



GREEN SUPPLIER SELECTION WITH EDAS AND VIKOR METHODS IN THE ELECTRICITY SECTOR

Özlem KARATAŞ* Tijen ÖVER ÖZÇELİK**

*Endüstri Mühendisi, Sakarya Üniversitesi, ozlem.karatas4@ogr.sakarya.edu.tr , ORCID: 0000-0002-2272-4662, Corresponding Author

**Doç. Dr., Sakarya Üniversitesi, tover@sakarya.edu.tr , ORCID: 0000-0002-9614-8119

Received Date:01.08.2022 Accepted Date:05.10.2022

Copyright © 2022 Özlem KARATAŞ , Tijen ÖVER ÖZÇELİK. This is an open access article distributed under the Eurasian Academy of Sciences License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT

In recent years, consumers have tended to develop environmentally friendly approaches to nature. Businesses also carry out production with an environmentally friendly approach and reflect this understanding in all production processes. Choosing the right green supplier is vital in enterprises' ecologically friendly production. Businesses can have more than one green supplier in today's market. This situation brings up supplier selection/decision-making problems for firms, and these problems contain many uncertainties. It becomes even more critical that the decision-makers make their decisions objectively and accurately, especially if the number of criteria and alternatives is high. Multi-criteria decision-making methods make it possible to evaluate with a scientific and systematic approach in case of multiple alternatives and criteria. Due to this feature, it is widely used in green supplier selection problems. In this study, the green supplier selection problem of a business operating in the electricity sector was investigated. The primary purpose of the study is to provide the optimum green supplier selection for the enterprise. First of all, the opinions of three experts in the enterprise were taken and obtained from the literature; compliance quality, green product design, green purchasing, and green production criteria have created the most suitable criteria for the study. EDAS and VIKOR methods, which are multi-criteria decision-making methods, are handled separately, and the optimum green supplier is selected for the enterprise. The consistency of the results obtained with the RoHS analysis applied in the enterprise is examined. As a result of the research, the same green supplier ranking was obtained with the RoHS analysis, VIKOR, and EDAS methods.

Keywords: Green Supplier Selection, EDAS, VIKOR, RoHS Analysis

JEL Classifications: M10, M11, Q56

ELEKTRİK SEKTÖRÜNDE EDAS VE VIKOR YÖNTEMLERİ İLE YEŞİL TEDARİKÇİ SEÇİMİ

ÖZET

Son yıllarda tüketiciler, doğaya karşı çevre dostu yaklaşımlar geliştirme eğilimindedirler. İşletmeler de, çevre dostu yaklaşımla üretim gerçekleştirmekte ve bu anlayışı tüm üretim süreçlerine yansıtmaktadırlar. İşletmelerin çevre dostu üretim gerçekleştirmelerinde doğru yeşil tedarikçi seçimi önemli bir yer tutmaktadır. İşletmeler, günümüz piyasasında birden fazla yeşil tedarikçiye sahip olabilmektedirler. Bu durum da işletmeler için tedarikçi seçim/karar verme problemlerini gündeme getirmekte ve bu problemler bir çok belirsizlik barındırmaktadır. Karar vericilerin kararlarını objektif, doğru olarak verebilmesi özellikle de kriter ve alternatif sayılarının fazla olması durumunda daha da önem kazanmaktadır. Çok kriterli karar verme yöntemleri, birden çok alternatif ve kriter olması durumunda bilimsel ve sistematik bir yaklaşımla değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır. Bu özelliğinden dolayı yeşil tedarikçi seçim problemlerinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada elektrik sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin yeşil tedarikçi seçim problemi araştırılmıştır. Çalışmanın ana amacı; işletme için optimum yeşil tedarikçi seçimini sağlamaktır. Öncelikle işletmedeki üç uzmanın görüşü alınmış ve literatürden elde edilen; uygunluk kalitesi, yeşil ürün tasarımı, yeşil satınalma, yeşil üretim kriterleri ile çalışma için en uygun kriterler oluşturulmuştur. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan EDAS ve VIKOR yöntemleri ayrı ayrı ele



alınarak işletme için optimum yeşil tedarikçi seçimi yapılmış ve ulaşılan sonuçların işletmede uygulanmakta olan RoHS analizi ile tutarlılığı irdelenmiştir. Yapılan araştırmanın sonucunda RoHS analizi, VIKOR ve EDAS yöntemleri ile aynı yeşil tedarikçi sıralaması elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yeşil Tedarikçi Seçimi, EDAS, VIKOR, RoHS Analizi

Jel Sınıflaması: M10, M11, Q56

1.Giriş

Günümüzde küresel olarak artış gösteren doğayı gözetme yaklaşımı, şirketlerin tedarik zinciri yönetimine yeşil faktörlerin katılmasını sağlamıştır (Madenoğlu, 2019). Yeşil tedarik zinciri yönetimi (YTZY), ihtiyaç duyulan hammadde ile malzemenin tedarikçilerden temin edilerek, tüketicilerin taleplerine cevap verebilmek amacı ile bitmiş son ürünün dağıtım operasyonundaki toptancılar ve perakendeciler tavassutu ile müşterilere ulaşmasını sağlamak üzere, malzeme ve bilgi akışının tasarlanması, planlanması süreçleridir (Min vd., 2001). Yeşil tedarikçi seçimi, YTZY faaliyetlerinden biridir (Büyüközkan vd., 2008). Tedarikçi seçim süreçlerinde son zamanlarda çevresel ölçütler dikkate alınmaktadır. Geleneksel kriterler, kalite ve fiyat iken, su kullanımı ve geri dönüşüm çevresel ölçütlerdir (Weber vd., 2014). Firmalar, tedarikçileri seçme ve değerlendirme süreçlerinde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerini tercih etmektedirler. Bu çalışmada uygulamanın gerçekleştirildiği elektrik sektöründe üretim yapan işletmede, hali hazırda RoHS analizi ile optimum yeşil tedarikçi seçimi yapılmaktadır. RoHS analizi ile civa, kadmiyum, kurşun, krom değerleri olması gereken standart ölçüm değerleri ile kıyaslanıp analiz edilerek yeşil tedarikçi seçimi gerçekleştirilmektedir. Bu seçimin geçerliliğinin irdelenmesi amacı ile öncelikle işletmedeki üç uzman görüşü ve literatür araştırmalarından elde edilen uygunluk kalitesi, yeşil ürün tasarımı, yeşil satınalma ve yeşil üretim kriterleri olarak belirlenmiştir. EDAS ve VIKOR yöntemleri ayrı ayrı ele alınarak işletme için optimum yeşil tedarikçi seçimi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede firmanın, en uygun yeşil tedarikçi seçimi sağlanarak, doğaya ve insan sağlığını tehdit eden unsurları en aza indirgenmesine ve ekolojik düzenin devamına katkı sağlanacaktır. Çalışmanın ikinci bölümünde literatür taraması, sonrasında ise sırasıyla uygulanan yöntemler, uygulama ve sonuç kısmı ele alınmaktadır.

2.Literatür taraması

Piyasada, işletmeler arasında hızla artış gösteren rekabetçi bir ortam bulunmaktadır. Tüketici davranışlarının değişimi bu duruma zemin oluşturmaktadır. Tüketici davranışlarının değişim göstermesi, arz ve talep dengelerini de etkilemektedir. İşletmeler, tüketicilerin beklentilerine cevap verebilmek ve piyasada rekabet edebilmek adına üretim kapasitelerini arttırmaktadırlar. Dolayısıyla işletmelerin tüm üretim aşamalarını kendi bünyelerinde gerçekleştirmeleri zorlaşmaktadır. Bu durum işletmeleri tedarikçi firmalarla çalışmaya itmektedir. İşletmelerin en uygun tedarikçilerle çalışması stratejik rekabet düzeyini arttırmaktadır. Üretim için ihtiyaç duyulan malzemelerin hangi firmadan, miktar ve süre ile temin edileceği süreci, tedarikçi seçimi ile gerçekleştirilmektedir. Özellikle işletmelerin müşterilerine iyi kalitede hizmet verebilmesi, proses süreçlerini iyileştirmeleri, üretimde kullanılan hammadde ve üretim maliyetlerini aşağıya doğru çekmesi, doğru tedarikçi seçimi ile gerçekleştirilmektedir. Tedarikçi seçiminde yapılan hatalar işletmelerin işlem süreçlerini uzatarak müşteri beklentilerine cevap verme süresinin artmasına sebebiyet vermektedir. Tedarikçilerin, müşterilerin beklenti ve teslim vb. isteklerini karşılama, bu noktada önem kazanmaktadır. Tedarikçi seçiminde önde gelen kriterler fiyat, finansal uygunluk, kalitesel sistem, paketleme gücü, sevkiyat durumu, esneklik, zamanında teslimat ve ürünlerde uzun ömürlü olabilme şeklindedir (Bozdağ, 2003).

Tedarikçi seçiminin en önemli noktalarını aşağıdaki maddeler oluşturmaktadır:

- ✓ Tedarikçi seçim sürecinin kritik olması,
- ✓ Tedarikçilerin kaliteli materyallerinin olması,
- ✓ İşletmelerin tedarikçilerine yatırım yapması,
- ✓ İşletmelerin fiyat indirimlerinden daha çok stratejik tedarikçi seçimine önem vermesidir (Muralidharan, 2001).



İşletmeler, artan rekabetçi ortamda varlıklarını sürdürebilmeleri için maliyetlerini indirgeme eğilimindedirler. Bu amaçla işletme, kendisi için ihtiyaç gördüğü hammadde ve yarı ürünlerin en uygun tedarikçi, zaman ve en düşük maliyetle tedarikçisini amaçlamaktadır. İşletmelerin kendilerine uygun doğru tedarikçi sistemini oluşturması, müşterilerinin beklentilerine çok kısa sürede cevap vermesini ve rekabet avantajını artırmasını sağlamaktadır (Arıkan vd., 2014). Bir tedarik zincirinin ortakları, tedarik zinciri davranışının kritik belirleyicileridir. Bu zincirde ortaklığın sürdürülebilirliği, tedarik zincirinin oluşturulması ve sürdürülmesi için çok önemli olmaktadır (Chen vd., 2005). Günümüz rekabet ortamında, tedarikçi seçimi ile ilgili karar, üretim yönetiminin başarısı için çok önemlidir (Weber vd., 2000). Firmalar rekabet edebilmek için, güvenilir tedarikçilerle çalışmalıdır. İşletmeler tedarikçi seçimi ve sorunlarıyla çok sık karşılaşmaktadırlar. Bunun sebebi ise tedarikçi çeşitliliği ve bolluğudur. Tedarikçi seçimi, en yaygın çok kriterli karar verme problemleri arasında yer almaktadır (Timmerman, 1986). Bütün uygun alternatifler arasından en iyi alternatifin seçimine ve ortaya çıkarmış olduğu birçok sorunun çözümüne çok kriterli karar verme yöntemleri odaklanmaktadır (Saghafian vd., 2005). Çok amaçlı karar verme yöntemleri, analitik yöntemlerdir. Bu metotta karar verme sürecine insan merkezli yaklaşım sağlanarak, insan katılımı esas alınmaktadır (Narasimhan, 1983). Çok kriterli karar verme teknikleri, firmaların ihtiyaç duymasından dolayı her geçen gün değerine değer katmaktadır. Çok kriterli karar verme sorunlarına tedarikçi seçimi, uygun kriterlerin belirlenmesinden, iletişimlerin net ve uygun bir biçimde ortaya konmasına kadar olan tüm süreçler için en uygun yöntemleri oluşturmaktadır (Yıldız vd., 2015). Doğru tedarikçi seçimi ile işletmeler, rekabet gücünü gün geçtikçe arttırmaktadır. İşletmelerin başarılı performans göstermesinde doğru tedarikçi seçimi önemli rol oynamaktadır (Mathew vd., 2018). İşletmelerde üretilen ürün sayısının artmasıyla beraber, iş süreçlerinin genişlemesi işletmeleri tedarikçi seçimine zorlamıştır. Bu süreçleri dengeleyen sistemsel yapı firmaların tedarikçileri olmaktadır. İşletmeler, tedarikçiler ve müşteriler arasında çok kuvvetli bir şekilde iş paylaşımı sağlamaktadır. İşletmeler açısından üretimi yapılan nihai (son) ürünlerin ürün kalitesini, maliyetini, temin sürelerini doğru zamanda, doğru fiyattan sahip oldukları tedarikçileri sağlamaktadır (Xia vd., 2007). Tedarikçi seçiminde özellikle;

- ✓ Tedarikçinin talep edilen malzemeyi doğru zamanda temin edebilmesi,
- ✓ Tedarik edilen ürün için fiyat düşürebilme kapasitesi,
- ✓ Tedarikçinin imalat gücü,
- ✓ Üretici firma ile tedarikçinin geçmişte iyi ilişkiler kurabilmiş olması,
- ✓ Tedarikçinin finansal durumu önem kazanmaktadır.

Opricovic 2011 yılında, işletmeler için doğru tedarikçinin seçilmesinin doğurduğu sonuçları tespit etmek hedefi ile araştırmalarını gerçekleştirerek, bu araştırmaları çalışmalarına aktarmıştır. Yaptığı araştırmalarda tedarikçilerin işletmeye uyumu ve dürüstlüğü en önemli noktaları oluşturmaktadır. Ayrıca işletmelerin taleplerini sürekli olarak tedarikçilerine yaptırılmaları, tedarikçilerine olan güveninin ve bağlılıklarının artmasına neden olmuştur (Opricovic,2011).

Yukarıda değinilen konular göz önünde bulundurulduğunda; işletmelerin rekabet edebilirliğinde doğru tedarikçi seçimi önemli bir yer tutmaktadır. İşletmelerin özellikle günümüz de yaşanan çekişmeli rekabet ortamında geride kalmaları, piyasadan yok olmaları anlamına gelmektedir. İşletmeler için bu yaşanan süreçte rekabetçi olabilmek ve başarılı hizmet kalitesi yakalayabilmenin yollarından biri de doğru tedarikçi seçimidir. İşletmelerde gerçekleşen üretim, birçok fonksiyon ve süreci içermektedir. Bu süreçlerden biri de tedarikçi seçim kararlarıdır. Bu bakış açısı, tedarikçi seçiminin önem ve boyutunu ortaya koymaktadır. Özellikle işletmelerin müşterilerine iyi kalitede hizmet verebilmesi, süreçlerini iyileştirmeleri, üretimde kullanılan hammadde ve üretim maliyetlerini aşağıya çekmesi doğru tedarikçi seçimi ile gerçekleştirilmektedir.

Baykoç ve ark. tedarikçi seçim aşamalarını aşağıdaki gibi belirlemişlerdir. Bunlar:

- ✓ Tedarikçilerin doğru kaynak sağlayabilme stratejisini oluşturabilmeleri,
- ✓ Tedarikçi havuzunu yaratma,
- ✓ Tedarikçi değerlendirme metodunu belirlemek,



✓ Tedarikçi seçim işleminin yapılmasıdır (Baykoç, 2004).

İşletme içerisinde ihtiyaç duyulan ürünler veya hizmetler, üretim planlama departmanı tarafından talep oluşturularak, sistem tarafından satınalma bölümüne bildirilmektedir. Satınalma departmanı siparişin açılması, onaylanması, tedarikçiye iletilmesi ve teslimat onayını almakla yükümlüdür. Tedarikçiler ise siparişin işleme alınması, teslimata kadar olan sürecin tamamlanması ve siparişin sevk edilmesi sürecinden sorumlu olmaktadır. Tedarikçiler, ürettikleri ürünleri firmalara sevk eder; firmalar ise sevk edilen ürünlerin mal kabul işlemini gerçekleştirmektedir. Firmalar, sevk edilen ürünleri giriş kalite kontrol sürecinden geçirmektedir. En son aşamada ise fatura girişi yapılarak ödeme süreci başlamaktadır (Igarashi vd., 2013).

Tedarikçi değerlendirme sürecinde; talep edilen ürün için ihtiyaç duyuluyorsa, öncelikle o ürün ile ilgili olarak teknik şartname oluşturulmaktadır. Sonrasında pazar araştırması yapılarak en az üç teklif toplanır. En uygun teklif alındıktan sonra tedarikçi ile fiyat pazarlık anlaşması yapılmaktadır. Sonuç olarak alınan teklifler arasında en uygun ödeme vadesi, fiyat, kalite, temin süresine sahip tedarikçi o firma için tercih edilebilir tedarikçi olmaktadır (Ijomah vd., 2004).

Sanayinin ve teknolojinin hızlı bir artış göstermesi ile beraber, çevresel kirlilik boyutunun arttığı görülmektedir. İşletmelerdeki üretim çeşitliliği ve üretim miktarındaki artışla birlikte, çevreye katı, sıvı ve gaz atıkların salınımı da artmaktadır. İşletmelerin birçoğu, bütün ürünleri için artık sorunsuz, doğaya zarar vermeyen ve insan sağlığını tehdit etmeyen bir yaklaşım sergilemektedirler. Bu döngüyü sağlayabilmek için ise ilk basamak satınalmadır. Üretimde yer alan bütün ürün ve teknoloji bileşenlerinin satınalma işlemi, nihai ürünün çevresel etkilerini ortaya koymaktadır. Çevreci satınalma/yeşil tedarik kavramları, geriye dönüşebilen, yeniden değerlendirilebilen ve çevreci bir anlayışla üretime izin vermektedir. Aynı zamanda, doğaya geri dönüştürülebilir ve kazandırılan malzemelerin satınalma sürecini ifade etmektedir. Bu bağlamda, yeşil tedarik zinciri, ihtiyaç duyulan hammadde ile malzemenin tedarikçilerden temin edilerek, tüketicilerin taleplerine cevap verebilmek amacı ile bitmiş son ürünün dağıtım operasyonundaki toptancılar ve perakendeciler tavassutu ile müşterilere ulaşmasını sağlamak üzere malzeme bilgi akışının tasarlanması, planlanması ve kontrol süreçleridir (Min vd., 2001).

Yeşil satınalmanın tanımı yapılacak olursa bir malzemenin hammaddesine, bu hammaddenin menşesine, kim tarafından üretildiğine ve nihai (son) ürünün nasıl yok edileceğine dair bir süreç olarak tanımlanabilir (Sarkis vd., 2003). Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi, yeşil satınalma, yeşil üretim, yeşil dağıtım, yeşil paketleme, tersine lojistik gibi birçok alt dallardan oluşmaktadır. Bir üretici işletme, eğer yeşil ürün üretimini gerçekleştirmek istiyorsa, satınalma ilk temel adımı oluşturmaktadır. Tedarik edilen malzemelerin doğaya az atık bırakmasını sağlamak isteyen işletmeler, hem hali hazırda olan hem de yeni tedarikçileri için kalite yaklaşımlarına yeşil doğadan beklentilerini entegre etmeli ve gerçekleşip gerçekleşmediğini takip ederek kayıt altına almalıdır. Ayrıca, belirli periyotlarla tedarikçi denetimlerini yaparak sürecin devamlılığını sağlamalıdır. Yeşil satınalma, yeşil tedarik zinciri yönetiminin en önemli fonksiyonlarından birini oluşturmaktadır.

Yeşil tedarikçi ve yeşil süreçlerle ilgili literatürde birçok farklı sektörü temel alan çalışma gerçekleştirildiği görülmektedir. Örneğin; kimya, gıda, otomotiv bu sektörlerden bazılarıdır. Gerçekleştirilen bu çalışma ise, elektrik endüstrisi için çevresel zararlara sebep olabilecek bir parçanın tedarik probleminin çözüm sunmaktadır. Çalışmanın sırası ile, yeşil tedarikçi seçim kriterlerini göz önünde bulundurma, birden fazla ÇKKV yöntemi ile tedarikçi seçimi gerçekleştirilmesi, elde edilen sonucun RoSH analizi ile karşılaştırılarak bütünleştirilmesi ve gerçek hayat problemi ile sunulması açısından literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. Metodoloji

3.1. EDAS Yöntemi

“Evaluation based on Distance from Average Solution” (EDAS) metodu, Keshavarz Ghorabae ve diğ. (2015) tarafından geliştirilmiştir. Türkçe olarak “Ortalama Çözüm Uzaklığına Dayalı Değerlendirme” şeklinde ifade edilen bir yöntemdir. Yazarlar çalışmalarında bu metodu, (TOPSIS) The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution, (VIKOR) VİseKriterijumska Optimizacija I



Kompromisno Resenje, ve (COPRAS) Complex Proportional Assessment gibi diğer çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri ile kıyaslamışlar ve metodun geçerliliğini test etmişlerdir (Keshavarz vd., 2015).

Yöntem adımları şu şekilde ifade edilebilir;

Adım 1; problem tanımında, i alternatif sayısı, j ölçüt sayısı ile sembolize edilmiştir. Kriter sayısının doğru tespit edilmesi ve her bir ölçütün detaylı tanımlarının yapılması, karar verme matrisinin tutarlı yapılabilmesi sonucun tutarlı olması yönünden oldukça önem taşımaktadır (Saaty, 1980).

Adım 2; karar verme matrisi oluşturulmaktadır. Bu matris aşağıdaki gibi sembolize edilmektedir. Bu matriste Eşitlik (1) x_{ij} ; i . alternatifin j . ölçüte göre performansını ifade etmektedir (Keshavarz vd., 2015).

$$X = X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} \dots x_{12} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} \dots x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Bu adımda, 1 den 9'a kadar numaralandırma yapılarak puanlama sistemi elde edilmektedir.

Adım 3; bütün ölçütlere göre ortalama çözüm belirlenmektedir.

Bu adım için; Eşitlik (2) yardımı ile hesaplamalar yapılmaktadır.

$$AV_j = \frac{\sum_i^m X_{ij}}{m} \quad AV = [AV_j]_{1 \times n} \quad (2)$$

Adım 4; ölçütlerin her biri için ortalamadan pozitif uzaklık matrisi (PDA) ve ortalamadan negatif uzaklık matrisi (NDA) hesaplamaları yapılmaktadır. Hesaplama sürecinde Eşitlik (3) ve (4)'ten yararlanılmaktadır.

$$PDA = [PDA_{ij}]_{m \times n} \quad (3)$$

$$NDA = [NDA_{ij}]_{m \times n} \quad (4)$$

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (X_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (5)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - X_{ij}))}{AV_j} \quad (6)$$

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - X_{ij}))}{AV_j} \quad (7)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (X_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (8)$$

Adım 5; seçeneklerin her biri için ağırlıklandırılmış toplam PDA ve NDA değerleri hesaplanmaktadır.

Eşitlik (9) ve Eşitlik (10)'da gösterilen v_j , j . kriterin ağırlık değerini ifade etmektedir.

$$SP_i = \sum_{j=1}^n v_j PDA_{ij} \quad (9)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^n v_j NDA_{ij} \quad (10)$$

Adım 6; seçeneklerin her biri için aşağıdaki eşitlikler kullanılarak SP ve SN değerleri normalizasyonu yapılmaktadır. Eşitlik (11) ve Eşitlik (12) yardımı ile hesaplamalar yapılmaktadır.

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max(SP_i)} \quad (11)$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max(SN_i)} \quad (12)$$



Adım 7; seçeneklerin hepsi için Eşitlik (13) ile değerlendirme puanı (AS) hesaplanmaktadır.

$$AS_i = \frac{1}{2} * (NSP_i + NSN_i) \quad (13)$$

AS_i değeri, $0 \leq AS_i \leq 1$ koşulunu sağlamalıdır.

Seçeneklerin sıralama işlemi en yüksekten en aşağıya doğru olacak şekilde değerlendirme puanına (AS puanı) göre yapılmaktadır. En yüksek değerlendirme puanına sahip olan seçenek optimum seçenek olmaktadır.

3.2. VIKOR yöntemi

Opricovic tarafından geliştirilen VIKOR yöntemi, çok kriterli karar vermede kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem alternatiflerden en uygun olanın seçilmesine odaklanmaktadır. Bu yöntemde, hedef seçiminde optimum sonucu yakalayabilmek esastır. VIKOR metodu ile kriterlerin ağırlıklarının kesin olduğu varsayılmaktadır. Bu tür problemlerde karar verici belirsiz bilgiyi önemsemektedir.

Yöntem adımları şu şekildedir:

Adım 1’de mevcut problem, i seçenek sayısı, j kriter sayısı ile sembolize edilmiştir.

Adım 2’ de karar verme matrisi oluşturulmaktadır. Bu matris, Eşitlik (14) yardımı ile sembolize edilmektedir. Bu matriste x_{ij} ; i . alternatifi j . ölçüte göre performansını ifade etmektedir.

$$X = X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Adım 3’de ölçütlerin her biri için en iyi (f_i) ve en kötü (f_j) değerlerin belirlenmesi yapılmaktadır. Alternatiflerin sahip olduğu en iyi (f^*) ve en kötü (f_-) değerleri ölçütlerin tamamının faydayı temsil etmesi ile birlikte $f_i = \max x_{ij}$ $f_j = \min x_{ij}$ $j=1,2,\dots,n$ şeklinde ifade edilmektedir.

Adım 4’te karar matrisini oluşturan değerlerin ölçü birimi farklılıklarının ortadan kaldırılması ve karşılaştırılabilir duruma getirebilmesi için normalizasyon işlemi uygulanmaktadır. Alternatif m ve n kriterden oluşan karar probleminde elde edilen karar matrisi, normalize edilmesi sonucunda $m \times n$ boyutlarında R normalizasyon matrisine dönüştürülerek elde edilen R normalizasyon matrisi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir. R matrisinin değerlerini belirlemek için Eşitlik (15) ve Eşitlik (16) ile hesaplama işlemleri yapılmaktadır.

$$r_{ij} = \frac{f_i - x_{ij}}{f_i - f_j} \quad (15)$$

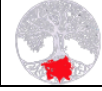
$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Adım 5’te normalize karar matrisinde, sütunlarda gösterilen ölçütlerin her birinin ağırlıkları ile çarpılması neticesinde V ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi elde edilerek bu matrisin elemanları ile Eşitlik (17) ve Eşitlik (18)’den yararlanılarak hesaplama işlemleri yapılmaktadır.

$$v_{ij} = r_{ij} \times w_j \quad (17)$$

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & \dots & v_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (18)$$

Adım 6’da ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinde S_i , R_i ve Q_i değerleri $j=1,2,\dots,J$ için hesaplanmaktadır. S_i ve R_i değerleri, aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak (Eşitlik (19) ve (20)) i . alternatif için ortalama ve en kötü grup puanlarının ifade edilmesini sağlamaktadır. W_i ’nin göreceli önemleri gösteren kriter ağırlıklarını temsil etmesi ile birlikte; bu ağırlıkların toplamı 1’e denk olmalıdır.



$$S_i = \sum_{j=1}^n \frac{w_j(f_i - x_{ij})}{(f_i - f_{ij})} \quad (19)$$

$$R_i = \max\left(\frac{w_j(f_i - x_{ij})}{(f_i - f_{ij})}\right) \quad (20)$$

Q_i değerleri, Eşitlik (21)' dan yararlanarak elde edilmektedir.

$$Q_i = \frac{v*(S_i - S^*)}{(S_i - S^*)} + \frac{(1-v)*(R_i - R^*)}{(R_i - R^*)} \quad (21)$$

S* = min S_i, S = max S_i, R* = min R_i, R = max R_i olarak temsil edilmektedir.

Son adım olan Adım 7' de, S, R ve Q değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak seçenekler arasındaki sıralama elde edilmektedir. Neticede sonuçlar bir araya getirilerek, üç sıralama listesi oluşturulmaktadır. Eğer iki koşul şartları sağlıyorsa, en iyiyi Q (minimum) değerlerine göre sıralayan seçeneğe optimum çözüm önerimi yapılmaktadır.

C1 kabul edilebilir avantaj; optimum seçenek arasında görünen bir fark olduğunu temsil eden şartı (Eşitlik (22)) ifade etmektedir.

$$DQ = \frac{1}{J-1} \quad (22)$$

J kriter sayısını ifade etmektedir.

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ \quad (23)$$

Burada "a'" değeri, Q değerine göre sıralamada ikinci sırada yer alan seçenektir. "a'" ise değeri, Q değerine göre sıralamada en baştaki alternatif olmaktadır.

C2 değeri karar vermede kabul edilebilir kararlılık; a' alternatifi, S ve/veya R değerlerine göre de sıralanan optimum seçenek olması ile birlikte uzlaşık çözüm kümesi aşağıdaki gibi tavsiye edilmektedir:

- ✓ Şayet C2 şartını sağlamıyorsa a' ve a'' seçenekleri
- ✓ Şayet C1 şartını sağlamıyorsa a', a'', ..., a (M) seçenekleri ve değeri maksimum M için
- ✓ Q(a(M)) - Q(a') < DQ belirlenmektedir.

4.Uygulama

Uygulamanın gerçekleştirildiği elektrik firması, RoHS analizi ile yeşil tedarikçi seçimini gerçekleştirmektedir. Uygulamada, dört ayrı tedarikçiden cıvata numuneleri elde edilerek yeşil tedarikçi seçimi gerçekleştirilmiştir. Tedarikçilerden elde edilen cıvata numunelerine RoSH analizi testi uygulanmaktadır. RoSH analizi ile insan sağlığına zararlı etkenler azaltılmaktadır. RoSH analizi ile doğaya ciddi anlamda zarar veren atıkların azaltılmasının yanında yeşil çevreci yaklaşım da sağlanmaktadır. Elektrik ve elektronik ürünlerin üretiminde kurşun, cıva, kadmiyum gibi tehlikeli elementlerin kullanımı, RoSH analizi ile kısıtlanmaktadır. Uygulamada, çok kriterli karar verme tekniklerinden olan EDAS ve VIKOR metodu ile yeşil tedarikçi seçimi gerçekleştirilmiştir. İşletmeye ait bilgilerin paylaşımının gizli tutulması nedeniyle tedarikçi firma isimleri, F1, F2, F3, F4 olarak adlandırılmıştır. RoSH analizine göre cıvatalar için değerlendirme kriterleri ve sınır değer bilgileri;

Cıva(Hg) ≤ %0,1

Kadmiyum(Cd) ≤ %0,01

Kurşun(Pb) ≤ %0,1

Krom(Cr) ≤ %0,1 şeklinde olmaktadır.

- ✓ F1 firması için RoHS analizi değerleri;



Civa=%0,927

Kadmiyum=%0,0654

Kurşun=%0,0745

Krom=%0,8664' dir.

Tablo 1: F1 Firması RoHS Analizi Değerleri

Firma	Civa(%)	Kadmiyum(%)	Kurşun(%)	Krom(%)
F1	0,927	0,0654	0,0745	0,8664

F1 firması için RoSH analizi değerleri, Tablo 1'de yer almaktadır.

✓ F2 firması için RoHS analizi değerleri;

Civa=%0,6965

Kadmiyum=%0,0412

Kurşun=%0,0765

Krom=%0,6436

Tablo 2: F2 Firması RoHS Analizi Değerleri

Firma	Civa(%)	Kadmiyum(%)	Kurşun(%)	Krom(%)
F2	0,6965	0,0412	0,0765	0,6436

F2 firması için RoSH analizi değerleri, Tablo 2'de yer almaktadır.

✓ F3 firması için RoHS analizi değerleri;

Civa=%0,9420

Kadmiyum=%0,0847

Kurşun=%0,6988

Krom=%0,9475

Tablo 3: F3 Firması RoHS Analizi Değerleri

Firma	Civa(%)	Kadmiyum(%)	Kurşun(%)	Krom(%)
F3	0,9420	0,0847	0,6988	0,9475

F3 firması için RoSH analizi değerleri, Tablo 3'te yer almaktadır.

✓ F4 firması için RoHS analizi değerleri;

Civa=%0,0437

Kadmiyum=%0,0065

Kurşun=%0,0081

Krom=%0,0033

Tablo 4: F4 Firması RoHS Analizi Değerleri

Firma	Civa(%)	Kadmiyum(%)	Kurşun(%)	Krom(%)
F4	0,0437	0,0065	0,0081	0,0033

F4 firması için RoSH analizi değerleri, Tablo 4'te yer almaktadır.

Tabloda yer alan RoSH analizi değerleri, dört ayrı tedarikçi firmadan elde edilen cıvata numunelerine ait değerlerdir. Gerçekleştirilen çalışmada, bu değerlere göre tedarikçi sıralaması gerçekleştirilmekte ve



optimum sonuca göre en uygun tedarikçi seçimi yapılmaktadır. İşletmede yapılan uygulamaya göre sıralama $F4 > F2 > F1 > F3$ olarak belirlenmiştir.

EDAS, VIKOR yöntemi ile uygulamanın gerçekleştirildiği işletmede, üç uzman görüşü ele alınarak karar matrisi oluşturulmuştur. Bu karar matrisleri Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7'de yer almaktadır. Bu tablolar içerisinde yer alan değerler 1-9 arasındaki sayılarla numaralandırılmıştır. Puanlamada yer alan karar vericiler, çevre ve endüstri mühendisidir. Puanlamalar gerçekleştirilmeden önce karar vericilere puanlama yöntemi ile bilgilendirme yapılmıştır.

Tablo 5: Kararverici1 Puanlama Matrisi

Firmalar	Uygunluk Kalitesi	Yeşil Ürün Tasarımı	Yeşil Satınalma	Yeşil Üretim
F1	1	5	8	7
F2	9	3	4	6
F3	5	9	6	1
F4	8	4	3	7

Tablo 6: Kararverici2 Puanlama Matrisi

Firmalar	Uygunluk Kalitesi	Yeşil Ürün Tasarımı	Yeşil Satınalma	Yeşil Üretim
F1	1	2	8	5
F2	4	8	4	7
F3	3	9	6	1
F4	5	4	3	9

Tablo 7: Kararverici3 Puanlama Matrisi

Firmalar	Uygunluk Kalitesi	Yeşil Ürün Tasarımı	Yeşil Satınalma	Yeşil Üretim
F1	1	5	7	7
F2	3	3	4	3
F3	2	9	3	2
F4	6	5	2	8

Başlangıç tablosu değerlerinin oluşturulması için yapılan hesaplamalar:

F1- Uygunluk Kalitesi

$$GO = \sqrt[3]{1*1*1} = 1$$

F1-Yeşil Ürün Tasarımı

$GO = \sqrt[3]{5*2*5} = 3,684031499$ ve diğer değerler elde edilirken bu yöntem ile hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 8: Bir Araya Getirilerek Elde Edilen (Kombine) Karar Matrisi

Firmalar	Uygunluk Kalitesi	Yeşil Ürün Tasarımı	Yeşil Satınalma	Yeşil Üretim
F1	1	3,684031499	7,651724731	6,257324746
F2	4,762203156	4,160167646	4	5,013297935
F3	3,107232506	9	4,762203156	1,25992105
F4	6,214465012	4,30886938	2,620741394	7,958114416

Tablo 8'de kombine işlemi yapılarak oluşturulan karar matrisi görülmektedir. Kombine karar matrisi Eşitlik (1) ile elde edilmektedir. Sonraki aşamada tüm ölçütlere göre ortalama çözüm belirlenme işlemi uygulanmaktadır.

AV Uygunluk Kalitesi

$$= [(1 + 4,762203156 + 3,107232506 + 6,214465012)] / 4$$

$$= 3,770975168$$



“Uygunluk Kalitesi” kriteri için PDA değerlerini hesaplama:

$$F1 = \frac{\max(0, (1 - 3,770975168))}{3,770975168} = 0$$

$$F2 = \frac{\max(0, (4,762203156 - 3,770975168))}{3,770975168} = 0,262857203$$

$$F3 = \frac{\max(0, (3,107232506 - 3,770975168))}{3,770975168} = 0$$

$$F4 = \frac{\max(0, (6,214465012 - 3,770975168))}{3,770975168} = 0,647972934$$

“Yeşil Ürün Tasarımı” kriteri için PDA değerlerini hesaplama:

$$F1 = \frac{\max(0, (3,684031499 - 5,288267131))}{5,288267131} = 0$$

$$F2 = \frac{\max(0, (4,160167646 - 5,288267131))}{5,288267131} = 0$$

$$F3 = \frac{\max(0, (9 - 5,288267131))}{5,288267131} = 0,701880744$$

$$F4 = \frac{\max(0, (4,30886938 - 5,288267131))}{5,288267131} = 0$$

“Yeşil Satılma” kriteri için PDA değerlerini hesaplama:

$$F1 = \frac{\max(0, (7,651724731 - 2,812459348))}{0,607955382} = 4,75866732$$

$$F2 = \frac{\max(0, (4 - 2,812459348))}{4,75866732} = 0$$

$$F3 = \frac{\max(0, (4,762203156 - 2,812459348))}{4,75866732} = 0,000743031$$

$$F4 = \frac{\max(0, (2,620741394 - 2,812459348))}{2,812459348} = 0$$

“Yeşil Üretim” kriteri için PDA değerlerini hesaplama:

$$F1 = \frac{\max(0, (6,257324746 - 5,122164537))}{5,122164537} = 0,221617287$$

$$F2 = \frac{\max(0, (5,013297935 - 5,122164537))}{5,122164537} = 0$$

$$F3 = \frac{\max(0, (1,25992105 - 5,122164537))}{5,122164537} = 0$$

$$F4 = \frac{\max(0, (7,958114416 - 5,122164537))}{5,122164537} = 0,553662393$$

Tablo 9: Ortalamadan Pozitif Uzaklık Matrisi

Firmalar	Uygunluk Kalitesi	Yeşil Ürün Tasarımı	Yeşil Satılma	Yeşil Üretim
F1	0	0	0,607955382	0,221617287
F2	0,262857204	0	0	0
F3	0	0,701880744	0,000743031	0
F4	0,647972934	0	0	0,553662393

Tablo 9 içerisinde yer alan değerler Eşitlik (5) yardımı ile elde edilmektedir.



“Uygunluk Kalitesi” kriteri için NDA değerlerini hesaplama:

$$F1 = \frac{\max(0, (3,770975168 - 1))}{3,770975168} = 0,734816604$$

$$F2 = \frac{\max(0, (3,770975168 - 4,762203156))}{3,770975168} = 0$$

$$F3 = \frac{\max(0, (3,770975168 - 3,107232506))}{3,770975168} = 0,176013533$$

$$F4 = \frac{\max(0, (3,770975168 - 6,214465012))}{3,770975168} = 0$$

“Yeşil Ürün Tasarımı” kriteri için NDA değerlerini hesaplama:

$$F1 = \frac{\max(0, (5,288267131 - 3,684031499))}{5,288267131} = 0,303357525$$

$$F2 = \frac{\max(0, (5,288267131 - 4,160167646))}{5,288267131} = 0,213321199$$

$$F3 = \frac{\max(0, (5,288267131 - 9))}{5,288267131} = 0$$

$$F4 = \frac{\max(0, (5,288267131 - 4,30886938))}{5,288267131} = 0,185202019$$

“Yeşil Satılma” kriteri için NDA değerlerini hesaplama:

$$F1 = \frac{\max(0, (4,75866732 - 7,651724731))}{4,75866732} = 0$$

$$F2 = \frac{\max(0, (4,75866732 - 4))}{4,75866732} = 0,159428329$$

$$F3 = \frac{\max(0, (4,75866732 - 4,762203156))}{4,75866732} = 0$$

$$F4 = \frac{\max(0, (4,75866732 - 2,620741394))}{4,75866732} = 0,449269886$$

“Yeşil Üretim” kriteri için NDA değerlerini hesaplama:

$$F1 = \frac{\max(0, (5,122164537 - 6,257324746))}{5,122164537} = 0$$

$$F2 = \frac{\max(0, (5,122164537 - 5,013297935))}{5,122164537} = 0,021254022$$

$$F3 = \frac{\max(0, (5,122164537 - 1,25992105))}{5,122164537} = 0,754025658$$

$$F4 = \frac{\max(0, (5,122164537 - 7,958114416))}{5,122164537} = 0$$

Tablo 10: Ortalamadan Negatif Uzaklık Matrisi

Firmalar	Uygunluk Kalitesi	Yeşil Ürün Tasarımı	Yeşil Satılma	Yeşil Üretim
F1	0,734816604	0,303357525	0	0
F2	0	0,213321199	0,159428329	0,021254022
F3	0,176013533	0	0	0,754025658
F4	0	0,185202019	0,449269886	0



Kriterlerin her biri için ağırlık değeri aynı ve 0,25 olarak alınmıştır. Ağırlıklandırılmış PDA matrisi, PDA değerlerinin ağırlık değeri (0,25) ile çarpımı neticesinde elde edilmektedir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Tablo 11’de yer almaktadır.

Tablo 10 içerisinde yer alan değerler Eşitlik (6) yardımı ile elde edilmektedir.

Tablo 11: Ağırlıklandırılmış PDA Matrisi

Firmalar	Uygunluk Kalitesi	Yeşil Ürün Tasarımı	Yeşil Satınalma	Yeşil Üretim
F1	0	0	0,151988815	0,055404321
F2	0,065714301	0	0	0
F3	0	0,175470186	0,000185758	0
F4	0,161993233	0	0	0,138415598

Ağırlıklandırılmış PDA matrisi, PDA değerlerinin ağırlık değeri (0,25) ile çarpılması neticesi ile elde edilmektedir. Tablo 11’de elde edilen değerler yer almaktadır.

Ağırlıklandırılmış NDA matrisi, NDA değerlerinin ağırlık değeri (0,25) ile çarpılması neticesi ile elde edilmektedir. Tablo 12’de elde edilen değerler yer almaktadır.

Tablo 12: Ağırlıklandırılmış NDA Matrisi

Firmalar	Uygunluk Kalitesi	Yeşil Ürün Tasarımı	Yeşil Satınalma	Yeşil Üretim
F1	0,183704151	0,075839381	0	0
F2	0	0,05333029	0,039857082	0,005313506
F3	0,044003383	0	0	0,188506414
F4	0	0,046300504	0,112317471	0

Tablo 13: SPI ve SNI Matrisi

SPI	SNI
0,207393135	0,259543532
0,065714301	0,098500877
0,175655943	0,232509797
0,300408831	0,158617975

SPI ve SNI matrisi değerleri Eşitlik (9) ve Eşitlik (10)’ dan yararlanılarak hesaplanmaktadır.

SPI ve SNI matris değerleri Tablo 13’de yer almaktadır.

$$NSPF1=0,207393135/0,300408831=0,690369635$$

$$NSPF2=0,065714301/0,300408831=0,218749564$$

$$NSPF3=0,175655943/0,300408831=0,584722967$$

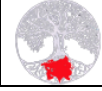
$$NSPF4=0,300408831/0,300408831=1$$

Normalize edilmiş SPI ve SNI değerleri Tablo 14’de yer almaktadır.

Tablo 14: NSP ve NSN Matrisi

NSP	NSN
0,690369635	0
0,218749564	0,62048
0,584722967	0,10416
1	0,388858

Tablo14’de yer alan değerler, Eşitlik (11) ve Eşitlik (12)’dan faydalanılarak elde edilmiştir.

**Tablo 15:** ASI Matrisi

ASI
0,345184817
0,419614782
0,344441483
0,694429

Değerlendirme puanı (AS) seçeneklerin her biri için adım adım hesaplanır. Bu hesaplanan değerler Tablo 15'te yer almaktadır. Bu değerler, Eşitlik (13) ile elde edilmiştir.

$$AS_i = 1/2 * (NSP_i + NSN_i)$$

AS_i değeri, 0 ≤ AS_i ≤ 1 koşulunu sağlamalıdır. Tablo 16'da sıralamalar mevcuttur.

Tablo 16: Sıralama Matrisi

ASI	SIRALAMA
0,345184817	3
0,419614782	2
0,344441483	4
0,694429	1

Tablo 16'da yer alan değerlere göre tedarikçi sıralaması F4 > F2 > F1 > F3 olarak tespit edilmiştir.

Bu kısımda VIKOR yönteminin adımları ele alınarak değerlendirilme yapılmıştır. Öncelikle karar matrisi normalize işlemine tabi tutularak normalizasyon matrisi elde edilerek matrisin elemanları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Uygunluk Kalitesi kriteri için r_{ij} değerlerinin hesaplanması:

$$F1 = (6,214465012 - 1) / (6,214465012 - 1) = 1$$

$$F2 = (6,214465012 - 4,762203156) / (6,214465012 - 1) = 0,278506395$$

$$F3 = (6,214465012 - 3,107232506) / (6,214465012 - 1) = 0,595887115$$

$$F4 = (6,214465012 - 6,214465012) / (6,214465012 - 1) = 0$$

Uzman görüşleri dikkate alınarak %25 olarak ağırlıklandırma değeri belirlenmiştir. V_{ij} = r_{ij} * w formülasyonu ile ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilmektedir.

Uygunluk kalitesi kriteri için V_{ij} değerlerinin hesaplanması:

$$F1 = [(6,214465012 - 1) / (6,214465012 - 1)] * 0,25 = 0,25$$

$$F2 = [(6,214465012 - 4,762203156) / (6,214465012 - 1)] * 0,25 = 0,0696265989$$

$$F3 = [(6,214465012 - 3,107232506) / (6,214465012 - 1)] * 0,25 = 0,1489717784494$$

$$F4 = [(6,214465012 - 6,214465012) / (6,214465012 - 1)] * 0,25 = 0$$

$$F1 = [(6,214465012 - 1) / (6,214465012 - 1)] * 0,25 = 0,25$$

$$F2 = [(6,214465012 - 4,762203156) / (6,214465012 - 1)] * 0,25 = 0,0696265989$$

$$F3 = [(6,214465012 - 3,107232506) / (6,214465012 - 1)] * 0,25 = 0,1489717784494$$

$$F4 = [(6,214465012 - 6,214465012) / (6,214465012 - 1)] * 0,25 = 0$$

Tablo 17: Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

Firmalar	Uygunluk Kalitesi	Yeşil Ürün Tasarımı	Yeşil Satınalma	Yeşil Üretim
F1	0,25	0,25	0	0,063479418
F2	0,069626599	0,227608213	0,181461778	0,109910849



F3	0,148971778	0	0,143586322	0,25
F4	0	0,22061505	0,25	0

Kriterlerin sahip olduğu ağırlıkları ile çarpımı neticesinde ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi Tablo 17'de yer almaktadır. Eşitlik (17) ve Eşitlik (18) yardımı ile Tablo 17'de yer alan değerler elde edilmektedir.

S_i değerlerinin, F1, F2, F3 ve F4 için hesaplanması:

$$F1=0,25+0,25+0+0,0634794181455=0,5634794181455$$

$$F2=0,5886074388105$$

$$F3=0,5425581005094$$

$$F4=0,4706150496902$$

R_i değerlerinin hesaplanması:

$$F1 \text{ için satırında yer alan max değer}=0,25$$

$$F2 \text{ için}=0,2276082125528$$

$$F3 \text{ için}=0,25$$

$$F4 \text{ için}=0,25$$

S_i değeri her bir alternatif için yer alan kriter değerlerinin satır toplamını ifade etmektedir. R_i değeri her bir alternatif için yer alan kriter değerlerinden maksimum satır değerini ifade etmektedir. Bu değerler Tablo 18' de yer almaktadır.

Tablo 18: S_i ve R_i Matrisi

S_i	R_i
0,563479418	0,25
0,588607439	0,22760821
0,542558101	0,25
0,47061505	0,25

Tablo 18'de yer alan matris değerleri, Eşitlik (19) ve Eşitlik (20) ile elde edilmiştir.

$$S_{min}=0,4706150496902$$

$$S_{max}=0,5886074388105$$

$$R_{min}=0,2276082125528$$

$$R_{max}=0,25$$

$= [q*(S_i-S_{max})/(S_{min}-S_{max})] + [(1-q)*(R_i-R_{max})/(R_{min}-R_{max})]$ formülünden Q değerleri hesaplamaları yapılmaktadır (Opricovic vd., 2007).

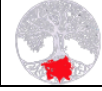
Yukarıda yer alan formülzasyona göre her kritere göre Q değerleri hesaplanmaktadır.

Tablo 19'da hesaplanan Q değerleri yer almaktadır. Bu değerler Eşitlik (21) ile edilmektedir.

Tablo 19: Q Değerleri Tablosu

Firmalar	Q=0	Q=0,25	Q=0,5	Q=0,75	Q=1
F1	0	0,05	0,11	0,16	0,21
F2	1	0,75	0,5	0,25	0
F3	0	0,09756845	0,195136901	0,292705351	0,390274
F4	0	0,25	0,5	0,75	1

Optimum değerleri sağlayan Q değerleri arasından Q=0,75 değeri sağlamaktadır. Eşitlik (22) yardımı ile elde edilen $DQ=0,33$ değeri yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilmektedir. R değerlerini



küçükten büyüğe doğru sıralayarak ve $Q(a'')-Q(a') \geq DQ$ (Eşitlik (23)) değerlerini elde ederek, Tablo 20 ile belirtilen sıralama tablosu elde edilmektedir.

Tablo 20: Sıralama Tablosu

Firmalar	Q=0,75	R
F1	1	2
F2	2	1
F3	3	2
F4	4	2

Tüm koşulların sağlanması ile beraber sıralama; $F4 > F2 > F1 > F3$ olarak tespit edilmiştir.

5.Sonuç

Yeşil tedarikçi seçimi ile, üretimde verimliliğin artması, hammadde maliyetlerinin düşürülmesi, gereksiz stokların önüne geçilmesi, işletmelerin proses süreçlerini iyileştirmesi, müşteri beklentilerine hızlı bir şekilde cevap verilebilmesi ve kalitenin üst seviyelere gelmesi sağlanmıştır. Yeşil tedarikçi seçimi satınalma sürecinin önemli konularından birisini oluşturmaktadır. Yeşil tedarikçi seçimi ile ilgili olarak gerçekleştirilen çalışmalarda çok kriterli karar verme yöntemleri ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada yeşil tedarikçi seçimi üç farklı çok kriterli karar verme metodu (VIKOR, EDAS, RoHS) ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirileceği elektrik işletmesinde yer alan uzman karar vericiler, tedarikçi seçim ve değerlendirme aşamasında kullanılacak olan kriterleri belirlemişlerdir. Yeşil tedarikçi seçimi problemlerinde birden çok kriterlerin olması çok kriterli karar verme yöntemlerinin tercih edilmesini sağlamaktadır. Böylelikle birden çok kriter arasından optimum seçenek seçilmektedir. Çok kriterli karar verme yöntemleri, rasyonel karar verme konusunda oldukça önemlidir. Günümüzde karar vericilerin taleplerinin hızla artması ve bu taleplere çok hızlı bir şekilde cevap verilebilmesi çok kriterli karar verme yöntemleri ile sağlanmaktadır. Ayrıca birbiri ile çelişen kriterlerin olması ve kriterlerin sayısal bir değerle ifade edilip edilememesi konularında ortak bir dilsel çıkarımlar sunması, çok kriterli karar verme yöntemlerinin avantajlarından birisini oluşturmaktadır. Çok kriterli karar verme tekniklerinin günümüzde çok hızlı bir şekilde değişime uğraması da, dezavantajlarından biridir. Bu tekniklerin hızlı bir şekilde değişimi, zaman alıcı ve maliyetli olmaktadır. RoHS analizi, çevre ve insan sağlığını koruma amacı ile elektrik ve elektronik eşyalarda kurşun, kadmiyum ve krom gibi zararlı maddelerin sınırlandırılması işlemidir. İşletmeler, RoHS analizi ile satınalma sürecinin en kritik noktası olan yeşil tedarikçi seçimini tamamlaması neticesinde ürün atıklarını en aza indirgeyerek, çevre dostu ürün üretilmesini sağlayabilmektedirler. Bu çalışmada, VIKOR, RoHS, EDAS yöntemlerinden elde edilen sonuçlar ile yeşil tedarikçi sıralaması ile elde edilmiştir. Bu üç yöntemin kullanılması ile aynı tedarikçi sıralaması elde edilmiştir. EDAS yöntemi, diğer yöntemlere göre belirsiz bir süreci çözüme ulaştırma netliği bakımından daha uygun bir metod olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma RoHS analizi ile, çok kriterli karar verme yöntemlerinin entegre edilmesini ve yeşil tedarikçi seçiminde yeni bir model önerilmesini sağlayarak, literatüre katkı sağlamaktadır.

REFERENCES

- Arıkan, M., & Gökbek, B. (2014). Çok ölçütlü karar verme yaklaşımlarına dayalı tedarikçi seçimi: elektronik sektöründe bir uygulama. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 30(5), 346-354.
- Baykoç, Ö., & Öz, E. (2004). Tedarikçi seçimi problemlerine karar teorisi destekli uzman. Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 19(3), 275-286.
- Igarashi, M., de Boer, L., & Fet, A. M. (2013). What is required for greener supplier selection? A literature review and conceptual model development. Journal of Purchasing and Supply Management, 19(4), 247-263.



- Ijomah, W. L., Childe, S., & McMahon, C. (2004). Remanufacturing: A key strategy for sustainable development. Proceedings of the 3rd International Conference on Design and Manufacture for Sustainable Development.
- Bozdağ, C. K. (2003). Fuzzy group decision making for selection among computer integrated manufacturing systems, *Computers in Industry*, 51(1), 13- 29.
- Büyüközkan, G., & Vardaloğlu, Z. (2008). Yeşil tedarik zinciri yönetimi. *Lojistik Dergisi*, 8, 66-73.
- Karaöz, A.E., Tekin, K., & Akyüz, G.A. (2019). A generic strategic supplier selection model in information and communication technologies, *BMIJ*, 7(4), 1573-1604 doi: <http://dx.doi.org/10.15295/bmij.v7i4.1142>
- Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L., & Turskis, Z. (2015). Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS), *Informatika*, 26(3), 435-451.
- Madenoğlu, F.S. (2019). Bulanık çok kriterli karar verme ortamında yeşil tedarikçi seçimi. *BMIJ*, 7(4), 1850-1869. doi: <http://dx.doi.org/10.15295/bmij.v7i4>.
- Min, H., & W. P. Galle (2001). Green purchasing practices of us firms. *International Journal Of Operations & Production Management*, 21, 1222-1238.
- Muralidharan, C. A. (2001). Vendor rating in purchasing scenario: A confidence interval approach. *International Journal of Operations & Production Management*. 21, 1305-1325.
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by mcdm methods: a comparative analysis of Vikor and Topsis. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445-455.
- Opricovic, S. (2011). Fuzzy Vikor with an application to water resources planning. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12983- 12990.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. New York: McGraw-Hill, 80-90.
- Sarkis, J. (2003). A strategic decision framework for green supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 11(4), 397-409.
- Weber, C. A., Current, J. R., & Benton, W. C. (1991). Vendor selection criteria and methods. *European Journal of Operational Research*, 50(1), 2-18.