

Araştırma Makalesi - Research Article

Makine Seçimi Probleminin Entropi Ağırlıklı TOPSIS Yöntemi İle Değerlendirilmesi: Bir Doğal Taş İşletmesi Örneği

Gözde Koca^{1*}, Özüm Eğilmez²

Geliş / Received: 25/04/2020

Revize / Revised: 22/06/2020

Kabul / Accepted: 05/07/2020

ÖZ

Sürekli yeniliğin simgesi olan teknolojik gelişmelerin bir sonucu olan ar-ge faaliyetleri makine tasarımına ve özelliklerine yansımaktadır. İşletmelerce önemli bir karar olan yeni teknoloji kullanımı bağlamında, bu çalışmada doğal taş(mermer) sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede mermer işleme makinesi seçimi problemi fayda ve maliyet kriterleri göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Değerlendirme 14 farklı makine markası ve 5 farklı kriter (motor gücü, devir hızı, Z eksen, maksimum testere çapı ve fiyat) bağlamında yapılmıştır. Kriterleri değerlendirmede Entropi yöntemi, alternatif makineleri değerlendirmede de TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Sonuçta yapılan objektif değerlendirmede en önemli kriterin “maksimum testere çapı (mm)” olduğu ve alternatif mermer işleme makineleri içinden en iyi alternatifin Alternatif 11 (A11) olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan yöntemler ve elde edilen sonuçlar dâhilinde bu çalışma, uygulayıcıların sadece makine seçiminde değil, diğer tüm kaynak dağıtım problemlerinde yararlanacakları bir referans olma özelliği taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler- *Makine Seçimi, Stratejik Yönetim, Entropi, TOPSIS, Çok Kriterli Karar Verme*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: gozde.koca@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-6847-6812>)

İşletme Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye

²İletişim: ozum.egilmez@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-5251-5629>)

İşletme Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye

Evaluation of Machine Selection Problem by Entropy Weighted TOPSIS Method: An Example of A Natural Stone Company

ABSTRACT

R&D activities, which are the result of technological developments, the symbol of continuous innovation, reflect on machine design and features. In the context of the use of new technology, which is an important decision by the enterprises, the problem of choosing a marble processing machine in an enterprise operating in the natural stone (marble) sector was evaluated by considering the benefit and cost criteria. The evaluation was made in the context of 14 different machine brands and 5 different criteria (motor power, rotational speed, Z axis, maximum saw diameter, and price). Entropy method was used to evaluate the criteria, and TOPSIS method was used to evaluate alternative machines. In the final objective evaluation, it was determined that the most important criteria were “maximum saw diameter (mm)” and Alternative 11 (A11) was the best alternative among alternative marble processing machines. Within the methods used and the results obtained, this study is a reference that practitioners will benefit not only in machine selection but also in all other resource distribution problems.

Keywords- Machine Selection, Strategic Management, Entropy, TOPSIS, Multi Criteria Decision Making

I. GİRİŞ

Türkiye doğal taş (mermer ve granit sektörlerini kapsayan) sektöründe Çin ve İtalya ile birlikte öncü bir ülke konumundadır. Doğal taş sektörü, rezerv temelli olarak ihracat ağırlıklı yaşamını sürdürmektedir. Bununla beraber, doğal taş kullanımının ihtiyaca bağlı olarak artması, sektörün canlılığını devamlı olarak sürdürebilmesini sağlamaktadır. Yeni çevre anlayışı ve sürdürülebilirlik, doğal taş sektöründeki faaliyetleri de değiştirmektedir. Çeşitli işleme ve birleştirme teknikleri geliştirilerek ve hem çevreye verilen olası zararı azaltma, hem de rezervlerin işlerlik süresinin uzatılması yoluna gidilmiştir.

Gelişen yeni teknolojiler, öncelikle üretimde kullanılan makinelerde hem nitelik hem de nicelik anlamında gelişmelere neden olmuştur. Teknolojinin sunduğu yenilikler genel anlamda fırsatlar barındırır da, belirsizliğin bir yansıması olduğu için işletmelerde tehdit olarak görülebilmektedir. Hem stratejik yönetsel bakış hem de belirsizlik durumlarında en doğru kararı verebilmek adına, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımları tam da burada devreye girmektedir. Rekabet avantajını sürdürmek veya hızla büyüyen ve gelişen doğal taş sektöründe daha fazla yer almak adına, kimi zaman öncü, kimi zaman analizci ya da tepki gösterici strateji uygulamaları ile işletmeler bir takım faaliyetlerde bulunmaktadırlar. Seçilen strateji her ne olursa olsun, bir kararı ifade etmektedir. Karar vermede ise, alternatifleri doğru belirlemek ve doğru alternatifi seçmek önem arz etmektedir. ÇKKV yaklaşımları, karar vericileri çeşitli değişken ve parametreler karşısında çözüm üretmeyi amaçlar. Karar vericileri, mevcut karar durumunu daha belirli bir yapı formunda hareket edebilecekleri nesnel bir bakış açısına sürükler. Bu şekilde, karar vericinin bir takım kişisel bilgi, tecrübe ve beceriye sahip olma zorunluluğu ortadan kalkmış olur. Bu sayede yönetsel kararlar daha merkezkaç bir yapı oluşturularak verilebilir. Karar verici yetkisine sahip her birey, ÇKKV yaklaşımları ile çoklu sayıda alternatifi bir arada değerlendirebilir. Böylesi bir yapı, karar alma, esneklik ve sürdürülebilirlik bağlamında işletmeler için arzu edilen bir yapıdır.

Bu çalışmada, doğal taş sektöründe faaliyet gösteren ve sektörel rekabet avantajına sahip olan bir işletmede *makine seçimi* araştırılmıştır. Problem seçiminin makine seçimi olarak seçilmesinin nedeni, doğru makine ile uzun süreli etkin ve verimli bir şekilde üretim yapabilmektir, bu da kaynakların doğru dağıtılmasında önem arz etmektedir. Doğal taş sektöründe- özelliğine bağlı değişimle birlikte- makine seçimi büyük bir yatırım anlamına gelmekte, bu da karar vericiler için ekonomik anlamda baskı unsuru olmaktadır.

Belirtilen nedenler doğrultusunda, karar alma işletmeler için çok daha nesnel ve akılcı bir takım nedenlerle işleyen bir mekanizma özelliği taşımalıdır. Bu mekanizma, hem her işletmeye özgü bir takım misyon, vizyon ve stratejik bakış açısını içeren, hem de bağlı bulunan çevresel etkiler bağlamında değerlendirilebildiği takdirde işlevsel olabilecektir. Bu nedenle, en uygun makinenin seçilebilmesi için Entropi ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak bir çözüm yapılmıştır. Entropi yöntemi ile karar alıcıların sezgisel yargılarından ve tutumlarından bağımsız bir şekilde, makine seçimi için belirlenen karar kriterlerinin ağırlıkları belirlenmiştir. Ardından TOPSIS yöntemi ile karar kriterlerinin ağırlıkları hesaba katılarak, alternatif makineler önem değerlerine göre sıralandırılmıştır. Seçilen analiz yöntemleri aynı zamanda kullanıcı dostu olarak adlandırılabilir. Entropi ve TOPSIS yöntemlerinin bu anlamda öne çıkan avantajı, uygulanması ve yorumlanmasının görece kolay olmasıdır. Her iki yöntem için herhangi bir program veya yazılım kullanımı söz konusu olmayıp, Excel programı ile çözülebilmektedir. Bu ise, sadece doğal taş sektörü için değil, kaynak aktarım problemlerinde söz konusu olan herhangi bir olgu (tedarikçi seçimi, araç seçimi, kullanılacak teknoloji vb.) için herhangi bir sektördeki başka karar vericiler tarafından da uygulanmasını kolaylaştırmaktadır. Bu sayede kaynakların rasyonel kullanıldığı ve alınan kararların sorumluluğunun paylaşıldığı bir yapı ortaya çıkabilecektir.

Bu çalışma konunun genel çerçevesinin değerlendirildiği giriş bölümü ile birlikte altı bölümden oluşmaktadır. ÇKKV yöntemlerinin ve ilgili makalelerde yer alan problemlerin örneklendirildiği literatür taraması, Entropi, TOPSIS ve uygulama bölümüne ek, son olarak sonuç bölümü yer almaktadır.

II. LİTERATÜR TARAMASI

Gerek bireyler olsun, gerekse de işletmeler olsun hayatlarının her döneminde çok boyutlu problemler için karar almak zorundadırlar. Çoğu zaman, birbirleriyle çatışan birçok kriterin ve amaçların gerçekleşmesiyle karşı karşıya kalmaktadırlar. Çok kriterli karar verme teknikleri, bu durumda “en iyi/uygun” çözüme ulaşmada

yardımcı olmaktadır. Karar vericiler karar alma noktasında, bu tür problemlerin üstesinden gelmede çok kriterli karar verme tekniklerinden faydalanmakta yarar sağlamaktadır.

İşletmelerin karar vermesi gereken en önemli konularının arasında makine seçim problemleri de yer almaktadır. Literatürde de ÇKKV yöntemleri kullanılarak yapılan makine seçimi problemleri aşağıda Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. ÇKKV yöntemleri kullanılarak makine seçimine ilişkin çalışmalar

Konu	Yöntem/Yöntemler	Referanslar
Tekstil işletmesinde makine seçimi	EDAS; Bulanık AHS; Entropi-ROV ve CRITIC-ROV; Bulanık VIKOR	[1, 2, 3, 4]
Gemi inşada ana makine seçimi	AHP, TOPSIS ve PROMETHEE; TOPSIS, MOORA, VIKOR; AHP-SMART	[5, 6, 7]
Makine seçimini etkileyen kriterlerin değerlendirilmesi	Bulanık DEMATEL	[8]
Mermer kesim makinesi seçimi	Bulanık DEMATEL-Bulanık VIKOR; KEMIRA-M VE COPRAS	[9, 10]
CNC makinesi seçimi	Bulanık AHS-Bulanık TOPSIS; Bulanık VIKOR	[11,12]
Kablo üretiminde makine seçimi	Bulanık DEMATEL-Bulanık PROMETHEE	[13]
Taşımacılıkta çekici araç seçimi	AHP, Entropi ve TOPSIS	[14]
Tarım makinesi seçimi	AHP ile Bütünleşik Gri İlişkisel Analiz	[15]
Esnek üretim sistemleri seçimi	AHS-Bulanık PROMETHEE	[16]
Yapı makinesi seçimi	VIKOR	[17]
Alışılmamış imalat yöntemlerinin seçimi	Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS	[18]
Transpalet seçimi	AHP, EDAS	[19]
Paketleme makinesi seçimi	Sezgisel Bulanık TOPSIS	[20]
Çay kurutucusu seçimi	Bulanık SMART ve Bulanık Ağırlıklı Aksiyomatik Tasarım	[21]
Pres makinesi seçimi	DELPHI, Bulanık AHS ve Bulanık PROMETHEE	[22]

Literatürde Entropi-TOPSIS yöntemlerinin birlikte kullanıldığı çalışmalar ise aşağıda Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. Entropi-TOPSIS yöntemlerinin birlikte kullanılmasına ilişkin çalışmalar

Konu	Referanslar
BİST’te işlem gören firmaların performansının incelenmesi	[23, 24, 25, 26, 27]
Futbol takımlarının finansal ve sportif etkinliklerinin analiz edilmesi	[28]
Enerji sektöründe kurumsal sürdürülebilirlik performansının ölçümü.	[29]
AB ülkelerinin Ar-Ge performanslarının ölçülmesi	[30]
Organize sanayi bölgelerinin yatırım ortamının değerlendirilmesi	[31]
Endüstri İşletmelerinde AR-GE Projelerini Öncelik Sıralaması	[32]
Havaalanlarının hizmet kalitesi performansları değerlendirilmesi	[33]
Akademik personelin duygusal performanslarının ölçülmesi	[34]
Yeşil Tedarikçi seçimi	[35]
Yeşil teknoloji yeniliklerinin ekonomik ve ekolojik değerlendirilmesi	[36]
Elektrikli şarj istasyonu seçimi	[37]
Yeraltı suları kalitesi sıralaması	[38]
Demir-Çelik sanayinde simbiyotik teknoloji değerlendirmesi	[39]
Turizm destinasyon değerlendirmesi	[40]

Tablo 1.'de görüldüğü üzere ÇKKV yöntemleri çeşitli sektörlerde makine seçimleri problemlerinde kullanılmıştır. Tablo 2.'de ise, Entropi ve TOPSIS yöntemlerinin çok çeşitli alanlarda kullanıldığı görülmektedir. Bu alanlar Avrupa Birliği'nin AR-GE performans ölçümünden, tedarikçi seçimine; kullanılan teknoloji değerlendirmesinden, organizasyonel ve sektörel etkinlik ölçümüne kadar farklılık göstermektedir.

III. ENTROPİ YÖNTEMİ

Literatürde Entropi kavramı ilk kez 1865 yılında Rudolph Clausius tarafından bir sistemde meydana gelen düzensizliğin ve belirsizliğin bir ölçüsü olarak ifade edilmiştir [40]. Günümüzde fizik, matematik ve mühendislik bilimlerinde yaygın olarak karşılaşılan Entropi kavramı Shannon'ın (1948) enformasyon teorisine uyarlanmıştır. Mevcut verinin elde edildiği faydalı bilginin miktarını ölçmede kullanılan Entropi yöntemi objektif kararların alınmasında kullanılmaktadır [12]. Entropi yönteminin aşamaları aşağıdaki gibi açıklanabilir [41, 42].

a_i : alternatif i ; $i=1,2,3,\dots,m$

c_j : kriter j ; $j=1,2,3,\dots,n$

x_{ij} : alternatif i 'nin j kriteri açısından performans değeri

D: karar matrisi

Karar matrisi Eşitlik 1'deki gibi oluşturulabilir.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Karar matrisinde birbirinden farklı indeks boyutlarının eşölçülemezlik üzerindeki etkilerini yok etmek amacıyla indeksler çeşitli yöntemlerle standartlaştırılabilmektedir. Fayda ve maliyet indekslerine göre kriterler Eşitlik (2) ve Eşitlik (3) yardımıyla standartlaştırılır.

$$r_{ij} = x_{ij} / \max_{ij} (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n) \quad (2)$$

$$r_{ij} = \min_{ij} / x_{ij} (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n) \quad (3)$$

p_{ij} : alternatif i 'nin j kriteri açısından normalize edilmiş performans değeri

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad \forall i, j \quad (4)$$

ND: Normalize edilmiş karar matrisi

Normalize edilmiş performans değerleri Eşitlik 5'deki gibi hesaplanabilir.

$$ND = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \cdots & p_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

E_j = kriter j için entropi değeri; $j=1,2,3,\dots,n$

k:sabit

Entropi değerleri Eşitlik 6'daki gibi hesaplanabilir.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m [(p_{ij})(\ln(p_{ij}))] \quad \forall j \quad (6)$$

Yöntemdeki sabit değer Eşitlik 7'deki gibi hesaplanabilir.

$$k = \frac{1}{\ln(m)} \quad (7)$$

d_j : kriter i için belirsizlik derecesi; $j=1,2,3,\dots,n$

Belirsizlik derecesi Eşitlik 8'deki gibi hesaplanabilir.

$$d_j = 1 - E_j \quad (8)$$

W_j : kriter j için ağırlık değeri; $j=1,2,3,\dots,n$

Ağırlık değerleri Eşitlik 9'daki gibi hesaplanabilir.

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (9)$$

IV. TOPSIS YÖNTEMİ

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemlerinde, alternatifler, belirli kriterler altında analiz edilerek, performans sıralaması yapılmaktadır. Literatürde kullanılan ÇKKV metotlarından birisi olan, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to İdeal Solution) yöntemi 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından ortaya konulmuştur [43]. Bu yöntem, pozitif-ideal çözüme en yakın ve negatif-ideal çözüme en uzak alternatiflerin performans sıralamasını yapmaktadır. TOPSIS işleminde m alternatifleri, n kriterleri değerlendiren aşamaları aşağıda yer almaktadır:

Karar Matrisi (A) Eşitlik 10'daki gibi oluşturulur.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Normalleştirilmiş Karar Matrisinin (R) Eşitlik 11 kullanılarak elde edilir. Bu adımda, verileri ölçekten normalleştirmek için tüm sütun değerleri kareli toplamlarına bölünür.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (i = 1, 2, \dots, m \text{ ve } j = 1, 2, \dots, n) \quad (11)$$

Normalleştirilmiş karar matrisi R Eşitlik 12'deki gibi elde edilir

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Normalize Matrisin Ağırlıklandırılması için R matrisinin her sütunundaki elemanları ilgili w_j değeri ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize matris (V matrisi) Eşitlik 13 gibi elde edilir.

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \cdots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \cdots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \cdots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (13)$$

İdeal ve ideal olmayan çözümleri aşağıdaki Eşitlik (14) ve Eşitlik (15) yoluyla elde edilmektedir:

$$A^* = \left\{ \max_j v_{ij} | j \in J, (\min_j v_{ij} | j \in J) \right\} \quad (14)$$

$$A^- = \left\{ \min_j v_{ij} | j \in J, (\max_j v_{ij} | j \in J) \right\} \quad (15)$$

İdeal ve İdeal Olmayan Çözümlere Uzaklıkların Hesaplanmasında Öklid metriği kullanılmaktadır. Alternatiflerin ideal çözümden ve negatif ideal çözümden uzaklaşma değerleri sırasıyla; ideal uzaklık (S_i^*) ve ideal olmayan uzaklık (S_i^-) olarak Eşitlik 16 ve Eşitlik 17'deki gibi verilmektedir.

İdeal uzaklık:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (16)$$

İdeal olmayan uzaklık:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (17)$$

İdeal Çözüme Göreceli Yakınlık, ideal ve ideal olmayan çözümlere olan uzaklıklardan Eşitlik 18'de belirtildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (18)$$

C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ değer almaktadır. $C_i^*=1$ ilgili alternatifin ideal alternatife eşit, $C_i^* =0$ ise ideal olmayan çözüme eşit olduğunu göstermektedir.

V. UYGULAMA

Çalışma kapsamında mermer üretimi yapan bir imalat işletmesi için mermer işleme makinesi seçimi yapılacaktır. Çalışma sonucuna göre işletmeye alınması düşünülen mermer işleme makinesi, mermerlerin kesimi, konturlanması, profilendirilmesi ve şekillendirilmesi gibi işlemler için kullanılmaktadır.

Çalışma kapsamında öncelikle işletme için en uygun mermer işleme makinesinin seçilebilmesi amacıyla satın alma kararı üzerinde etkili olduğu düşünülen kriterler işletme sahibi görüşleri doğrultusunda belirlenmiştir. Bu kriterler motor gücü, devir hızı, Z eksen, maksimum testere çapı ve fiyattır. Bu kriterler açısından işletme için uygun olabileceği düşünülen farklı marka ve/veya modelde alternatif on dört adet mermer işleme makinesinin değerlendirilmesine karar verilmiştir. Alternatif makinelerin belirlenen kriterler açısından özellikleri ve karar kriterlerinin amaçları Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3. Alternatifleri ve Kriterleri içeren karar matrisi

Alternatifler	Motor Gücü (kW)	Devir hızı (dev/dk)	Z Eksen (mm)	Maksimum testere çapı (mm)	Fiyat (€)
A1	13	5000	320	600	106.400
A2	26,5	6000	700	800	161.030
A3	13,5	15000	420	250	130.500
A4	13,5	15000	420	250	140.000
A5	13,5	15000	600	250	152.000
A6	13,5	15000	900	250	157.000
A7	13,5	9000	580	625	158.000
A8	31	7500	1000	900	176.000
A9	13	4500	400	625	114.285
A10	23,5	8000	700	825	205.135
A11	32	8000	1000	1000	214.398
A12	20	12000	850	625	204.000
A13	20	8000	700	700	172.000
A14	20	8000	900	900	175.000
Amaç	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Maliyet

İlk olarak karar matrisinin fayda ve maliyet kriterine göre normalizasyon işlemi Eşitlik (2) ve Eşitlik (3) yardımıyla yapılmıştır (Tablo 4). Daha sonra Eşitlik (4)'te verildiği gibi her bir ilgili kriter değerinin toplamı, ilgili alternatifin kriter değerine bölünerek karar matrisi normalize edilmiştir (Tablo 5).

Tablo 4. Fayda ve Maliyet Kriterlerinin Hesaplanması

Alternatifler	Motor Gücü (kW)	Devir hızı (dev/dk)	Z Eksenini (mm)	Maksimum testere çapı (mm)	Fiyat (€)
A1	0,4063	0,3333	0,3200	0,6000	1,0000
A2	0,8281	0,4000	0,7000	0,8000	0,6607
A3	0,4219	1,0000	0,4200	0,2500	0,8153
A4	0,4219	1,0000	0,4200	0,2500	0,7600
A5	0,4219	1,0000	0,6000	0,2500	0,7000
A6	0,4219	1,0000	0,9000	0,2500	0,6777
A7	0,4219	0,6000	0,5800	0,6250	0,6734
A8	0,9688	0,5000	1,0000	0,9000	0,6045
A9	0,4063	0,3000	0,4000	0,6250	0,9310
A10	0,7344	0,5333	0,7000	0,8250	0,5187
A11	1,0000	0,5333	1,0000	1,0000	0,4963
A12	0,6250	0,8000	0,8500	0,6250	0,5216
A13	0,6250	0,5333	0,7000	0,7000	0,6186
A14	0,6250	0,5333	0,9000	0,9000	0,6080
Amaç	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Maliyet

Tablo 5. Normalize Edilmiş Karar Matrisi (P_{ij} Matrisi)

Alternatifler	Motor Gücü (kW)	Devir hızı (dev/dk)	Z Eksenini (mm)	Maksimum testere çapı (mm)	Fiyat (€)
A1	0,0488	0,0368	0,0337	0,0698	0,1043
A2	0,0994	0,0441	0,0738	0,0930	0,0689
A3	0,0507	0,1103	0,0443	0,0291	0,0851
A4	0,0507	0,1103	0,0443	0,0291	0,0793
A5	0,0507	0,1103	0,0632	0,0291	0,0730
A6	0,0507	0,1103	0,0948	0,0291	0,0707
A7	0,0507	0,0662	0,0611	0,0727	0,0703
A8	0,1163	0,0551	0,1054	0,1047	0,0631
A9	0,0488	0,0331	0,0421	0,0727	0,0971
A10	0,0882	0,0588	0,0738	0,0959	0,0541
A11	0,1201	0,0588	0,1054	0,1163	0,0518
A12	0,0750	0,0882	0,0896	0,0727	0,0544
A13	0,0750	0,0588	0,0738	0,0814	0,0645
A14	0,0750	0,0588	0,0948	0,1047	0,0634
Amaç	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Maliyet

Entropi (E_j) Değerinin ve K Değerinin Hesaplanmasında Tablo 6'daki her bir kriter değerinin (P_{ij}), logaritma değeri alınmış ($lnij$), alınan bu logaritma değerleriyle kriter değerleri çarpılmaktadır.

Tablo 6. $P_{ij} \times \ln_{ij}$ Değerinin Hesaplanması

Alternatifler	Motor Gücü (kW)	Devir hızı (dev/dk)	Z Ekseni (mm)	Maksimum testere çapı (mm)	Fiyat (€)
A1	-0,1473	-0,1214	-0,1143	-0,1858	-0,2358
A2	-0,2295	-0,1377	-0,1923	-0,2209	-0,1844
A3	-0,1511	-0,2432	-0,1380	-0,1029	-0,2096
A4	-0,1511	-0,2432	-0,1380	-0,1029	-0,2010
A5	-0,1511	-0,2432	-0,1746	-0,1029	-0,1911
A6	-0,1511	-0,2432	-0,2234	-0,1029	-0,1873
A7	-0,1511	-0,1797	-0,1708	-0,1905	-0,1866
A8	-0,2503	-0,1598	-0,2371	-0,2362	-0,1743
A9	-0,1473	-0,1128	-0,1335	-0,1905	-0,2265
A10	-0,2141	-0,1667	-0,1923	-0,2249	-0,1578
A11	-0,2545	-0,1667	-0,2371	-0,2502	-0,1533
A12	-0,1943	-0,2142	-0,2161	-0,1905	-0,1584
A13	-0,1943	-0,1667	-0,1923	-0,2042	-0,1769
A14	-0,1943	-0,1667	-0,2234	-0,2362	-0,1749
Toplam	-2,5816	-2,5649	-2,5831	-2,5414	-2,6178

Bir sonraki aşamada Tablo 7’te bulunan E_j değeri Eşitlik (6), d_j değeri Eşitlik (8) ve w_j değeri Eşitlik (9) yardımıyla hesaplanmıştır. $K=1/\ln.n$, sabit bir sayı olmak üzere $0 \leq e_j \leq 1$ olmasını sağlar. Bu çalışmada, $n=14$ olduğundan $K=1/\ln14= 0,3789$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 7. Entropi Değerinin Hesaplanması

Alternatifler	Motor Gücü (kW)	Devir hızı (dev/dk)	Z Ekseni (mm)	Maksimum testere çapı (mm)	Fiyat (€)
E_j	0,978229031	0,97189381	0,9788055	0,962982355	0,991926763
d_j	0,021770969	0,02810619	0,0211945	0,037017645	0,008073237
w_j	0,187418129	0,24195565	0,1824557	0,318671062	0,069499483

Entropi yöntemi sonucunda elde edilmiş kriter ağırlıklarına bakıldığında, en önemli kriterin maksimum testere çapı olduğu belirlenmiştir. Sonrasında kriter ağırlıkları sırasıyla devir hızı, motor gücü, z ekseni ve fiyat olarak sıralanmıştır.

Bu aşamadan sonra alternatifleri değerlendirmek için TOPSİS yöntemi uygulanmıştır. Tablo 8’de Eşitlik (11) yardımıyla elde edilen normalize karar matrisi verilmiştir.

Tablo 8. Normalize edilmiş karar matrisi

Alternatifler	Motor Gücü (kW)	Devir hızı (dev/dk)	Z Ekseni (mm)	Maksimum testere çapı (mm)	Fiyat (€)
A1	0,1724	0,1283	0,1199	0,2407	0,1725
A2	0,3513	0,1540	0,2623	0,3210	0,2611
A3	0,1790	0,3849	0,1574	0,1003	0,2116
A4	0,1790	0,3849	0,1574	0,1003	0,2270
A5	0,1790	0,3849	0,2248	0,1003	0,2464
A6	0,1790	0,3849	0,3372	0,1003	0,2545
A7	0,1790	0,2310	0,2173	0,2508	0,2561
A8	0,4110	0,1925	0,3747	0,3611	0,2853
A9	0,1724	0,1155	0,1499	0,2508	0,1853
A10	0,3116	0,2053	0,2623	0,3310	0,3326
A11	0,4243	0,2053	0,3747	0,4012	0,3476
A12	0,2652	0,3079	0,3185	0,2508	0,3307
A13	0,2652	0,2053	0,2623	0,2808	0,2788
A14	0,2652	0,2053	0,3372	0,3611	0,2837

R matrisinin her sütunundaki elemanları ilgili w_j değeri ile çarpılarak elde edilen ağırlıklandırılmış normalize matris Tablo 9’ da verilmiştir.

Tablo 9. Ağırlıklandırılmış karar matrisi

wj	0,1874	0,2420	0,1825	0,3187	0,0695
Alternatifler	Motor Gücü (kW)	Devir hızı (dev/dk)	Z Ekseni (mm)	Maksimum testere çapı (mm)	Fiyat (€)
A1	0,0323	0,0310	0,0219	0,0767	0,0120
A2	0,0658	0,0373	0,0479	0,1023	0,0181
A3	0,0335	0,0931	0,0287	0,0320	0,0147
A4	0,0335	0,0931	0,0287	0,0320	0,0158
A5	0,0335	0,0931	0,0410	0,0320	0,0171
A6	0,0335	0,0931	0,0615	0,0320	0,0177
A7	0,0335	0,0559	0,0396	0,0799	0,0178
A8	0,0770	0,0466	0,0684	0,1151	0,0198
A9	0,0323	0,0279	0,0273	0,0799	0,0129
A10	0,0584	0,0497	0,0479	0,1055	0,0231
A11	0,0795	0,0497	0,0684	0,1279	0,0242
A12	0,0497	0,0745	0,0581	0,0799	0,0230
A13	0,0497	0,0497	0,0479	0,0895	0,0194
A14	0,0497	0,0497	0,0615	0,1151	0,0197

Ele alınan problem için Eşitlik (14) ve Eşitlik (15) kullanılarak belirlenen İdeal ve İdeal Olmayan Çözüm Değerleri aşağıda Tablo 10’da verilmiştir. Kriterlerin fayda ya da maliyet kriteri olma durumu tespit edilmiştir.

Tablo 10. İdeal ve ideal olmayan çözüm değerleri

	W+	W+	W+	W+	W-
	K1	K2	K3	K4	K5
Aj+	0,0795	0,0931	0,0683	0,1278	0,0120
Aj-	0,0323	0,0279	0,0218	0,0319	0,0242

Eşitlik (16) ve Eşitlik (17) kullanılarak elde edilen uzaklık değerleri ile Eşitlik (18) kullanılarak elde edilen görelî yakınlık sonuçları Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. Uzaklık Değerleri ve Görelî Yakınlık Sonuçları

Alternatifler	si+	si-	Ci+	Sıralama
A1	0,1042	0,0635	0,6725	12
A2	0,0665	0,0875	1,4038	6
A3	0,1135	0,0684	0,6713	13
A4	0,1136	0,0682	0,6686	14
A5	0,1099	0,0691	0,6979	11
A6	0,1067	0,0756	0,7842	9
A7	0,0816	0,0696	0,9227	8
A8	0,0490	0,1061	2,2715	2
A9	0,1023	0,0658	0,7096	10
A10	0,0581	0,0914	1,6631	4
A11	0,0451	0,1175	2,7213	1
A12	0,0613	0,0820	1,4190	5
A13	0,0687	0,0775	1,2057	7
A14	0,0552	0,1042	1,9906	3

Tablo 11 incelendiğinde, 2.7213 değeri en büyük görelî yakınlık değerine sahip olmasından dolayı en ideal makinenin Alternatif 11 olduğu ve en son tercih edilecek makinenin de 0,6686 görelî değeri ile Alternatif 4 olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre; ideal olmayan çözüme en uzak olan alternatifin, Alternatif 11 olduğu ve ideal olmayan çözüme en yakın alternatifin ise Alternatif 4 olduğu söylenebilmektedir.

VI. SONUÇ VE ÖNERİLER

Makine seçimi problemi sadece doğal taş (mermer ve granit vb.) sektöründe faaliyet gösteren değil, diğer tüm sektörlerde öne çıkan bir maliyet unsuru olarak yer almaktadır. Makine problemleri uzun vadeli amorti sürelerine sahip olma özellikleri ile diğer kriterler bağlamında değerlendirilmesi gereken bir karar problemidir. Makine seçimi karar problemi doğrultusunda Entropi ve TOPSIS yöntemleri ile analizler yapılmış olup, ilgili yöntemlerin bu tür bir problemde kullanışlı olma durumu, literatürden örneklendirmeler ile tartışılmıştır.

Analiz sonuçları en önemli kriterlerin başta maksimum testere çapı olmak üzere, sonrasında kriter ağırlıkları sırasıyla devir hızı, motor gücü, z ekseni ve fiyat olarak sıralanmıştır. Bu sonuç, satın alımlarda fiyat unsurunun minimize edilmesi gerekliliğinin aksine bir durum olarak ortaya çıkmıştır. Seçilen A11 alternatifi ile en düşük fiyatlı makine alternatifi olan A1 arasında %49, 62 oranında bir fark vardır- en uygun fiyatlı modelin yaklaşık iki katı daha fazla fiyatlıdır.

İlk akla gelen fiyat kriterinin aksine, makine testere çapı ön plana çıkmıştır. Burada önem arz eden durum, testere çapının, mermer blokların kesiminden oluşan kaybı minimuma indirmesidir. Teknolojik gelişmelerin firmalara ve sektörlerle etkisinin de vurgulandığı bu bulgu ile karar almanın sadece firma sahipleri tarafından değil, konunun uzmanlarınca beraber değerlendirilmesi gereklidir. Alınacak her kararın alternatif maliyeti, rekabet avantajını etkileyecektir. Dolayısı ile pay sahibi yaklaşımı her zaman doğru kararı ifade etmemektedir.

Sonuç olarak, makine üreticileri için ürün fiyatının önem derecesinden ziyade teknolojik özellikleri ile piyasada faaliyet göstermesi gerekliliği olduğu vurgulanabilir. En iyi alternatif olarak seçilen A11'in fiyatı diğer 14 makine arasında en yüksek fiyatlı olmasına rağmen, diğer teknolojik özellikleri de içerisinde barındırması ile ilk sırayı almıştır. Bu durumda, sektör uygulayıcıları, rekabet avantajının anlamının derinlemesine inceleyerek, karar verme durumunda çeşitli ÇKKV yöntemlerinden faydalanmaları önerilmektedir. Bütünleşik yöntem yerine tek yöntem tercih edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ulutaş, A. (2017). EDAS yöntemi kullanılarak bir tekstil atölyesi için dikiş makinesi seçimi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 169-183.
- [2] Ertuğrul, İ. (2007). Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bir Tekstil İşletmesinde Makine Seçim Problemine Uygulanması. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 25(1), 171-192.
- [3] Akın, N. G. (2019). Makine Seçimi Probleminde Entropi-ROV ve CRITIC-ROV Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (62), 20-39.
- [4] Faydalı, R., & Erkan, E. F. (2020). Makine Seçim Probleminin Bulanık VIKOR Yöntemiyle İncelenmesi. *Zeki Sistemler Teori ve Uygulamaları Dergisi*, 3(1), 7-12.
- [5] Uzun, S., & Kazan, H. (2016). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden AHP TOPSIS ve PROMETHEE Karşılaştırılması: Gemi İnşada Ana Makine Seçimi Uygulaması. *Journal of Transportation and Logistics*, 1(1), 99-113.
- [6] Uzun, S., & Yıldırım, B. F. (2016). Equipment Selection in Ship Building Process: TOPSIS, MOORA, VIKOR Application. *Eurasian Academy of Sciences Eurasian Business & Economics Journal*, 2, 113-124.
- [7] Herişçakar, E. (1999). Gemi Ana Makine Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri AHP ve SMART Uygulaması. *Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi*, 99, 240-256.
- [8] Organ, A. (2013). Bulanık DEMATEL yöntemiyle makine seçimini etkileyen kriterlerin değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 157-172.
- [9] Gök Kısa, C. & Perçin, S. (2017). Bütünleşik Bulanık DEMATEL-Bulanık VIKOR Yaklaşımının Makine Seçimi Problemine Uygulanması. *Journal of Yaşar University*, 12(48), 249-256.
- [10] Kundakcı, N., & Sarıçalı, G. (2019). Bütünleşik KEMIRA-M ve COPRAS Yöntemi ile Mermer İşletmesi İçin Katrak Makinesi Seçimi. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(20), 1028-1061.
- [11] Perçin, S., & Ayan, T. Y. (2015). AHS ve Bulanık PROMETHEE Yaklaşımlarıyla Esnek Üretim Sistemleri Seçimi. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 29(2), 555-575.
- [12] Wu, J., Sun, J., Liang, L. And Zha Y. (2011). "Determination of Weights for Ultimate Cross Efficiency Using Shannonentropy", *Expert Systems with Applications*, 38 (5): 5162-5165.

- [13] Kabadayı, N., & Dağ, S. (2017). Bulanık DEMATEL Ve Bulanık PROMETHEE Yöntemleri ile Kablo Üretiminde Makine Seçimi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(14), 239-260.
- [14] Görçün, Ö. F. (2019). Uluslararası Taşımacılık İşletmelerinin Çekici Araç Seçimlerinin Entegre AHP, Entropi ve TOPSIS Yöntemleri Kullanılarak Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(3), 899-922.
- [15] Tolun, B. G., & Tümtürk, A. (2020). AHP ile Bütünleşik Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Makine Seçimi: Tarım Makinaları Üretim İşletmesinde Bir Uygulama. *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 27(1), 21-34.
- [16] Perçin, S., & Ayan, T. Y. (2015). AHS ve Bulanık PROMETHEE Yaklaşımlarıyla Esnek Üretim Sistemleri Seçimi. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 29 (2), 555-575.
- [17] Uğur, L. O. . (2015). Yapı Makinesi Satın Alımında VIKOR Çok Kriterli Karar Verme Yönteminin Uygulanması. *Politeknik Dergisi*, 20 (4), 879-885.
- [18] Kul, Y., Şeker, A., & Yurdakul, M. (2014). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Seçiminde Kullanılması. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29(3), 589-603.
- [19] Ulutaş, A., & Çelik, D. (2019). Transpalet Seçimi Probleminin AHP ve EDAS Yöntemleri İle Değerlendirilmesi. *Business & Management Studies: An International Journal*, 7(2), 668-686.
- [20] Aloini, D., Dulmin, R., & Mininno, V. (2014). A Peer IF-TOPSIS Based Decision Support System For Packaging Machine Selection. *Expert Systems with Applications*, 41(5), 2157-2165.
- [21] Çakır, S., & Perçin, S. (2013). AB Ülkeleri'nde Bütünleşik Entropi Ağırlık-TOPSIS Yöntemiyle Ar-Ge Performansının Ölçülmesi. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 32(1), 77-95.
- [22] Özgen, A., Tuzkaya, G., Tuzkaya, U. R., & Özgen, D. (2011). A Multi-Criteria Decision Making Approach for Machine Tool Selection Problem in A Fuzzy Environment. *International Journal Of Computational Intelligence Systems*, 4(4), 431-445.
- [23] Yıldırım, M., Altan, İ. M., & Gemici, R. (2018). Kurumsal Yönetim İle Finansal Performans Arasındaki İlişkinin Entropi Ağırlıklandırılmış TOPSIS Yöntemi İle Değerlendirilmesi: Bist'te İşlem Gören Gıda Ve İçecek Şirketlerinde Bir Araştırma. *Muhasebe ve Vergi Uygulamaları Dergisi*, 11(2), 130-152.
- [24] Aytekin, A., & Karamaşa, Ç. (2016). BİST'te Faaliyet Gösteren Sigorta Şirketlerinin Finansal Performanslarının Bulanık Shannon Entropi Tabanlı Bulanık TOPSIS Yöntemiyle İncelenmesi. *The Journal of Operations Research, Statistics, Econometrics and Management Information Systems*, 5(1), 2017
- [25] Şahin, A., & Sarı, E. B. (2019). Entropi Tabanlı TOPSIS ve VIKOR Yöntemleriyle Bist-İmalat İşletmelerinin Finansal Ve Borsa Performanslarının Karşılaştırılması. *Muhasebe ve Vergi Uygulamaları Dergisi*, 12(2), 255-270.
- [26] Ece, N. (2019). Holding Şirketlerinin Finansal Performans Sıralamasının Entropi Tabanlı TOPSIS Yöntemleri İle İncelenmesi. *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi (FESA)*, 4(1), 63-73.
- [27] Altan, İ. M., & Yıldırım, M. (2019). Sigorta Sektörünün Finansal Performansının Entropi Ağırlıklandırılmış TOPSIS Yöntemiyle Analizi ve Değerlendirilmesi. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 8(1), 345-358.

- [28] Çatı, K., Eş, A., & Özevin, O. (2017). Futbol takımlarının finansal ve sportif etkinliklerinin Entropi ve TOPSIS yöntemiyle analiz edilmesi: Avrupa'nın 5 büyük ligi ve süper lig üzerine bir uygulama. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*,13(1), 199-222.
- [29] Öztel, A., Aydın, B., & Köse, M. S. (2018). Entropi Tabanlı TOPSIS Yöntemi İle Enerji Sektöründe Kurumsal Sürdürülebilirlik Performansının Ölçümü: Akenerji Örneği. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*,9(24), 1-24.
- [30] Çakır, S., & Perçin, S. (2013). AB Ülkeleri'nde Bütünleşik Entropi Ağırlık-TOPSIS Yöntemiyle Ar-Ge Performansının Ölçülmesi. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*,32(1), 77-95.
- [31] Yalçınkaya, Y., Dulupçu, M. A., & Baykul, A. (2018). TOPSIS Yöntemi ile Organize Sanayi Bölgelerinin Yatırım Ortamının Değerlendirilmesi: İBBS Düzey 3 Üzerine Bir Uygulama. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(1), 90-107.
- [32] Sarı, E. B. (2017). Endüstri İşletmelerinde Ar-Ge Projelerini Öncelik Sıralamasında Entropi Ağırlıklı TOPSIS Yöntemine Dayalı Çok Kriterli Bir Analiz. *International Journal of Academic Value Studies*,3(11), 159-170
- [33] Bakır, M., & Akan Ş. (2018). Havaalanlarında Hizmet Kalitesinin Entropi ve TOPSIS Yöntemleri İle Değerlendirilmesi: Avrupa'nın En Yoğun Havaalanları Üzerine Bir Uygulama. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(66), 632-651.
- [34] Demirarslan, P. Ç., Küçükönder, H., & Kınır, S. (2019). Entropi Tabanlı TOPSIS ve VIKOR Yaklaşımı ile Akademisyenler Üzerinde Bir Duygusal Performans Değerlendirme: Bartın Örneği. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*,18(69), 232-251.
- [35] Freeman, J., & Chen, T. (2015). Green supplier selection using an AHP-Entropy-TOPSIS framework. *Supply Chain Management: An International Journal*, 20(3), 327-340.
- [36] Sun, L. Y., Miao, C. L., & Yang, L. (2017). Ecological-Economic Efficiency Evaluation of Green Technology İnnovation in Strategic Emerging Industries Based on Entropy Weighted TOPSIS Method. *Ecological Indicators*, 73, 554-558.
- [37] Xu, W., & He, F. (2017). Entropy-TOPSIS method for selecting locations for electric vehicle charging stations. *Advances in Transportation Studies*, 3.
- [38] Gorgij, A. D., Wu, J., & Moghadam, A. A. (2019). Groundwater Quality Ranking Using The İmproved Entropy TOPSIS Method: A Case Study İn Azarshahr Plain Aquifer, East Azerbaijan, Iran. *Human And Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25(1-2), 176-190.
- [39] Wang, Y; Wen, Z. & HuifangLi (2020). Symbiotic Technology Assessment in İron And Steel İndustry Based on Entropy TOPSIS method. *Journal of Cleaner Production*, 260, 1-13.
- [40] Zhang, H., Gu, C. L., Gu, L. W., & Zhang, Y. (2011). The Evaluation of Tourism Destination Competitiveness by TOPSIS & İnformation Entropy-A Case in The Yangtze River Delta of China. *Tourism Management*, 32(2), 443-451.
- [41] Özdağoğlu, A., Yakut, E., & Bahar, S. (2017). Machine Selection İn A Dairy Product Company with Entropy and SAW Methods İntegration. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*,32(1), 341-359.
- [42] Koca, G., Ekinci, F., & Şimşek, M. (2019). Vergi gelirleri bakımından OECD ülkelerinin performansının bütünleşik entropi-ARAS yöntemi ile değerlendirilmesi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(70), 964-985.



- [43] Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Multiple attribute decision making methods and application. New York: Springer-Verlag