



Bir kablo firması için bulanık CRITIC ve bulanık MAIRCA ile ekstrüder hattı seçimi

Extruder line selection with fuzzy CRITIC and fuzzy MAIRCA for a cable company

Aliye Ayça SUPÇİLLER^{1*} , Tuğba ÖKTEM¹ 

¹Endüstri Mühendisliđi Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.
asupciller@pau.edu.tr, toktem96@gmail.com.tr

Geliş Tarihi/Received: 31.01.2023
Kabul Tarihi/Accepted: 07.06.2023

Düzeltilme Tarihi/Revision: 22.05.2023

doi: 10.5505/pajes.2023.47190
Özel Sayı Makalesi/Special Issue Article

Öz

Kablo sektörü, yüksek hammadde maliyetleri ile üretim gerçekleştirmektedir. Ekstrüder hatları; ürün kalite ve maliyetleri açısından fark yaratmaktadır. Bu nedenle en iyi hattın seçimi önem arz etmektedir. Bu çalışmada bir kablo firmasında üretime alınacak yeni bir yalıtkan malzeme için dört ekstrüder hattı ele alınmıştır. Tüm alternatifler için toplam yedi değerlendirme kriteri belirlenmiştir. Pisagor bulanık ve üçgensel bulanık sayı kümelerinde tanımlı dilsel ifadeleri kullanarak firma üretim yöneticilerinden oluşan karar verici grubu tüm alternatifleri, kriterler altında değerlendirmiştir. Değerlendirmeler neticesinde, Pisagor bulanık sayılar kullanılarak öncelikle Bulanık CRITIC yöntemi ile objektif kriter ağırlıkları belirlenmiş ardından üçgensel bulanık sayıların kullanıldığı Bulanık MAIRCA yöntemi ile ekstrüder hattı seçimi gerçekleştirilmiştir. Kriterlerin, elde edilen sonuçlar üzerindeki etkisini ölçmek için duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Kriterlerin ağırlıklandırılması adımında enerji kullanımı kriteri ön plana çıkmıştır. HFFR ürününün mamule dönüştürülmesi için en uygun hattın 'Bobin' olduğu belirlenmiştir. Çalışma ile birlikte uygulama yapılan firma için öncelikli hat tanımlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Çok kriterli karar verme, MAIRCA, CRITIC, Pisagor bulanık küme, Üçgensel bulanık küme.

Abstract

The cable industry carries out production with high raw material costs. Extruder lines make a difference in terms of product quality and costs. Therefore, the selection of the best line is important. In this study, four extruder lines were considered for a cable company for the production of a new insulation material. A total of seven evaluation criteria were determined for all alternatives. The decision-making group, consisting of production managers of the company, evaluated all alternatives under the criteria using linguistic expressions defined in Pythagorean fuzzy and triangular fuzzy number sets. As a result of the evaluations, objective criterion weights were determined using the Fuzzy CRITIC method with Pythagorean fuzzy numbers, and then the extruder line selection was carried out using the Fuzzy MAIRCA method with triangular fuzzy numbers. Sensitivity analyses were conducted to measure the impact of criteria on the obtained results. In the step of weighting the criteria, the energy usage criterion stood out. It was determined that the "Bobin" line is the most suitable for the conversion of the HFFR product into the final product. The study identified the priority line for the company where the application was carried out.

Keywords: Multi-Criteria decision making, MAIRCA, CRITIC, Pythagorean fuzzy sets, Triangular fuzzy sets.

1 Giriş

Üretim yapan işletmelerde, hammadde ve üretim maliyetlerinde sağlanan avantajlar pazarda rekabeti güçlendirmektedir. İşletmeler müşterileri için memnuniyeti üst seviyede tutma hedefinin yanı sıra, değer yaratmayan her bir mecburi üretim adımını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Kablo üretiminde kullanılan değerli maden ve kimyasalların, fiyat rekabetini güçleştirmesinden kaynaklı olarak, sektörde üretim teknoloji ve teknikleri ile avantaj sağlama ihtiyacı doğmaktadır.

Üretimde kullanılan teknoloji, metotlar ve uygun makine parkuru seçimleri ile pazardaki yerin korunması hedeflenmektedir. Kablo üretiminde; iletken teller üzerine yalıtkan malzemenin kaplandığı hatlar 'Ekstrüder Hattı' olarak adlandırılmaktadır. Bu hatlar; hız, yalıtkan malzeme cinsi ve vida tasarımı özelliklerine bağlı olarak seçilmektedir. Makinelerin özelliklerine bağlı olarak, ürün kalitesi, enerji kullanımı, hazırlık süreleri gibi değişkenlik gösteren durumlar

kesin değerler ya da günlük ifadeler ile değerlendirilebilmektedir. Bazı kriterlerin daha az olması sağlanırken maliyet kriteri ise artabilmektedir. Bu şekilde çelişen özelliklere bağlı olarak hatların değerlendirilerek en iyi ekstrüder hattının seçimi problemi de çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemidir. Ekstrüder hattı seçimi gibi önceden belirlenen alternatifleri birden fazla kritere göre değerlendirip arasından en uygununu seçme problemleri ÇKKV yöntemleri ile çözümlenebilmektedir.

ÇKKV yöntemleri, birçok bağımsız ve çelişen etmenin ne derecede etkili olduğunu göz önüne alarak, probleme ve etmenlere göre en uygun alternatifin seçilmesine olanak yöntemlerdir [1]. ÇKKV yöntemleri, kendi içerisinde ağırlıklandırma için kullanılan yöntemler ve sınıflandırma için kullanılan yöntemler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Ağırlıklandırma yöntemleri ile kriterlerin önem dereceleri objektif olarak belirlenirken, sıralama yöntemleriyle en iyi alternatif belirlenmektedir [2]. ÇKKV'de ele alınan değerlendirme faktörlerinde belirsizliğin bulunduğu

*Yazışılan yazar/Corresponding author

durumlarla sıklıkla karşılaşılmaktadır ve bu durumlarda dilsel ifadeler kullanılmaktadır. Ele alınan kriterlerin kesin olarak değerlendirilememesi durumlarında belirsizliğin ortadan kaldırılabilmesi amacıyla bulanık ÇKKV (BÇKKV) yöntemleri kullanılmaktadır [3].

Literatür incelendiğinde, ÇKKV yöntemlerinin makine-ekipman seçimi problemlerinde sıklıkla kullanıldığı görülmektedir [4]. İncelenen çalışmalarda Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) ve bulanık TOPSIS (BTOPSIS) yöntemlerinde yoğunlaşma görülmektedir. Makine-ekipman seçimi problemleri için genellikle satın alma kararları üzerinde gerçekleştirilen çalışmalara rastlanmıştır. Projeye uygun makine seçimi için gerçekleştirilen çalışmalar da incelendiğinde literatürde ÇKKV yöntemleri ön planda yer almaktadır.

Bu çalışmada, bir kablo firmasında üretime alınacak olan yeni yalıtkan malzemesi için en uygun ekstrüder hattının seçimi için yeni bir hibrit yöntem sunulması amaçlanmıştır. Çalışmada yararlanılan iki yöntem bulanık olarak ilk kez birlikte kullanılmış ve ele alınan problem için farklı bir sektör örneği gerçekleştirilmiştir. Ekstrüder hattı seçimi bir makine-teçhizat seçimi örneği olup birçok çelişen kriterin değerlendirilmesi gerekir. Bu nedenle bu çalışma ÇKKV problemi olarak ele alınmıştır. Kriterlerin değerlendirilmesinde ortaya çıkan karmaşıklığın üstesinden gelmek için bulanık sayı kümelerinden faydalanılmıştır. Problemin çözümünde, karar verici ekibi ile belirlenen kriterlerin ağırlıkları, Bulanık CRITIC (BCRITIC) yöntemi ile belirlenmiştir. Bulanık MAIRCA (BMAIRCA) yöntemi ile alternatifler kriterlere göre değerlendirilerek en uygun ekstrüder hattı seçimi gerçekleştirilmiştir. BMAIRCA yöntemi sonuçları, literatürde sıklıkla rastlanılan BTOPSIS yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, firmaya sunulmuş ve uzman grup onayı ile uygulamaya geçilmiştir. Bu çalışma ile literatüre aşağıdaki katkıların sağlanması amaçlanmıştır:

1. Makine-teçhizat seçim problemlerine yeni bir bakış açısı sunmak,
2. Hat seçimi için kriter belirleme ve önceliklendirme,
3. BCRITIC ve BMAIRCA yöntemlerinden oluşan bir ÇKKV yaklaşımı sunmak,
4. ÇKKV problemleri için farklı bir sektör örneği sunmak.

Çalışmanın devamında literatür taraması, üçüncü bölümünde bulanık küme yapısı, dördüncü bölümünde BCRITIC ve BMAIRCA yöntemleri, bu başlıkları takiben beşinci bölümünde uygulama ve duyarlılık analizi, altıncı bölümünde ise elde edilen nihai sonuçlar verilmiştir.

2 Literatür taraması

2.1 ÇKKV ve BÇKKV ile gerçekleştirilen makine-ekipman seçimi çalışmaları

Makine-ekipman seçimindeki 2021'den günümüze kadar olan yeni çalışmalar incelendiğinde, sıklıkla AHP yönteminin kullanıldığı ve çalışmaların, makine satın alma üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Uzun ve Kazan [5], gemi inşası için yedi ana makine içinden en uygun olanını 12 kriterle bağlı olarak AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerini kullanarak seçmiştir. Ransikarbum ve Khamhong [6], endüstriyel yazıcı seçimi için beş alternatifi, üç ana 11 alt kriter ile değerlendirmiştir. Çalışmada üçgensel bulanık sayılarla (ÜBS)

entegre edilmiş bulanık AHP ve BTOPSIS yöntemlerinden yararlanılmışlardır. Özdağoğlu ve diğ. [7], hastalıkların teşhisinde önem arz eden tahlil ve tetkiklerin güvenilirliğine istinaden en uygun laboratuvar cihazı seçimi için çalışma gerçekleştirmişlerdir. İki alternatif, birbiri ile çelişen dokuz kriterle bağlı olarak ÜBS'nin kullanıldığı bulanık VIKOR ve bulanık EDAS yöntemleri ile değerlendirmişlerdir. Kurtay ve diğ. [8], plastik boru ve kaynak makinesi seçimi için uzman grup tarafından kriterlerin belirlenmesinin ardından, objektif kriter ağırlıklarını AHP yöntemi ile elde etmiş ve beş alternatif için Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemi ile sıralama gerçekleştirmişlerdir. Madic ve Radovanovic [9], rekabetçi küresel pazarda şirketlerin uygun seçimler için sistematik bir yaklaşıma ihtiyaç duyduğu düşüncesiyle yaptıkları çalışmada, yedi lazer kesim makinesini yedi kriter altında değerlendirmişlerdir. Kriterlerin göreceli ağırlıklarını hesaplamak için AHP kullanırken, sıralama için COPRAS ve OCRA yöntemlerinden yararlanılmışlardır. Elde edilen sonuçları literatürde sıklıkla karşılaşılan TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile karşılaştırmışlardır. Goswami ve Behera [10], malzeme taşıma ekipmanı seçimi için yaptıkları çalışmada, küresel pazarda verimlilik ve üretkenlik konusunda fayda sağlamak, maliyetli süreci minimize etmek amacıyla yola çıkmışlardır. Çalışmada ele alınan altı kriterin ağırlıkları entropi ile hesaplanmış, dört alternatifin sıralaması ise COPRAS ve ARAS yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sıralama sonuçları, literatürde yer alan altı farklı ÇKKV yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Tümççek ve Tolun [11], bir depo tesisine ambalaj makinesi seçimi için kriterlerin ağırlıklandırılmasında Analitik Ağ Süreci (AAS) yönteminden, alternatiflerin değerlendirilmesi adımıyla ise GİA yönteminden yararlanmıştır. Rashid ve diğ. [12], endüstriyel robot seçimi için beş alternatif ve dört kriter kullanarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, kriter göreceli ağırlıkları için BWM yöntemi kullanılırken, sıralama için EDAS yönteminden faydalanmışlardır. Yang ve diğ. [13], tünel delme makinesinde kullanılacak olan kesici uç seçimi için BÇKKV yöntemlerinden faydalanmışlardır. Çalışmada uzman grup tarafından belirlenen kriter ağırlıkları, Fermatean bulanık sayılara entegre edilmiş AHP yöntemi ile hesaplanmış, alternatif değerlendirme aşamasında radar şemasından faydalanılmıştır. Veskovic ve diğ. [14], konteyner terminallerinde günlük işlem sayılarını optimize etmek amacıyla istifleyici seçimi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada BÇKKV yöntemlerinden ÜBS ile entegre edilmiş FUCOM yöntemi ile kriterlere ait ağırlıklar hesaplanırken, aynı bulanık sayı kümesi ile entegre MARCOS yöntemi kullanılarak alternatifler sıralanmıştır. Raja ve Rajan [15], 3D baskı makinesi için BÇKKV yöntemlerini kullandıkları çalışmalarında ÜBS tabanlı TOPSIS yönteminden faydalanmışlardır. Çalışma ile birlikte makinelerin değerlendirilmesi için gerekli birçok kriter sunulmuştur.

2.2 CRITIC ve MAIRCA yöntemi ile gerçekleştirilen çalışmalar

Baczkiwicz ve diğ. [16], kullanıcılar için elektronik ticarete en uygun ürünü belirleme karmaşıklığından yola çıkarak ÇKKV tabanlı metodik tavsiye sistemi üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında, ele alınan on iki kriter için objektif ağırlıkları belirlemede CRITIC yönteminden faydalanırken yirmi alternatifin sıralanması için MAIRCA yöntemini kullanmışlardır. Bakır ve diğ. [17], havayolları için önemli bir alan olan zemin işleme hizmetleri için uygun güvenilirlik sağlanan malzeme seçim problemini BÇKKV ile ele almışlardır. Beş kriterin ağırlıklandırılmasında Best-Worst Metot (BWM)

kullanılırken, alternatiflerin değerlendirilmesi için ÜBS tabanlı BMAIRCA yöntemini kullanmışlardır. Peng ve diğ. [18], sistem verimliliğini arttırmak adına, önbellek değişim ilkesi çalışmalarında BÇKKV yöntemlerinden Pisagor Bulanık Sayı (PBS) tabanlı BCRTIC ve COCOSO kullanmışlardır. Han ve Rani [19], sürdürülebilir tedarikçi zincirinde blok zincir teknolojisinin benimsenmesi önündeki engelleri değerlendirmek için PBS tabanlı BCRTIC yönteminden faydalanmışlardır.

3 Bulanık mantık kavramı ve bulanık kümeler

Bulanık mantık kavramı ve bulanık küme teorisi ilk olarak Zadeh tarafından 1965 yılında literatüre kazandırılmıştır [20]. Bulanık mantık teorisi, günlük yaşantıda sıklıkla karşılaşılan, bilginin eksik ve göreceli olduğu, güç ve karışık durumlardan yola çıkılarak, insan yargı ve değerlendirmelerini matematiksel olarak modelleyebilmek amacıyla geliştirilmiştir [21].

Çok karmaşık, belirsizlik içeren değerlendirme durumlarında bulanık mantığın insan düşünüş tarzına yakın olması ve davranışları formüle edebilmesi, geleneksel ÇKKV yöntemlerine göre daha fazla avantaj sağlamaktadır. Bulanık mantık çözümleri hızlı ve düşük maliyetlidir. Ancak belirli bir biçime ve iyi metriklerle sahip olmaması, ne zaman kullanılması gerektiğinin kestirilememesi dezavantajları arasında sayılabilmektedir.

Kesin bir küme ile bulanık kümelerin arasındaki fark, üye olma ve olmama durumundan kaynaklanmaktadır. Bulanık kümede 0 ve 1 değerleri yer alırken, [0, 1] aralığında yer alan herhangi bir değer ile değerlendirme yapılabilmektedir. Bulanık kümelerin sonsuz sayıda alt kümesi bulunmaktadır. Bulanık sayıların, işlem karmaşıklığını minimize etmek adına özel bulanık sayılar geliştirilmiştir [21].

Zadeh tarafından 20. yüzyılın ortalarında önerilen ÜBS, işlem kolaylığı ve hızlığı sağlaması nedeniyle karar vericiler tarafından sıklıkla tercih edilmektedir [22]. Sezgisel bulanık kümelerin uzantısı olan PBS, 2013 yılında Yager tarafından önerilmiştir ve karar vericilere geniş değerlendirme ölçeği sağlaması nedeniyle tercih edilmektedir [21].

3.1 Pisagor bulanık küme

Pisagor Bulanık Kümeler (PBK), Sezgisel Bulanık Kümelerin uzantısı olarak ve karar vericilerin ifade olanaklarını artırabilmek için daha geniş bir alana sahip olabilmeleri düşüncesiyle Yager tarafından 2013 yılında önerilmiştir. Sezgisel Bulanık Kümelerin belirsizliği ele almada yetersiz olduğu zamanlarda kullanım alanı genişliği sağlayan PBK'ler daha güçlü ve esnek yapıdır [21].

PBK'ler üye olma derecesi ve üye olmama derecesi ile nitelendirilir. Üye olma ve üye olmama derecelerinin karelerinin toplamının bir veya birin altında olması şartı bulunmaktadır. Bu şart sayesinde karar vericilerin üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamının 1'i aşmasına izin verilmemektedir [21]. PBK'ler Denklem (1) ile tanımlanmaktadır:

$$P = \{x, P(\mu_p(x), v_p(x)) | x \in X\} \quad (1)$$

Burada $\mu_p: X \rightarrow [0,1]$ ile üye olma derecesini, $v_p: X \rightarrow [0,1]$ ile üye olmama derecesini tanımlamaktadır. Böylece;

Her $x \in X$ için,

$$(\mu_p(x)^2 + v_p(x)^2) \leq 1 \quad (2)$$

formülü geçerli hale gelmektedir.

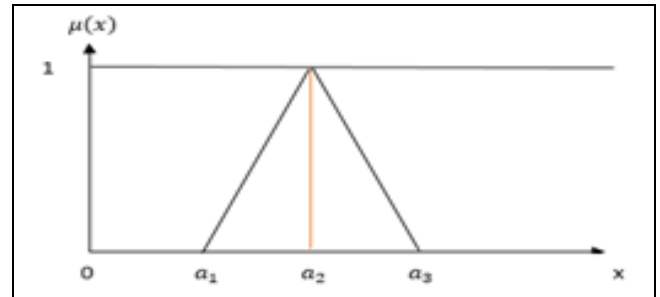
Belirsizlik derecesi (tereddüt derecesi - $\pi_p(x)$) Denklem (3) ile hesaplanmaktadır:

$$\pi_p(x) = \sqrt{1 - ((\mu_p(x))^2 - (v_p(x))^2)} \quad (3)$$

3.2 Üçgen bulanık küme

Üçgen Bulanık küme, işlem kolaylığı sağlaması ve gerektiğinde sezgiselleştirilebilmesi karar vericiler tarafından tercih sebebi olmaktadır.

a_1, a_2, a_3 olarak gösterilen ÜBS'nin a_1 , soldaki en küçük değerini, a_2 , olabilecek optimal değeri ve a_3 ise en yüksek değerini ifade etmektedir. ÜBS için tanımlanan değerler Şekil 1'de gösterilmiştir. A bulanık sayısının üyelik fonksiyonu değeri Denklem (4) ile ifade edilmektedir [23].



Şekil 1. Üçgen bulanık sayıların üyelik fonksiyonu [23].

Figure 1. Triangular fuzzy numbers membership function.

$$\begin{aligned} &0, & x < a_1 \\ &\frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 < x < a_2 \\ &\frac{a_1 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 < x < a_3 \\ &0, & x > a_3 \end{aligned} \quad (4)$$

3.3 Dilsel değerlendirme verileri

Bazı şartlarda, gerçek hatta karşılaşılan problemleri, kesin değerler ile değerlendirmek mümkün olmamaktadır. Tercih ve yorumları kapsayan insani yargılar, genellikle belirsizdir ve bu yargılar için parametreler belirlenmemektedir. Bu durumlarda, karar problemlerinde kriterlerin ve alternatiflerin değerlendirilmesi için dilsel terimler kullanılmaktadır [24]. Dilsel değerlendirme terimleri, karmaşık gerçek hayat problemlerinin çözümünde avantaj sağlamaktadır. Kriter ve alternatiflerin niteliksel özelliklerinin performans derecelendirmeleri Tablo 1 ve Tablo 2'de örneklendirilmektedir.

Tablo 1. Dilsel terimler ve PBS karşılıkları [21].

Table 1. Linguistic terms and their corresponding PFN representations.

Dilsel Terimler	Bulanık Sayı Karşılıkları (u;v)
Çok Yüksek (ÇY)	(1;0)
Yüksek (Y)	(0.8;0.2)
Orta Yüksek (OY)	(0.6;0.4)
Orta (O)	(0.5;0.5)
Orta Düşük (OD)	(0.4;0.6)
Düşük (D)	(0.2;0.8)
Çok Düşük (ÇD)	(0;1)

Tablo 2. Dilsel terimler ve ÜBS karşılıkları [21].

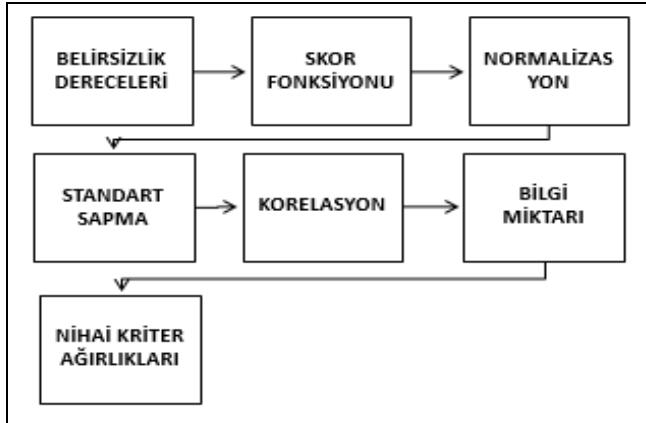
Table 2. Linguistic terms and their corresponding TFN representations.

Dilsel Terimler	Bulanık Sayı Karşılıkları (l;m;n)
Çok Zayıf (ÇZ)	(0;1;2)
Zayıf (Z)	(1;2;3)
Ortalama Zayıf (OZ)	(2;3;5;5)
Eşit (E)	(4;5;6)
Ortalama İyi (Oi)	(5;6;5;8)
İyi (İ)	(7;8;9)
Çok İyi (Çİ)	(8;9;10)

4 Bulanık yöntemler

4.1 Pisagor bulanık CRITIC

CRITIC (Criteria Importance Through Inter-Criteria Correlation) yöntemi, Diakoulaki tarafından, 1995 yılında ilk kez finansal performans ölçümü çalışmasında ele alınan kriterleri ağırlıklandırmak için literatüre kazandırılmıştır [25] 2022 yılında Han ve diğ. tarafından PBS kullanılarak bulanıklaştırılmıştır [19]. CRITIC yöntemi, ÇKKV yöntemlerinde dikkate alınan kriterlerin objektif ağırlıklarının hesaplanması için kullanışlı bir yöntemdir [21]. Kriterler, karar verme konularını sürecinde önemli bir bilgi kaynağı olarak kabul edilir ve bilgi miktarının hesaplanması karar matrisinin analitik olarak incelenmesine dayanır [25]. Şekil 2'de gösterilen Pisagor Bulanık CRITIC yöntemi için işlem adımları aşağıdaki gibidir [21]:



Şekil 2. BCRITIC yöntemi metodolojisi.

Figure 2. Methodology of the FCRITIC method.

Adım 1: Belirsizlik Derecesinin Hesaplanması

$p_{ij}(\mu_{ij}, v_{ij})$, i. kritere göre j. alternatifin Pisagor Bulanık Değeri olmak üzere, her bir bulanık değer belirsizlik derecesi Denklem (5) ile hesaplanır:

$$\pi_{ij} = \sqrt{1 - \mu_{ij}^2 - v_{ij}^2}, \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

$$0 \leq \mu_{ij}^2 + v_{ij}^2 \leq 1$$

Adım 2: Skor Fonksiyonlarının Hesaplanması

$R = (r_{ij})_{m \times n}$, $m \times n$ skor matrisi olmak üzere her bir bulanık değer için skor fonksiyonları (r_{ij}) hesaplanması için Denklem (6) kullanılır:

$$r_{ij} = \mu_{ij}^2 - v_{ij}^2 - \ln(1 + \pi_{ij}^2), \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

Adım 3: Normalizasyon

R skor matrisi bir ortonormal Pisagor bulanık matrisine dönüştürülür. $R' = (r'_{ij})_{m \times n}$ matrisi olmak üzere maliyet yönlü kriterler için Denklem (7), fayda yönlü kriterler için Denklem (8) kullanılır:

$$(r'_{ij})_{m \times n} = \frac{r_{ij}^+ - r_{ij}}{r_j^+ - r_j^-} \quad (7)$$

$$(r'_{ij})_{m \times n} = \frac{r_{ij} - r_{ij}^-}{r_j^+ - r_j^-} \quad (8)$$

Burada $r_{ij}^- = \min r_{ij}$ ve $r_{ij}^+ = \max r_{ij}$ olarak ifade edilmektedir.

Adım 4: Standart Sapma Hesaplanması

Bu aşamada kriterler arası zıtlık yoğunluğu (\bar{r}_j) ölçülmektedir.

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (r'_{ij} - \bar{r}_j)^2}{m}} \quad (9)$$

$$\bar{r}_j = \frac{\sum_{i=1}^m r'_{ij}}{m} \quad (10)$$

Adım 5: Kriterler Arası Korelasyonun Hesaplanması

Kriterler arası uyumsuzluğun değerlendirildiği işlem adımdır. j kriteri ile k kriteri arasındaki korelasyon değerini (ρ_{jk}) bulmak için Denklem (11)'den faydalanılmaktadır:

$$\rho_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r'_{ij} - \bar{r}_j)(r'_{ik} - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r'_{ij} - \bar{r}_j)^2 \sum_{i=1}^m (r'_{ik} - \bar{r}_k)^2}} \quad (11)$$

Adım 6: Kriterler için Bilgi Miktarının Hesaplanması

Bilgi miktarı değeri arttıkça kriterin önemi artmaktadır. Bir kriter içerdiği bilgi miktarına göre ağırlık kazanmaktadır. Bu da Denklem (12) ile hesaplanmaktadır:

$$c_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk}), \quad (k = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n) \quad (12)$$

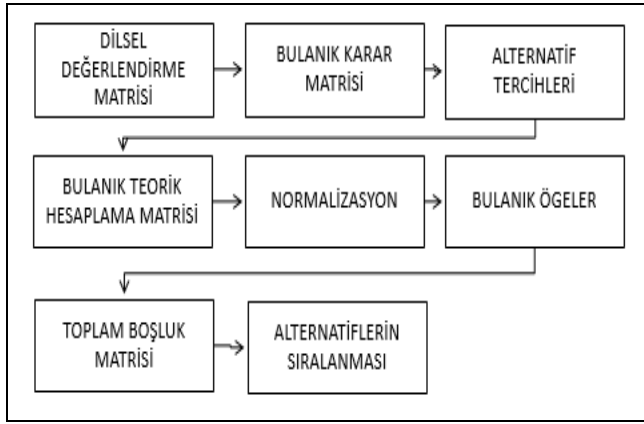
Adım 7: Nihai Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

$$w_j = \frac{c_j}{\sum_{j=1}^n c_j}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (13)$$

4.2 Bulanık MAIRCA

Pamucar tarafından 2014 yılında önerilen MAIRCA (MultiAtributive Ideal-Real Comparative Analysis) yöntemi, Boral tarafından ÜBS kullanılarak bulanıklaştırılmıştır ve alternatiflerin sıralanmasını amaçlamaktadır [21]. Bu yöntem karar vericinin, kriterlerin niteliği açısından (fayda veya maliyet yönlü) endişesini ortadan kaldırmaktadır. Aynı zamanda karar niteliği konusunda endişesini engellemekte ve belirsizliklerin üstesinden gelmesine imkân sunmaktadır.

Şekil 3'te gösterilen Bulanık MAIRCA yöntemi adımları aşağıda sunulmuştur [17]:



Şekil 3. BMAIRCA yöntemi metodolojisi.

Figure 3. Methodology of the FMAIRCA method.

Adım 1: Başlangıç Dilsel Matrisin Oluşturulması ve Bulanıklaştırma

n sayıda kritere göre m alternatifin değerlendirilme sürecine k sayıda karar vericinin katıldığı varsayılırsa; L_{mn}^k yani k . karar vericinin m . alternatifi n . kriter için değerlendirdiği ölçek değerlerinin yer aldığı matris, bu adımda oluşturulmaktadır. Tablo 2'de yer alan dilsel ifadelerin bulanık sayı karşılıkları kullanılarak matris bulanıklaştırılmaktadır.

Adım 2: Bulanık Bütünleşik Karar Matrisi

Denklem (14) kullanılarak, alternatiflere göre, bulanık tercihler belirlenir. Karar verici alternatifleri değerlendirirken tarafsızdır. Tüm alternatifler eşit seçilme olasılığına sahiptir.

$$P_{A_i} = \frac{1}{m}; \sum_{i=1}^m P_{A_i} = 1 \quad (14)$$

Adım 3: Bulanık Teorik Değerlendirme Matrisi

\tilde{T}_{P_a} matrisi alternatiflere göre yapılan tercihler P_{A_i} ile kriter ağırlıklarının W_j çarpılması ile elde edilir.

Adım 4: Normalizasyon

Denklem (15) kullanılarak normalizasyon işlemi gerçekleştirilir:

$$n_{ij}^l = \frac{a_{ij}^l}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(a_{ij}^l)^2 + (a_{ij}^m)^2 + (a_{ij}^n)^2]}}$$

$$n_{ij}^m = \frac{a_{ij}^m}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(a_{ij}^l)^2 + (a_{ij}^m)^2 + (a_{ij}^n)^2]}}$$

$$n_{ij}^n = \frac{a_{ij}^n}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(a_{ij}^l)^2 + (a_{ij}^m)^2 + (a_{ij}^n)^2]}}$$

Adım 5: Bulanık Ögelerin Hesaplanması

Normalize matris ögeleri ile teorik hesaplama matrisi ögeleri çarpılarak yeni bir matris elde edilir.

Adım 6: Toplam Boşluk Matrisi

Her bir alternatifin her bir kritere göre teorik ve fiili değerlendirmesi arasındaki boşluk Denklem (16) kullanılarak hesaplanır.

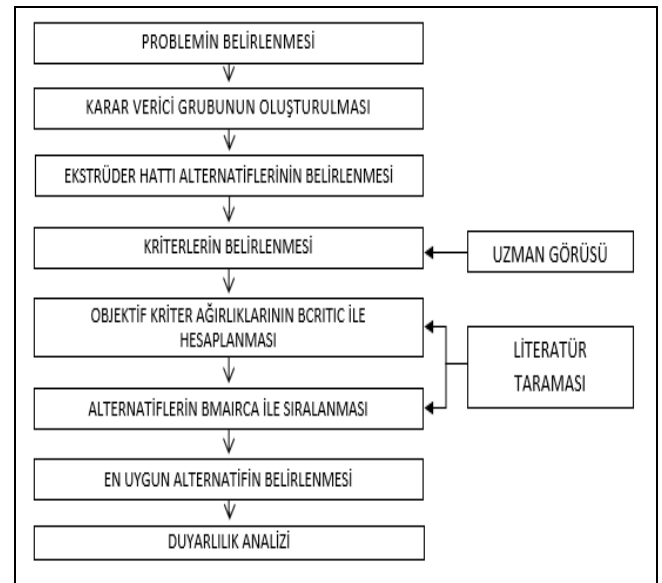
$$g_{ij} = \sqrt{\frac{1}{3} [(t_l - g_l)^2 + (t_m - g_m)^2 + (t_n - g_n)^2]} \quad (16)$$

Adım 7: Sıralama

Son adımda her bir alternatif için kriterlerin nihai boşluk değerleri toplamı alınır. Bulunan sonuçlar, büyükten küçüğe düzenlenir. En büyük değerli alternatif en kötü alternatif, en düşük değerli, en uygun alternatiftir.

5 Uygulama

Bu bölümde, önerilen hibrit yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermek için bir gerçek hayat uygulaması sunulmuştur. Ele alınan problem, bir kablo fabrikası için en uygun ekstrüder hattı seçimi olup çalışmanın adımları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Çalışma metodolojisi.

Figure 4. Research methodology.

5.1 Problemin tanımı

Bu çalışmada, Denizli ilinde faaliyet göstermekte olan bir kablo fabrikası için BCRTIC ve BMAIRCA yöntemleri kullanılarak Halogen free flame retardant (HFFR) ürün üretimi için en uygun ekstrüder hattı seçimi yapılacaktır. Firma, klasik ürün portföyü dışında yer alan HFFR ürünler için mevcut parkurda dört adet izole ekstrüder hattını kullanabilmektedir. Ancak bu hatlar üretim esnasında ürün kalitesini ve süreç maliyetlerini etkileyen birçok etmene sahiptir. Bu nedenle en uygun hattın seçimi önem kazanmaktadır.

Makine-teçhizat seçim problemleri literatürde genel olarak satın alma problemleri olarak alınmaktadır. Ele alınan bu problem literatürden farklı olarak, üretimin planlamasına da ışık tutacaktır ve verimlilik artırıcı, maliyet düşürücü bir amaca hizmet edecektir.

5.2 Karar verici grubunun belirlenmesi

Çalışmada kriterler ve alternatifler uzman karar verici grubu tarafından belirlenmiştir. Karar verici grubu yedi kişiden (üretim bölüm yöneticileri ve üç vardiya amiri) oluşmaktadır. Değerlendirmeler grubun uzlaşması ile gerçekleştirilmiştir.

5.3 Alternatiflerin belirlenmesi

Çalışmada, iletken malzeme üzerine HFFR malzemenin kaplanacağı dört ekstrüder hattı ele alınmıştır. Alternatifler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Alternatif ekstrüder hatları.

Table 3. Alternative extrusion lines.

Alternatif	Ekstrüder Hattı
A1	80'lik
A2	90'lık
A3	100'lük
A4	Bobin

5.4 Kriterlerin belirlenmesi

Uzman grup görüşmelerinde, dört alternatifin değerlendirilebilmesi için yedi kriter ortaya konulmuştur. Belirlenen kriterler Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Değerlendirme kriterleri.

Table 4. Evaluation criteria.

Kriter No	Kriter
K1	Hız
K2	Enerji kullanımı
K3	Hurda
K4	Kalite
K5	Değişim süresi
K6	Operatör tecrübesi
K7	Teknoloji

Hız (K1): Tüm alternatifler için HFFR ürün üretiminde makine hızları değerlendirilmiştir. Hız değeri maksimize edilmek istenmektedir.

Enerji Kullanımı (K2): Tüm alternatiflerin dakikada kullandığı enerji miktarı değerlendirmiştir. Kullanılan enerji minimize edilmek istenmektedir.

Hurda (K3): Hatlarda ürün dönüşlerinde ortaya çıkan hurda miktarları değerlendirilmiştir. Hurda miktarı minimize edilmek istenmektedir.

Kalite (K4): Üretim ardından elde edilen nihai ürünün, yüzey kalitesi, kopma-uzama ve mukavemet değerleri temel alınarak değerlendirme yapılmıştır. Maksimize edilmek istenmektedir.

Değişim süresi (K5): Tüm alternatiflerin HFFR ürüne geçiş süreleri, ısı ayarları, mil temizliği süreleri değerlendirilmiştir. Minimize edilmesi amaçlanmaktadır.

Operatör tecrübesi (K6): Tüm alternatifler için operatör performans ve yetkinliği değerlendirilmiştir. Kriter maksimize edilmelidir.

Teknoloji (K7): Alternatif hatlarda yer alan ekipmanlar, dozajlama sistemi, üretilebilir ürün çapı vb. değerlendirilmiştir. Kriter maksimize edilmek istenmektedir.

5.5 Objektif kriter ağırlıklarının BCRITIC ile hesaplanması

Kriterler değerlendirilirken, insan yargılarını göz önünde bulundurmak için dilsel ifadelerden faydalanılmıştır. Karar verici grubu tarafından, Tablo 1'de yer alan ifadeler kullanılarak kriterler değerlendirilmiştir. Aynı dilsel ifadelerin PBS karşılıkları kullanılarak değerlendirme matrisi elde edilmiş ve BCRITIC yönteminin adımları uygulanmıştır. Kriterlerin hesaplanan ağırlıkları Tablo 5'te verilmiştir. En önemli kriterin

enerji kullanımı (K2) olduğu ve kalite (K4) ile teknoloji (K7) kriterlerinin eşit öneme sahip oldukları görülmektedir.

Tablo 5. Kriterlerin önem ağırlıkları.

Table 5. Importance weights of criteria.

Kriter	Ağırlık
K1	0.142
K2	0.202
K3	0.156
K4	0.109
K5	0.137
K6	0.146
K7	0.109

5.6 Alternatiflerin BMAIRCA ile sıralanması

BCRITIC yöntemi ile hesaplanan ve Tablo 5'te gösterilen kriter önem ağırlıkları BMAIRCA'da doğrudan kullanılmıştır. BMAIRCA yönteminde alternatiflerin kriterlere bağlı değerlendirilmesi, Tablo 2'de yer alan dilsel ifadeler kullanılarak yine aynı karar verici grubu tarafından sağlanmıştır. Değerlendirmeler karar verici grubunun uzlaşması ile gerçekleştirilmiştir. Dilsel ifadelerin ÜBS karşılıkları ile değerlendirme matrisi bulanıklaştırılarak yöntem adımlarının uygulanmasına geçilmiştir. Denklem (16) kullanılarak hesaplanan toplam boşluk değerlerinin küçükten büyüğe sıralanması ile alternatiflere ait sıralama elde edilmiştir. En küçük toplam boşluk değerine sahip olan bobin ekstrüder hattının (A4) en iyi alternatif olduğu görülmüştür.

Elde edilen BMAIRCA sonuçları literatürde sıklıkla kullanılan BTOPSIS yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Her iki yöntem için aynı sıralama elde edilmiştir. Sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Alternatif sıralama sonuçları.

Table 6. Ranking results of alternatives.

ALTERNATİF	Ekstrüder Hattı	BMAIRCA	BTOPSIS
A1	80'lik	2	2
A2	90'lık	4	4
A3	100'lük	3	3
A4	Bobin	1	1

5.7 Duyarlılık analizi

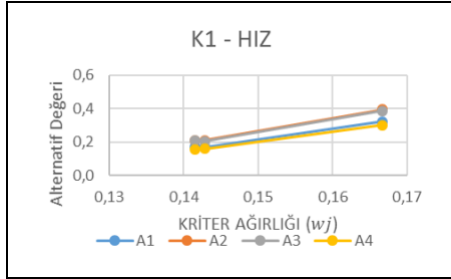
Kriterlerin elde edilen sonuçlar üzerindeki etkisini ölçebilmek adına duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bunun için Pamucar ve diğ. 2017 [26] yılında yapmış olduğu çalışmada yer alan duyarlılık analizi senaryolarından yola çıkılmıştır. İlk olarak (S1) ile yani kriterlerin tümünün eşit önem düzeyine sahip olduğu varsayımı ile alternatif sıralaması yapılmıştır. İkinci senaryoda ise (S2) BCRITIC yöntemi neticesinde ağırlıkları hesaplanan kriterler arasından en yüksek önem düzeyine sahip olan kritere en yüksek, diğer tüm kriterlere ise eşit ağırlıklar tanımlanarak sıralama yapılmıştır. Senaryolarda kullanılan değerler Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Duyarlılık analizi senaryo ağırlıkları.

Table 7. The weights of sensitivity analysis scenario.

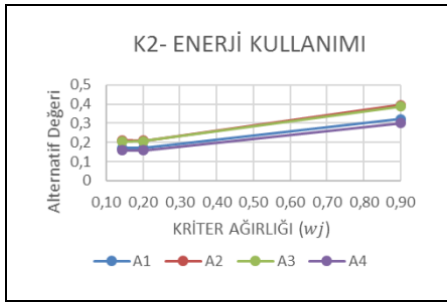
Kriter	Ağırlık	S1-Ağırlık	S2-Ağırlık
K1	0.142	0.143	0.0167
K2	0.202	0.143	0.900
K3	0.156	0.143	0.0167
K4	0.109	0.143	0.0167
K5	0.137	0.143	0.0167
K6	0.146	0.143	0.0167
K7	0.109	0.143	0.0167

Değerlendirilen tüm senaryolar neticesinde ortaya çıkan değişimler; K1 (Hız) kriteri için Şekil 5'te, K2 (Enerji kullanımı) için Şekil 6'da, K3 (Hurda) için Şekil 7'de, K4 (Kalite) için Şekil 8'de, K5 (Değişim süresi) için Şekil 9'da, K6 (Operatör tecrübesi) için Şekil 10'da ve K7 (Teknoloji) kriteri için Şekil 11'de gösterilmiştir.

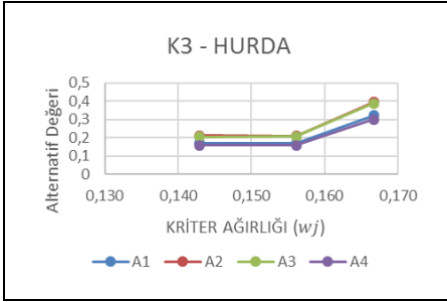


Şekil 5. K1 (hız) ağırlığının alternatiflere etkisi.

Figure 5. The impact of the weight of K1 (speed) on the alternatives.

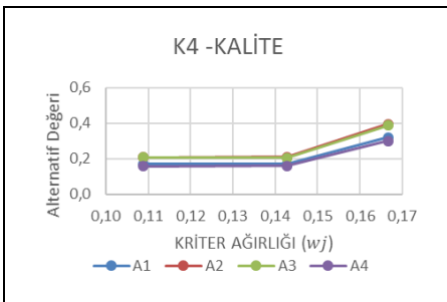


Şekil 6. K2 (enerji kullanımı) ağırlığının alternatiflere etkisi.
Figure 6. The impact of the weight of K2 (energy usage) on the alternatives.



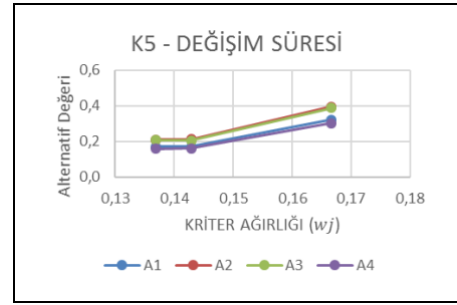
Şekil 7. K3 (hurda) ağırlığının alternatiflere etkisi.

Figure 7. The impact of the weight of K3 (scrap) on the alternatives.



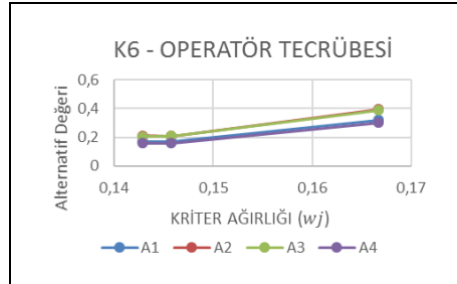
Şekil 8. K4 (kalite) ağırlığının alternatiflere etkisi.

Figure 8. The impact of the weight of K4 (quality) on the alternatives.



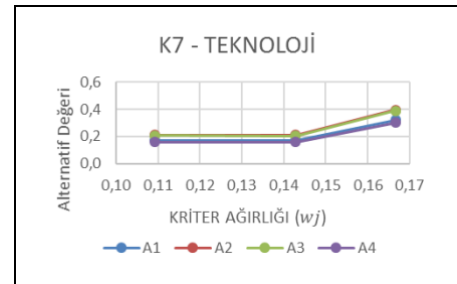
Şekil 9. K5 (değişim süresi) ağırlığının alternatiflere etkisi.

Figure 9: The impact of the weight of K5 (changeover time) on the alternatives.



Şekil 10. K6 (operatör tecrübesi) ağırlığının alternatiflere etkisi.

Figure 10. The impact of the weight of K6 (operator experience) on the alternatives.



Şekil 11. K7 (Teknoloji) ağırlığının alternatiflere etkisi.

Figure 11. The impact of the weight of K7 (technology) on the alternatives.

BCIRITIC yönteminde gerçekleştirilen hesaplamalarda, K2 (enerji kullanımı) en önemli kriter olarak belirlenmişti, ele alınan analiz senaryolarında ağırlık değişiminin alternatif sıralamasını etkilemediği görülmüştür.

Duyarlılık analizi sonuçları değerlendirildiğinde, kriter ağırlıklarının alternatif sıralamasına etki etmediği ve bobin ekstrüderinin (A4) tüm senaryolar için en düşük toplam boşluk değerine sahip en iyi alternatif olduğu görülmüştür. Senaryo 2'de en önemli kriter olan K2 (enerji kullanımı) kriterine en yüksek ağırlık değerinin tanımlanması ve diğer tüm kriterlerin eşit öneme sahip olduğunun kabulünün, BMAIRCA yönteminde hesaplanan toplam boşluk değerini arttırdığı belirlenmiştir.

6 Sonuçlar

Yüksek maliyetler ile üretim gerçekleştirilen kablo sektöründe fiyat rekabeti için çeşitli iyileştirme yöntemleri ile avantaj sağlanması hedeflenmektedir. Doğru kararlar da rekabet piyasasında önem arz etmektedir. Üretim sahasında en uygun makine seçimi kararı adına ele alınması gereken birçok çelişen

kriter için ÇKKV bakış açısı ile değerlendirme yapılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Denizli ilinde faaliyet gösteren bir kablo fabrikasında HFFR ürün kullanımı için en uygun Ekstrüder hattı seçimi BCIRITIC tabanlı BMAIRCA yaklaşımı ile değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında, fabrika üretim bölümünden oluşturulan karar verici grubu değerlendirmeleriyle belirlenen yedi kriterin objektif ağırlıkları Pisagor bulanık CRITIC yöntemi ile hesaplanmıştır. K2: Enerji kullanımı en önemli kriter olarak belirlenirken, K4: kalite ve K6: operatör etkisi kriterlerinin ise önem düzeyi en düşük kriterler olduğu görülmüştür. Enerji maliyetinin ürünün fiyatı üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulduğunda sonucun tutarlı olduğu söylenebilmektedir. Son zamanlarda incelenen elektrik birim fiyatlarındaki artış, söz konusu kriter üzerinde dikkat gerektirmektedir.

Uygulamanın ikinci aşamasında, elde edilen önem ağırlıkları kullanılarak dört alternatif BMAIRCA yöntemi ile sıralanmıştır. Uygulamanın gerçekleştirildiği fabrikada HFFR ürün için en uygun hattın A4: Bobin olduğu görülmüştür. BTOPSIS yöntemi ile yapılan uygulamada aynı sıralamaya ulaşılmış ve sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür.

Kriterlerin önem ağırlıklarının sıralama üzerindeki etkisini ölçmek adına gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinde her iki senaryo için aynı sonuçlar elde edilmiştir. Kriter ağırlıklarındaki değişimlerin sıralamaya etki etmediği görülmüştür. A4: Bobin ekstrüderinin tüm senaryolarda en düşük toplam boşluk değerine sahip olarak en uygun alternatif olduğu görülmüştür. İkinci senaryoda K2: Enerji kullanımı kriterinin ağırlığı artırıldığında BMAIRCA yönteminde toplam boşluk değerini artırdığı görülmüştür.

Yöntem sonuçları, uzmanlara sunulmuş ve uzlaşa sağlanmıştır. Çalışma neticesinde, uygulama firması yöneticilerine hat önceliklendirme için somut veriler sunulmuştur. Bobin hattı, HFFR ürün üretiminde, planlama bölümü çalışanları için hat atamalarında bir önceliklendirme yöntemi geliştirilmiştir. Bu öneri beraberinde kaynakların en etkin ve verimli kullanımı faydasını sağlamıştır. Uygulama gerçekleştirilen firma bünyesinde en uygun maliyet ile maksimum kalitede üretim olanağı ile kablo sektöründe rekabet avantajı elde edilmesi sağlanmıştır.

Bu alanda yapılan çalışmalarda kablo sektörü örneği ve ele alınan yöntemlerin birlikte yer almadığı göze çarpmaktadır. Bu çalışma ile birlikte, makine-teçhizat seçim problemlerine farklı bir sektör örneği sunulmuş ve BCIRITIC-BMAIRCA yöntemleri hibrit olarak ilk kez kullanılmıştır. Literatüre işlem kolaylığı açısından avantaj sağlayan, pratik bir metodoloji sunulmuş olup gelecek çalışmalarda yol gösterici olması hedeflenmiştir.

Çalışmanın bazı geliştirebilir yönleri mevcuttur. Çalışmada yedi değerlendirme kriteri kullanılmıştır ancak hatların değerlendirmeye alınabilecek farklı kriterlerinin de belirlenerek uygulama yapılması farklı sonuçlar ortaya koyabilir. Gelecek çalışmalarda farklı kriterler ele alınarak, farklı yöntem ve bulanık sayı kümeleri ile çalışmalar yapılabilir. Duyarlılık analizi senaryoları artırılarak kriter etkileri daha geniş bir çerçeveden incelenebilir. Çalışmaya ait kriterler ve alternatifler konusunda veriler daha da genişletildiğinde detaylı incelemeler yapılabilir ve literatüre katkı sağlanabilecektir.

7 Conclusions

The cable industry, which is produced at high costs, aims to gain advantages with various improvement methods for price competition. Making the right decisions is also important in the competitive market. It is aimed to evaluate the many conflicting criteria that need to be considered for the decision of the most suitable machine selection in the production field with the perspective of the SME. In this direction, the most suitable Extruder line selection for HFFR product usage in a cable factory operating in Denizli province was evaluated by the BCIRITIC-based BMAIRCA approach.

Within the scope of the study, the objective weights of the seven criteria determined by the evaluations of the decision-making group formed from the factory production section were calculated by the Pisagor fuzzy CRITIC method. K2: Energy usage was determined as the most important criterion, while K4: quality and K6: operator effect criteria were found to be the least important criteria. It can be said that the result is consistent when the effect of energy cost on the price of the product is taken into account. Recent increase in the electricity unit prices is requiring attention on this criterion.

In the second phase of the application, the obtained importance weights were ranked using four alternative BMAIRCA methods. It was seen that the most suitable line for HFFR product in the factory where the application was carried out is A4: Bobbin. The same ranking was reached with the application made by the BTOPSIS method and the consistency of the results was observed.

In the sensitivity analyses carried out to measure the effect of the importance weights of the criteria on the ranking, the same results were obtained for both scenarios. It was seen that changes in the weight of the criteria did not affect the ranking. It was seen that A4: Coil extruder is the most suitable alternative with the lowest total gap value in all scenarios. In the second scenario, when the weight of the K2: Energy usage criterion was increased, it was seen that the total gap value was increased in the BMAIRCA method.

The results of the method were presented to the experts and a consensus was reached. As a result of the study, concrete data were provided to the managers of the implementation company for line prioritization. The 'Bobin' line was prioritized in the production of HFFR products, and a recommendation for prioritizing the line assignments for the planning department employees was made. This recommendation has brought the benefits of the most effective and efficient use of resources. By achieving production with the lowest cost and maximum quality within the company where the application was carried out, a competitive advantage has been provided in the cable industry.

In studies conducted in this field, it is striking that cable sector examples and the methods considered are not together. With this study, a different sector example for machine-equipment selection problems was presented, and the BCIRITIC-BMAIRCA methods were used together for the first time. A practical methodology that provides an advantage in terms of ease of operation in literature was presented and it aims to shed light on future studies.

There are some limitations to the study. Seven evaluation criteria were used in the study, but determining and applying different criteria for the lines may result in different outcomes. In future studies, different criteria can be considered, and

studies can be carried out with different methods and fuzzy number sets. Sensitivity analysis scenarios can be increased and the effects of the criteria can be examined in a wider context. Detailed analyses can be made and contributions can be made to the literature when the data on the criteria and alternatives related to the study are further expanded.

8 Yazar katkı beyanı

Aliye Ayça SUPÇİLLER, çalışmada metodolojinin oluşturulması, yazım denetimi, içerik ve düzenleme açısından katkı sunmuştur. Tuğba ÖKTEM, literatür taraması, verilerin toplanması ve orijinal taslağın hazırlanmasında katkı sunmuştur.

9 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

10 Kaynakça

- [1] Arslankaya S, Göraltay K. *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinde Güncel Yaklaşımlar*. 1. Baskı, Ankara, Türkiye, İksad, 2019.
- [2] Yazgan A, Agamyradova H. "SWARA ve MAIRCA yöntemleri ile bankacılık sektöründe personel seçimi". *Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 16, 281-291, 2021.
- [3] Kaya İ, Çolak M, Terzi F. "A comprehensive review of fuzzy multi criteria decision making methodologies for energy policy making". *Energy Strategy Reviews*, 24, 207-228, 2019.
- [4] İç Y, Yurdakul M. "Çok kriterli karar verme yöntemleri kullanan makine-ekipman seçim çalışmalarında bulanıklığın sonuçlara etkisinin incelenmesi". *İşletme Fakültesi Dergisi*, 9(1), 125-140, 2008.
- [5] Uzun S, Kazan H. "Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP TOPSIS ve PROMETHEE karşılaştırması: gemi inşada ana makine seçimi uygulaması". *Journal of Transportation and Logistics*, 1(1), 99-113, 2016.
- [6] Ransikarbum K, Khamhong P. "Integrated fuzzy analytic hierarchy process and technique for order of preference by similarity to ideal solution for additive manufacturing printer selections". *Journal of Materials Engineering and Performance*, 30, 6481-6492, 2021.
- [7] Özdağoğlu A, Keleş M, Eren F. "Laboratuvaar kan gazı cihazı alternatiflerinin bulanık VIKOR ve bulanık EDAS ile değerlendirilmesi". *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 11(1), 221-237, 2021.
- [8] Kurtay K, Dağistanlı H, Erol S. "Plastik boru ve kaynak makinesi seçim problemi için analitik hiyerarşi prosesi ile gri ilişkisel analiz yöntemlerinin entegrasyonu". *Savunma Bilimleri Dergisi*, 20(2), 268-291, 2021.
- [9] Madic M, Radovanovic M. "Selection of laser cutting systems using MCDM methods". *8th International Conference Transport and Logistics*, Nis, Serbia, 3 December 2021.
- [10] Goswami S, Behera D. "Solving material handling equipment selections problems in a industry with the entropy integrated COPRAS and ARAS MCDM techniques". *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 5(5), 947-973, 2021.
- [11] Tümtürk A, Tolun B. "Bir depo tesisine alınacak paketleme makinesi seçim kararının analitik ağ süreci tabanlı gri ilişkisel analiz yöntemiyle belirlenmesi". *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10(2), 971-985, 2021.
- [12] Rashid T, Ali A, Chu Y. "Hybrid BW-EDAS MCDM methodology for optimal industrial robot selection". *Plos One*, 16(2), 1-18, 2021.
- [13] Yang M, Ji Z, Zhang L, Zhang A, Xia Y. "A hybrid comprehensive performance evaluation approach of cutter holder for tunnel boring machine". *Advanced Engineering Informatics*, 52, 2022.
- [14] Veskovc S, Stevic Z, Nunic Z, Milinkovic S, Mladenovic D. "A novel integrated large-scale group MCDM model under fuzzy environment for selection of reach stacker container terminal". *Applied Intelligence*, 22(22), 13543-13567, 2022.
- [15] Raja S, Rajan A. "A decision-making model for selection of the suitable FDM machine using fuzzy TOPSIS". *Mathematical Problems in Engineering*, 2022.
- [16] Baczkiewicz A, Kizielewicz B, Shekhovtsov A, Watróbski J, Sałabun W. "Methodical aspects of MCDM based e-commerce recommender system". *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 16, 2193-2228, 2021.
- [17] Bakır M, Özdemir E, Akan Ş. "A novel MADM approach to the ground-handling agent selection problem in B2B markets". *Journal of Advances in Management Research*, 18(5), 684-707, 2021.
- [18] Peng X, Sun D, Luo Z. "Pythagorean fuzzy soft decision-making method for cache replacement policy selection in fog computing". *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 13, 3663-3690, 2022.
- [19] Han X, Rani P. "Evaluate the barriers of blockchain technology adoption in sustainable supply chain management in the manufacturing sector using a novel Pythagorean fuzzy-CRITIC-CoCoSo approach". *Operations Management Research*, 15, 725-742, 2022.
- [20] Kaya İ, Kılınc M, Çevikcan E. "Makine-teçhizat seçim probleminde bulanık karar verme süreci". *Mühendis ve Makina*, 49(576), 8-14, 2007.
- [21] Kabak M, Erdebili B. *Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*. 1. Baskı. Ankara, Türkiye, Nobel Yayınevi, 2021.
- [22] Ecer F. "Üyelik fonksiyonu olarak üçgen bulanık sayılar mı yoksa bulanık sayılar mı?". *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(2), 161-180, 2007.
- [23] Karakış E. "Bulanık AHP ve bulanık TOPSIS ile bütünleşik karar destek modeli önerisi: özel okullarda öğretmen seçimi". *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 53, 112-127, 2019.
- [24] Doğanalp B. "Bulanık çok kriterli karar verme ile öğretim üyesi değerlendirme çalışması". *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12, 498-517, 2016.
- [25] Gök Kısa AC. "TR83 bölgesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının CRITIC tabanlı gri ilişkisel analiz yaklaşımı ile değerlendirilmesi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(4), 542-548, 2021.
- [26] Pamucar D, Bozanic D, Randelovic A. "Multi-criteria decision making: an example of sensitivity analysis". *Serbian Journal of Management*, 1(12), 1-27, 2017.