

BÜTÜNLEŞİK KEMIRA-M VE COPRAS YÖNTEMİ İLE MERMER İŞLETMESİ İÇİN KATRAK MAKİNESİ SEÇİMİ¹



Kafkas Üniversitesi
İktisadi ve İdari Bilimler
Fakültesi
KAÜİİBFD
Cilt, 10, Sayı 20, 2019
ISSN: 1309 – 4289
E – ISSN: 2149-9136

Makale Gönderim Tarihi: 18.03.2019

Yayına Kabul Tarihi: 03.12.2019

Gizem SARIÇALI
Yüksek Lisans Mezunu
Pamukkale Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
gzemmsaricali@hotmail.com
Orcid id: 0000-0003-3950-4428

Nilsen KUNDAKCI
Doç. Dr.
Pamukkale Üniversitesi
İktisadi ve İdari Bilimler
Fakültesi
nilsenk@pau.edu.tr,
Orcid id: 0000-0002-7283-320X

ÖZ İşletmeler günümüz artan rekabet ortamında varlıklarını devam ettirebilmek için, işletmelerine uygun olan en iyi kalitedeki makineyi seçmek durumundadır. Son yıllarda mermer kullanımının giderek artmasıyla, mermer işletmeciliği günümüz piyasalarında önemli alanlardan biri haline gelmiştir. Mermer işletmeleri üretim faaliyetlerini gerçekleştirmek amacıyla çeşitli makine türlerine ihtiyaç duyar. Bu çalışmada, mermer kesme makinelerinden katrak makinesinin seçim süreci üzerinde durulmuştur. Mermer işletmesi için uygun katrak makinesinin seçilmesinde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden KEMIRA-M ve COPRAS yöntemlerine dayalı bütünleşik bir yaklaşım önerilmiştir. KEMIRA-M yöntemi ile kriter ağırlıkları elde edilmiş ve COPRAS yöntemi ile mermer işletmesi için en uygun mermer kesme makinesinin seçimi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: KEMIRA-M, COPRAS, Katrak makinesi seçimi

JEL Kodu: C02, C44, D81

Alanı: İşletme

Türü: Araştırma

DOI: 10.36543/kauibfd.2019.044

Atıfta bulunmak için: Sarıçalı, G. & Kundakcı, N. (2019). Bütünleşik Kemira-M ve Copras Yöntemi ile Mermer İşletmesi için Katrak Makinesi Seçimi. *KAÜİİBFD*, 10(20), 1028-1061.

¹ Bu çalışma; Gizem SARIÇALI'nın 2018 yılında, Pamukkale Üniversitesi - Sosyal Bilimler Enstitüsünde, Nilsen KUNDAKCI'nın danışmanlığında hazırladığı "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden KEMIRA-M ve COPRAS Yöntemlerinin Mermer İşletmesinde Makine Seçim Sürecine Uygulanması" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

GANGSAW MACHINE SELECTION FOR A MARBLE COMPANY WITH INTEGRATED KEMIRA-M AND COPRAS METHOD



Kafkas University
Economics and Administrative
Sciences Faculty
KAUJEASF
Vol. 10, Issue 20, 2019
ISSN: 1309 – 4289
E – ISSN: 2149-9136

Article Submission Date: 18.03.2019

Accepted Date: 03.12.2019

Gizem SARIÇALI
Graduate Degree
Pamukkale University
Social Sciences Institute
gzemmsaricali@hotmail.com
Orcid id: 0000-0003-3950-4428

Nilsen KUNDAKCI
Assoc. Dr.,
Pamukkale University,
Faculty of Economics and
Administrative Sciences,
nilsenk@pau.edu.tr,
Orcid id: 0000-0002-7283-320X

ABSTRACT | In order to maintain their presence in an increasingly competitive environment, businesses have to select the best quality machine for their business. With the increasing use of marble in recent years, marble businesses have become one of the important areas in today's markets. Marble companies need various machine types in order to realize their production activities. In this study, the selection process of the gangsaw which is a marble cutting machine is discussed. An integrated approach based on KEMIRA-M and COPRAS methods has been proposed for the selection of the appropriate machine for marble processing. The weights of criteria were obtained with the KEMIRA-M method, and the most appropriate marble cutting machine for the marble company was selected with COPRAS method.

Keywords: KEMIRA-M, COPRAS, Selection of Gangsaw machine

Jel codes: C02, C44, D81

Scope: Business Administration

Type: Research

Cite this Paper: Sarıçalı, G. & Kundakcı, N. (2019). Gangsaw Machine Selection for A Marble Company with Integrated Kemira-M and Copras Method. *KAUJEASF*, 10(20), 1028-1061.

1. GİRİŞ

İşletmelerde karar vericiler, işletmeleri açısından doğru makine seçimini belirlemek için birbirleriyle çelişen kriterler altında birçok alternatif arasından seçim yaparlar. İşletme açısından en uygun makinenin seçim kararında bir çok kriter bir arada değerlendirilmektedir. Fazla sayıda kriterin dikkate alındığı karar sürecinde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılmaktadır. ÇKKV, karar vericilere ve karar durumlarına bağlı olarak en iyi kararı verme süreci olup çeşitli yöntemlerden oluşmaktadır. Bu çalışmada ÇKKV yöntemlerinden olan KEMIRA-M ve COPRAS yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler kullanılarak, bir mermer işletmesi için en uygun katarak makinesinin seçimini yapmak amaçlanmıştır.

Mermer ocaklarında üretilen bloklar, mermer işleme tesislerinde istenilen boyutlarda kesilerek ham veya parlatılmış olarak piyasaya sunulana kadar birçok evreden geçmektedir. Fabrikalarda blokların kesilmesinde, değişik tip ve boyutlarda mermer plaka kesme makineleri olan ST, Yarma ve Katarak gibi mermer kesme makineleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada katarak makinesi seçim süreci ele alınmıştır. Mermer fabrikasından katarak makinesi hakkında bilgiler elde edildikten sonra, ÇKKV yöntemlerinden KEMIRA-M ile kriter ağırlıkları elde edilmiş ve COPRAS yöntemi ile mermer işletmesi için alınacak olan katarak makinesinin seçim kararında sekiz alternatif arasından en uygun olanının tercihi yapılmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmanın ilk bölümünde, konuya ilişkili bir giriş yapılmasının ardından ikinci bölümünde, KEMIRA-M yöntemi açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, COPRAS yöntemine değinilerek yöntemin adımlarına yer verilmiştir. Dördüncü bölümde ise mermer fabrikasında kullanılmak üzere mermer kesme makinesi olan katarak makinesinin seçim problemi ele alınmıştır. Problemin çözümünde, kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde ÇKKV yöntemlerinden olan KEMIRA-M yönteminden yararlanılmış daha sonra COPRAS yöntemi kullanılarak alternatifler sıralanmıştır. Sonuç ve öneriler bölümünde ise çalışma sonunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve gelecekte yapılabilecek olan çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

2. KEMIRA-M YÖNTEMİ

KEMIRA-M yöntemi Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden bir tanesidir. ÇKKV, çeşitli kriterlere göre birbirinden farklı alternatifleri değerlendirerek, en iyi alternatifin seçimi için kendine has özelliği sayesinde karmaşık problemleri çözüp analiz etmeye yarar (Ağaç & Baki, 2016, ss. 344). ÇKKV'nin temelini, birden fazla kritere bağlı olarak alternatiflerin değerlendirilmesi, sıralanması ve seçilmesi oluşturmaktadır. Literatürde birçok ÇKKV yöntemi mevcut olup bu yöntemlerin her biri kendine ait özelliklere

sahiptir (Çiftçi, 2014). Uygulamada sıklıkla kullanılan ÇKKV yöntemleri, SAW (Ağırlıklandırılmış Toplam Yaklaşımı), AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi), ANP (Analitik Ağ Süreci), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations), ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité), MOORA (Multi-Objective Optimization on Basis of Ratio Analysis), VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje), COPRAS (Complex Proportional Assesment), KEMIRA (KEmeny Median Indicator Rank Accordance), KEMIRA-M (KEmeny Median Indicator Rank Accordance-Modified), ARAS (Additive Ratio Assesment) WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assesment) ve EDAS (Evaluation Based on Distance from Average Solution) olarak sıralanabilir.

Bu çalışmada ÇKKV yöntemlerinden KEMIRA-M ve COPRAS yöntemleri bir arada kullanılmıştır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde KEMIRA-M yönteminin seçilmesinin nedeni AHP, MACBETH gibi yöntemlere göre nispeten yeni bir yöntem olması ve kriterleri iç ve dış olarak ele alma olanağı sunmasıdır. Alternatiflerin sıralanmasında ise COPRAS yönteminin seçilmesinin nedeni, TOPSIS ve AHP gibi ÇKKV yöntemleri ile kıyaslandığında çok uzun ve fazla hesaplamalara dayanmayan ve kullanım açısından oldukça basit bir yöntem olmasıdır. Ayrıca, COPRAS yöntemi alternatiflerin birbiriyle kıyaslamasını yaparak diğer alternatiflerden yüzdesel olarak ne kadar iyi ya da ne kadar kötü olduğunu ortaya koyar ve alternatiflerin sıralanmasına yardımcı olur.

KEMIRA-M (Kemeny Median Indicator Rank Accordance-Modified) yöntemi 2014 yılında Krylovas, Zavadskas, Kosareva ve Dadelo tarafından geliştirilmiştir. KEMIRA-M yöntemi mevcut olası seçenekler arasından en iyi alternatifi belirlemede kullanılan yeni bir ÇKKV yöntemidir. Yöntemin öncelikli amacı kriter önceliklerini ve ağırlıklarını belirlemektir. KEMIRA-M yöntemi diğer ÇKKV yöntemlerine göre çok fazla başlangıç bilgisi gerektirmediği için kriter ağırlıklarını belirlemede ve en uygun alternatifi seçmede kullanılabilir (Sarıçalı & Kundakcı, 2017, ss.37). KEMIRA yöntemi de KEMIRA-M gibi mevcut olası seçenekler arasından en iyi alternatifi belirlemede kullanılan yeni ÇKKV yöntemlerinden biridir. Bu iki yöntemin amaçları aynı olup kriter ağırlıklarını belirlemede ve en uygun alternatifin seçiminde kullanılmaktadır. KEMIRA-M yönteminin adında yer alan 'M harfi' 'Modified' yani modifiye edilmiş, bir başka ifadeyle belirli yerlerinde değişiklik yapılmış anlamına gelmektedir. Yani KEMIRA-M yönteminin adımlarında, KEMIRA yöntemine göre bazı farklılıklar görülmektedir. Bu farklara KEMIRA-M yönteminin adımlarında yer verilmiştir.

Literatürde KEMIRA ve KEMIRA-M yöntemlerini ele alan çalışmalar yer

almaktadır. Kosareva, Zavadskas, Krylovas ve Dadelo (2016) çalışmalarında, güvenlik elemanı alımı için personel seçim probleminin çözümünde KEMIRA yönteminden yararlanmışlardır. Krylovas, Zavadskas ve Kosareva (2016), Vilnius şehrindeki tehlike içermeyen atıkları yakarak yok eden fabrika için yer seçim sürecinde KEMIRA-M yöntemini kullanmışlardır. Sarıçalı ve Kundakcı (2017), KEMIRA-M yöntemi ile forklift alternatiflerini değerlendirmişlerdir. Krylovas, Dadelo, Kosareva ve Zavadskas (2017), insan kaynakları seçimi için Entropi ve KEMIRA yöntemlerine dayalı bir yaklaşım önermişlerdir. Toktaş ve Can (2018) şantiyelerin iş sağlığı ve iş güvenliği açısından risk düzeylerine göre değerlendirilmesinde KEMIRA-M yönteminden yararlanmışlardır.

Bu çalışmada, KEMIRA-M yöntemi ile ilgili yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak mermer fabrikasında kullanılmak üzere mermer kesme makinesi olan katrak makinesinin seçimi sürecinde KEMIRA-M ve COPRAS yöntemleri birlikte uygulanmıştır. Çalışmada KEMIRA-M yöntemi kullanılarak kriter ağırlıkları hesaplanmış ve COPRAS yöntemi yardımıyla alternatifler değerlendirilmiştir. Bu şekilde KEMIRA-M ve COPRAS yöntemlerinin bir arada kullanılmasına dayanan entegre bir yöntem literatüre kazandırılmıştır.

2.1. KEMIRA-M Yönteminin Adımları

KEMIRA-M yöntemi üç aşamadan oluşan bir yöntemdir. Birinci aşamada kriterler iç kriterler ve dış kriterler gibi kendi içlerinde iki veya daha fazla gruba ayrılırlar. Bu ayrımın sebebi kriter sayısının birden fazla olduğu durumlarda işlem kolaylığı sağlamaktır. Gruplara ayrılmış bu kriterler alanında uzman kişiler tarafından öncelik sırasına göre sıralanır. Kemeny Medyan yöntemi kullanılarak kriterlerin öncelik sırası belirlenir (Kosareva vd., 2016, s.53).

İkinci aşamada, iç ve dış kriterlerin kendi içindeki ağırlıkları Sıralama Uygunluk Göstergesi yöntemi yardımıyla belirlenir (Kosareva vd., 2016, s. 51).

Yöntemin üçüncü aşamasında, her alternatifin amaç fonksiyon değerleri hesaplanarak bu değerlere göre alternatiflerin sıralaması yapılır.

KEMIRA-M yönteminde izlenecek olan adımlar aşağıda belirtilmiştir (Sarıçalı & Kundakcı, 2017, ss.38-40):

1. Adım: Bu adımda, karar matrisi Eşitlik 1’de görüldüğü gibi elde edilir.

$$D = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1k} & y_{11} & \dots & y_{1j'} & \dots & y_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{ik} & y_{i1} & \dots & y_{ij'} & \dots & y_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mk} & y_{m1} & \dots & y_{mj'} & \dots & y_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Eşitlik 1’de görülen karar matrisinde,

i alternatifler ($i=1, \dots, m$)

x_{ij} i . alternatifin j . ($j=1, \dots, k$) iç kriter altında aldığı değer

y_{ij} , i . alternatifi j' ($j' = 1, 2, \dots, n$) dış kriter altında aldığı değeri göstermektedir (Kosareva vd., 2016, s.54).

2. Adım: Bu adımda, alanında uzman kişiler kriter önceliklerini belirtirler bu tercihler dikkate alınarak Eşitlik 2'de görülen tablo elde edilir.

Uzman	x_1	...	x_l	...	x_k	y_1	...	y_p	...	y_n
1	j_{11}	...	j_{1l}	...	j_{1k}	j'_{11}	...	j'_{1p}	...	j'_{1n}
...
r	j_{r1}	...	j_{rl}	...	j_{rk}	j'_{r1}	...	j'_{rp}	...	j'_{rn}
...
s	j_{s1}	...	j_{sl}	...	j_{sk}	j'_{s1}	...	j'_{sp}	...	j'_{sn}

(2)

Eşitlik 2'de görüldüğü üzere $S=1, 2, \dots, r, \dots, s$ alanında uzman olan kişi sayısını ifade etmektedir (Kosareva vd., 2016, s.54).

3. Adım: Eşitlik 1'de yer alan karar matrisinde x_{ij} ve y_{ij} kriterleri değerinin yüksek olması istenmeyen yani en küçüklenmesi gereken kriterler ise bu kriterlere ait değerler $\frac{1}{x_{ij}}$ ve $\frac{1}{y_{ij}}$ şeklinde yazılır, böylece yeni bir karar matrisi elde edilir (Krylovas vd., 2016, s.54; Jahan, Edwards, & Bahraminasab, 2016, s.87).

4. Adım: 3. Adım'da oluşturulan karar matrisindeki değerler Eşitlik 3 kullanılarak normalize edilir. Elde edilen bu yeni matrise normalize karar matrisi denir.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)}, \quad y_{ij}^* = \frac{y_{ij} - \min(y_j)}{\max(y_j) - \min(y_j)} \quad (3)$$

5. Adım: Bu adımda, kriterlerin öncelik sırası Kemeny Medyan Yöntemi kullanılarak belirlenir. Alanında uzman kişiler (S) tarafından belirlenen $X = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ ve $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ kriterleri öncelik sıraları dikkate alınarak büyükten küçüğe sıralanır. Bunun için Kemeny Medyan yöntemi kullanılır. Kemeny Medyan yöntemiyle alanında uzman kişilerin belirlediği kriter öncelikleri sıralamaları birleştirilir ve tek bir sıralama elde edilir.

Kemeny Medyan yönteminde, uzmanların $X=(x_1, x_2, \dots, x_k)$ kriterlerini öncelik sırasına göre büyükten küçüğe sıralamalarının ardından,

$$a_{jj^*} = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x_j < x_{j^*} \\ 1, & \text{eğer } x_j > x_{j^*} \end{cases} \quad (4)$$

$A^{(S)} = (a_{jj^*})_{k \times k}$ ($S = 1, 2, \dots, r, \dots, s$) kare matrisi elde edilir. Bu matrisin köşegen elemanları sıfıra eşittir, $a_{jj} = 0$, $j=1, 2, \dots, k$ ve $a_{jj^*} = 1 - a_{j^*j}$, $j \neq j^*$ dir (Krylovas vd., 2016, s.57).

Örneğin, üç iç kriter içeren bir problemde, U_1 uzmanı tarafından belirlenen X kriter önceliğinin sıralaması $x_3 > x_1 > x_2$ şeklinde verilsin.

$$\text{Eşitlik 4 yardımıyla } A^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}_{3 \times 3} \text{ kare matrisi elde edilir. Daha}$$

sonra, Eşitlik 4 kullanılarak her bir uzmanın belirlediği X kriter önceliği sıralamalarına göre kare matrisler oluşturulur. X kriteri için yapılan bu işlemlerin aynısı her bir uzman tarafından belirlenen Y kriteri için de sırasıyla uygulanır.

Eşitlik 5 ile $A^{(r)}, A^{(s)}$ matrisleri için iki sıralama arasındaki uzaklık hesaplanır (Krylovas vd., 2016, s.57).

$$\rho(A^{(r)}, A^{(s)}) = \sum_{j=1}^k \sum_{j^*=1}^k |a_{jj^*}^{(r)} - a_{jj^*}^{(s)}| \quad (5)$$

Eşitlik 5'te yer alan k değeri x_1, x_2, \dots, x_k kriterlerinin sayısını ifade etmektedir. Örnek olarak;

$$U_1 \text{ uzmanı tarafından belirlenen } X \text{ kriter önceliği matrisi } A^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}_{3 \times 3}$$

$$U_2 \text{ uzmanı tarafından belirlenen } X \text{ kriter önceliği matrisi } A^{(2)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}_{3 \times 3}$$

şeklinde verilsin. Eşitlik 5 kullanılarak,

$$\rho(A^{(1)}, A^{(2)}) = |0 - 0| + |1 - 0| + |0 - 1| + |0 - 1| + |0 - 0| + |0 - 1| + |1 - 0| + |1 - 0| + |0 - 0| = 6$$

şeklinde sonuca ulaşılır.

S tane alanında uzman kişi $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(s)}$ öncelik kriteri matrislerini oluşturur. Bu matrislerden $A^{(M)}$ medyan matrisi Eşitlik 6 yardımıyla elde edilir (Kosareva vd., 2016, s.55).

$$A^{(M)} = \arg \min_A \sum_{S=1}^s \rho(A, A^{(S)}) \quad (6)$$

Eşitlik 6'da verilen eşitlikte toplam değer minimumu alınır. Böylece,

Kemeny Medyan Yöntemi ile kriter öncelikleri belirlenir. Daha sonra, $X = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ kriter önceliklerini belirlerken izlenen adımlar $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ kriter önceliklerinin belirlenmesinde de kullanılır.

6. Adım: Bu adımda, modifiye edilmiş Sıralama Uygunluk Göstergesi yöntemi yardımıyla ağırlıklar hesaplandıktan sonra alternatifler arasındaki sıralama elde edilir. 5. Adımda belirlenen kriter öncelikleri sıralamasından sonra kriterlerin ağırlıkları Sıralama Uygunluk Göstergesi yöntemi ile belirlenir. Her bir kriter için ağırlık katsayıları hesaplanmadan önce 5. Adımda Kemeny Medyan Yöntemi yardımıyla belirlenen kriterlerin öncelik sıralamalarına göre, kriterlerin büyükten küçüğe sıralaması yapılır.

Bu çalışmada Kemeny Medyan Yöntemi ile ulaşılan $X=(x_1, x_2, \dots, x_k)$ ($k=4$) ve $Y=(y_1, y_2, \dots, y_n)$ ($n=3$) kriter öncelikleri Eşitlik 7'de verilmiştir.

$$x_2 > x_1 > x_4 > x_3 \quad \text{ve} \quad y_3 > y_2 > y_1 \quad (7)$$

Eşitlik 7'de verilen öncelik sıralaması dikkate alınarak elde edilen kriter ağırlıklarının sıralaması Eşitlik 8'de görülmektedir.

$$w_{x_2} \geq w_{x_1} \geq w_{x_4} \geq w_{x_3} \geq 0 \quad \text{ve} \quad w_{y_3} \geq w_{y_2} \geq w_{y_1} \geq 0 \quad (8)$$

Eşitlik 8'de görülen kriterlerin ağırlıkları Eşitlik 9'da verilen koşulları sağlamaktadır.

$$w_{x_j}, w_{y_{j'}} \in [0; 1] \quad \text{ve} \quad w_{x_1} + w_{x_2} + w_{x_3} + w_{x_4} = 1, \quad w_{y_1} + w_{y_2} + w_{y_3} = 1 \quad (9)$$

Kriterin her biri için ağırlık katsayılarının hesaplanmasında ağırlıklar toplamı 1'e eşit olacak şekilde ve Eşitlik 8'de verilen kriter ağırlıkları sıralamasına dikkat edilerek ağırlık katsayı kombinasyon tablosu elde edilir.

Alternatifler arasındaki sıralama elde edilirken, her bir alternatif için belirlenen $X_{w_x}(i) + Y_{w_y}(i)$ doğrusal kombinasyonlarının toplam değerine bakılır. $X_{w_x}(i)$ ve $Y_{w_y}(i)$ değerleri Eşitlik 10 yardımı ile elde edilir (Krylovas vd., 2016, s.59).

$$X_{w_x}(i) = \sum_{j=1}^k w_{x_j} x_{ij}^* \quad , \quad Y_{w_y}(i) = \sum_{j'=1}^n w_{y_{j'}} y_{ij'}^* \quad (10)$$

Burada yer alan x_{ij}^* ve $y_{ij'}^*$ değerleri Eşitlik 3 yardımıyla hesaplanır. Geliştirilmiş Sıralama Uygunluk Göstergesi yöntemi ile $X_{w_x}(i)$ ve $Y_{w_y}(i)$ değerlerine yakın $w_x = (w_{x_1}, w_{x_2}, \dots, w_{x_k})$ ve $w_y = (w_{y_1}, w_{y_2}, \dots, w_{y_n})$ katsayı değerleri Eşitlik 11 kullanılarak bulunur (Krylovas vd., 2016, s.60).

$$F(X, Y) = \min_{w_x, w_y} \sum_i |X_{w_x}(i) - Y_{w_y}(i)| \quad (11)$$

Eşitlik 11'deki toplam tüm alternatifler için hesaplanarak elde edilen değerlerden minimum olanı seçilir.

KEMIRA yönteminde Eşitlik 11'de verilen formülde $X_{w_x}(a)$ ve $Y_{w_y}(a)$

değerlerinin farklarının kareleri toplamının en küçük değeri elde edilir iken KEMIRA-M yönteminde bu değerlerin farkları toplamının en küçük değeri alınır. Ayrıca, KEMIRA-M yönteminde Eşitlik 11'de görülen toplam tüm alternatifler için hesaplanırken, KEMIRA'da ise bu toplam sadece en iyi alternatif için belirlenir (Krylovas vd., 2016, s.60).

3. COPRAS YÖNTEMİ

Zavadskas ve Kaklauskas, 1996 yılında "Karmaşık Oransal Değerlendirme" anlamına gelen COPRAS (Complex Proportional Assesment) adında bir yöntem önermişlerdir. COPRAS yöntemi nicel ve nitel kriterleri değerlendirebilen bir ÇKKV yöntemidir (Özbek, 2017a, s.70). COPRAS yöntemi önem ve fayda derecelerini dikkate alarak alternatifleri değerlendirme ve sıralama süreçlerinden oluşmaktadır. Kriter değerleri kriter değerlendirmesi bakımından faydalı kriterlerin en büyüklenmesi ve faydasız kriterlerin ise en küçüklenmesi için kullanılmaktadır. COPRAS yönteminde alternatiflerin sıralanması ve değerlendirilmesi sürecinde kriterlerin maksimizasyon ve minimizasyon yönlü oluşları göz önüne alınmaktadır (Özbek, 2017a, s.70).

COPRAS yöntemi, karmaşık kriterler ve çok sayıda alternatif içeren problemlere kolaylıkla uygulanabilme özelliği sayesinde literatürde çok farklı alanlara uygulanmıştır (Sarıçalı & Kundakcı, 2016, ss.50). Ginevičius ve Podvezko (2006) çalışmalarında, COPRAS dâhil olmak üzere yedi ayrı ÇKKV yöntemini kullanarak inşaat işletmelerinin finansal yapılarını incelemişlerdir. Kaklauskas vd. (2006), Litvanya'da yer alan Vilnius Gediminas Teknik Üniversitesi'ne ait ana binanın, bina yenileme çalışmalarında ısı kaybını en aza indirmek amacıyla pencerelerinin değiştirilmesi için müteahhit firmanın seçiminde COPRAS yönteminden faydalanmışlardır. Kaklauskas, Zavadskas ve Trinkunas (2007), Litvanya'da bina yenileme çalışmaları sürecinde pencere alternatiflerini belirlenen kriterlere göre COPRAS yöntemini kullanarak incelemiş ve alternatiflerin tercih sıralamasını yapmışlardır. Zavadskas, Kaklauskas, Peldschus ve Turskis (2007), yol yapımında tasarım seçeneklerini belirleyerek en uygun olanının seçiminde COPRAS yöntemini kullanmışlardır. Kaklauskas vd. (2010), Litvanya'da yer alan akıllı bina projesi kapsamında temizlik işlerini yapmak üzere seçilecek robot alternatiflerinin değerlendirilmesinde COPRAS yöntemini kullanmışlardır. Kanapeckiene, Kaklauskas, Zavadskas ve Seniut (2010), yapı projelerinin yönetiminde kullanılacak bilgi tabanlı karar destek sistemine dayanan projenin gerçekleştirileceği alanı COPRAS yöntemi ile seçmişlerdir. Chatterjee, Athawale ve Chakraborty (2011), depolama tanklarının üretiminde kullanılmak üzere en uygun yedi farklı hammaddenin seçimini COPRAS yöntemi ile

değerlendirmişler ve tercih sırası oluşturmuşlardır. Podvezko (2011), COPRAS yönteminin temel özelliklerini açıklamış ayrıca SAW ve COPRAS yöntemlerini kıyaslamıştır. Popovic, Stanujkic ve Stojanovic (2012), yatırım projelerinin değerlendirmesinde COPRAS ve COPRAS-G (Complex Proportional Assessment of Alternatives to Grey relations) yöntemlerini kullanmışlardır. Das, Sarkar ve Ray (2012), Hindistan'daki eğitim kurumlarının performanslarının değerlendirilmesi süreci sırasında Bulanık AHP ve COPRAS yöntemlerinden yararlanmışlardır. Maity, Chatterjee ve Chakraborty (2012), kesme takımı geci seçimi sürecinde COPRAS-G yöntemini kullanmışlardır. Chatterjee ve Chakraborty (2012), beş değerlendirme kriteri altında dokuz farklı alternatif dışlı malzemesinin karşılaştırılmasında COPRAS-G yöntemine dayalı bir model önermişler ve bu incelemelerin aynısını OCRA, EXPROM-II ve ORESTE yöntemleri ile de yapmışlar ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Gabrijela, Dragiša ve Sanja, (2012), COPRAS ve COPRAS-G yöntemleri ile en iyi yatırım projesinin seçimini yapmışlardır. Mandal ve Sarkar (2012), imalat sistemi seçiminde COPRAS yöntemini kullanmışlardır. Ginevičius ve Podvezko (2013), COPRAS dâhil olmak üzere, ÇKKV yöntemlerini kullanarak gelişmekte olan Litvanya piyasasında 2007-2009 yılları arasında faaliyet gösteren sekiz bankanın sağlamlık ve istikrar değerlendirmesini yapmışlardır. Özdağoğlu (2013a), çalışmada üretim firmaları için pres seçeneklerini COPRAS yöntemi kullanarak incelemiştir. Özdağoğlu (2013b), çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinde normalizasyon yöntemlerinin sonuçlara etkisini görmede COPRAS yöntemini kullanmıştır. Stanujkic, Djordjevic ve Djordjevic (2013), Sırbistan bankalarının performansını ölçmede SAW (Simple Additive Weighting), ARAS (Additive Ratio ASsesment), COPRAS, MOORA (The Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis Method), GRA (Grey Relational Analysis), CP (Compromise Programming), VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemlerinden yararlanmışlar ve elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlardır. Zolfani ve Zavadskas (2013), kırsal alanlarda bina yapı değerlendirmesi sürecinde COPRAS ve SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis) yöntemlerini kullanmışlardır. Staniunas, Medineckiene, Zavadskas ve Kalibatas (2013), çok konutlu ev modernizasyonunun ekolojik-ekonomik değerlendirilmesi sürecinde COPRAS, TOPSIS ve WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) yöntemlerinin birlikte kullanılmasını önermişlerdir.

Rabbani, Zamani, Yazdani-Chamzini ve Zavadskas, (2014), petrol üreten şirketlerin performansını değerlendirmede COPRAS ve ANP (Analytic Network Process) yöntemlerine dayanan bir model önermişlerdir. Drejeris ve Kavolynas

(2014), bina fonksiyonlarının uyumluluğunun sürdürülebilirliğini değerlendirmede COPRAS yöntemini kullanmışlardır. Aksoy, Ömürbek ve Karaatlı (2015), Türkiye Kömür İşletmeleri'nin AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) temelli MULTIMOORA ve COPRAS yöntemleri ile performanslarını değerlendirmişlerdir. Petkovic, Madic ve Radenkovic (2015), konvansiyonel olmayan seramik işleme sürecini belirlemede COPRAS ve WASPAS yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Nuuter, Lill ve Tupenaite (2015), COPRAS yöntemi ile Avrupa kıtasındaki konut piyasasının sürdürülebilirliğini ölçmüşlerdir. Makhesana (2015), prototipleme sistemi seçimi sürecinde COPRAS yöntemini kullanmıştır. Aytaç Adalı ve Tuş Işık (2016), COPRAS ve ARAS yöntemleri ile klima seçim problemini ele almışlardır. Sarıçalı ve Kundakçı (2016), otel alternatiflerinin değerlendirilmesi sürecinde AHP ve COPRAS yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Organ ve Katrancı (2016), kırılğan sekizli ülkelerin yaşanılabilirlik düzeylerini ARAS ve COPRAS yöntemlerinden yararlanarak değerlendirmişlerdir. Kundakçı ve Tuş Işık (2016), bir tekstil firması için hava kompresörü seçiminde COPRAS ve MACBETH yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Uygurtürk ve Soylu (2016), Borsa İstanbul'da işlem gören girişim sermayesinin yatırım ortaklıklarının karlılık ve likidite performanslarını COPRAS yöntemi ile analiz etmişlerdir. Ömürbek ve Eren (2016), gıda sektöründe yer alan bir işletmenin finansal oranlar dikkate alınarak 2005-2014 yılları arasındaki performansını PROMETHEE (The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation), MOORA ve COPRAS yöntemleri ile birlikte değerlendirmişlerdir. Özbek (2017a), Türkiye Diyanet Vakfı'nın 2010-2014 yılları arasındaki performansını SAW, TOPSIS ve COPRAS yöntemleri kullanarak değerlendirmiştir. Özbek (2017b), İlkokul Öğretmenleri Sağlık ve Sosyal Yardım Sandığı'nın performans ölçümü için COPRAS, ELECTRE III (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité) ve TOPSIS yöntemlerini önermiştir. Karaca, Ulutaş ve Eşgünoğlu (2017), Türkiye'nin elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarına ayrılması gereken payların belirlenmesinde COPRAS yönteminden yararlanmışlardır. Can, Atalay ve Eraslan (2017), çalışmalarında SWARA ve COPRAS yöntemlerini kullanarak farklı tablet markalarının kullanılabilirlik açısından karşılaştırılmasını yapmışlardır. Ömürbek ve Balcı (2017), Türkiye ve Avrupa Birliği ülkelerinin havayolu ulaşımı performanslarının değerlendirilmesinde Entropi ve COPRAS yöntemlerini birlikte ele almışlardır. Kaplanoğlu (2018), Borsa İstanbul'da kimya, petrol, kauçuk ve plastik ürünler sektöründeki şirketlerin nakit akış bilgilerine göre ARAS ve COPRAS yöntemleriyle sıralamalarını bulmuş ve önerilerde bulunmuştur. Ömürbek ve Urmak Akçakaya (2018), Forbes Dergisinin yayınladığı Forbes 2000 listesinde

ve havacılık sektöründe yer alan şirketleri dört kriter açısından değerlendirmişlerdir. Çalışmada kriter ağırlıkları Entropi yöntemi ile belirlenmiş ve şirketlerin değerlendirilmesinde SAW, COPRAS ve MAUT (Multi Attribute Utility Theory) yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmada ise, COPRAS yöntemi ile ilgili yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak mermer fabrikasında kullanılmak üzere katrak makinesinin seçimi sürecinde COPRAS ve KEMIRA-M yöntemleri birlikte uygulanmıştır.

3.1. COPRAS Yönteminin Adımları

COPRAS yönteminde izlenecek adımlar şu şekilde özetlenebilir (Sarıçalı & Kundakcı, 2016, ss.51):

Modelin başlangıcındaki değişkenler aşağıdaki gibidir.

A_i : i . alternatif $i = 1, 2, \dots, m$

K_j : j . değerlendirme kriteri $j = 1, 2, \dots, n$

w_j : j . değerlendirme kriterlerinin ağırlığı $j = 1, 2, \dots, n$

x_{ij} = i . alternatifin j . değerlendirme kriteri açısından değeri

1. Adım: Bu adımda, karar matrisi Eşitlik 12’de görüldüğü şekilde elde edilir. D ile gösterilen karar matrisi x_{ij} değerlerinden oluşmaktadır.

$$D = \begin{matrix} & K_1 & K_2 & K_3 & \dots & K_n \\ A_1 & x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1n} \\ A_2 & x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2n} \\ A_3 & x_{31} & x_{32} & x_{33} & \dots & x_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_m & x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \dots & x_{mn} \end{matrix} \quad (12)$$

2. Adım: Eşitlik 13 yardımıyla normalize edilmiş karar matrisi elde edilir.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

3. Adım: Bu adımda, ağırlıklı normalize karar matrisi Eşitlik 14 kullanılarak oluşturulur. Bu eşitlikte, kriterlerin ağırlık değerleri (w_j) ile normalize karar matrisinin elemanları çarpılarak d_{ij} değerleri elde edilir.

$$D' = d_{ij} = x_{ij}^* \cdot w_j \quad (14)$$

4. Adım: Faydalı kriterler, daha yüksek değerler daha iyi durumu gösterdiği en büyüklenecek kriterleri ifade ederken, faydasız kriterler ise daha düşük değerler daha iyi durumu gösterdiği en küçüklenecek kriterleri ifade etmektedir (Özdağoğlu, 2013a, s.6-7). Bu adımda, faydalı ve faydasız kriterler için ayrı ayrı ağırlıklı normalize karar matrisindeki değerlerin toplamları olan S_{i+} ve S_{i-} değerleri Eşitlik 15 ve 16 yardımıyla hesaplanır.

$$S_{i+} = \sum_{j=1}^f d_{ij} \quad j=1,2,\dots,f \text{ faydalı kriterler} \quad (15)$$

$$S_{i-} = \sum_{j=f+1}^n d_{ij} \quad j=f+1, f+2, \dots, n \text{ faydasız kriterler} \quad (16)$$

5. Adım: Eşitlik 17 kullanılarak her alternatif için Q_i göreceli önem değerleri hesaplanır.

$$Q_i = S_{i+} + \frac{\sum_{i=1}^m S_{i-}}{S_{i-} - \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_{i-}}} \quad (17)$$

Yöntemde en büyük değere sahip göreceli önem değeri alternatifler arasından en iyi alternatifi ifade edecektir.

6. Adım: Eşitlik 18 yardımıyla göreceli öncelik değerleri arasından en yüksek değere sahip göreceli öncelik değeri bulunur.

$$Q_{max} = \text{en büyük}\{Q_i\} \quad \forall i = 1, 2, \dots, m \quad (18)$$

7. Adım: Eşitlik 19 kullanılarak her bir alternatif için P_i performans indeksi hesaplanır.

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} \cdot 100\% \quad (19)$$

P_i performans indeksi 100'e eşit olan alternatif en iyi alternatifi ifade etmektedir. Performans indeks değerlerinin büyükten küçüğe sıralanmasıyla alternatifler arasındaki tercih sıralaması oluşturulmuş olur.

4. UYGULAMA

Bu çalışmada mermer fabrikasında kullanılmak üzere mermer kesme makinesi olan katrak makinesinin seçimi için KEMIRA-M yöntemi kullanılarak kriter ağırlıkları bulunmuş ve COPRAS yöntemi yardımıyla da alternatifler değerlendirilmiş ve fabrika için en ideal olan katrak makinesi belirlenmiştir. 8 farklı markadan oluşan katrak makinesi alternatifleri, 4 iç kriter, 3 dış kriter olmak üzere toplam 7 kriter altında değerlendirilmiştir. Katrak makinesinin seçimi sırasında ele alınan bu 7 kriter; blok kesim yüksekliği, maksimum lama sayısı, ana motor gücü, elektrik tüketimi, garanti süresi, servis ağı ve birim fiyattan oluşmaktadır.

4.1. KEMIRA-M ile Kriter Ağırlıklarının Bulunması

Öncelikle Tablo 1'de verildiği üzere, kriterler kendi içlerinde iç ve dış olarak iki gruba ayrılmıştır. İç kriterler katrak makinesinin teknik özelliklerini oluştururken, katrak makinesinin teknik özellikleri dışında kalanlar ve katrak makinesinin seçiminde etkili olabilecek diğer kriterler ise dış kriterler olarak belirtilmiştir.

Tablo 1: İç ve Dış Kriterler

İç Kriterler		Dış Kriterler	
x_1	Blok kesim yüksekliği (cm) Maksimum	y_1	Garanti süresi (yıl)
x_2	lama sayısı (adet)	y_2	Servis ağı
x_3	Ana motor gücü (hp)	y_3	Birim fiyat (TL)
x_4	Elektrik tüketimi (kw/dk)		

İç kriterler $X=(x_1, x_2, x_3, x_4)$ şeklinde gösterilmektedir. x_1 -Blok kesim yüksekliği (cm), bu yükseklik kesilecek olan mermer bloklarının boyutlarını sınırlandıracağından büyük yüzey alanlı kullanım gerektiren mermer parçalarının kesimi için blok kesim yüksekliğinin fazla olması faydalı olacaktır. x_2 -maksimum lama sayısı (adet), lama sayısının artması daha geniş ebatlarda mermer bloklarının tek seferde levhalara ayrılması konusunda olanak sağlaması açısından önemlidir. x_3 - Ana motor gücü (hp), motor gücünün fazla olması durumunda üretim hızının da doğru orantılı olarak artacağı düşünülebilir. Dış kriterler $Y=(y_1, y_2, y_3)$ şeklinde gösterilmektedir. y_1 - Garanti süresi, üretici firma katarak makinesi için işletmeye ne kadar uzun süre, tamir ve parça garantisi verirse işletme açısından o kadar iyi olacaktır. y_2 -Servis ağı katarak makinesinin teknik desteğini ifade eder ve güvenilirlik açısından önemli bir kriteri teşkil eder. Ayrıca, makinenin kullanım sürecinde oluşabilecek herhangi bir arıza durumunda işlerin aksamaması için makinenin bir an önce tamir edilmesi önem arz etmektedir. y_3 - Birim fiyatı (TL) makine satın alma sürecinde işletmenin mevcut sermayesini daha uygun bir şekilde kullanması bakımından birim fiyatın olabildiğince düşük olması işletme sermayesi açısından oldukça avantaj sağlayan bir kriter olmaktadır.

Katarak makinesi alımı sürecinde dikkate alınacak kriterler belirlendikten sonraki aşamada ilgili konuda uzman kişiler kriterleri önceliklerine göre sıralamışlardır. Bu çalışmada mermer fabrikalarında çalışan 5 uzman kişinin görüşüne başvurulmuştur. Tablo 2'de uzmanların görüşlerine göre kriterlerin öncelik sıralaması verilmiştir.

Tablo 2: Kriterlerin Öncelik Sıralaması

UZMANLAR	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	y ₁	y ₂	y ₃
1	4	1	3	2	2	1	3
2	2	1	3	4	2	3	1
3	2	1	3	4	2	1	3
4	2	1	4	3	3	2	1
5	4	1	2	3	3	1	2

Eşitlik 20’de, Tablo 2’de uzmanlar tarafından belirtilen kriterlerin öncelik sıralamasına göre iç ve dış kriterlerin sıralaması verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 (U_1) \quad & x_2 > x_4 > x_3 > x_1 & y_2 > y_1 > y_3 \\
 (U_2) \quad & x_2 > x_1 > x_3 > x_4 & y_3 > y_1 > y_2 \\
 (U_3) \quad & x_2 > x_1 > x_3 > x_4 & y_2 > y_1 > y_3 \\
 (20) \\
 (U_4) \quad & x_2 > x_1 > x_4 > x_3 & y_3 > y_2 > y_1 \\
 (U_5) \quad & x_2 > x_3 > x_4 > x_1 & y_2 > y_3 > y_1
 \end{aligned}$$

Tablo 3’te yer alan karar matrisinde katrak makinesi alternatiflerinin belirlenen 7 kriter altında aldıkları değerler görülmektedir. Belirlenmiş olan bu kriterler için katrak makinesi alternatiflerinin yetkili satış mağazalarından birim fiyatları (y₃) öğrenilmiştir. Servis ağı (y₂) kriteri için alternatif değerleri, markaların tüm bölgelerde yer alan toplam bayi sayılarını ifade etmektedir. Diğer dış kriterler için alternatiflerin sahip olduğu veriler de yetkili satıcılardan elde edilmiştir. İç kriter verileri ise katrak alternatiflerinin teknik özelliklerinin yer aldığı listelerden faydalanılarak elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler ışığında Tablo 3’te yer alan karar matrisi elde edilmiştir.

Tablo 3: Başlangıç Karar Matrisi

Alternatifler	Kriterler						
	y ₁	y ₂	y ₃	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄
A ₁	2	7	620.000	185	40	75	56,85
A ₂	2	7	690.000	205	80	154	132,75
A ₃	1	15	700.000	200	80	147,5	132
A ₄	3	10	720.000	190	75	150	128
A ₅	1	3	600.000	200	80	150	122
A ₆	2	1	650.000	210	80	155	135
A ₇	2	1	680.000	210	50	90	122
A ₈	1	2	550.000	200	80	110	122

Bazı kriter değerlerinin yüksek olması işletme açısından tercih edilmez. Bu kriter değerleri en küçüklenerek işletme açısından daha uygun hale getirilebilir. Bu çalışmada da en küçüklenmesi istenen kriterlerinin değerleri, $(\frac{1}{x_{ij}}, \frac{1}{y_{ij}})$ şeklinde yazılmıştır. Bu çalışmada, x_4 - Elektrik tüketimi (kw/dk) ve y_3 -birim fiyat (TL) değerleri en küçüklenmek isteneceğinden, bu kriterlere ait değerler $(\frac{1}{x_{ij}}, \frac{1}{y_{ij}})$ şeklinde yazılarak Tablo 4 elde edilmiştir.

Tablo 4: Kriterlerin En büyüklenme ve En küçüklenme Durumuna Göre Düzenlenmiş Veriler

Alternatifler	Kriterler						
	y_1	y_2	y_3	x_1	x_2	x_3	x_4
A ₁	2	7	0,00000161	185	40	75	0,01759
A ₂	2	7	0,00000145	205	80	154	0,00753
A ₃	1	15	0,00000143	200	80	147,5	0,00758
A ₄	3	10	0,00000139	190	75	150	0,00781
A ₅	1	3	0,00000167	200	80	150	0,00820
A ₆	2	1	0,00000154	210	80	155	0,00741
A ₇	2	1	0,00000147	210	50	90	0,00820
A ₈	1	2	0,00000182	200	80	110	0,00820

Tablo 4'teki verilerden yararlanılarak sekiz alternatif için, Eşitlik 3 kullanılarak kriter değerleri normalize edilmiş ve Tablo 5 oluşturulmuştur.

Tablo 5: Normalize Karar Matrisi

Alternatifler	Kriterler						
	y_1^*	y_2^*	y_3^*	x_1^*	x_2^*	x_3^*	x_4^*
A ₁	0,5000	0,4286	0,5218	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
A ₂	0,5000	0,4286	0,1407	0,8000	1,0000	0,9875	0,0123
A ₃	0,0000	1,0000	0,0924	0,6000	1,0000	0,9063	0,0165
A ₄	1,0000	0,6429	0,0000	0,2000	0,8750	0,9375	0,0398
A ₅	0,0000	0,1429	0,6471	0,6000	1,0000	0,9375	0,0775
A ₆	0,5000	0,0000	0,3484	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000
A ₇	0,5000	0,0000	0,1903	1,0000	0,2500	0,1875	0,0775
A ₈	0,0000	0,0714	1,0000	0,6000	1,0000	0,4375	0,0775

4.1.1. Kriter Önceliklerinin Belirlenmesinde Kemeny Medyan Yöntemi

KEMIRA-M yönteminde, Eşitlik 20’de görülen alanında uzman kişilerin görüşlerinden faydalanarak kriterlerin öncelik sırasını belirlemek için Kemeny Medyan Yöntemi ile kriterlerin medyan değerleri hesaplanır. Bu çalışmada, $X=(x_1, x_2, x_3, x_4)$ iç kriter sayısı 4 olduğundan dolayı medyan değerleri $4!=24$ olası seçenek arasından belirlenir. Benzer şekilde $Y=(y_1, y_2, y_3)$ dış kriter sayısı 3 tane olduğundan dolayı medyan değerlerini $3!=6$ olası seçenek arasından belirlenir. Hesaplanan medyan temel alınarak Eşitlik 21 yardımıyla her bir kriter için ağırlıklı ortalama değerleri bulunur.

$$\begin{aligned} X_{w_x} &= w_{x_1}x_1^* + w_{x_2}x_2^* + w_{x_3}x_3^* + w_{x_4}x_4^*, & W_x &= (w_{x_1}, w_{x_2}, w_{x_3}, w_{x_4}) \\ Y_{w_y} &= w_{y_1}y_1^* + w_{y_2}y_2^* + w_{y_3}y_3^*, & W_y &= (w_{y_1}, w_{y_2}, w_{y_3}) \end{aligned} \quad (21)$$

Örneğin medyan öncelik sırasının $x_2 > x_3 > x_4 > x_1$ şeklinde olması durumunda, ağırlıklar da kriter öncelik sırasına göre Eşitlik 22’de görüldüğü gibi oluşturulur ve yöntem gereğince ağırlıklar toplamı da 1’e eşit olur.

$$w_{x_2} \geq w_{x_3} \geq w_{x_4} \geq w_{x_1}, \quad w_{x_2} + w_{x_3} + w_{x_4} + w_{x_1} = 1 \quad (22)$$

İç Kriterler için Medyan Belirleme

KEMIRA-M yöntemine göre; birinci adımda, kriter önceliklerinin belirlenebilmesi için Tablo 2’deki veriler kullanılarak Kemeny Medyan yönteminden yararlanılır. X iç kriterlerinin öncelikleri $X=(x_1, x_2, x_3, x_4)$ ve Y dış kriterlerinin öncelikleri $Y=(y_1, y_2, y_3)$, 5 uzman tarafından belirtilir. Uzmanlar kriterlerin öncelik sıralamasını birbirlerinden bağımsız olarak kendi görüşleri doğrultusunda karar verip belirlemişlerdir.

Kriterinin öncelikleri $a_{jj^*} = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x_j < x_{j^*} \\ 1, & \text{eğer } x_j > x_{j^*} \end{cases}$ $S = 1, 2, \dots, 5$ şeklinde olan $A^{(S)} = (a_{jj^*})_{4 \times 4}$ kare matris şeklinde ifade edilebilir. Bu matrisin köşegen elemanları sıfırdır. $x_{jj} = 0, j=1, 2, 3, 4$ ve $a_{jj^*} = 1 - a_{j^*j}, j \neq j^*$ ’dir.

Örneğin; U_1 uzamanı tarafından oluşturulan x_1, x_2, x_3, x_4 kriterlerinin önceliği,

$$A_x^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \text{ şeklinde elde edilir.}$$

Diğer uzmanlar için kriter önceliklerini gösteren matrisler şu şekildedir:

$$A_x^{(2)} = A_x^{(3)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad A_x^{(4)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad A_x^{(5)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$A^{(r)}$ ve $A^{(s)}$ matrislerinde iki farklı sıralama arasındaki fark Eşitlik 5 yardımıyla hesaplanır. Eşitlik 5'te yer alan k değeri x_1, x_2, \dots, x_k kriterlerin sayısını göstermektedir. Bu çalışmada X iç kriterlerinin sayısı dört olduğu için k da dörde eşit olur.

Eşitlik 5'ten yararlanılarak her iki matris için m . satır, n . sütun elemanlarının farkının mutlak değerleri elde edilir. Örneğin;

$$\rho(A^{(1)}, A^{(5)}) = |0 - 0| + |0 - 0| + |0 - 0| + |0 - 0| + |1 - 1| + |0 - 0| + |1 - 1| + |1 - 1| + |1 - 1| + |0 - 0| + |0 - 0| + |0 - 1| + |1 - 1| + |0 - 0| + |1 - 0| + |0 - 0| = 2$$

Beş uzman kişi tarafından tanımlanan $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(5)}$ öncelik matrisleri oluşturulsun. Teoriksel açıdan, çalışmada $k=4$ olduğundan medyan $A^{(M)} = \|a_{jj^*}\|_{4 \times 4}$ matrisi $4!=24$ olası matris içinden belirlenir. Bu yirmi dört olası seçeneği incelemek oldukça uzun ve zaman alıcı olduğu için yöntem bu durum karşısında arama alanının daraltılmasını uygun görür. Bu çalışmada beş matrisin j ve k indislerine sahip tüm elemanları eşit olduğundan,

$$a_{jj^*}^{(M)} = a_{jj^*}^{(1)} = a_{jj^*}^{(2)} = \dots = a_{jj^*}^{(5)} \text{ elde edilir.}$$

Böylece, Eşitlik 23'teki medyan matrisi elde edilir.

$$A^{(M)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & a_{13} & a_{14} \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ a_{31} & 0 & 0 & a_{34} \\ a_{41} & 0 & a_{43} & 0 \end{pmatrix} \quad (23)$$

Görüldüğü üzere Eşitlik 23'te elde edilen medyan matrisinin elemanlarından sadece üç tanesi bilinmemektedir, çünkü $a_{jj^*} + a_{j^*j} = 1$ ve $j \neq j^*$ özdeşlikleri basit yönlü diyagram matrisi için geçerlidir (Krylovas vd., 2016, s.57).

Bu nedenle, $a_{31} = 1 - a_{13}$, $a_{41} = 1 - a_{14}$ ve $a_{43} = 1 - a_{34}$ ve $j \neq$

j^* olma durumu da göz önüne alınarak sekiz olası matris içinden medyan araştırılır.

Eşitlik 4'ten yararlanılarak sekiz olası matrisin öncelik kriter matrisi Eşitlik 24'te verildiği gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
 A^1 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} & A^2 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & A^3 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \\
 A^4 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} & A^5 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & A^6 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\
 A^7 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} & A^8 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}
 \end{aligned} \tag{24}$$

Eşitlik 5 yardımıyla,

$$\begin{aligned}
 12 \quad \sum_{S=1}^5 \rho(A^1, A^{(S)}) &= 0 + 6 + 6 + 4 + 2 = 18 & \sum_{S=1}^5 \rho(A^2, A^{(S)}) &= \\
 14 \quad \sum_{S=1}^5 \rho(A^3, A^{(S)}) &= 16 & \sum_{S=1}^5 \rho(A^4, A^{(S)}) &= \\
 14 \quad \sum_{S=1}^5 \rho(A^5, A^{(S)}) &= 16 & \sum_{S=1}^5 \rho(A^6, A^{(S)}) &= \\
 14 \quad \sum_{S=1}^5 \rho(A^7, A^{(S)}) &= 16 & \sum_{S=1}^5 \rho(A^8, A^{(S)}) &=
 \end{aligned}$$

A^2 matrisi, minimum toplam değeri vermektedir. Bu nedenle beş uzman kişi görüşünün arasından en iyisini temsil eden medyan değeri iç kriterlerin tercihinde belirlenen $U_2 = U_3 = (2, 1, 3, 4)$, yani $x_2 > x_1 > x_3 > x_4$ şeklinde olmuştur. Sıralamadan da görüldüğü üzere en yüksek önceliğe maksimum lama sayısı sahip iken, ikinci sırada blok kesim yüksekliği, üçüncü sırada ana motor gücü ve en son sırada ise elektrik tüketimi yer almaktadır.

Her bir alternatif için Eşitlik 25'te verildiği şekilde ağırlıklı ortalama değerleri hesaplanır.

$$X_{w_x}(i) = \sum_{j=1}^4 w_{x_j} x_{ij}^* = w_{x_1} x_{i1}^* + w_{x_2} x_{i2}^* + w_{x_3} x_{i3}^* + w_{x_4} x_{i4}^* \tag{25}$$

Burada ağırlıklar Eşitlik 26'daki gibidir.

$$w_{x_2} \geq w_{x_1} \geq w_{x_3} \geq w_{x_4} \geq 0 \text{ ve } w_{x_1} + w_{x_2} + w_{x_3} + w_{x_4} = 1 \quad (26)$$

Dış Kriterler için Medyan Belirleme

KEMIRA-M yönteminin birinci adımında Kemeny Medyan yöntemi iç kriterler ve dış kriterler için Tablo 2'de gösterilen kriter önceliklerine göre ayrı ayrı uygulanır. $X=(x_1, x_2, x_3, x_4)$, $Y=(y_1, y_2, y_3)$ kriterleri Tablo 2'de verildiği üzere uzmanların öncelik sıraları dikkate alınarak belirlenmiştir. Y kriteri (dış kriterler) için, uzmanlar tarafından oluşturulan kriterlerin öncelik sıralamaları Eşitlik 27'de verilmiştir.

$$(U_1) \quad y_2 > y_1 > y_3$$

$$(U_2) \quad y_3 > y_1 > y_2$$

$$(U_3) \quad y_2 > y_1 > y_3$$

$$(27)$$

$$(U_4) \quad y_3 > y_2 > y_1$$

$$(U_5) \quad y_2 > y_3 > y_1$$

Uzmanların görüşlerine dayanarak elde edilen kriter öncelik matrisleri

$A^{(S)} = (a_{jj^*})_{3 \times 3}$ Eşitlik 4'ten yararlanılarak aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$A^{(1)} = A^{(3)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}_{3 \times 3} \quad A^{(2)} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}_{3 \times 3}$$

$$A^{(4)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}_{3 \times 3} \quad A^{(5)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}_{3 \times 3}$$

Bu çalışmada $n=3$ olduğu için medyan $A^{(M)} = \parallel a_{jj^*} \parallel_{3 \times 3}$ matrisi $3!=6$ matris içinden belirlenmelidir. Altı seçenek için öncelik matrisleri şu şekilde oluşturulmuştur:

$$A_y^{(1)} = A_y^{(3)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad A_y^{(2)} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad A_y^{(4)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$A_y^{(5)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad A_y^{(6)} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad A_y^{(7)} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$A^{(r)}$ ve $A^{(S)}$ matrisleri için iki sıralama arasındaki fark Eşitlik 5 yardımıyla hesaplanır. Burada yer alan k değerleri yerini n değerlerine bırakır ve n, y_1, y_2, \dots, y_n kriterlerin sayısını göstermektedir. Bu çalışmada Y dış kriterlerinin sayısı üç olduğu için n değeri de üçe eşittir.

Beş uzman tarafından tanımlanan $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(5)}$ öncelik matrisleri elde edilir. Bu çalışmada, n değeri üçe eşit olduğundan medyan $A^{(M)} = \|\|a_{jj^*}\|_{3 \times 3}$ matrisi $3!=6$ matris içerisinde belirlenir. Altı durumun kriter öncelik matrisleri arasında $A^{(M)}$ medyan matrisini bulurken Eşitlik 5'ten yararlanır.

$$\sum_{S=1}^5 \rho(A^{(1)}, A^{(S)}) = 0+6+0+4+2=12$$

$$\sum_{S=1}^5 \rho(A^{(2)}, A^{(S)}) = 6+0+6+2+4=18$$

$$\sum_{S=1}^5 \rho(A^{(3)}, A^{(S)}) = 0+6+0+4+2=12$$

$$\sum_{S=1}^5 \rho(A^{(4)}, A^{(S)}) = 4+2+4+0+2=12$$

$$\sum_{S=1}^5 \rho(A^{(5)}, A^{(S)}) = 2+4+2+2+0=10$$

$$\sum_{S=1}^5 \rho(A^{(6)}, A^{(S)}) = 2+4+2+6+4=18$$

$$\sum_{S=1}^5 \rho(A^{(7)}, A^{(S)}) = 4+2+4+4+6=20$$

Minimum toplam değer $A^{(5)}$ matrisinde elde edilmiştir. Buna göre beş uzman tarafından en iyi görüşü temsil eden medyan değeri dış kriterlerin tercihinde belirlenen $U_5 = (2, 3, 1)$ yani $y_2 > y_3 > y_1$ şeklinde yazılır. Burada en yüksek önceliğe servis ağı sahipken onu, birim fiyat ve garanti süresi takip eder.

Eşitlik 28'den yararlanarak her bir alternatif için ağırlıklı ortalama değerler hesaplanır.

$$Y_{w_y}(i) = \sum_{j'=1}^3 w_{y_{j'}} y_{ij'}^* = w_{y_1} y_{i1}^* + w_{y_2} y_{i2}^* + w_{y_3} y_{i3}^* \quad (28)$$

Burada ağırlıklar Eşitlik 29'da görüldüğü gibidir:

$$w_{y_2} \geq w_{y_3} \geq w_{y_1} \geq 0 \quad \text{ve} \quad w_{y_1} + w_{y_2} + w_{y_3} = 1 \quad (29)$$

4.1.2. Ağırlıkların Hesaplanmasında Modifiye Edilmiş Sıralama Uygunluk Göstergesi Yöntemi

Kriterlerin öncelikleri elde edildikten sonraki aşamada Sıralama Uygunluk Göstergesi yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları hesaplanır. Eşitlik 26 ve Eşitlik 29'da verilen şartları sağlayan $w_{x_j}, w_{y_{j'}} \in [0; 1]$ ağırlıklı katsayılar hesaplanır.

$w_{x_j}, w_{y_{j'}}$ 'nin olası ağırlıklı katsayı değerleri Tablo 6 ve Tablo 7'de verilmiştir. Kriter ağırlıklarının tabloları oluşturulurken Eşitlik 10'da yer alan koşulların sağlanmasına dikkat edilir. Önem derecesi en fazla kriterin alacağı en büyük değeri 1'e eşittir. Tablo 6'daki değerler elde edilirken kriterlerin ağırlıklarının toplamalarının bire eşit olma durumu ve ağırlık sıralaması dikkate alınarak w_{x_j} ve $w_{y_{j'}}$ ağırlıklarının olası durumları elde edilir. $w_{x_j}, w_{y_{j'}} \in [0; 1]$ kriterinin ağırlıklarının katsayıları $0 \leq w_{x_j} \leq 1$,

$0 \leq w_{y_{j'}} \leq 1$ aralığında olmalıdır. Benzer şekilde Tablo 7 de Tablo 6 gibi elde

edilir.

Tablo 6: $w_{x_2} \geq w_{x_1} \geq w_{x_3} \geq w_{x_4} \geq 0$ Şartını Sağlayan w_{x_j} Ağırlıklarının Olası Durumları

No	w_{x_1}	w_{x_2}	w_{x_3}	w_{x_4}	No	w_{x_1}	w_{x_2}	w_{x_3}	w_{x_4}
1	0	1	0	0	13	0,4	0,5	0,1	0
2	0,1	0,9	0	0	14	0,3	0,5	0,2	0
3	0,2	0,8	0	0	15	0,3	0,5	0,1	0,1
4	0,1	0,8	0,1	0	16	0,2	0,5	0,2	0,1
5	0,3	0,7	0	0	17	0,4	0,4	0,2	0
6	0,2	0,7	0,1	0	18	0,4	0,4	0,1	0,1
7	0,1	0,7	0,1	0,1	19	0,3	0,4	0,3	0
8	0,4	0,6	0	0	20	0,3	0,4	0,2	0,1
9	0,3	0,6	0,1	0	21	0,2	0,4	0,2	0,2
10	0,2	0,6	0,2	0	22	0,3	0,3	0,3	0,1
11	0,2	0,6	0,1	0,1	23	0,3	0,3	0,2	0,2
12	0,5	0,5	0	0					

Tablo 7: $w_{y_2} \geq w_{y_3} \geq w_{y_1} \geq 0$ Şartını Sağlayan w_{y_j} Ağırlıklarının Olası Durumları

No	w_{y_1}	w_{y_2}	w_{y_3}	No	w_{y_1}	w_{y_2}	w_{y_3}
1	0	1	0	8	0,1	0,6	0,3
2	0	0,9	0,1	9	0,2	0,6	0,2
3	0	0,8	0,2	10	0	0,5	0,5
4	0,1	0,8	0,1	11	0,1	0,5	0,4
5	0	0,7	0,3	12	0,2	0,5	0,3
6	0,1	0,7	0,2	13	0,2	0,4	0,4
7	0	0,6	0,4	14	0,3	0,4	0,3

Eşitlik 11'den yararlanılarak bütün olası ağırlıklar için $F(X,Y)$ fonksiyonunun değerleri hesaplanarak Tablo 8 elde edilir. Elde edilen bu değerlerden en küçük olanı seçilir. Tablo 8 elde edilirken Tablo 5'te yer alan normalize karar matrisi verilerinden ve w_{x_j} , w_{y_j} ağırlıklarının olası durumlarının gösterildiği Tablo 6 ve Tablo 7'den faydalanılır.

Tablo 8: $F(X,Y)$ Fonksiyonunun Tüm Olası Ağırlıklar için Değerleri

	1	2	3	4	5	6	7
1	4,268	4,264	4,260	4,250	4,256	4,246	4,252
2	4,215	4,131	4,127	4,117	4,123	4,113	4,119
3	4,163	3,999	3,995	3,985	3,991	3,981	3,987
4	4,161	4,058	4,054	4,044	4,050	4,040	4,046
5	4,110	3,925	3,862	3,852	3,858	3,848	3,854
6	4,108	3,926	3,922	3,911	3,918	3,907	3,914
7	3,675	3,490	3,372	3,362	3,368	3,358	3,364
8	4,134	3,872	3,730	3,738	3,726	3,716	3,722
9	4,056	3,870	3,789	3,779	3,785	3,775	3,781
10	4,054	3,869	3,849	3,838	3,845	3,834	3,841
11	3,623	3,437	3,252	3,229	3,235	3,225	3,231
12	4,216	3,902	3,634	3,759	3,593	3,608	3,589
	8	9	10	11	12	13	14
1	4,242	4,231	4,248	4,238	4,227	4,223	4,213
2	4,109	4,099	4,115	4,105	4,095	4,091	4,081
3	3,977	3,966	3,983	3,973	3,962	3,958	3,948
4	4,036	4,026	4,042	4,032	4,022	4,018	4,007
5	3,844	3,834	3,850	3,840	3,830	3,826	3,816
6	3,903	3,893	3,910	3,899	3,889	3,885	3,875
7	3,354	3,343	3,360	3,350	3,339	3,335	3,325
8	3,712	3,701	3,718	3,708	3,697	3,693	3,683
9	3,771	3,761	3,777	3,767	3,757	3,753	3,742
10	3,830	3,820	3,837	3,826	3,816	3,812	3,802
11	3,221	3,211	3,227	3,217	3,207	3,203	3,193
12	3,579	3,665	3,585	3,575	3,565	3,561	3,590
	1	2	3	4	5	6	7
13	4,067	3,818	3,657	3,653	3,653	3,642	3,649
14	4,002	3,816	3,716	3,706	3,712	3,702	3,708
15	3,666	3,385	3,199	3,209	3,103	3,093	3,099
16	3,568	3,383	3,197	3,169	3,162	3,152	3,158
17	4,000	3,764	3,584	3,573	3,580	3,569	3,576
18	3,748	3,434	3,147	3,291	2,970	3,005	2,966
19	3,947	3,762	3,643	3,633	3,639	3,629	3,635
20	3,599	3,330	3,145	3,142	3,030	3,019	3,026
21	3,198	2,897	2,712	2,741	2,526	2,497	2,476
22	3,532	3,276	3,091	3,075	2,957	2,946	2,953

23	3,280	2,966	2,659	2,823	2,474	2,509	2,343
	8	9	10	11	12	13	14
13	3,638	3,628	3,645	3,634	3,624	3,620	3,610
14	3,698	3,688	3,704	3,694	3,684	3,680	3,669
15	3,089	3,078	3,095	3,085	3,074	3,070	3,060
16	3,148	3,138	3,154	3,144	3,134	3,130	3,119
17	3,565	3,555	3,572	3,561	3,551	3,547	3,537
18	2,956	3,062	2,962	2,952	2,942	2,938	2,986
19	3,625	3,614	3,631	3,621	3,610	3,606	3,596
20	3,015	3,005	3,022	3,011	3,001	2,997	2,987
21	2,466	2,456	2,472	2,462	2,451	2,447	2,437
22	2,942	2,932	2,949	2,938	2,928	2,924	2,914
23	2,333	2,458	2,339	2,329	2,326	2,315	2,383

Tablo 8'deki $F(X,Y)$ fonksiyonunun değeri $23 \times 14 = 322$ farklı durum için elde edilmiştir. $F(X,Y)$ en küçük değeri Tablo 8'de görüldüğü üzere 2,315'dir. $F(X,Y)$ fonksiyonunun en küçük değeri X kriteri için 23. satırda, Y kriteri için ise 13. sütunda ulaşılmıştır. Bu nedenle, X iç kriterlerinin ağırlıklarını elde etmek için Tablo 6'da 23. satırdaki değere, aynı şekilde Y dış kriterlerinin ağırlıklarını elde etme için ise Tablo 7'de 13. satırdaki değere bakılır. Buna göre, $X=(x_1, x_2, x_3, x_4)$ iç kriterleri için kriter ağırlıkları sırasıyla $w_{x_1} = 0,3$, $w_{x_2} = 0,3$, $w_{x_3} = 0,2$, $w_{x_4} = 0,2$ şeklinde elde edilir. $Y=(y_1, y_2, y_3)$ dış kriterleri için ise kriter ağırlıkları, $w_{y_1} = 0,2$, $w_{y_2} = 0,4$ ve $w_{y_3} = 0,4$ şeklinde elde edilir.

4.2. Alternatifler Arası Sıralamanın COPRAS Yöntemi ile Elde Edilmesi

Bu çalışmada katarak makinesinin seçimi için KEMIRA-M yöntemi kullanılarak kriterlerin ağırlıkları belirlendikten sonra COPRAS yöntemi kullanarak alternatifler değerlendirilmiş ve mermer fabrikası için en uygun katarak makinesi belirlenmiştir.

COPRAS yönteminde, faydalı kriterler daha yüksek değerlerin daha iyi durumu gösterdiği kriterleri ifade etmektedir. Blok kesim yüksekliği, maksimum lama sayısı, ana motor gücü, garanti süresi ve servis ağı faydalı kriterlerdir. Bu kriterlerin değerlerinin yüksek olması alternatif seçiminde olumlu yönde etkilidir. Bunun yanında kriterler arasında değerleri düşük olduğunda alternatiflerin seçimini olumlu yönde etkileyecek kriterlere de faydasız kriterler denir. Elektrik tüketimi ve birim fiyat ise faydasız kriterler arasındadır. Tablo 9'da alternatiflerin

değerlendirme kriterleri ve ölçüm birimleri gösterilmiştir.

Tablo 9: Değerlendirme Kriterleri ve Ölçüm Birimleri

Kriterler						
K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇
Blok kesim yüksekliği	Maksimum lama sayısı	Ana motor gücü	Elektrik tüketimi	Garanti süresi	Servis ağı	Birim fiyat
cm	adet	hp	kw/dk	Yıl	km	tl
Faydalı	Faydalı	Faydalı	Faydasız	Faydalı	Faydalı	Faydasız

Belirlenen 8 katra makinesi alternatifinin değerlendirme kriterlerine ait verilerine, mermer fabrikaları ile ilgili sitelerden ve birebir fabrikalara gidip bilgi toplanarak ulaşılmıştır. Bu değerler Tablo 10'da görülen karar matrisini oluşturmuştur.

Tablo 10: Karar Matrisi

Alternatifler	Kriterler						
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇
A ₁	185	40	75	56,85	2	7	620.000
A ₂	205	80	154	132,75	2	7	690.000
A ₃	200	80	147,5	132	1	15	700.000
A ₄	190	75	150	128	3	10	720.000
A ₅	200	80	150	122	1	3	600.000
A ₆	210	80	155	135	2	1	650.000
A ₇	210	50	90	122	2	1	680.000
A ₈	200	80	110	122	1	2	550.000

COPRAS yönteminin ilk adımında karar matrisi oluşturulduktan sonra, karar matrisi Eşitlik 13 kullanılarak normalize karar matrisine dönüştürülmüştür. Tablo 11'de normalize karar matrisi görülmektedir.

Tablo 11: Normalize Karar Matrisi

Alternatifler	Kriterler						
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇
A ₁	0,1156	0,0708	0,0727	0,0598	0,1429	0,1522	0,1190
A ₂	0,1281	0,1416	0,1493	0,1396	0,1429	0,1522	0,1324
A ₃	0,1250	0,1416	0,1430	0,1389	0,0714	0,3261	0,1344
A ₄	0,1188	0,1327	0,1454	0,1347	0,2143	0,2174	0,1382
A ₅	0,1250	0,1416	0,1454	0,1283	0,0714	0,0652	0,1152
A ₆	0,1313	0,1416	0,1503	0,1420	0,1429	0,0217	0,1248
A ₇	0,1313	0,0885	0,0873	0,1283	0,1429	0,0217	0,1305
A ₈	0,1250	0,1416	0,1066	0,1283	0,0714	0,0435	0,1056
Kriter Ağırlıkları	0,15	0,15	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2

Daha sonra, Eşitlik 14 yardımıyla Tablo 12’de görülen ağırlıklı normalize karar matrisi oluşturulmuştur. Burada yer alan kriter ağırlıkları, KEMIRA-M yönteminde elde edilen ağırlıklar ikiye bölünerek hesaplanmıştır. Çünkü KEMIRA-M yönteminde kriterler kendi içerisinde iç ve dış olmak üzere ikiye ayrılarak ele alınmakta, iç ve dış kriterlerin kendi içerisindeki ağırlıklarının toplamının 1’e eşit olması gerekmektedir. COPRAS yönteminde ise kriterler iç ve dış olmak üzere bir ayrıma tabi tutulmadığı için ve kriter ağırlıkları toplamı da 1 olması gerektiğinden KEMIRA-M yönteminde elde edilen kriter ağırlıkları ikiye bölünerek COPRAS yönteminde kullanılacak ağırlıklar hesaplanmıştır.

Tablo 12: Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi

Alternatifler	Kriterler						
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇
A ₁	0,0173	0,0106	0,0073	0,0060	0,0143	0,0304	0,0238
A ₂	0,0192	0,0212	0,0149	0,0140	0,0143	0,0304	0,0265
A ₃	0,0188	0,0212	0,0143	0,0139	0,0071	0,0652	0,0269
A ₄	0,0178	0,0199	0,0145	0,0135	0,0214	0,0435	0,0276
A ₅	0,0188	0,0212	0,0145	0,0128	0,0071	0,0130	0,0230
A ₆	0,0197	0,0212	0,0150	0,0142	0,0143	0,0044	0,0250
A ₇	0,0197	0,0133	0,0087	0,0128	0,0143	0,0044	0,0261
A ₈	0,0188	0,0212	0,0107	0,0128	0,0071	0,0087	0,0211

Ağırlıklı normalize karar matrisinin oluşturulmasının ardından faydalı kriterler için S_{i+} ve faydasız kriterler için S_{i-} değerleri Eşitlik 15 ve 16 kullanılarak Tablo 13'te görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

Tablo 13: Her Alternatif için S_{i+} ve S_{i-} Değerleri

Alternatifler	S_{i+}	S_{i-}
A ₁	0,0800	0,0298
A ₂	0,1001	0,0405
A ₃	0,1266	0,0408
A ₄	0,1172	0,0411
A ₅	0,0747	0,0359
A ₆	0,0746	0,0392
A ₇	0,0603	0,0389
A ₈	0,0665	0,0339

Daha sonra her bir alternatif için Q_i olarak gösterilen göreceli önem değeri Eşitlik 17'den yararlanılarak hesaplanmıştır. Her alternatif için hesaplanan Q_i değerleri Tablo 14'te görülmektedir.

Tablo 14: Her Alternatif için Q_i Değerleri

Alternatifler	Q_i
A ₁	0,1267
A ₂	0,1345
A ₃	0,1608
A ₄	0,1510
A ₅	0,1135
A ₆	0,1101
A ₇	0,0960
A ₈	0,1075

Göreceli önem değeri Q_i en yüksek olan alternatif en iyi alternatifi göstermektedir. Tablo 14'te görüldüğü üzere en yüksek göreceli öncelik değeri $Q_{\max} = 0,1608$ ile A₃ alternatifine aittir.

Son olarak tüm alternatifler için P_i olarak gösterilen performans indeksi Eşitlik 19 kullanılarak Tablo 15'teki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 15: Her Alternatif için P_i Değerleri

Alternatifler	P_i
A ₁	78,778
A ₂	83,651
A ₃	100
A ₄	93,927
A ₅	70,592
A ₆	68,486
A ₇	59,735
A ₈	66,839

Tablo 16: Alternatiflerin Tercih Sırası

Tercih Sırası	Alternatif	P_i
1	A ₃	100
2	A ₄	93,93
3	A ₂	83,65
4	A ₁	78,78
5	A ₅	70,59
6	A ₆	68,49
7	A ₈	66,84
8	A ₇	59,74

P_i performans indeksi 100' eşit olan alternatif COPRAS yöntemine göre en iyi alternatifi temsil eder. Alternatifler için tercih sırası performans indeks değerlerinin büyükten küçüğe sıralanmasıyla elde edilmiştir. Tablo 16'daki sıralamaya göre $A_3 > A_4 > A_2 > A_1 > A_5 > A_6 > A_8 > A_7$ şeklinde alternatifler büyükten küçüğe doğru sıralanmış olup, en iyi alternatif %100 performans indeks değeri ile A₃, en son sırada yer alan alternatif ise % 59,74 performans indeks değeri ile A₇ olarak bulunmuştur.

5. SONUÇ

Karar verme, bazı durumlarda karar vericiler için oldukça güç bir süreç haline gelebilmektedir. Karar vericiler karar verme sürecinde çok fazla deneyime sahip olmamaktan kaynaklanan birtakım belirsizlikler ile karşı karşıya kalabilir. Özellikle de artan rekabet koşullarında, işletmelerin rekabet gücünün artırılması ve sürekliliğinin sağlanması, doğru ve uygun makine seçimi yapmalarını gerektirmektedir. Çünkü makine seçim süreci pek çok işletme açısından oldukça önemlidir. Makine seçim sürecinde alınacak olan kararların işletmeler açısından oluşabilecek olumsuz sonuçlarını en aza indirebilmek için satın alma süreci üzerinde dikkatli bir şekilde durulmalıdır.

Günümüz ilerleyen teknolojisinde artık yeni makinelerin seçimi sırasında gerekli bilgiye ve uzmanlık düzeyine sahip olmak gerekmektedir. Çünkü makineyi kullanacak olan kişi yeterli seviyede bilgi ve donanıma sahip değilse makinede meydana gelecek bir hata yöneticiler, ilgili mühendisler ve makine üreticileri için çeşitli sorunlara neden olabilir. Bütün bu olumsuzluklarla karşılaşmamak için makine seçim sürecinde ÇKKV yöntemlerinden yararlanılabilir. İşletmeler bu yöntemler sayesinde makine seçimi sırasında bütün kriterleri göz önünde bulunduracakları için işletmeler açısından ciddi boyutlu sorunlara yol açılmasının önüne geçilecektir. Doğru makine seçimi işletmeler açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, mermer fabrikasında kullanılmak üzere mermer kesme makinesi olan katrik makinesinin seçimi sürecinde işletmelere yardımcı olunması amaçlanmıştır.

Bir mermer işletmesine alınacak en uygun mermer kesme makinesi olan katrik makinesinin belirlenmesinin amaçlandığı bu çalışmada ÇKKV yöntemlerinden KEMIRA-M ve COPRAS yöntemleri kullanılmıştır. Öncelikli olarak KEMIRA-M yöntemi ile değerlendirme kriterlerinin ağırlıkları belirlenmiş ve daha sonra COPRAS yöntemi ile en uygun alternatifin seçimi yapılmıştır. KEMIRA-M yöntemi ile kriterler kendi içinde iç ve dış kriterler olmak üzere gruplara ayrılmıştır. Daha sonra alternatiflerin kriter öncelikleri belirlenmiştir. İç kriterlerin tercihinde belirlenen en yüksek önceliğe maksimum lama sayısı ve blok kesim yüksekliği sahipken onları ana motor gücü ve elektrik tüketimi izlemektedir. Dış kriterlerin tercihinde ise en yüksek önceliğe servis ağı sahipken onu sırasıyla, birim fiyatı ve garanti süresi izlemektedir. Alternatiflerin COPRAS yöntemi ile sıralaması ise $A_3 > A_4 > A_2 > A_1 > A_5 > A_6 > A_8 > A_7$ şeklinde elde edilmiştir. Sıralamada da görüldüğü üzere A_3 alternatifi ilk sırada yer alırken A_7 alternatifi en son sırada yer almaktadır. Elde edilen değerlendirmeler doğrultusunda işletmeye makine seçimi sürecinde yardımcı olarak A_3 alternatifini seçmesi önerilmiştir. İşletmeciler elde edilen alternatif sıralamasını tatmin edici bulmuşlardır. İşletmecilere makine seçimi sürecinde bilimsel yöntemler

sayesinde daha sağlıklı kararlar vermelerine yardımcı olunmuş ve seçim süreçlerinin kolaylaştırılması sağlanmıştır. Bu da işletmelerin seçim süreci sırasında alternatifleri değerlendirmesi ve karar vermelerine yardımcı olması açısından ÇKKV yöntemlerinin kullanılmasının uygun olduğunu göstermektedir.

Bundan sonraki yapılacak olan çalışmalarda, KEMIRA-M ve COPRAS yöntemleri dışında başka ÇKKV yöntemleri ile mermer makinesi seçim problemi ele alınarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir. Ayrıca, bu çalışmada KEMIRA-M yöntemi ile ağırlıklar belirlenmiş, COPRAS yöntemi ile alternatifler kıyaslanmıştır. Diğer çalışmalarda COPRAS yöntemi ile elde edilen sonuçlar farklı yöntemler ile de kıyaslanabilir. KEMIRA-M yöntemi dışında AHP, SWARA, MACBETH gibi ÇKKV yöntemleri ile ağırlıklar belirlenebilir. Bunların yanında, önerilen yöntemlerin makine seçim süreci dışında farklı alanlarda da uygulanması yapılabilir.

6. KAYNAKÇA

- Ağaç, G., & Baki, B. (2016). Sağlık Alanında Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri Kullanımı: Literatür İncelemesi, *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 19(3), 343-363.
- Aksoy, E., Ömürbek, N. & Karaatlı, M. (2015). AHP temelli MULTIMOORA ve COPRAS yöntemi ile Türkiye Kömür İşletmeleri'nin performans değerlendirmesi. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 33(4), 1-28.
- Aytaç, Adalı, E., & Tuş Işık, A. (2016). Air conditioner selection problem with COPRAS and ARAS Methods. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(2), 124-138.
- Can, G. F., Atalay, K. D., & Eraslan, E. (2017). Tabletlerin kullanılabilirlik ölçütlerine göre çok kriterli karar verme yaklaşımıyla değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5 (ÖS: Ergonomi2016), 81-88.
- Chatterjee, P., & Chakraborty, S. (2012). Material selection using preferential ranking methods. *Materials and Design*, 35, 384–393.
- Chatterjee, P., Athawale, V. M., & Chakraborty, S. (2011). Materials selection using complex proportional assessment and evaluation of mixed data methods. *Materials and Design*, 32(2), 851–860.
- Çiftçi, C. (2014). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle İMKB'de İşlem Gören Büyük Çaplı Şirketlerin Finansal Performanslarının Karşılaştırmalı Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gebze.

- Das, M. C., Sarkar, B., & Ray, S. (2012). A framework to measure relative performance of Indian technical institutions using integrated fuzzy AHP and COPRAS methodology. *Socio- Economic Planning Sciences*, 46(3), 230-241.
- Drejeris, R., & Kavolynas, A. (2014). Multi-criteria evaluation of building sustainability behavior, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 110, 502- 511.
- Gabrijela, P., Dragiša, S., & Sanja, S. (2012). Investment project selection by applying COPRAS method and imprecise data. *Serbian Journal of Management*, 7(2), 257-269.
- Ginevičius, R., & Podvezko, V. (2006). Assessing the financial state of construction enterprises. *Ukio Technologinis ir Ekonominis Vystymas*, 12(3), 188-194.
- Ginevičius, R., & Podvezko, A. (2013). The evaluation of financial stability and soundness of Lithuanian banks. *Economic Research-Ekonomiska Istraživanja*, 26(2), 191-208.
- Jahan, A., Edwards, K. L., & Bahraminasab, M. (2016). Multi-criteria decision analysis for supporting the selection of engineering materials in product design (2. ed.). UK: Butterworth-Heinemann.
- Kaklauskas, A., Zavadskas, E. K., Naimaviciene, J., Krutinis, M., Plakys, V., & Venskus, D. (2010). Model for a complex analysis of intelligent built environment. *Automation in Construction*, 19(3), 326-340.
- Kaklauskas, A., Zavadskas, E. K., & Trinkunas, V. (2007). A multiple criteria decision support on-line system for construction. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 20(2), 163–175.
- Kaklauskas, A., Zavadskas, E. K., Raslanas, S., Ginevicius, R., Komka, A., & Malinauskas, P. (2006). Selection of low-e windows in retrofit of public buildings by applying multiple criteria method COPRAS: a Lithuanian case. *Energy and Buildings*, 38(5), 454-462.
- Kanapeckiene, L., Kaklauskas, A., Zavadskas, E. K., & Seniut, M. (2010). Integrated knowledge management model and system for construction projects. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23, 1200–1215.
- Kaplanoğlu, E. (2018). ARAS ve COPRAS yöntemleriyle nakit akışına dayalı performans ölçümü: BIST kimya, petrol, kauçuk ve plastik ürünler

- sektöründe bir uygulama. *Ege Üniversitesi, Bergama Meslek Yüksekokulu, Muhasebe ve Vergi Uygulamaları Dergisi*, 11(2), 153-184.
- Karaca, C., Ulutaş, A., & Eşgünoğlu, M. (2017). Türkiye’de optimal yenilenebilir enerji kaynağının COPRAS yöntemiyle tespiti ve yenilenebilir enerji yatırımlarının istihdam artırıcı etkisi. *Maliye Dergisi*, 172, 111-132.
- Kosareva, N., Zavadskas, E. K., Krylovas, A., & Dadelo, S. (2016). Personnel ranking and selection problem solution by application of KEMIRA method, *International Journal of Computers Communications & Control*, 11(1), 51-66.
- Krylovas, A., Zavadskas, E. K. & Kosareva, N. (2016). Multiple criteria decision-making KEMIRA-M method for solution of location alternatives, *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 29(1), 50-65.
- Krylovas, A., Zavadskas, E. K., Kosareva, N. & Dadelo, S. (2014). New KEMIRA method for determining criteria priority and weights in solving MCDM problem. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 13, 1119–1133.
- Krylovas, A., Dadelo, S., Kosareva, N., & Zavadskas, E.K. (2017). Entropy–KEMIRA approach for MCDM problem solution in human resources selection task. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 16(5), 1183-1209.
- Kundakcı, N., & Tuş, Işık, A. (2016). Integration of MACBETH and COPRAS methods to select air compressor for a textile company. *Decision Science Letters*, 5, 381-394.
- Maity, S. R., Chatterjee, P., & Chakraborty, S. (2012). Cutting tool material selection using grey complex proportional assesment method. *Materials and Design*, 36, 372-378.
- Makhesana, M. A. (2015). Application of improved complex proportional assessment (COPRAS) method for rapid prototyping system selection. *Rapid Prototyping Journal*, 21(6), 671-674.
- Mandal, U. K., & Sarkar, B. (2012). An exploratory analysis of intelligent manufacturing system (IMS) under fuzzy utopian environment. *IOSR J. Eng.*, 2(8), 129-140.
- Nuuter, T., Lill, I., & Tupenaite, L. (2015). Comparison of housing market sustainability in European countries based on multiple criteria assessment. *Land Use Policy*, 42, 642-651.

- Organ, A., & Katrancı, A. (2016). Kırılgan sekizli olarak adlandırılan ülkelerin yaşanılabilirlik düzeyinin çok kriterli karar verme teknikleri ile değerlendirilmesi. *Balkan Sosyal Bilimler Dergisi*, 2016 Aralık, 73-90.
- Ömürbek, N., & Balcı, F. (2017). Entropi temelli COPRAS yöntemi ile Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye'nin havayolu taşımacılığının değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 8(18), 13-25.
- Ömürbek, N., & Eren, H. (2016). PROMETHEE, MOORA ve COPRAS yöntemleri ile oran analizi sonuçlarının değerlendirilmesi: bir uygulama. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(16), 174-187.
- Ömürbek, N., & Urmak, Akçakaya, E. D. (2018). FORBES 2000 listesinde yer alan havacılık sektöründeki şirketlerin ENTROPI, MAUT, COPRAS ve SAW yöntemleri ile analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(1), 257-278.
- Özbek, A. (2017a). Türkiye Diyanet Vakfı'nın SAW, COPRAS ve TOPSIS yöntemi ile performans değerlendirmesi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 15(1), 66-84.
- Özbek, A. (2017b). İlkokul Öğretmenleri Sağlık ve Sosyal Yardım Sandığı'nın finansal performans analizi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7(1), 1-31.
- Özdağoğlu, A. (2013a). İmalat işletmeleri için eksantrik pres alternatiflerinin COPRAS yöntemi ile karşılaştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Elektronik Dergisi*, 4(8), 1-22.
- Özdağoğlu, A. (2013b). Çok ölçütlü karar verme modellerinde normalizasyon tekniklerinin sonuçlara etkisi: COPRAS örneği. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 8(2), 229-252.
- Petkovic, D., Madic, M., & Radenkovic, G. (2015). Selection of the most suitable non-conventional machining processes for ceramics machining by using MCDMs. *Science of Sintering*, 47(2), 229-235.
- Podvezko, V. (2011). The comparative analysis of MCDA methods SAW and COPRAS. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 22(2), 134-146.
- Popovic, G., Stanujkic, D., & Stojanovic, S. (2012). Investment project selection by applying COPRAS method and imprecise data. *Serbian Journal of Management*, 7(2), 257 – 269.

- Rabbani, A., Zamani, M., Yazdani-Chamzini, A., & Zavadskas, E. K. (2014). Proposing a new integrated model based on sustainability balanced scorecard (SBSC) and MCDM approaches by using linguistic variables for the performance evaluation of oil producing companies. *Expert Systems with Applications*, 41(16), 7316-7327.
- Sarıçalı, G., & Kundakçı, N. (2016). AHP ve COPRAS yöntemleri ile otel alternatiflerinin değerlendirilmesi. *International Review of Economics and Management*, 4(1), 45-66.
- Sarıçalı, G., & Kundakçı, N. (2017). Forklift alternatiflerinin KEMIRA-M yöntemi ile değerlendirilmesi. *Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 4(1), 35-53.
- Staniunas, M., Medineckiene, M., Zavadskas, E. K., & Kalibatas, D. (2013). To modernize or not: ecological–economical assessment of multi-dwelling houses modernization. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 13(1), 88-98.
- Stanujkic, D., Djordjevic, B., & Djordjevic, M. (2013). Comparative analysis of some prominent MCDM methods: a case of ranking Serbian banks. *Serbian Journal of Management*, 8(2), 213-241.
- Toktaş, P., & Can, G.F. (2018). Şantiyelerin iş sağlığı ve iş güvenliği açısından risk düzeylerine göre KEMIRA-M yöntemi ile sıralanması. *Ergonomi*, 13, 123-136.
- Uygurtürk, H., & Soylu, N. (2016). Girişim sermayesi yatırım ortaklıklarının likidite ve karlılık performanslarının COPRAS yöntemi ile analizi. *Hitit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 637-650.
- Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., Peldschus, F., & Turskis, Z. (2007). Multi-attribute assessment of road design solutions by using the COPRAS method. *Baltic Journal of Road & Bridge Engineering*, 2(4), 195-203.
- Zavadskas, E. K., & Kaklauskas, A. (1996). Systemotechnical evaluation of buildings (Pastatų sistemotechninis įvertinimas). Vilnius: Technika, 280 p. (in Lithuanian).
- Zolfani, S. H., & Zavadkas, E. K. (2013). Sustainable development of rural areas' building structures based on local climate. *Procedia Engineering*, 57, 1295-1301.