

BULANIK TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE DEMİRÇELİK ENDÜSTRİSİNDE EN UYGUN YATIRIM SEÇENEĞİNİN BELİRLENMESİ

S. Selay KASAP¹, Yıldız ŞAHİN^{2*}, Tuğba ÇINAR³

¹Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü ABD, Kocaeli

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-4168-9436>

²Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-6283-5340>

³Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-8616-5118>

Anahtar Kelimeler	Öz
Yatırım Projesi Değerlendirme, Demir Çelik Endüstrisi, Çok Kriterli Karar Verme, Bulanık AHS, VİKOR.	İşletmeler açısından en uygun yatırım seçeneğinin belirlenmesi bir karar problemi olarak büyük önem taşımaktadır. Yatırım seçeneğinin belirlenmesi problemi çok sayıda değişken tarafından etkilendiği ve değerlendirmeye alınan kriterlerin hepsinin kendine özgü avantajlarının olduğu süreçte doğru kararlar vermek oldukça zor bir hal almaktadır. Özellikle en uygun yatırım seçeneğinin belirlenmesi gibi satın alma kararı gerektiren durumlar, işletmeler açısından oldukça önemli ve kritik kararlardır. Bu çalışmanın amacı, Demir Çelik Endüstrisinde faaliyet gösteren bir işletmede en uygun yatırım alternatifinin ortaya konmasını sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda problem çözümü için; değerlendirme kriterlerinin ağırlıklandırılmasında Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) ve elde edilen ağırlıkların kullanılması ile en uygun yatırım alternatifinin belirlenmesinde VİKOR yöntemi kullanılmıştır. VİKOR yönteminin tercih edilme nedeni belirlenen ağırlıklar yardımıyla sıralama yapılarak uzlaşık çözüme ulaşmayı kolaylaştıran bir yöntem olmasıdır. Yöntem, birbirinden farklı kriterler ve alt kriterler altında alternatifleri sıralayarak en doğru alternatifin belirlenmesini sağlar. Çalışmanın son aşamasında ise BAHS destekli VİKOR çözümü ve duyarlılık analizi ile sonuçlardaki değişim yorumlanmıştır. Karar probleminin önerilen yöntemler ile çözümü sonrasında en uygun yatırım alternatifini tespit edilerek karar verici gruplara sunulmuştur. Mevcut çalışmaya paralel olarak gerçekleştirilen metod ve zaman etüdü BAHS destekli VİKOR çözümü ile elde edilen sonuçları destekler niteliktedir. Çalışma sonucu elde edilen çözüm karar vericiler tarafından uygun bulunarak projelendirme süreci başlatılmıştır.

DETERMINING THE OPTIMUM INVESTMENT OPTION IN IRON AND STEEL INDUSTRY WITH FUZZY BASED MULTI CRITERIA DECISION MAKING TECHNIQUES

Keywords	Abstract		
Investment Project Evaluation, Iron and Steel Industry, Multi Criteria Decision Making, Fuzzy AHP, VİKOR.	Determining the most suitable investment option for businesses is of great importance as a decision problem. It is very difficult to decide where the problem of choosing the investment option is influenced by a large number of variables and all of the criteria considered have their own advantages. In particular, situations that require a purchase decision, such as determining the most appropriate investment option, are very important and critical decisions for businesses. The aim of this study is to provide the most suitable investment alternative in an enterprise operating in Iron and Steel Industry. For this purpose, in order to solve the problem, VİKOR method was used to determine the most suitable investment alternative by using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) and the obtained weights in weighting the evaluation criteria. The reason why VİKOR method is preferred is that it is a method that makes it easier to reach a solution by sorting with the help of determined weights. The method allows the determination of the most accurate alternative by sorting the alternatives under different criteria and sub-criteria. In the last stage of the study, the changes in the results were interpreted by FAHP supported VİKOR solution and sensitivity analysis. After the solution of the decision problem with the proposed methods, the most suitable investment alternative was determined and presented to the decision-making groups. The method and time study performed in parallel with the present study support the results obtained. The solution obtained as a result of the study was deemed appropriate by the decision makers and the project design process was initiated.		
Araştırma Makalesi	Research Article		
Başvuru Tarihi	: 31.10.2019	Submission Date	: 31.10.2019
Kabul Tarihi	: 20.03.2020	Accepted Date	: 20.03.2020

*Sorumlu yazar; e-posta: yildiz.sahin@kocaeli.edu.tr

1. Giriş

Yatırım projesi, belirlenen hedefe ulaşmak adına kısıtlı kaynaklar ve kısıtlı süre zarfında belirli maliyetler altında uygun kaynaklar kullanarak, tamamlanması hedeflenen faaliyet ve işler bütünüdür. Firmaların yeni tesis kurmaları, kapasite artırımları, yeni ekipman satın alma kararları, optimum kaynak kullanım ihtiyaçları ve yeni teknolojileri proseslerine entegre etme çalışmaları yatırım projeleri dahilindedir. Yatırım projeleri, genel olarak fizibilite etüdü olarak da tanımlanabilmektedir. Fizibilite çalışmaları sayesinde, gerekli verilerin doğru şartlar altında tutarlı bir şekilde elde edildiği analizler sonucunda karar verme sürecinde sistemsel olarak etkinlik sağlanmaktadır (Kve Eren, 2017). Yatırım projeleri büyük ölçekli projelerdir. Firmalar yatırım projelerini gerçekleştirebilmek için kısıtlı kaynakları, işgücü kapasitelerini büyük ölçekli sermayelerini harcamaktadır. Proje seçiminde kısıtlı olan kaynakların doğru şekilde kullanılması projelerin sürdürülebilirliği açısından önem taşımaktadır (Karaman ve Çerçioğlu, 2015).

Yatırım seçeneğinin belirlenmesi problemi çok sayıda değişken tarafından etkilendiği ve değerlendirmeye alınan kriterlerin hepsinin kendine özgü avantajlarının olduğu süreçte doğru kararlar vermek oldukça zor bir hal almaktadır. Karar sürecinde rol oynayan bütün kriterlerin bir arada incelenmesi ve analiz edilmesi gereğiyle çok kriterli karar verme yöntemleri ortaya çıkmıştır. Bilhassa en uygun yatırım seçeneğinin belirlenmesi gibi satın alma kararı gerektiren durumlar, işletmeler açısından son derece önem arz eden kararlardır. Bu kararlar çoğunlukla işletmeler tarafından sezgiye ya da deneyime dayalı biçimde karar sürecinde rol alan bütün kriterler göz önüne alınarak verilmeye çalışılır. Böylesi önemli bir süreçte sezgisel yaklaşıma kıyasla bilimsel bir yöntem kullanımı karar verme sürecinin doğruluğu bakımından çok daha yararlı olacaktır.

Literatürde en uygun yatırım seçeneğinin değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanan çok sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Yatırım projeleri seçim ve değerlendirilmesi (Macura, Bošković, Bojović ve Milenković, 2011; Macharis ve Bernardini, 2015), enerji yatırım alternatifleri ve yenilenebilir enerji

projeleri değerlendirmesi (Büyüközkan ve Güleriyüz, 2017; Çelikkilek ve Tüysüz, 2016; Ertay, Kahraman ve Kaya, 2013; Maxim, 2014; Stojcetovic, Nikolic, Velinov ve Bogdanovic, 2016; Uysal, 2011; Yazdani-Chamzini, Fouladgar, Zavadskas ve Moini, 2013) örnek olarak verilebilir.

Bu çalışma kapsamında en uygun yatırım seçeneğinin belirlenmesini etkileyen kriterler arasında hem sayısal hem de insani yargıları barındıran sözel kriterin bulunması ve değerlendirilebilmesi adına çok kriterli karar verme yöntemlerinden BAHS ve VİKOR yaklaşımı kullanılmıştır. BAHS ve VİKOR yöntemi ile elde edilen sonuçlar duyarlılık analizi ile desteklenmiş sonuçlarda ortaya çıkabilecek değişimler araştırılmıştır.

Mevcut çalışma ile BAHS ve VİKOR yöntemleri kullanılarak, Demir-Çelik Endüstrisinde bir gerçek hayat problemi olan yatırım projesi değerlendirilmesi gerçekleştirilmiş ve en iyi yatırım alternatifi belirlenmiştir. Böylelikle çalışma kapsamında kullanılan yöntemlerin farklı sektördeki karar problemlerine uygulanabilirliği ortaya konulmuştur. Çalışma bu yönüyle mevcut literatüre katkı sağlayıcı özellik taşımaktadır.

2. Metodoloji

2.1 Bulanık AHS

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), 1980 yıllarında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen bir ÇKKV yöntemidir. BAHS yöntemi, ilk olarak 1983 yılında Van Laarhoven ve Pedrycz tarafından önerilmiştir. Bilimsel literatür incelendiğinde birçok araştırmacı tarafından, çok kriterli ortamda bulanık kümeler teoremi ve hiyerarşik süreç yapısının birleştirildiği, böylelikle en uygun alternatifi belirlemeye veya seçenekleri sıralamaya yönelik çalışmaların ortaya konulduğu görülebilmektedir.

Bu çalışma ile Chang (1996) tarafından önerilen BAHS Mertebe Analizi Yöntemi işlem adımları detaylı biçimde aktararak, en uygun yatırım seçeneğinin belirlenmesi problemine uygulanacaktır. Tablo 1'de gösterilen bulanık önem dereceleri ikili karşılaştırmalarda kullanılmaktadır.

Tablo 1

Önem Derecelerine Ait Dilsel Değişkenler ve Bunlara Karşılık Gelen Bulanık Üçgen Sayılar (Chang, 1996)

Sözel Önem	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit Önem	(1,1,1)	(1/1,1/1,1/1)
	(1,2,3)	(1/3,1/2,1)
Biraz daha fazla önemli	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)
	(3,4,5)	(1/5,1/4,1/3)
Kuvvetli derecede önemli	(4,5,6)	(1/6,1/5,1/4)
	(5,6,7)	(1/7,1/6,1/5)
Çok kuvvetli derecede önemli	(6,7,8)	(1/8,1/7,1/6)
	(7,8,9)	(1/9,1/8,1/7)
Tamamıyla önemli	(8,9,9)	(1/9,1/9,1/8)

Üçgensel bulanık bir sayının üyelik derecesi değerlerine göre lineer ifadesi aşağıda yer almaktadır.

$$\mu(x/\tilde{M}) = \begin{cases} 0 & x < l, \\ (x-l)/(m-l) & l \leq x \leq m, \\ (u-x)/(u-m) & m \leq x \leq u, \\ 0 & x > u. \end{cases} \quad (1)$$

$x = \{x_1, x_2, K, x_n\}$, ölçüt kümesi, $U = \{u_1, u_2, K, u_n\}$ ise bir amaç kümesi olmak üzere, Chang tarafından önerilen BAHS yöntemine göre, her bir ölçüt her bir hedef için ele alınır ve mertebeye analizi yapılır. Bu sayede

her bir ölçüt için m adet mertebeye analiz değerlerine ulaşılır. Bu değerler aşağıdaki gibidir.

$$M_{gi}^1, M_{gi}^2, \dots, M_{gi}^m \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Chang'ın mertebeye analizi aşağıdaki formüllerde verildiği gibi detaylandırılabilir:

Adım 1: i ölçütüne göre bulanık sentetik mertebeye değeri şu şekilde formüle edilir.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (3)$$

m mertebeye analiz değerine formül (4)'de yer alan bulanık toplama işlemi uygulanarak $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ değeri elde edilir.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (5)$$

Sonraki aşamada formül (5)'deki vektörün tersi bulunur.

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (6)$$

Adım 2: $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ 'nin olabilirlik derecesi

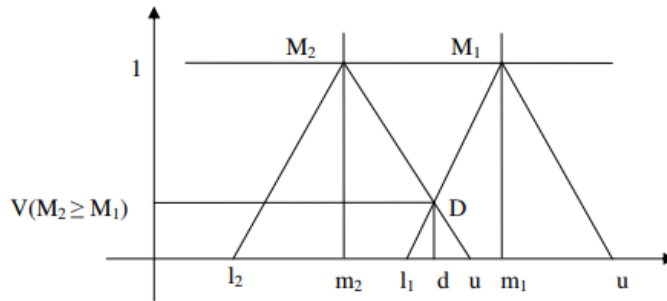
$$V(M_2 \geq M_1) = \sup[\min \mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y)] \quad (7)$$

şekilde tanımlanır. M_1 ve M_2 üçgensel konveks bulanık sayılar olmak üzere,

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) \begin{cases} 1, & \text{eger } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{eger } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{diger} \end{cases} \quad (8)$$

ifadesi elde edilir. $V(M_2 \geq M_1)$ 'i, arasında Şekil 1.'de görüldüğü gibi üyelik fonksiyonlarının maksimum

kesişim noktası D'nin ordinatı yani üyelik fonksiyonu değeridir.



Şekil 1. M_1 ve M_2 Arasındaki En Yüksek Kesişim Noktası (Chang, 1996)

M_1 ve M_2 'yi karşılaştırabilmek adına $V(M_2 \geq M_1)$ ve $V(M_1 \geq M_2)$ değerlerinin her ikisine de ihtiyaç duyulmaktadır.

Adım 3: k tane konveks bulanık sayıda $M_i (i = 1, 2, \dots, k)$ bir konveks bulanık sayının büyük olmasının olabilirlik derecesi şu şekilde tanımlanır.

$$\begin{aligned} &= V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) \\ &= V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } (M \geq M_k)] \end{aligned} \quad (9)$$

$$= \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, \dots, k$$

$$d'(A_i) = \min V(S_i > S_k), \quad (10)$$

olduğunu düşünelim, $k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$ için ağırlık vektörü formül (11)'deki gibidir.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), d'(A_n))^T \quad (11)$$

Burada A_1 ($i = 1, 2, \dots, n$) n sayısı kadardır.

Adım 4: Formül (12)'de normalize edilmiş kriter ağırlıkları yer almaktadır. Formüldeki W , bulanık bir sayı değildir.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), d'(A_n))^T \quad (12)$$

2.2 VİKOR Yöntemi

VİKOR, birbiri ile çelişkili olabilen kriterler için öngörülen ağırlık değerleri altında uzlaşık alternatif sıralaması oluşturmayı ve sıralama yardımıyla uzlaşık çözüme ulaşmayı sağlayan bir çok kriterli karar verme yöntemidir. VİKOR yönteminin esası ideal çözüme yakınlığa dayanmaktadır. Opricovic ve Tzeng, 2004 yılındaki çalışmaları ile ilk kez VİKOR yöntemini

literatüre tanıtarak, karmaşık sistemlerin çok kriterli optimizasyonu için önermişlerdir.

Karar problemi için mümkün olan alternatifler $A_1, A_2, \dots, A_k, \dots, A_m$ olarak sembolize edilmekte ve çözüm doğrultusunda değerlendirilen kriterler $j= 1, 2, \dots, n$ olmak üzere, A_k alternatifinin tatmin düzeyi f_{jk} ve j . kriterin ağırlığı ise w_j olarak ifade edilmektedir. Formül (13)'de VİKOR yönteminin temelini oluşturan L_p ölçütü yer almaktadır.

$$L_k^p = \left\{ \sum_{j=1}^n [w_j (|f_j^* - f_{jk}|) / (|f_j^* - f_j^-|)]^p \right\}^{1/p} \quad 1 \leq p \leq \infty; \quad k=1, 2, \dots, m \quad (13)$$

Formül (14) deki w_j değeri uzman kişiler tarafından belirlenebileceği gibi kriter ağırlıklarının hesaplanmasına imkan tanıyan herhangi bir çok kriterli karar verme yöntemi ile de hesaplanabilmektedir. Bu

noktada ağırlık toplamlarının 1'e eşit olması gerekmektedir.

VİKOR yönteminde $L_k^{p=1} (S_k)$ ve $L_k^{p=\infty} (Q_k)$ notasyonları sıralama ölçütlerini formüle etmek amacıyla kullanılmaktadır.

$$S_k = L_k^{p=1} = \sum_{j=1}^n [w_j (|f_j^* - f_{jk}|) / (|f_j^* - f_j^-|)] \quad (14)$$

$$Q_k = L_k^{p=\infty} = \max_j \left\{ (|f_j^* - f_{jk}|) / (|f_j^* - f_j^-|) \right\} \quad j=1, 2, \dots, n \quad (15)$$

VİKOR yöntemi uygulama adımları aşağıda açıklandığı gibidir (Opricovic ve Tzeng, 2004):

1. Adım: Her bir kriter bakımından en iyi (f_j^*) ve en kötü (f_j^-) değerler belirlenir. Kriter i 'nin fayda yönünde bir kriter olması durumu için;

$$f_j^* = \max_k f_{jk} \quad f_j^- = \min_k f_{jk} \quad j=1, 2, \dots, n \quad (16)$$

2. Adım: Ortalama grup faydasında formül (14) ve maksimal pişmanlık değeri hesaplanırken formül (15)'den yararlanılmaktadır.

3. Adım: İndeks değerlerinin hesaplanmasında aşağıda yer almakta olan formül (17) kullanılmaktadır.

$$R_k = v(S_k - S^*) / (S^- - S^*) + (1-v)(Q_k - Q^*) / (Q^- - Q^*) \quad k=1, 2, \dots, m \quad (17)$$

Burada,

$$S^* = \min_k S_k \quad S^- = \max_k S_k \quad Q^* = \min_k Q_k \quad Q^- = \max_k Q_k;$$

“v” değeri maksimum grup faydasını açıklayan strateji ağırlığını belirtirken, (1-v) karşıt görüşe ait minimum pişmanlık ağırlığını sembolize eder.

4.Adım: S_k , Q_k ve R_k değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak alternatiflerin birbiri içindeki sıralaması yapılır.

5.Adım: A^i alternatifini uzlaşık çözüm olarak önerebilmek için Q (minimum) değeri dikkate alınarak gerçekleştirilen sıralama ile aşağıdaki koşulların sağlanıyor olması gerekmektedir.

Koşul 1 kabul edilebilir avantaj,

$$R(A^j) - R(A^i) \geq DR$$

$DR = 1/(J - 1)$; j alternatif sayısını ifade etmektedir.

Burada A^i , R değerleri dikkate alınarak gerçekleştirilen sıralamaya göre 1., A^j ise 2. sırada yer alan alternatifi ifade eder.

Koşul 2 karar vermede kabul edilebilir istikrar,

S ve / veya Q bakımından incelenen A^i alternatifi sıralamada yer alan en iyi alternatif olmalıdır. Uzlaşık çözümün karar verme sürecinde istikrarlı kabul edilebilmesi adına bu koşullar sağlanmalıdır. Yukarıda açıklanan bu iki koşuldan biri sağlanmadığı durumlarda uzlaşık çözüm kümesi için:

- Koşul 2'nin sağlanmaması durumunda A^i ve A^j alternatifleri,
- Koşul 1'in sağlanmaması durumunda ise A^i, A^j, \dots, A^M alternatifleri ve değeri maksimum M için
- $R(A^M) - R(A^i) < DR$ belirlenir (bu alternatiflerin pozisyonları arasında bir yakınlık bulunmaktadır).

Opricovic ve Tzeng (2007)'e göre, R değerlerine göre gerçekleştirilen sıralamada en iyi alternatif, minimum R değerine sahip olan alternatiflerden biri olarak

tanımlanır (Göktürk, Eryılmaz, Yörür ve Yuluğkural, 2011; Kayahan Karakul ve Özyayın, 2019).

3. Demir Çelik Sektöründe En Uygun Yatırım Seçeneğinin Belirlenmesi

Bu çalışma, Demir Çelik sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede Sevkiyat ve Yükleme biriminde yükleme sürecinde meydana gelen darboğazı ortadan kaldırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. İşletme tarafından bu süreç için üç farklı çözüm alternatifi önerilmiştir. Bu alternatifler sırasıyla; yeni vinç alımı, mevcut vinçlere yeni magnet alımı ile kapasite artırımı ve mevcut durumun korunması şeklindedir.

Çalışmada iki aşamalı bir çözüm süreci önerilmiştir. Birinci aşamada yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi doğrultusunda dikkate alınacak kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterlerin ağırlıklandırılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bu aşamasında BAHS yöntemi kullanılarak kriter ağırlıkları hesaplanmış ve bu ağırlıkları dikkate alan alternatif değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise hesaplanan kriter ağırlıklarının VİKOR yönteminde kullanımı ile çözüm alternatiflerinin ikinci bir yöntem ile değerlendirilmesi sağlanmıştır. Böylece problem çözümüne yönelik en uygun alternatif tespit edilmiş, yönetsel farklılıkların sonuç üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

3.1 En Uygun Yatırım Seçeneğinin Belirlenmesinde Kullanılan Kriterler

Bu çalışmada en uygun yatırım seçeneğinin ortaya konmasında teslimat, esneklik, yenilikçilik, maliyet, ergonomi ve vinç sıklığı ana kriterler olarak belirlenmiştir. Bu kriterlerden ilk dördü yatırım projeleri değerlendirme literatüründe yaygın olarak yer almakta olan kriterlerden seçilmiştir. Vinç sıklığı ve ergonomi ise mevcut probleme özgü kriterlerdir. Çalışma kapsamında dikkate alınan tüm kriter ve alt kriterler Tablo 2'de açıklanmaktadır.

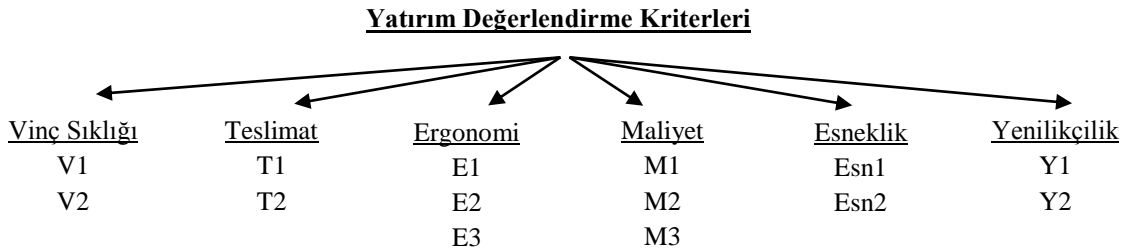
Tablo 2
Yatırım Değerlendirme Problemi Seçim Kriterleri

Ana Kriter	Alt Kriter	Açıklama
Vinç	V1	Vincin tek seferdeki taşıma kapasitesi
Sıklığı	V2	Vincin ortalama malzeme taşıma süresi
Teslimat	T1	Müşterinin satın aldığı ürünleri teslim etmek
	T2	Tedarikçinin sağladığı ürünü hızlı teslim etmesi
Ergonomi	E1	Stoklardaki istif devrilme riskinin ortadan kaldırılması
	E2	Vinç operatörlerinin daha rahat çalışması
	E3	Meslek hastalıklarının önüne geçilmesi
Maliyet	M1	Satın alma maliyeti
	M2	İşletme maliyeti
	M3	İş gücü maliyeti
Esneklik	Esn1	Firmanın acil mal taleplerini kolaylıkla karşılaması
	Esn2	Tedarikçinin müşterinin istediği ürünü kolaylıkla vermesi
Yenilikçilik	Y1	Firmanın yeni ürün/proses tanımlayabilme yeteneği
	Y2	Firmanın yeniliklere açık olması

3.2 BAHS İle Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bu aşamada mevcut durum, yeni magnet alımı ve yeni bir vinç alınması alternatif çözümlerini değerlendirmek

üzere dikkate alınan kriterler uzman görüşlerinden faydalanılarak BAHS yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Probleme ait hiyerarşik yapı Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Probleme Ait Hiyerarşik Yapı

Karar probleminde yer alan değerlendirme kriterlerinin göreceli ağırlıklarının tespit edilmesi amacıyla uzman görüşleri doğrultusunda elde edilen bulanık ikili karşılaştırma matrisi Tablo 3'te verilmiştir. Çalışma kapsamında görüşüne başvurulmuş uzmanlar, Sevkiyat, Yükleme, Üretim Planlama ve Sistem Geliştirme, Çelikhane Makine Bakım birim yöneticileri ve mühendislerinden oluşan 24 kişilik bir ekiptir. Uzman görüşlerinin alınması amacıyla 1-9 likert ölçeğini

kullanan bir anket düzenlenmiştir. Gerçekleştirilen anket sonuçları incelendiğinde uzman görüşleri arasında dikkat çekici fikir ayrılıklarının olmadığı görülmüştür. Her bir uzman görüşü ayrı ayrı alındıktan sonra geometrik ortalama kullanılarak görüşlerin birleştirilmesi sağlanmıştır. Geometrik ortalama sonucunda elde edilen değerler en yakın tamsayıya yuvarlatılarak kullanılmıştır.

Tablo 3
Değerlendirme Kriterleri Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisi

	Vinç Sıklığı	Teslimat	Ergonomi	Maliyet	Esneklik	Yenilikçilik
Vinç Sıklığı	(1,1,1)	(1/7,1/6,1/5)	(3,4,5)	(1/6,1/5,1/4)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)
Teslimat	(5,6,7)	(1,1,1)	(7,8,9)	(1,2,3)	(2,3,4)	(4,5,6)
Ergonomi	(1/5,1/4,1/3)	(1/9,1/8,1/7)	(1,1,1)	(1/8,1/7,1/6)	(1/6,1/5,1/4)	(1/5,1/4,1/3)
Maliyet	(4,5,6)	(1/3,1/2,1/1)	(6,7,8)	(1,1,1)	(4,5,6)	(5,6,7)
Esneklik	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)	(4,5,6)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(2,3,4)
Yenilikçilik	(1,1,1)	(1/6,1/5,1/4)	(3,4,5)	(1/7,1/6,1/5)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)

Tablo 3’de verilen bulanık ikili karşılaştırma matrisi kullanılarak gerçekleştirilen işlemler sonucunda BAHS

sürecinden elde edilen kriter ve alt kriter ağırlıkları aşağıda görüldüğü gibidir.

Tablo 4
Tüm Kriter ve Alt Kriter Ağırlıkları

	Vinç Sıklığı 0,07		Teslimat 0,36		Ergonomi 0,03			Maliyet 0,32			Esneklik 0,14		Yenilikçilik 0,07	
	V1	V2	T1	T2	E1	E2	E3	M1	M2	M3	Esn1	Esn2	Y1	Y2
Nihai Ağırlık	0,64	0,36	0,50	0,50	0,51	0,15	0,35	0,60	0,26	0,15	0,64	0,36	0,36	0,64
	0,045	0,025	0,180	0,180	0,015	0,004	0,010	0,191	0,083	0,047	0,089	0,051	0,025	0,045

Her bir alt kriter için nihai ağırlıkların elde edilmesinden sonra tüm alt kriterler açısından alternatif karşılaştırmaları gerçekleştirilmiştir. V1 alt kriterine

göre alternatiflerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi Tablo 5’te örnek olarak verilmiştir.

Tablo 5
V1 Alt Kriterine Göre Alternatiflerin Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisi

	V1		
	Yeni Vinç	Magnet	Mevcut Durum
Yeni Vinç	(1,1,1)	(1,1,1)	(4,5,6)
Magnet Alımı	(1,1,1)	(1,1,1)	(4,5,6)
Mevcut Durum	(1/6,1/5,1/4)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)

$$W_{V1}=(0,454 \ 0,454 \ 0,093)$$

Her bir kriter ve alt kriterler dikkate alınarak bulanık sayılar ile gerçekleştirilen işlemler sonrasında elde

edilen alt öncelik ağırlık değerleri Tablo 6 –Tablo 11’de görüldüğü gibidir.

Tablo 6
Vinç Sıklığı Kriteri Alt Öncelik Ağırlık Değerleri

Ağırlık	V1 0,64	V2 0,36	Alt Önc. Ağ.
Seçenekler			
Yeni Vinç	0,454	0,424	0,443
Magnet Alımı	0,454	0,424	0,443
Mevcut Durum	0,093	0,151	0,114

Tablo 7
Teslimat Kriteri Alt Öncelik Ağırlık Değerleri

Ağırlık	T1 0,50	T2 0,50	Alt Önc. Ağ.
Seçenekler			
Yeni Vinç	0,333	0,443	0,388
Magnet Alımı	0,333	0,443	0,388
Mevcut Durum	0,333	0,115	0,224

Tablo 8
Ergonomi Kriteri Alt Öncelik Ağırlık Değerleri

Ağırlık	E1 0,51	E2 0,15	E3 0,35	Alt Önc. Ağ.
Seçenekler				
Yeni Vinç	0,424	0,434	0,455	0,436
Magnet Alımı	0,424	0,434	0,455	0,436
Mevcut Durum	0,151	0,132	0,455	0,254

Tablo 9
Maliyet Kriteri Alt Öncelik Ağırlık Değerleri

Ağırlık	M1 0,60	M2 0,26	M3 0,15	Alt Önc. Ağ.
Seçenekler				
Yeni Vinç	0,062	0,067	0,067	0,064
Magnet Alımı	0,372	0,466	0,466	0,410
Mevcut Durum	0,567	0,466	0,466	0,526

Tablo 10
Esneklik Kriteri Alt Öncelik Ağırlık Değerleri

Ağırlık	Esn1 0,64	Esn2 0,36	Alt Önc. Ağ.
Seçenekler			
Yeni Vinç	0,424	0,424	0,424
Magnet Alımı	0,424	0,424	0,424
Mevcut Durum	0,151	0,151	0,151

Tablo 11
Yenilikçilik Kriteri Alt Öncelik Ağırlık Değerleri

Ağırlık	Y1	Y2	Alt Önc. Ağ.
	0,36	0,64	
Seçenekler			
Yeni Vinç	0,553	0,424	0,471
Magnet Alımı	0,296	0,424	0,388
Mevcut Durum	0,151	0,151	0,151

Tüm kriter ve alt kriterler için gerçekleştirilen işlemler sonrasında alternatiflere ait öncelik ağırlık değerleri Tablo 12'deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 12
BAHS Çözümü ile Elde Edilen Alternatif Ağırlıkları

	Vinç Sıklığı	Teslimat	Ergonomi	Maliyet	Esneklik	Yenilikçilik	Öncelik Ağırlığı
	0,07	0,36	0,03	0,32	0,14	0,07	
Yeni Vinç	0,443	0,398	0,446	0,064	0,424	0,471	0,30
Magnet Alımı	0,443	0,398	0,446	0,410	0,424	0,388	0,40
Mevcut Durum	0,114	0,224	0,254	0,536	0,152	0,151	0,30

Tablo 12 incelendiğinde, magnet alımı alternatif çözümünün 0,40 ağırlık değeri ile en iyi alternatif olarak tespit edildiği görülmüştür.

3.3 VİKOR Yöntemi ile En Uygun Yatırım Seçeneğinin Belirlenmesi

Çalışmanın bu aşamasında BAHS yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak en uygun yatırım alternatifinin belirlenmesi amacıyla VİKOR çözümü gerçekleştirilmektedir. Çalışma kapsamında değerlendirilen yatırım alternatifleri yeni vinç ve magnet alımıdır. Mevcut durumun korunması da üçüncü seçenek olarak değerlendirilmiştir. Her bir alternatifin açıklaması aşağıda görüldüğü gibidir.

Yeni Vinç Alımı: Gelen müşteri taleplerine esnek bir şekilde cevap verebilmek adına ve aynı zamanda gelecekteki büyüme hedefleri doğrultusunda ilerleyebilmek için yeni vinç alınması durumu.

Magnet Alımı: Yükleme holünde bulunan dört adet vincin kapasitesinin artırılması için vinçlerde kullanılan magnetlerin yerine taşıma kapasitesi daha fazla olan yeni magnetlerin alınması durumu.

Mevcut Durum: Yükleme holünde bulunan dört adet Demag marka vinç ile çalışılmaya devam edilmesi durumu.

Karar probleminin çözümünde VİKOR yönteminin uygulanabilmesi için öncelikle tüm kriterler açısından her bir alternatifin aldığı değerleri gösteren karar matrisinin oluşturulması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda BAHS yöntemi kullanılarak her bir alternatifin tüm alt kriterler açısından değerlendirilmesi sağlanmıştır. Her bir alt kriter açısından alternatiflerin değerlendirildiği bulanık çözümün durulaştırılması sonucu elde edilen karar matrisi Tablo 13'te yer almaktadır.

Tablo 13
Durulaştırılmış Normalize Karar Matrisi

	V1	V2	T1	T2	E1	E2	E3	M1	M2	M3	Esn1	Esn2	Y1	Y2
Yeni Vinç	0,64	0,16	0,33	0,26	0,31	0,52	0,33	0,72	0,59	0,59	0,17	0,24	0,72	0,63
Magnet	0,23	0,68	0,33	0,63	0,61	0,32	0,33	0,22	0,21	0,21	0,72	0,61	0,17	0,26
Mevcut Durum	0,13	0,15	0,33	0,11	0,08	0,16	0,33	0,06	0,21	0,21	0,11	0,15	0,11	0,11

Tablo 13'te yer alan karar matrisi verileri firmada çalışan yönetici, mühendis ve operatörlerden oluşan karar verici grup tarafından anket yöntemi uygulanarak elde edilmiştir.

VİKOR yönteminin uygulanmasında 1. Adım Tablo 13'teki verilerin kullanımı ile her bir değerlendirme kriteri bakımından en iyi ve en kötü değerlerin belirlenmesidir. Tespit edilen en iyi ve en kötü değerler Tablo 14'te verilmektedir.

Tablo 14

Her Kriter için En İyi (f^*) ve En Kötü (f^-) Değerler

	V1	V2	T1	T2	E1	E2	E3	M1	M2	M3	Esn1	Esn2	Y1	Y2
f^*	0,64	0,15	0,33	0,63	0,61	0,52	0,33	0,06	0,21	0,21	0,72	0,61	0,72	0,63
f^-	0,13	0,68	0,33	0,11	0,08	0,16	0,33	0,72	0,59	0,59	0,11	0,15	0,11	0,11

VİKOR yönteminin adımlarından ikincisi, her bir seçenek için en çok pişmanlığın (Q) ve ortalama grup faydasının (S) hesaplanmasıdır. Bu değerlerin hesaplanmasında verilen formüllerden (14) ve (15) yararlanılmıştır.

3. Adım her bir seçenek için indeks değerleri hesaplanmasıdır. 3. Adımın uygulanırken Formül (17)'den faydalanılmaktadır. Karar vericinin risk düzeylerindeki değişimin seçim sonucu üzerindeki etkisini görebilmek için, formül (17)'de maksimum grup

faydasını sağlayan " v " değeri sırasıyla 0, 0,25, 0,5, 0,75 ve 1 değerleri olarak değiştirilmiş ve böylece beş farklı R değeri bulunmuştur. " v " değerleri değiştikçe elde edilen R_k değerlerine göre alternatiflerin sıralanmasında da değişiklik oluşması olasıdır. Farklı karar ortamlarında doğru karar verebilmek için " v " değerlerinin çözüm sonuçları üzerindeki etkisinin araştırılması önem arz etmektedir. Hesaplama sonucunda ulaşılan değerler Tablo 15'te görülmektedir.

Tablo 15

Yatırım Alternatifleri İçin S_k , Q_k ve Farklı " v " Değerleri İçin R_k Değerleri

			(v= 0)	(v= 0.25)	(v= 0.5)	(v= 0.75)	(v= 1)
	S_k	Q_k	R_k	R_k	R_k	R_k	R_k
Yeni Vinç	0,581	0,193	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Magnet	0,165	0,046	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mevcut Durum	0,458	0,182	0,922	0,867	0,813	0,758	0,704

4. Adım aşamasında her bir alternatif için hesaplanmış olan S_k , Q_k ve farklı R_k değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak uzlaşık çözüm değerlendirmesinde kullanılacak sıralama listelenmiştir. Sıralama sonuçları

Tablo 16'da görüldüğü gibidir. Sıralama sonuçları incelendiğinde karar vericinin maksimum grup faydası etkisini farklı seviyelerde ele alması durumunda da sıralamanın değişmediği görülmüştür.

Tablo 16

 S_k , Q_k ve Farklı R_k Değerleri Küçükten Büyüğe Doğru Sıralanışı

S_k değerine göre sıralama	Magnet < Mevcut Durum < Yeni Vinç
Q_k değerine göre sıralama	Magnet < Mevcut Durum < Yeni Vinç
R_k değerine göre sıralama (v=0)	Magnet < Mevcut Durum < Yeni Vinç
R_k değerine göre sıralama (v=0.25)	Magnet < Mevcut Durum < Yeni Vinç
R_k değerine göre sıralama (v=0.50)	Magnet < Mevcut Durum < Yeni Vinç
R_k değerine göre sıralama (v=0.75)	Magnet < Mevcut Durum < Yeni Vinç
R_k değerine göre sıralama (v=1)	Magnet < Mevcut Durum < Yeni Vinç

5. Adımda uzlaşık çözüm için önerilen alternatif sıralaması değerlendirilmektedir. Yöntem tarafından önerilen uzlaşık çözümün kabul edilebilir olması için iki ayrı koşulun sağlanması gerekmektedir.

Koşul 1 Değerlendirme

Kabul Edilebilir Avantaj

$$R(A'') - R(A') \geq DR$$

A'' : R_{min} 'e göre sıralanan 2. Alternatif

A' : R_{min} 'e göre sıralanan 1. alternatif

DR Aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$DR = 1/(J - 1) \quad J: \text{Alternatif Sayısı}$$

$$DR = 0,5$$

$$R(Mevcut) - R(Magnet) \geq 0,5$$

$V = 0, 0,25, 0,50, 0,75, 1$ Durumları için, tüm seçenekler Koşul 1'i sağlamaktadır.

Magnet alımı mevcut durumun korunmasına göre kabul edilebilir avantajı olan seçenek olması ile birlikte magnet alımı mevcut durum ile yer değiştirilemez öneme sahiptir.

Koşul 2 Değerlendirme

Karar Vermede Kabul Edilebilir İstikrar

$A' S ve/veya R$ değerine göre alternatiflerin en iyisidir.

En iyi R değerine sahip Magnet seçeneği, S değeri açısından da en iyi skora sahip olduğundan Koşul 2 sağlanmıştır. Dolayısıyla, tüm farklı maksimum grup faydası değerleri dikkate alındığında işletme açısından en iyi karar magnet alınması alternatifini tercih etmek olacaktır.

4. Sonuç ve Değerlendirmeler

Bu çalışmada en uygun yatırım seçeneğinin belirlenmesi için bulanık mantığa dayanan bir yöntem uygulanmıştır. Yatırım seçeneklerinin belirlenmesi ile ilgili mevcut bilgiler genellikle spesifik, belirsizlik arz eden ve değişken yapıdadır. Bahsi geçen belirsizlikleri ve değişkenlik arz eden durumları mümkün olduğunca düşük seviyeye indirmek, karar verme aşamasında bulanık mantık destekli yaklaşımlar kullanılarak mümkün olabilmektedir. Benzer özellikler gösteren bu çalışmada da en uygun yatırım seçeneğinin belirlenmesinde BAHS ve VİKOR yöntemi birlikte kullanılmıştır. Yatırım seçenekleri arasında bir değerlendirme yapılırken çok sayıda çelişen kriterler dikkate alınabilmektedir. Bu kriterlere göre yatırım

seçeneklerinin sayısal değerler ile tanımlanması yerine eşit önem, biraz kuvvetli, kuvvetli, çok kuvvetli, tamamıyla önemli gibi sözel değişkenler kullanılmıştır. Böylece yatırım seçeneklerinin değerlendirilmesi birbiri arasında daha kolay ve daha doğru sonuçlara olanak sağlamıştır.

Üzerinde çalışılan karar probleminde, öncelikle vinç sıklığı, teslimat ergonomi, maliyet, esneklik ve yenilikçilik olarak tespit edilen 6 ana kriter ve bunlara bağlı 14 alt kriter ile AHS modeli tanımlanmıştır. BAHS yöntemi ile ana kriter ve alt kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Böylelikle VİKOR çözümünde kullanılacak 14 kriterin ağırlıkları hesaplanmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda "firmanın acil mal taleplerini kolaylıkla karşılaması" alt kriteri 0,089 ile en yüksek ağırlık değerini alırken, 0,004 değeri ile "vinç operatörlerinin daha rahat çalışması" alt kriteri en düşük ağırlık değerine sahiptir. Çalışmada farklı "v" değerleri dikkate alınarak 5 farklı çözüm ortaya konmuştur. v değerinin aldığı tüm farklı değerler için magnet alımı belirlenen kriterler ve ağırlıkları doğrultusunda en uygun yatırım seçeneği olarak önerilmektedir.

Çalışma kapsamında öncelikle BAHS yöntemi kullanılarak alternatif çözümlerin değerlendirilmesi sağlanmıştır. BAHS yöntemi kullanılarak elde edilen çözüm sonuçlarına göre Magnet alımı 0,40 ağırlık değeri ile en iyi alternatif olarak seçilmiştir.

VİKOR yöntemi ile gerçekleştirilen çözümde Koşul 1 açısından inceleme yapıldığında; magnet alımı ile mevcut durumunun korunması alternatifleri arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır. Magnet alımı mevcut durumun korunmasına göre kabul edilebilir avantajı olan seçenektir. Magnet alımı mevcut durum ile yer değiştirilemez öneme sahiptir.

Koşul 2 açısından yapılan incelemede ise, en iyi R değerine sahip Magnet alımı alternatifi, S değerinde de en iyi skoru elde etmiş olduğu için koşul 2 sağlanmıştır. Dolayısıyla işletme için en uygun yatırım seçeneği magnet alımı alternatifine yatırım yapmaktır.

Her iki yöntem ile elde edilen çözüm sonuçları incelendiğinde BAHS ve VİKOR yöntemlerine ait sonuçların birbirini destekler nitelikte olduğu görülmektedir. BAHS çözümüne göre magnet alımı alternatifi 0,40 ağırlık değeri ile birinci sırada yer alırken diğer iki alternatifin 0,30 değeri ile eşit öneme sahip olduğu görülmüştür. VİKOR çözümünde ise magnet alımı alternatifi ilk sırada yer alırken mevcut durum ve yeni vinç alımı alternatifleri sırası ile ikinci ve üçüncü alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kaynaklar

- Büyüközkan, G. & Gülerüz, S. (2017). Evaluation of renewable energy resources in Turkey using an integrated MCDM approach with linguistic interval fuzzy preference relations. *Energy*, 123, 149-163. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.137>
- Chang, D.Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95(3), 649– 655. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2)
- Çelikkbilek, Y. & Tüysüz, F. (2016). An integrated grey based multi-criteria decision making approach for the evaluation of renewable energy sources. *Energy*, 115, 1246-1258. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.091>
- Ertay, T., Kahraman, C., & Kaya İhsan. (2013). Evaluation of renewable energy alternatives using MACBETH and fuzzy AHP multicriteria methods: the case of Turkey. *Technological and Economic Development of Economy*, 19(1), 38-62. doi: <https://doi.org/10.3846/20294913.2012.762950>
- Göktürk, İ., Eryılmaz, A., Yörür, B. ve Yuluğkural, Y. (2011). Bir işletmenin tedarikçi değerlendirme ve seçim probleminin çözümünde AAS ve VIKOR yöntemlerinin kullanılması. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (025), 61-74. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/dpufbed/issue/36005/404615>
- Karaman, B. ve Çerçioğlu, H. (2015). 0-1 hedef programlama destekli bütünleşik Ahp–Vikor yöntemi: Hastane yatırımı projeleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(4), 567-576. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/262287>
- Kayahan Karakul, A. ve Özyayın, G. (2019). Topsis ve VIKOR Yöntemleri ile Finansal Performans Değerlendirmesi: Xelkt Üzerinde Bir Uygulama. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 60, 68-86. Erişim adresi: <https://hdl.handle.net/20.500.12438/2502>
- Kumar, S. (2006). Integrated project evaluation and selection using multiple attribute decision-making technique. *International Journal of Production Economics*, 103 (1), 90-103. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.11.018>
- Macharis, C. & Bernardini, A. (2015). Reviewing the use of multi-criteria decision analysis for the evaluation of transport projects: Time for a multi-actor approach. *Transp. Policy*, 37, 177-186. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.11.002>
- Macura, D., Boškovi'c, B., Bojovi'c, N. & Milenkovi'c, M. (2011). A model for prioritization of rail infrastructure projects using ANP. *Int. J. Transp. Econ.*, 38, 285-309.
- Maxim, A. (2014). Sustainability assessment of electricity generation technologies using weighted multi-criteria decision analysis. *Energy Policy*, 65, 284-297. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.09.059>
- Opricovic, S. & Tzeng, G.H. (2004). Compromise solution by MCDM Methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156, 445-455. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
- Opricovic, S. & Tzeng, G.H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with other outranking methods. *European Journal of Operational Research*, 178, 514-529. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.01.020>
- Stojcetovic, B., Nikolic, D., Velinov, V. & Bogdanovic, D. (2016). Application of integrated strengths, weaknesses, pportunities, and threats and analytic hierarchy process methodology to renewable energy project selection in Serbia. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 8(3), 035906. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4950950>
- Uçakçioğlu, B. ve Eren, T. (2017). Hava savunma sanayinde yatırım projelerinin çok ölçütlü karar verme ve hedef programlama ile seçimi. *Journal of Aviation*, 1(2), 39-63. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/386295>
- Uysal, F. (2011). Türkiye'de yenilenebilir enerji alternatiflerinin seçimi için Graf Teori ve Matris Yaklaşım. *Ekonometri ve İstatistik Dergisi*, 13, 23. Erişim adresi: <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/94939>
- Van Laarhoven, P.J.M. & Pedrycz, W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 11, 229-241. doi: [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(83\)80082-7](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(83)80082-7)
- Yazdani-Chamzini, A., Fouladgar, M.M., Zavadskas, E.K. & Moini, S. H.H. (2013). Selecting the optimal renewable energy using multi criteria decision making. *Journal of Business Economics and Management*, 14(5), 957-978. doi: <https://doi.org/10.3846/16111699.2013.766257>