ve negatif (V_j^-) (13) ideal referans noktaları hesaplanır.

$$V_j^+ = \{(\max V_{ij}, i \in I), (\min V_{ij}, i \in j)\} \quad (12)$$

$$V_j^- = \{(\min V_{ij}, i \in I), (\max V_{ij}, i \in j)\} \quad (13)$$

I , fayda yönlü kriterleri; j ise maliyet yönlü kriterleri ifade etmektedir.

5.Adım: Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Çözümüne Olan Uzaklıkların Hesaplanması

Her bir alternatifin pozitif ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklarının hesaplanması için n -boyutlu Öklid uzaklığı kullanılır. Hesaplamalar aşağıdaki (14) ve (15) gibi yapılmaktadır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (15)$$

6.Adım: İdeal Referans Noktasına Olan Yakınlığın Hesaplanması

Son aşamada, hesaplanan RC_i değerlerine (16) göre sıralama elde edilmektedir. En yüksek RC_i değeri en ideal alternatifi ifade etmektedir.

$$RC_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (16)$$

3.4. VIKOR

1998 yılında Opricovic tarafından geliştirilen VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemi, birbiriyle çelişen kriterler bulunduğu alternatifler arasında sıralama ve seçim yapılmasını sağlamakta ve ideale en yakın çözüm sunmaktadır (Opricovic ve Tzeng, 2004:447). VIKOR yönteminin adımları aşağıdaki gibidir (Opricovic ve Tzeng, 2004:447-448; Opricovic ve Tzeng, 2007:515-516; Görener, 2011:102):

1.Adım: Başlangıç karar matrisindeki en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerler belirlenir (17 ve 18):

Eğer i kriteri fayda yönlü ise ise, $i = 1, 2, \dots, n$ için;

$$f_i^* = \max_j f_{ij}; \quad f_i^- = \min_j f_{ij} \quad (17)$$

Eğer i kriteri maliyet yönlü ise ise, $i = 1, 2, \dots, n$ için;

$$f_i^* = \min_j f_{ij}; \quad f_i^- = \max_j f_{ij} \quad (18)$$

2.Adım: Her bir alternatif için S_j (19) ve R_j (20) değerleri hesaplanır.

$$S_j = \sum_{i=1}^n \frac{(f_i^* - f_{ij})w_i}{(f_i^* - f_i^-)} \quad (19)$$

$$R_j = \max \left[\frac{(f_i^* - f_{ij})w_i}{(f_i^* - f_i^-)} \right] \quad (20)$$

W_j , kriter ağırlıklarını ifade etmektedir.

3.Adım: Her bir alternatif için aşağıdaki formül yardımıyla Q_j değerleri (21) hesaplanır.

$$Q_j = \frac{v(S_j - S^*)}{S^- - S^*} + \frac{(1-v)(R_j - R^*)}{R^- - R^*} \quad (21)$$

S^* ve R^* minimum S_j ve R_j değerlerini, S^- ve R^- maksimum S_j ve R_j değerlerini göstermektedir. Kullanılan formüldeki v değeri maksimum grup faydası stratejisi için ağırlık olarak ifade edilirken, $(1-v)$ değeri ise bireysel pişmanlık için ağırlık olarak ifade edilmektedir. Literatürde " v " değeri genel olarak 0,5 alınmaktadır.

4.Adım: Her bir alternatif için hesaplanan S_j , R_j ve Q_j değerleri küçükten büyüğe olacak şekilde sıralanır.

Son aşamada en küçük Q_j değerine sahip alternatifin en iyi alternatif olup olmadığının belirlenmesi için aşağıdaki iki koşulun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmelidir:

1.Koşul: Kabul edilebilir avantaj: En iyi ve en yakın alternatif arasında belirgin bir farklılık olduğunun (22) kanıtlanmasıdır.

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq DQ \quad (22)$$

DQ değeri, J alternatif sayısı olmak üzere $(1/(1-J))$ ile hesaplanmaktadır.

2.Koşul: Kabul Edilebilir İstikrar Koşulu: Q_i sıralamasına göre birinci sırada yer alan alternatifin S_j ve/veya R_j sıralamalarında da aynı sırada yer almasını ifade eder.

1. koşul şartının sağlamadığı durumda A_1, A_2, \dots, A_m alternatifleri dikkate alınarak eşitsizlik $Q(A^m) - Q(A^1) < DQ$ şeklinde ifade edilir. Eğer 2.koşul sağlanmıyor ise A_1 ve A_2 alternatifleri uzlaşık çözüm kümesinde yer almaktadır.

3.5. Borda Sayım Yöntemi

n 'adet alternatifin bulunduğu bir ortamda seçmenlerin en fazla tercih ettikleri alternatife $n-1$ puan, en az tercih ettikleri alternatife de 0 puan verdikleri sosyal seçim fonksiyonlarından Borda Sayım yönteminde adaylar seçmenlerin öncelik sıraları dikkate alınarak sıralanmaktadır (Hiltunen vd., 2008:119). Borda Sayım yöntemi aynı zamanda bu çalışmada olduğu gibi bütünselik bir sıralama elde etmek amacıyla kullanılan veri birleştirme yöntemlerindedir (Çakır ve Perçin, 2013:452).

4.UYGULAMA

Bilindiği gibi yer seçimi problemi bölge, yer ve arazi seçimi olmak üzere üç aşamalı bir süreçtir. Söz konusu problemde, Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD) Trabzon ilini bölgedeki beş il (Trabzon, Rize, Artvin, Gümüşhane, Bayburt) için yer olarak belirlemiştir. Dolayısıyla, bölge ve yer seçimi AFAD tarafından önceden yapılmış (Bölge Doğu Karadeniz, yer Trabzon olarak belirlenmiştir) ve sonuç olarak problem arazi seçimine dönüşmüştür. Bu noktada çalışmada izlenen uygulama adımları Şekil 1'de gösterilmiş olup, her aşamada ilgili kuruluşun yöneticileriyle işbirliği halinde çalışılmıştır.

4.1. Problemin Belirlenmesi

Çalışmada, AFAD tarafından Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki beş il (Trabzon, Rize, Artvin, Gümüşhane, Bayburt) için yer olarak belirlenen Trabzon'da afet lojistiği kapsamında depo kuruluş yeri seçim problemi ele alınmıştır.

4.2. Kuruluş Yeri Seçim Kriterlerinin Belirlenmesi

Kuruluş yeri seçimi için çalışmada kullanılan değerlendirme kriterleri, literatürde yer alan çalışmalar ile AFAD'da çalışan uzmanların görüşleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Bu kapsamda belirlenen 11 adet kritere ilişkin bilgiler Tablo 2'de yer almaktadır. Buna göre; *yerleşim yerine uzaklık* (K_1), *arazi büyüklüğü* (K_2) ve *arazinin afetselliği* (K_3) fayda yönlü kriterler olarak ele alınırken; *hava limanına yakınlık* (K_4), *limana yakınlık* (K_5), *karayoluna yakınlık* (K_6), *arazi maliyeti* (K_7), *arazinin jeolojik yapısı* (K_8), *elektrik bağlantısına uzaklık* (K_9), *su bağlantısına uzaklık* (K_{10}) ve *kanalizasyon bağlantısına uzaklık* (K_{11}) maliyet yönlü kriterler olarak ele alınmıştır.

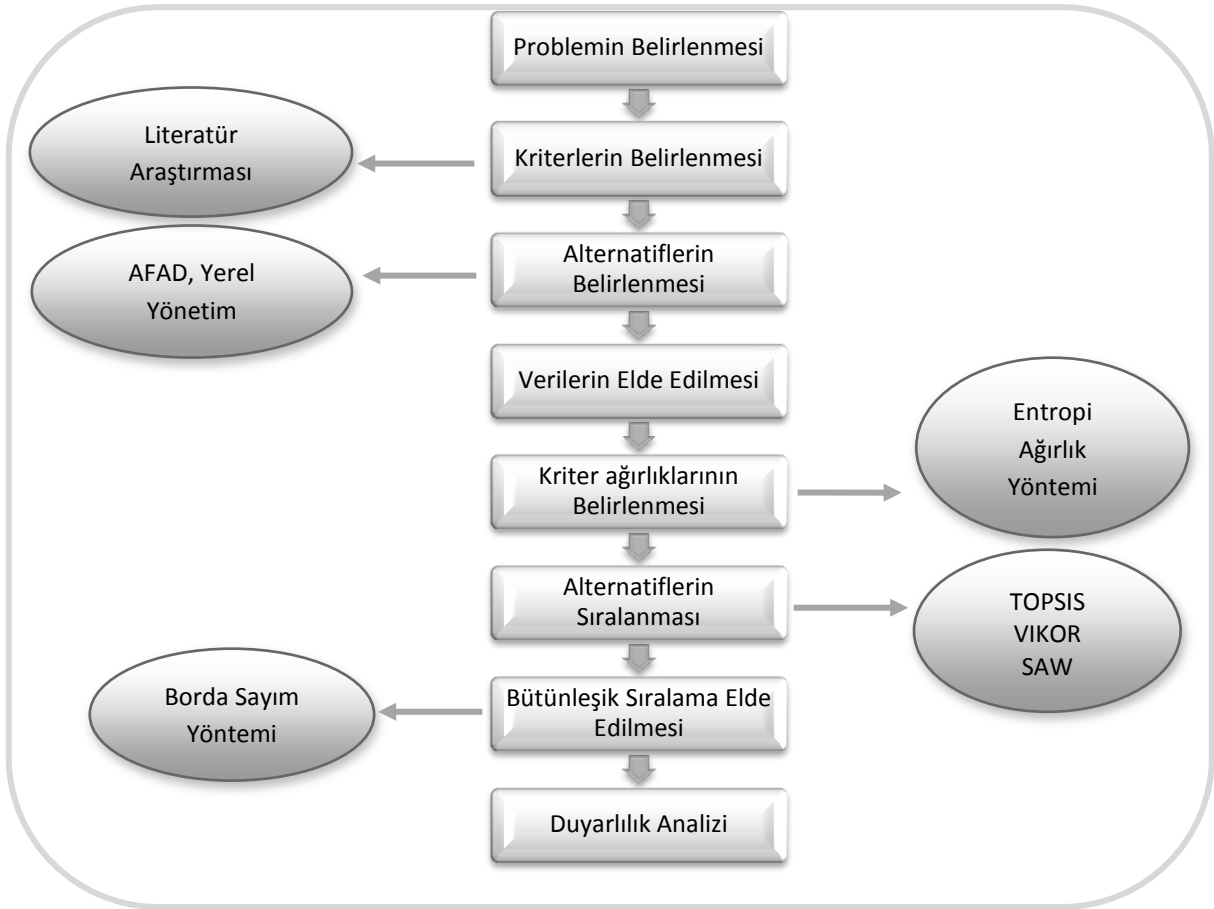
4.3. Alternatiflerin Belirlenmesi

Trabzon ili için afet lojistiği kapsamında depo yer seçimi problemi için 8 adet arazi/alternatif ($A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8$) dört uzman (Trabzon AFAD Yönetim Başkanlığında yönetici konumunda üç, Trabzon Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığında yönetici konumunda bir) tarafından belirlenmiş ve tüm araziler yerinde görülmüştür. Çalışma kapsamında belirlenen depo kuruluş yeri alternatifleri Şekil 2'de gösterilmektedir. Ayrıca, haritada liman ve havalimanının yerleri de görülmektedir.

4.4. Verilerin Elde Edilmesi

Belirlenen alternatiflerin her birinin 11 kriter için gerekli bilgileri veri setini oluşturmaktadır. Bu noktada uygulamada kullanılan veriler, Trabzon Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığından elde edilmiş olup Tablo 3'te gösterilmektedir.

Şekil 1: Uygulama Adımları



Şekil 2: Depo Kuruluş Yeri Alternatifleri



Tablo 2: Kuruluş Yeri Seçim Kriterleri

Kriterler	Açıklama	Birim
Yerleşim yerine uzaklık (K_1) ^{a,b,c}	Depo yerinin şehir merkezine uzaklığı	Kilometre
Havalimanına yakınlık (K_2) ^{d,e,f}	Depo yerinin havalimanına yakınlığı	Kilometre
Limana yakınlık (K_3) ^{d,e,f}	Depo yerinin limana yakınlığı	Kilometre
Karayoluna yakınlık (K_4) ^{e,f,g}	Depo yerinin karayoluna yakınlığı	Kilometre
Arazi büyüklüğü (K_5) ^a	Depo kurulacak arazinin büyüklüğü	Metrekare
Arazi maliyeti (K_6) ^{d,e,g}	Arazi düzenleme maliyeti	Milyon TL
Arazinin afetselliği (K_7) ^f	Depo yerinin doğal afet riski derecesi	Risk düzeyi*
Arazinin jeolojik yapısı (K_8) ^a	Arazinin topografik eğimi	Derece
Elektrik bağlantısına uzaklık (K_9) ^a	Elektrik bağlantısına olan uzaklık	Kilometre
Su bağlantısına uzaklık (K_{10}) ^a	Su bağlantısına olan uzaklık	Kilometre
Kanalizasyon bağlantısına uzaklık (K_{11}) ^a	Kanalizasyon bağlantısına olan uzaklık	Kilometre

^(a) Li vd. (2011b), ^(b) Roh vd. (2013), ^(c) Roh vd. (2015), ^(d) Alberto (2000), ^(e) Awasthi vd. (2011), ^(f) Peker vd. (2016), ^(g) Roh vd. (2013).

* 1 (Risk \geq %80), 2 (%60 \leq Risk < %79), 3 (%40 \leq Risk < %59), 4 (%20 \leq Risk < %39), 5 (Risk < %20) (Ağdaş vd., 2014)

Tablo 3: Uygulamada Kullanılan Veriler

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}
A₁	18	17	19	0,1	14.353	5,2	5	5	0,002	0,002	0,002
A₂	8,5	3,3	5,6	0,02	47.280	5,0	5	7,5	0,002	0,002	0,002
A₃	3,5	22	24	3	10.198	5,4	4	30	0,06	0,06	1,5
A₄	9	22	20,4	0,02	16.748	5,2	4	10	0,002	0,002	0,002
A₅	2,5	50	52	0,5	28.000	5,3	4	25	0,1	0,1	1
A₆	7	62	60	7	13.200	5,4	5	20	0,05	8	8
A₇	7	7	6	0,75	28.200	5,6	4	40	0,25	0,25	1
A₈	12	12	11	0,45	22.800	5,4	4	30	0,3	0,3	0,9

4.5. Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

Değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla nesnel ağırlıklandırma yöntemlerinden olan Entropi Ağırlık Yöntemi kullanılarak Tablo 4'te yer alan kriter ağırlıkları elde edilmiştir (Uygulama aşamaları Ek 1'de verilmiştir).

Tablo 4: Kriter Ağırlıkları

Kriter	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}
Ağırlık	0,102	0,062	0,068	0,045	0,128	0,067	0,303	0,074	0,067	0,041	0,042

4.6. Alternatiflerin Sıralanması

Alternatiflerin sıralanması amacıyla kullanılan SAW, TOPSIS ve VIKOR sonuçları Tablo 5'te ve söz konusu tekniklerin uygulama aşamaları sırasıyla Ek 2, Ek 3 ve Ek 4'te görülmektedir.

4.7. Bütünleşik Sıra Elde Edilmesi

Uygulama kapsamında her yöntemin sonuçları birbirinden farklı olabileceğinden bütünleşik bir sıralama elde etmek amacıyla Borda Sayım yöntemi kullanılmıştır (Tablo 5).

Tablo 5: Uygulama Sonuçları

	SAW		TOPSIS		VIKOR		BORDA	
	Değeri	Sıralama	Değeri	Sıralama	Değeri	Sıra	Değeri	Sıralama
A ₁	0,77373	2	0,53416	2	0,18355	2	18	2
A ₂	0,92137	1	0,74798	1	0,00000	1	21	1
A ₃	0,39344	8	0,06723	8	1,00000	8	0	8
A ₄	0,66332	3	0,42979	3	0,86872	4	14	3
A ₅	0,42571	7	0,21024	6	0,98342	7	4	7
A ₆	0,47137	6	0,20285	7	0,48041	3	8	6
A ₇	0,52270	4	0,36068	4	0,95792	6	10	4
A ₈	0,50120	5	0,31694	5	0,92867	5	9	5

Tablo 5'e bakıldığında kullanılan tüm yöntemlerde A₂ ve A₁ alternatiflerinin birinci ve ikinci, A₃ alternatifinin ise son sırada yer aldığı görülmektedir. Diğer alternatiflerin sıralamalarında farklılıklar olabileceğinden hareketle bütünlük bir sıralama elde etmek amacıyla kullanılan Borda Sayım yönteminin sonuçlarına göre A₂ alternatifi birinci sırada yer almakta, A₁ ve A₄ alternatifleri ikinci ve üçüncü sırada yer almaktadır. A₃ alternatifi ise son sırada bulunmaktadır.

4.8. Duyarlılık Analizi

Uygulama kapsamında kriterlerin önem ağırlıkları değiştiğinde alternatiflerde meydana gelen sıralama farklılıklarını görmek amacıyla duyarlılık analizi yapılmıştır. Duyarlılık analizi için üç farklı senaryo değerlendirilmiştir. Senaryo 1 (S₁)'de uygulama kapsamında ele alınan onbir kriter için eşit kriter ağırlıkları (0,091) kullanılmıştır. Senaryo 2 (S₂) için Entropi Ağırlık yöntemi ile elde edilen Tablo 4'te görülen kriter ağırlıklarından arazinin afetselliği (K₇) kriterine ait olan maksimum kriter ağırlığı (0,303) ile su bağlantısına uzaklık (K₁₀) kriterine ait olan minimum kriter ağırlığı (0,041) yer değiştirilmiştir. Senaryo 3 (S₃)'te ise Entropi Ağırlık yöntemiyle elde edilen su bağlantısına uzaklık (K₁₀) kriterine ait olan minimum kriter ağırlığı (0,041) kendi kriter ağırlığı kadar artırılarak eşitlik (23)'ten faydalanılarak yeni kriter ağırlıkları elde edilmiştir (Alinezhad ve Amini, 2011:27). Mevcut durum (MD) ve farklı üç senaryoya (S₁, S₂ ve S₃) ait değerlendirme kriterlerinin ağırlıkları Tablo 6'da verilmiştir.

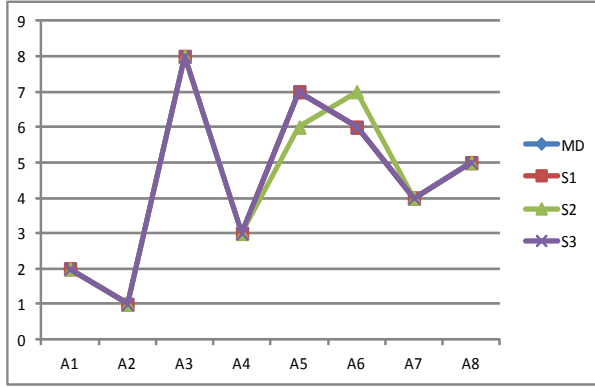
$$W'_j = \begin{cases} W_j + \Delta_p & j = p \\ \frac{1-W'_p}{1-W_p} \times W_j & j \neq p, j = 1, 2, \dots, k \end{cases} \quad (23)$$

Tablo 6: Duyarlılık Analizi İçin Kriter Ağırlıkları

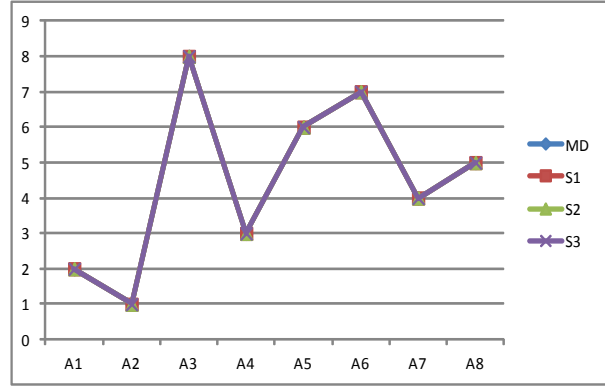
		K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁
Kriter Ağırlıkları	MD	0,102	0,062	0,068	0,045	0,128	0,067	0,303	0,074	0,067	0,041	0,042
	S ₁	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091
	S ₂	0,102	0,062	0,068	0,045	0,128	0,067	0,041	0,074	0,067	0,303	0,042
	S ₃	0,098	0,06	0,065	0,043	0,122	0,064	0,29	0,071	0,064	0,083	0,04

Entropi Ağırlık yöntemi kullanılarak kriter ağırlıklarının hesaplandığı mevcut durum (MD) ile farklı kriter ağırlıklarının ele alındığı üç senaryoya ait SAW, TOPSIS, VIKOR ve Borda Sayım yöntemlerine göre sıralama sonuçları Şekil 3'te verilmiştir. Buna göre, SAW, TOPSIS, VIKOR açısından mevcut durum (MD) ve duyarlılık analizinde ele alınan senaryolar (S₁, S₂, S₃) karşılaştırıldığında A₂ alternatifi tümünde birinci sırada, A₁ alternatifi ikinci sırada, A₃ alternatifi ise son sırada yer almaktadır. Bütünlük bir sıralamanın elde edildiği Borda Sayım yönteminde mevcut durum farklı senaryolar ile karşılaştırıldığında ilk beşte (A₂, A₁, A₄, A₇, A₈) ve sonda (A₃) yer alan alternatiflerin sıralamasında değişiklik olmadığı görülmüştür. Yani, sonuçların değişmediği ve kurulan modelin geçerli olduğu söylenebilir.

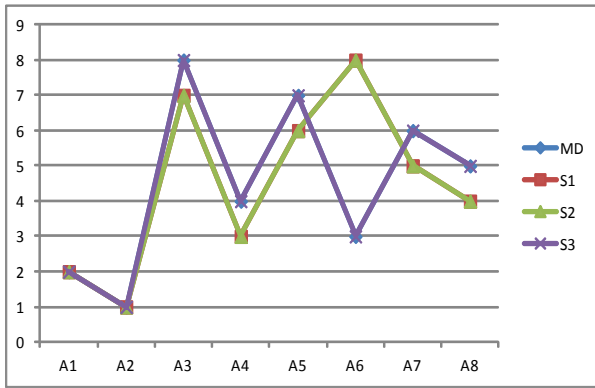
Şekil 3: Duyarlılık Analizi Sonuçları



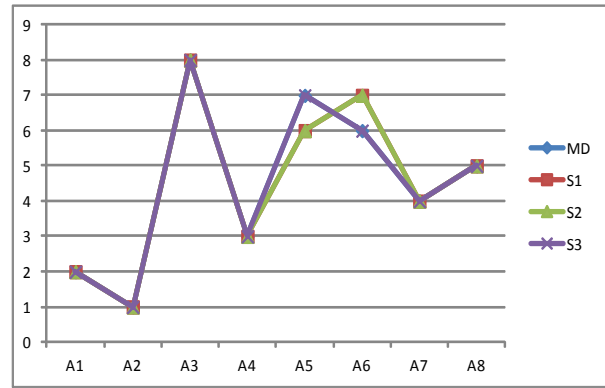
Şekil 3(a): SAW Sonuçları



Şekil 3(b): TOPSIS Sonuçları



Şekil 3(c): VIKOR Sonuçları



Şekil 3(d): BORDA Sonuçları

5. SONUÇ

Son yıllarda doğal ya da insan kaynaklı yaşanan afetlerin sayısı ve şiddeti gittikçe artmaktadır. Bu nedenle büyük ölçekli yaşanan olağanüstü hal durumlarında gerekli yardım malzemelerinin hızlı bir şekilde (yiyecek, su, ilaç, çadır vb.) ulaştırılmasını amaçlayan afet lojistiği giderek daha da önem kazanmaktadır. Afet lojistiğinin etkin bir şekilde yürütülmesinde depoların en uygun yerlerde kurulmuş olmaları önemli rol oynamaktadır. Bu çalışma kapsamında Trabzon ili için afet lojistiği depo kuruluş yeri seçimi problemi, birbiriyle çelişen çok sayıda kriteri bünyesinde barındıran Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemi olarak ele alınmış ve çok kriterli bir model tasarlanmıştır. Bu modelde ilk olarak Entropi Ağırlık yöntemi kullanılarak kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Ardından alternatif depo yerleri, ÇKKV teknikleri olan SAW, TOPSIS ve VIKOR kullanılarak sıralanmış elde edilen sonuçlar Borda Sayım yöntemi kullanılarak birleştirilerek bütünlük bir sıralama elde edilmiştir. Ayrıca, yapılan duyarlılık analiziyle modelin geçerliliği test edilmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen modelde birden fazla ÇKKV tekniği kullanıldığından analiz sonuçlarını karşılaştırma imkânı bulunmuş, böylelikle çok kriterli seçim modelinin geçerliliği ve güvenilirliği test edilmiştir. Farklı yöntemler farklı sonuçlar verebildiğinden bütünlük tek bir sıralama elde etmek amacıyla da Borda Sayım yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, yapılan duyarlılık analizi sonuçları modelin geçerli olduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak, modelin tutarlı ve güvenilir bir model olduğu ortaya konmuştur.

Analiz sonuçlarına göre arazinin afetselliği, arazi büyüklüğü ve yerleşim yerine uzaklık kriterleri en önemli üç kriter olarak tespit edilmiştir. Heyelan açısından Trabzon'un %62'sini yüksek riskli ve riskli alanlar oluşturmaktadır (TRABZON AFAD, 2016). Ayrıca, Trabzon'un sel ve su taşkınları açısından da ilk sırada yer alması nedeniyle (TRABZON AFAD, 2016) arazinin afetselliği kriterinin ilk sırada çıktığı değerlendirilmektedir. Alternatiflerin sıralanması amacıyla kullanılan farklı ÇKKV teknikleri (SAW, TOPSIS, VIKOR) sonuçlarına göre A₂ alternatifi ilk, A₁ alternatifi ikinci, A₃ alternatifi ise son sırada yer almıştır. Borda Sayım yöntemiyle elde edilen

sonuçlara göre de A_2 alternatifi birinci sırada ve A_3 alternatifi son sırada yer almaktadır. Bu sonucun elde edilmesinde de afetsellik, arazi büyüklüğü, maliyet ve ana arter yollara uzaklık kriterlerinin etkili olduğu düşünülmektedir. Elde edilen sıralama sonuçları yönetsel açıdan değerlendirildiğinde A_2 alternatifi birinci sırada yer almasına rağmen yerleşim yerine yakın olması sebebiyle AFAD yöneticileri tarafından tercih edilmemektedir. Onun yerine, ikinci ve üçüncü sırada çıkan A_1 ve A_4 alternatifleri ön plana çıkarılmaktadır. Öte yandan, çalışmada elde edilen bu sonuçlar da karar vericilerin beklentileri ile örtüşmekte olup kararlarını desteklediği görülmektedir. İnsan yargıları belirsiz olduğundan ve kesin sayısal bir değerle ifade edilemediğinden dolayı birçok durumda gerçek durumu modellemek zordur. Bu noktadan hareketle gelecek çalışmalar için, bulanık ÇKKV teknikleri kullanılarak sonuçlar karşılaştırılabilir.

TEŞEKKÜR

Trabzon İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü ile Trabzon Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı yöneticilerine katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Ahmadi, M., Seifi, A. ve Tootooni, B.2015, "A humanitarian logistics model for disaster relief operation considering network failure and standard relief time: A case study on San Francisco district", *Transportation Research Part E*, 75, pp.145-163.
- Ağdaş, M., Bali, Ö. ve Ballı, H.2014, "Afet Lojistiği Kapsamında Dağıtım Merkezi İçin Yer Seçimi: SMAA-2 Tekniği ile Bir Uygulama", *Beykoz Akademi Dergisi*, 2(1), pp. 75-95.
- Akgün, İ., Gümüşbuğa, F. ve Tansel, B.2015, "Risk based facility location by using fault tree analysis in disaster management", *Omega*, 52, pp. 168-179.
- Alberto, P. 2000, "The logistics of industrial location decisions: An application of the analytical hierarchy process methodology", *International Journal of Logistics: Research and Application*, 3(3), pp. 273-289.
- Alinezhad, A. ve Amini, A.2011, "Sensitivity Analysis of TOPSIS Technique: The Results of Change in the Weight of One Attribute on the Final Ranking of Alternatives", *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 7, pp. 23-28.
- Aslan, H.M., ve Yıldız, M.S.2016, "Yapay zekâ Optimizasyon Yöntemi İle Yaralı Toplama Merkezlerinin Konuşlandırılması", *Bartın Üniversitesi İİBF Dergisi*, 7(14), pp. 165-188.
- Awasthi, A., Chauhan, S.S. ve Goyal, S.K. 2011, "A multi-criteria decision making approach for location planning for urban distribution centers under uncertainty", *Mathematical and Computer Modelling*, 53, pp. 98-109.
- Balcık, B. ve Beamon, B.M.2008, "Facility location in humanitarian relief", *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 11(2), pp. 101-121.
- Campbell, A.M. ve Jones, P.C.2011, "Prepositioning supplies in preparation for disasters", *European Journal of Operational Research*, 209, pp. 156-165.
- Çakır, S. ve Perçin, S. 2013, "AB Ülkeleri'nde Bütünleşik Entropi Ağırlık-TOPSIS Yöntemiyle AR-GE Performansının Ölçülmesi", *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 32(1), pp. 77-95.
- Çakır, S. ve Perçin, S. 2013, "Çok Kriterli Karar Verme Teknikleriyle Lojistik Firmalarında Performans Ölçümü", *Ege Akademik Bakış*, 13(4), pp. 449-459.
- Dekle, J., Lavieri, M.S., Martin, E., Emir-Farinas, H. ve Francis, R.L.2005, "A Florida County Locates Disaster Recovery Centers", *Interfaces*, 35(2), pp. 133-139.
- Demirel, T., Demirel, N.Ç. ve Kahraman, C.2010 "Multi-criteria warehouse location selection using Choquet integral", *Expert Systems with Applications*, 37, pp. 3943-3952.
- EMDAT. 2016, http://www.emdat.be/advanced_search/index.html, (24.06.2016).
- Ersoy, Ş.2016, "2015 Yılına Doğa Kaynaklı Afetleri 'Dünya ve Türkiye'", TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Fikar, C., Gronalt, M. ve Hirsch, P.2016, "A decision support system for coordinated disaster relief distribution", *Expert Systems with Applications*, 57, pp. 104-116.
- Gatignon, A., Van Wassenhove, L.N. ve Charles, A.2010, "The Yogyakarta earthquake: Humanitarian relief through IFRC's decentralized supply chain", *International Journal of Production Economics*, 126, pp. 102-110.
- Görener, A.2011, "Bütünleşik ANP-VIKOR Yaklaşımıyla ERP Yazılımı Seçimi", *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 5(1), pp. 97-110.
- Gözaydın, O. ve Can, T.2013, "Deprem Yardım İstasyonları İçin Lojistik Merkezi Seçimi: Türkiye Örneği", *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 6(2),pp. 17-31.

- Hadiguna, R.A., Kamil, I., Delati, A. ve Reed, R.2014, "Implementing a web-based decision support system for disaster logistics: A case study of an evacuation location assessment for Indonesia", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 9, pp. 38-47.
- Hiltunen, V., Kangas, J. ve Pykäläinen, J.2008, "Voting methods in strategic forest planning - Experiences from Metsähallitus", *Forest Policy and Economics*, 10, pp. 117-127.
- Hong, L. ve Xiaohua, Z.2011, "Study on location selection of multi-objective emergency logistics center based on AHP", *Procedia Engineering*, 15, pp. 2128-2132.
- Kandel, C. Abidi, H. ve Klumpp, M.2011, "Humanitarian Logistics Depot Location Model", The 2011 European Simulation and Modelling Conference, Conference Proceedings October 24-26, 2011 at University of Mino, Guimaraes, Portugal, pp. 288-293.
- Karaatlı, M.2016, "Entropi-Gri İlişkisel Analiz Yöntemleri ile Bütünleşik Bir Yaklaşım: Turizm Sektöründe Uygulama", *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(1), pp. 63-77.
- Karami, A.2011, "Utilization And Comparison Of Multi Attribute Decision Making Techniques To Rank Bayesian Network Options", Master Thesis, Skövde-Sweden, University of Skövde, School of Humanities and Informatics.
- Kayıkci, Y.2010, "A conceptual model for intermodal freight logistics centre location decisions", *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2, pp. 6297-6311.
- Korpela, J. ve Tuominen, M.1996, "A decision aid in warehouse site selection", *International Journal of Production Economics*, 45, pp. 169-180.
- Kumar, P. ve Singh, R.K.2012, "A fuzzy AHP and TOPSIS methodology to evaluate 3PL in a supply chain", *Journal of Modelling in Management*, 7(3), pp. 287-303.
- Lee, W.-S., Kim,B.S. ve Opit, P.F.2014, "A stock pre-positioning model to maximize the total expected relief demand of disaster areas", *Industrial Engineering and Management Systems*, 13(3), pp. 297-303.
- Li, X., Wang, K., Liu, L. ve Xin, J.2011a, "Application of the Entropy Weight and TOPSIS Method in Safety Evaluation of Coal Mines", *Procedia Engineering*, 26, pp. 2085-2091.
- Li, Y., Liu, X. ve Chen, Y.2011b, "Selection of logistics center location using Axiomatic Fuzzy Set and TOPSIS methodology in logistics management", *Expert Systems with Applications*, 38, pp. 7901-7908.
- Lin, Y.H., Batta, R., Rogerson, P.A., Blatt, A. ve Flanigan, M.2012, "Location of temporary depots to facilitate relief operations after an earthquake", *Socio-Economic Planning Sciences*, 46, pp. 112-123.
- Malekian, A. ve Azarnivand, A.2016, "Application of Integrated Shannon's Entropy and VIKOR Techniques in Prioritization of Flood Risk in the Shemshak Watershed, Iran", *Water Resources Management*, 30, pp.409-425.
- Mete, H.O. ve Zabinsky, Z.B. 2010, "Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management", *International Journal of Production Economics*, 126, pp. 76-84.
- Na, H.S. ve Banerjee, A.,2015, "A disaster evacuation network model for transporting multiple priority evacuees", *IIE Transactions*, 47(11), pp. 1287-1299.
- Nahleh, Y.A., Kumar, A. ve Daver, F.2013, "Facility Location Problem in Emergency Logistic", *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 7(10), pp. 2113-2118.
- Opit, P.F. ve Nakade, K.2016, "Emergency response model of stock-prepositioning with transportation constraints", *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, pp.239-243.
- Opricovic, S. ve Tzeng, G.H.2004, "Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS", *European Journal of Operational Research*, 156, pp. 445-455.
- Opricovic, S. ve Tzeng, G.H.2007, "Extended VIKOR Method in Comparison with Other Outranking Methods", *European Journal of Operational Research*, 178, pp. 514-529.
- Özcan, T., Çelebi, N. ve Esnaf, Ş.2011, "Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologie and implementation of a warehouse location selection problem", *Expert Systems with Applications*, 38, pp. 9773-9779.
- Peker, İ., Korucuk, S., Ulutaş, Ş., Sayın Okatan, B. ve Yaşar, F.2016, "Afet Lojistiği Kapsamında En Uygun Dağıtım Merkez Yerinin AHS-VIKOR Bütünleşik Yöntemi İle Belirlenmesi: Erzincan İli Örneği", *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 14(1), pp. 82-103.
- Rat, S. ve Gutjahr, W.J.2014, "A math-heuristic for the warehouse location-routing problem in disaster relief", *Computers & Operations Research*, 42, pp. 25-39.
- Rawls, C.G. ve Turnquist, M.A.2010, "Pre-positioning of emergency supplies for disaster response", *Transportation Research Part B*, 44, pp. 521-534.
- Roh, S.Y., Jang, H.M. ve Han, C.H.2013, "Warehouse Location Decision Factors in Humanitarian Relief Logistics", *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 29(1), pp. 103-120.

- Roh, S., Pettit, S., Harris, I. ve Beresford, A.2015, "The pre-positioning of warehouses at regional and local levels for a humanitarian relief organisation", *International Journal of Production Economics*, 170, pp. 616-628.
- Saeidian, B., Mesgari, M.S. ve Ghodousi, M.2016, "Evaluation and comparison of Genetic Algorithm and Bees Algorithm for location-allocation of earthquake relief centers", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 15,pp. 94-107.
- Safeer, M., Anbuudayasankar, S.P., Balkumar, K. ve Ganesh, K.2014, "Analyzing transportation and distribution in emergency humanitarian logistics", *Procedia Engineering*, 97, pp. 2248-2258.
- Salman, F.S. ve Yücel, E.2015, "Emergency facility location under random network damage: Insights from the Istanbul case", *Computers &Operations Research*, 62, pp. 266-281
- Sarkis, J., Sundarraj, R.P.2002, "Hub Location At Digital Equipment Corporation: A Comprehensive Analysis of Qualitative And Quantitative Factors", *European Journal of Operational Research*, 137, pp. 336-347.
- Shemshadi, 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, pp. 12160-12167.
- Thomas, A. ve Kopczak, L.2005, "From Logistics to Supply Chain Management: the Path forward in the Humanitarian Sector", Fritz Institute, San Francisco.
- Tofighi, S., Torabi, S.A. ve Mansouri, S.A.2016, " Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty", *European Journal of Operational Research*, 250, pp. 239-250.
- Turgut, B.T., Taş, G., Herekoğlu, A., Tozan, H. ve Vayvay, O.2011, "A fuzzy AHP based decision support system for disaster center location selection and a case study for Istanbul", *Disaster Prevention and Management*, 20(5), pp. 499-520.
- Tzeng, G.H. ve Huang, J.J.2011, "Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications", CRC Press, Taylor & Francis Group, A Chapman&Hall.
- Ukkusuri, S. ve Yushimito, W. 2008, "Location routing approach for the humanitarian prepositioning problem" *Transportation Research Record*, 2089, pp. 18-25.
- TRABZON AFAD 2016, <http://www.trabzonafad.gov.tr/admin/files/1-Afet%20sunum2015-20160111-141433.pdf>, (29.06.2016).
- Van Wassenhove, L.V. 2006, "Blackett Memorial Lecture Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear", *Journal of the Operational Research Society*, 57, pp. 475-489.
- Verma, A. ve Gaukler, V.M. 2015 "Pre-positioning disaster response facilities at safe locations: An evaluation of deterministic and stochastic modeling approaches", *Computers &Operations Research*, 62, pp. 197-209.
- Wang, P., Zhu, Z. ve Wang, Y. 2016, "A novel hybrid MCDM model combining the SAW, TOPSIS and GRA methods based on experimental design", *Information Sciences*, 345, pp. 27-45.
- Wu, Z., Sun, J., Liang, L. ve Zha, Y. 2011, "Determination of Weights For Ultimate Cross Efficiency Using Shannon Entropy", *Expert Systems with Applications*, 38, pp. 5162-5165.
- 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, pp. 443-451.

Ek 1: Entropi Ağırlık Tekniği Aşamaları**Başlangıç Karar Matrisi**

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁
A ₁	18,000	17,000	19,000	0,100	14353,710	5,200	5,000	5,000	0,002	0,002	0,002
A ₂	8,500	3,300	5,600	0,020	47280,360	5,000	5,000	7,500	0,002	0,002	0,002
A ₃	3,500	22,000	24,000	3,000	10198,810	5,400	4,000	30,000	0,060	0,060	1,500
A ₄	9,000	22,700	20,400	0,020	16748,170	5,200	4,000	10,000	0,002	0,002	0,002
A ₅	2,500	50,000	52,000	0,500	28000,000	5,300	4,000	25,000	0,100	0,100	1,000
A ₆	7,000	62,000	60,000	7,000	13200,000	5,400	5,000	20,000	0,050	8,000	8,000
A ₇	7,000	7,000	6,000	0,750	28200,000	5,600	4,000	40,000	0,250	0,250	1,000
A ₈	12,000	12,000	11,000	0,450	22800,000	5,400	4,000	30,000	0,300	0,300	0,900
Max	18,000	62,000	60,000	7,000	47280,360	5,600	5,000	40,000	0,300	8,000	8,000
Min	2,500	3,300	5,600	0,020	10198,810	5,000	4,000	5,000	0,002	0,002	0,002

Normalize Karar Matrisi

P _{ij}	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁
A ₁	1,000	0,767	0,754	0,989	0,112	0,667	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
A ₂	0,387	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,929	1,000	1,000	1,000
A ₃	0,065	0,681	0,662	0,573	0,000	0,333	0,000	0,286	0,805	0,993	0,813
A ₄	0,419	0,670	0,728	1,000	0,177	0,667	0,000	0,857	1,000	1,000	1,000
A ₅	0,000	0,204	0,147	0,931	0,480	0,500	0,000	0,429	0,671	0,988	0,875
A ₆	0,290	0,000	0,000	0,000	0,081	0,333	1,000	0,571	0,839	0,000	0,000
A ₇	0,290	0,937	0,993	0,895	0,485	0,000	0,000	0,000	0,168	0,969	0,875
A ₈	0,613	0,852	0,901	0,938	0,340	0,333	0,000	0,286	0,000	0,963	0,888

R _{ij}	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁
A ₁	0,326	0,150	0,145	0,156	0,042	0,174	0,333	0,230	0,182	0,145	0,155
A ₂	0,126	0,196	0,193	0,158	0,374	0,261	0,333	0,213	0,182	0,145	0,155
A ₃	0,021	0,133	0,128	0,091	0,000	0,087	0,000	0,066	0,147	0,144	0,126
A ₄	0,137	0,131	0,140	0,158	0,066	0,174	0,000	0,197	0,182	0,145	0,155
A ₅	0,000	0,040	0,028	0,147	0,179	0,130	0,000	0,098	0,122	0,143	0,136
A ₆	0,095	0,000	0,000	0,000	0,030	0,087	0,333	0,131	0,153	0,000	0,000
A ₇	0,095	0,183	0,191	0,142	0,181	0,000	0,000	0,000	0,031	0,140	0,136
A ₈	0,200	0,167	0,174	0,148	0,127	0,087	0,000	0,066	0,000	0,139	0,138

Entropi Değerinin Hesaplanması

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁
A ₁	-0,365	-0,285	-0,280	-0,290	-0,133	-0,304	-0,366	-0,338	-0,310	-0,280	-0,289
A ₂	-0,261	-0,319	-0,317	-0,292	-0,368	-0,351	-0,366	-0,329	-0,310	-0,280	-0,289
A ₃	-0,081	-0,269	-0,263	-0,218	0,000	-0,212	0,000	-0,179	-0,282	-0,279	-0,261
A ₄	-0,272	-0,266	-0,276	-0,292	-0,179	-0,304	0,000	-0,320	-0,310	-0,280	-0,289
A ₅	0,000	-0,129	-0,101	-0,282	-0,308	-0,266	0,000	-0,228	-0,257	-0,278	-0,271
A ₆	-0,223	0,000	0,000	0,000	-0,106	-0,212	-0,366	-0,266	-0,287	0,000	0,000
A ₇	-0,223	-0,311	-0,317	-0,277	-0,310	0,000	0,000	0,000	-0,107	-0,275	-0,271
A ₈	-0,322	-0,299	-0,304	-0,283	-0,262	-0,212	0,000	-0,179	0,000	-0,275	-0,273
Toplam	-1,749	-1,877	-1,858	-1,933	-1,666	-1,862	-1,099	-1,839	-1,864	-1,946	-1,943
H _j	0,841	0,903	0,893	0,929	0,801	0,895	0,528	0,884	0,896	0,936	0,934
1-H _j	0,159	0,097	0,107	0,071	0,199	0,105	0,472	0,116	0,104	0,064	0,066

Ek 2. SAW Aşamaları**Normalize Karar Matrisi**

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁
A ₁	1,00000	0,19412	0,29474	0,20000	0,30359	0,96154	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
A ₂	0,47222	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,66667	1,00000	1,00000	1,00000
A ₃	0,19444	0,15000	0,23333	0,00667	0,21571	0,92593	0,80000	0,16667	0,03333	0,03333	0,00133
A ₄	0,50000	0,14537	0,27451	1,00000	0,35423	0,96154	0,80000	0,50000	1,00000	1,00000	1,00000
A ₅	0,13889	0,06600	0,10769	0,04000	0,59221	0,94340	0,80000	0,20000	0,02000	0,02000	0,00200
A ₆	0,38889	0,05323	0,09333	0,00286	0,27919	0,92593	1,00000	0,25000	0,04000	0,00025	0,00025
A ₇	0,38889	0,47143	0,93333	0,02667	0,59644	0,89286	0,80000	0,12500	0,00800	0,00800	0,00200
A ₈	0,66667	0,27500	0,50909	0,04444	0,48223	0,92593	0,80000	0,16667	0,00667	0,00667	0,00222

Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁
A ₁	0,10211	0,01212	0,02015	0,00907	0,03873	0,06460	0,30275	0,07423	0,06657	0,04125	0,04215
A ₂	0,04822	0,06246	0,06838	0,04534	0,12758	0,06719	0,30275	0,04949	0,06657	0,04125	0,04215
A ₃	0,01985	0,00937	0,01596	0,00030	0,02752	0,06221	0,24220	0,01237	0,00222	0,00138	0,00006
A ₄	0,05105	0,00908	0,01877	0,04534	0,04519	0,06460	0,24220	0,03711	0,06657	0,04125	0,04215
A ₅	0,01418	0,00412	0,00736	0,00181	0,07555	0,06339	0,24220	0,01485	0,00133	0,00083	0,00008
A ₆	0,03971	0,00332	0,00638	0,00013	0,03562	0,06221	0,30275	0,01856	0,00266	0,00001	0,00001
A ₇	0,03971	0,02945	0,06382	0,00121	0,07609	0,05999	0,24220	0,00928	0,00053	0,00033	0,00008
A ₈	0,06807	0,01718	0,03481	0,00202	0,06152	0,06221	0,24220	0,01237	0,00044	0,00028	0,00009

Ek 3: TOPSIS Aşamaları**Normalize Karar Matrisi**

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁
A ₁	0,6627	0,1649	0,1916	0,1399	0,2010	0,3606	0,4016	0,7316	0,5770	0,5772	0,5773
A ₂	0,3129	0,8493	0,6499	0,6994	0,6621	0,3751	0,4016	0,4878	0,5770	0,5772	0,5773
A ₃	0,1289	0,1274	0,1517	0,0047	0,1428	0,3473	0,3213	0,1219	0,0192	0,0192	0,0008
A ₄	0,3314	0,1235	0,1784	0,6994	0,2345	0,3606	0,3213	0,3658	0,5770	0,5772	0,5773
A ₅	0,0920	0,0561	0,0700	0,0280	0,3921	0,3538	0,3213	0,1463	0,0115	0,0115	0,0012
A ₆	0,2577	0,0452	0,0607	0,0020	0,1848	0,3473	0,4016	0,1829	0,0231	0,0001	0,0001
A ₇	0,2577	0,4004	0,6066	0,0187	0,3949	0,3349	0,3213	0,0915	0,0046	0,0046	0,0012
A ₈	0,4418	0,2336	0,3309	0,0311	0,3193	0,3473	0,3213	0,1219	0,0038	0,0038	0,0013

Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁
A ₁	0,0677	0,0103	0,0131	0,0063	0,0256	0,0242	0,1216	0,0543	0,0384	0,0238	0,0243
A ₂	0,0320	0,0530	0,0444	0,0317	0,0845	0,0252	0,1216	0,0362	0,0384	0,0238	0,0243
A ₃	0,0132	0,0080	0,0104	0,0002	0,0182	0,0233	0,0973	0,0091	0,0013	0,0008	0,0000
A ₄	0,0338	0,0077	0,0122	0,0317	0,0299	0,0242	0,0973	0,0272	0,0384	0,0238	0,0243
A ₅	0,0094	0,0035	0,0048	0,0013	0,0500	0,0238	0,0973	0,0109	0,0008	0,0005	0,0000
A ₆	0,0263	0,0028	0,0041	0,0001	0,0236	0,0233	0,1216	0,0136	0,0015	0,0000	0,0000
A ₇	0,0263	0,0250	0,0415	0,0008	0,0504	0,0225	0,0973	0,0068	0,0003	0,0002	0,0000
A ₈	0,0451	0,0146	0,0226	0,0014	0,0407	0,0233	0,0973	0,0091	0,0003	0,0002	0,0001

Pozitif İdeal (A⁺) ve Negatif İdeal (A⁻) Çözüm Değerleri

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁
A ⁺	0,0677	0,0530	0,0444	0,0317	0,0845	0,0252	0,1216	0,0543	0,0384	0,0238	0,0243
A ⁻	0,0094	0,0028	0,0041	0,0001	0,0182	0,0225	0,0973	0,0068	0,0003	0,0000	0,0000

Pozitif İdeal (S*) ve Negatif İdeal (S) Ayrım Ölçüleri

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈
S ⁺	0,083157	0,040039	0,129184	0,092439	0,120699	0,121425	0,100379	0,102677
S ⁻	0,095353	0,118836	0,009311	0,069674	0,032131	0,030898	0,05663	0,047641
C*	0,53416	0,747982	0,067232	0,429789	0,210239	0,202846	0,36068	0,316936

Ek 4: VIKOR Aşamaları**Kriter Fonksiyonlarının En İyi (f⁺) ve En Kötü (f) Değerleri**

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁
f ⁺	18,000	3,300	5,600	0,020	47280,360	5,000	5,000	5,000	0,002	0,002	0,002
f	2,500	62,000	60,000	7,000	10198,810	5,600	4,000	40,000	0,300	8,000	8,000

S ve R Değerlerinin Hesaplanması

A ₁	0,000	0,015	0,017	0,001	0,113	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A ₂	0,063	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000
A ₃	0,096	0,020	0,023	0,019	0,128	0,045	0,303	0,053	0,013	0,000	0,008
A ₄	0,059	0,021	0,019	0,000	0,105	0,022	0,303	0,011	0,000	0,000	0,000
A ₅	0,102	0,050	0,058	0,003	0,066	0,034	0,303	0,042	0,022	0,001	0,005
A ₆	0,072	0,062	0,068	0,045	0,117	0,045	0,000	0,032	0,011	0,041	0,042
A ₇	0,072	0,004	0,001	0,005	0,066	0,067	0,303	0,074	0,055	0,001	0,005
A ₈	0,040	0,009	0,007	0,003	0,084	0,045	0,303	0,053	0,067	0,002	0,005

Q Değerlerinin Hesaplanması

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈
S	0,168	0,068	0,707	0,539	0,686	0,537	0,653	0,616
R	0,113	0,063	0,303	0,303	0,303	0,117	0,303	0,303
Q	0,184	0,000	1,000	0,869	0,983	0,480	0,958	0,929

S _{min} (S*)	S _{max} (S ⁻)	R _{min} (R*)	R _{max} (R ⁻)
0,0679	0,7072	0,0626	0,3028