

BULANIK DEMATEL VE BULANIK PROMETHEE YÖNTEMLERİ İLE KABLO ÜRETİMİNDE MAKİNE SEÇİMİ*

MACHINE SELECTION IN A CABLE MANUFACTURING WITH USING FUZZY DEMATEL AND FUZZY PROMETHEE

Araştırma Makalesi
Research Paper

Nihan KABADAYI**
Sündüs DAĞ***

Öz:

Günümüzde, dijital ve teknolojik gelişmeler sonucunda müşteri talepleri çeşitlenmiş ve müşteri beklentileri daha kişisel özellikler kazanmıştır. Bunun sonucunda firmaların pazarda sürdürülebilir bir başarı elde edebilmesi için değişen müşteri beklentilerini karşılamaya yönelik stratejik iş süreçlerini planlaması gerekmektedir. Üretim, firmaların stratejik hedeflerini gerçekleştirmesinde etkisi büyük olan bir işletme fonksiyonudur. İşletmelerin üretim fonksiyonlarını iyileştirmesi insan, makine, malzeme vb. çok çeşitli üretim faktörlerini başarılı bir şekilde yönetebilmesine bağlıdır. Bu üretim faktörlerinin birbirleri ile uyumlu bir şekilde faaliyet göstermesi ve işletmenin stratejik hedeflerine yönelik planlanması oldukça önemlidir. İşletmelerin stratejilerine uygun kararların alınabilmesi için karar vericilerin mümkün olduğu kadar fazla kriteri değerlendirerek objektif kararlar alabilmesi gerekmektedir. Uygun makine ve ekipman seçiminin gerçekleştirilmesi, üretim süreçlerinin verimliliğini ve esnekliğini arttırmaktadır. Bu nedenle firmalar için makine ve ekipman seçimi probleminin kapsamlı bir şekilde ele alınarak değerlendirilmesi önemlidir. Çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKVY), karar vericilere aynı anda birden fazla kriteri değerlendirme imkanı sağladığı için literatürde makine ve ekipman seçiminde çok sayıda araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Bu çalışmada, bir kablo üretim tesisindeki makine seçim problemi ele alınmıştır. Uygulamada makine seçiminde kullanılan kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde bulanık DEMATEL (The Decision Trial and Evaluation Laboratory) yöntemi; alternatif makinelerin değerlendirilmesinde ve işletme için en uygun makinenin belirlenmesinde PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) yöntemi kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Üretim, Makine Ekipman Seçimi, Bulanık DEMATEL, Bulanık PROMETHEE, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi (ÇKKV).

Abstract:

Nowadays, digital and technological developments have a great effect on consumer behavior. Product life cycles shorten with recent technological changes and customer demands became more sophisticated and varied. In order to gain sustainable competitive advantage, profitability is not only enough, but also productivity, flexibility and quality in manufacturing process are required. The decision-making processes in the production environment are ought to be operated well in order

* Makale Gönderim Tarihi: 06.10.2017

Makale Kabul Tarihi: 19.12.2017

** Yrd. Doç. Dr., İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Üretim Anabilim Dalı, nihank@istanbul.edu.tr, orcid.org/0000-0003-1950-4877

*** Yrd. Doç. Dr., İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Üretim Anabilim Dalı, skumpas@istanbul.edu.tr, orcid.org/0000-0003-2413-2887

to keep up with these changes. Since, the selection of suitable machine improves the productivity and flexibility of the manufacturing process, machine selection problem is one of the critical decision making process in today's production environment. Therefore, determining the most suitable machine helps firm to provide competitiveness in the market. The purpose of this study is to help decision makers by determining the best criteria for saving money and time. In this study, we deal with strategic machine selection problem in order to determine industry specific machine selection criteria in a cable manufacturing company. To evaluate the critical machine selection criteria, a fuzzy DEMATEL method is developed and fuzzy PROMETHEE method is used to select the most suitable machine in the cable company.

Keywords: Production, Machine Tool Selection, Fuzzy DEMATEL, Fuzzy PROMETHEE, Multi-criteria Decision Making (MCDM).

GİRİŞ

Günümüzde teknolojik gelişmeler ve dijitalleşmenin artmasıyla birlikte müşteri talepleri çok çeşitlenmiş ve değişken bir hale gelmiştir. Firmalar arasındaki rekabet küresel pazarlarda gerçekleşmeye başlamıştır. İnternetin ticarete yaygınlaşmasıyla birlikte ticarete ülkelerarasındaki sınırlar ortadan kalkmıştır. Bu durum firmalar için bir taraftan büyük pazarlarda faaliyet gösterdikleri için avantaj haline gelirken, dünyanın her ülkesinden rakipler ile mücadele etmek ve farklı pazarlardaki müşterilerin isteklerine cevap verebilmek için üretim ve dağıtım ağlarını düzenlemek durumunda kalmaları nedeniyle de belirli açılardan dezavantaj haline gelmektedir. Firmaların küresel pazarlardaki çetin rekabet şartlarında mücadele edebilmeleri için stratejik karar süreçlerini dikkatle ele alarak güçlü bir karar mekanizmasına sahip olması önemlidir. Teknolojik gelişmeler ile birlikte ürünlerin hayat eğrileri kısalmışken rekabette de firmaların rakiplerinden farklılaşması için imkanlar azalır hale gelmiştir. Firmaların değişen pazar şartlarında sürdürülebilir rekabet avantajı sağlayabilmesi için müşteri ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılayabilecek esnek operasyonel yetkinliklere sahip olması önemlidir.

Üretim süreci firmalar için oldukça kritik bir strateji unsurudur. Firmanın üç ana fonksiyonundan birisi olan üretim fonksiyonu işletmelerin başarılı olabilmesi için çok önemlidir. Üretim fonksiyonunun başarısı üretim süreçlerinin girdisi olan makine, malzeme, insan gücü ve finansal kaynakların doğru yönetilmesi ile doğrudan ilişkilidir. Makine üretim sürecinin önemli ve stratejik bir kaynağıdır. Doğru makine seçimi firmaların üretim süreçlerindeki kalite, esneklik ve verimliliğin arttırılmasını sağlamaktadır. Firmaların müşteri ihtiyaçlarına hızlı cevap verebilmesi için üretim hatlarında kullandıkları makinelerin özelliklerinin işletmenin stratejik hedeflerini karşılamaya yetecek uyumlulukta olması gerekmektedir (Ngunyen vd., 2014: 3078; Ayağ ve Özdemir, 2011: 163). Üretim hattının ve endüstrinin özelliğine bağlı olarak makine seçim kararı, işletmeler için çok yüksek maliyetli bir yatırım kararı olabilmektedir. Makine seçimi ile ilgili alınacak yanlış kararlar işletmeleri hem üretim süreçleri, hem de maliyetler açısından negatif yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle firmalarda makine seçimi kararının uzman ekip yardımıyla detaylı bir değerlendirme sürecinin ardından alınması önemlidir.

Makine seçiminde görev alacak olan ekibin uzmanlık derecesi ve analiz yeteneği oldukça önemlidir. Bunun yanı sıra makine seçiminde kullanılacak olan kriterlerin belirlenmesi de doğru makine seçim kararını etkileyen önemli bir unsurdur. Makine seçiminde etkili olan kriterlerin belirlenmesinde uzman görüşlerine başvurulurken, kriterlerin farklı önem derecelerini ifade eden ağırlıkların belirlenmesinde kantitatif bir yöntemden yararlanmak sonuçların doğruluk derecesini arttıracak ve objektif sonuçların elde edilmesine yardımcı olacaktır. İşletmelerin makine seçimlerinde etkili olacak olan kriterler ve bu kriterlerin önem derecesi, firmaların buldukları endüstriye ve stratejik hedeflerine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Bu nedenle, her bir firmanın kendi stratejik hedeflerini gerçekleştirebilmesi ve endüstrisinin rekabet şartlarında başarılı olabilmesi için kendine özel belirleyeceği kriterler ile karar sürecini gerçekleştirmesi gerekmektedir. Makine seçim problemi yapısında birbiriyle çelişen kriterler barındıran çok kriterli bir karar verme problemidir. Bu sebeple bu problemin çözümünde birden fazla kriteri aynı anda değerlendirmeye imkan tanıyan Çok kriterli karar verme teknikleri (ÇKKV) literatürde yaygın olarak kullanılmıştır. Bu yöntemler genellikle uygulaması kolay ve etkin yöntemler olduğu için işletmeler tarafından rahatlıkla uygulanabilmektedir. ÇKKV yöntemlerinde kriterlerin birbiriyle ilişkisi ve önem dereceleri objektif bir şekilde belirlenebilmektedir. Ayrıca bu yöntemlerin çözümünde birden fazla uzmanın görüşünün alınması yöntemlerin etkinliğini ve doğruluğunu arttırmaktadır (Yıldırım ve Önder, 2014: 16).

Literatürde makine seçim probleminin çözümünde farklı analiz yöntemleri kullanılmıştır. Ayağ ve Özdemir (2006) çalışmalarında makine ekipmanlarının seçimi için bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemini önermişlerdir. Dağdeviren (2008), makine ekipman seçimi için AHP ve PROMETHEE yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Önüt vd. (2008), makine seçim probleminin çözümü için bulanık AHP ve bulanık TOPSİS yöntemlerini uygulamışlardır. Yılmaz ve Dağdeviren (2011) üretimde kullanılan malzemelerin seçiminde hedef programlama ve Bulanık PROMETHEE yöntemini birlikte kullanarak karar sürecini belirlemişlerdir. Özgen vd. (2011) çalışmalarında, DELPHI, bulanık AHP ve bulanık PROMETHEE yöntemlerini birlikte kullanarak bir firmadaki baskı makinesi seçimi problemini çözmüştür. Perçin (2012) çalışmasında bulanık AHP yöntemini kullanarak firmaların CNC makine seçiminde kullandıkları kriterlerin önem derecelerini belirledikten sonra en uygun CNC teknolojisini bulanık TOPSİS yöntemiyle belirlemiştir. Ayağ ve Özdemir (2011) çalışmalarında makine seçim probleminin çözümü için bulanık ANP yöntemini kullanmışlardır. Samvedı vd. (2012) çalışmalarında makine ekipman seçimi problemini ele almışlardır. Çalışmada kriterlerin önem ağırlıkları bulanık AHP yöntemi ile belirlenirken, alternatiflerin sıralanması için bulanık gri ilişki analizi yöntemi kullanılmıştır. Organ (2013) konteyner seçiminde bulanık PROMETHEE yöntemini uygulayarak alternatif firmalar arasından seçim yapmıştır. Vatanserver ve Kazançoğlu (2014) çalışmalarında, bulanık AHP yöntemi ile makine seçim kriterlerinin önem derecelerini belirlemiş ve bulanık MOORA yöntemini kullanarak alternatif makineler arasından firma için en uygun makine seçimini gerçekleştirmişlerdir. Kumru ve Kumru (2015), 3 boyutlu koordine-ölçüm makinesinin seçim probleminin

çözümü için kullanılacak olan kriterlerin bulunması için Analitik ağ süreci (ANP) yöntemini kullanmıştır. Karim ve Karmaker (2016), makine seçim problemlerinde kullanılmak üzere AHP ve TOPSİS yöntemlerinin kombinasyonunu önermiştir. AHP ile kriterlerin önem derecelerini ifade eden ağırlıklar belirlenirken, TOPSİS ile alternatif makineler değerlendirilerek firma için en uygun makine seçimi gerçekleştirilmiştir. Wu vd. (2016), CNC makinelerinin seçimi için bulanık VIKOR yöntemini iki farklı bulanık sayıları durulaştırma yöntemi ile uygulayarak en iyi yöntemin uygulanmasını önermiştir. Gök Kısa ve Perçin (2017), makine seçim probleminin çözümünde kriterlerin önem derecesini ve aralarındaki nedensel ilişkiyi bulanık DEMATEL yöntemini kullanarak belirledikten sonra bulanık VIKOR yöntemi ile alternatif makineler arasından işleme için en uygun olanının seçilmesini sağlamışlardır.

Literatür incelendiğinde genellikle makine seçim probleminde kriterlerin önem dereceleri belirlenirken AHP yönteminin tercih edilmiş olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra alternatiflerin değerlendirilmesi için genellikle PROMETHEE, VIKOR ve TOPSİS yöntemleri kullanılmıştır. Literatürdeki ÇKKV ve bulanık ÇKKV yöntemlerinin uygulaması ile ilgili yapılmış olan literatür araştırmaları incelendiğinde son 20 yıl içerisinde bulanık DEMATEL ve bulanık PROMETHEE yöntemleri birlikte kullanılmamıştır (Mardani vd, 2015a; Mardani vd., 2015b; Kahraman vd., 2015). Bu çalışmada, literatür araştırması sürecinde elde edilen bilgilere dayanılarak daha önce makine seçim probleminin çözümünde kullanılmamış olan bulanık DEMATEL- bulanık PROMETHEE yönteminin uygulanması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada Çerkezköy Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren ve kablo üretimi yapan büyük bir firmanın makine seçim problemi ele alınmıştır. Kablo üretimi sürekli üretim sistemlerinden birisi olan akış tipi üretimin özelliklerini taşımaktadır. Bu tip üretim sistemlerinde büyük miktarlarda ve az çeşitlilikte ürünler üretilmektedir. Akış tipi üretimde belirli tipteki ürünleri üretecek olan makineler sıralı olarak yerleştirilerek hat boyunca bir ürünün tamamlanmasını sağlayacak işlemler gerçekleştirilmektedir. Bu üretim sisteminde, üretim hattının verimliliği makine hattındaki en yavaş makinenin hızıyla sınırlanmaktadır. Ayrıca sürekli üretim olduğu için her hangi bir makinenin bozulması tüm sistemin durmasına ve yüksek maliyetlere katlanılmasına neden olmaktadır. Bu sebeple akış tipi üretimde makine seçim problemi kritik bir özellik taşımaktadır. Makine seçiminde firmanın faaliyet gösterdiği endüstrinin ve üretim sistemi türünün önemli bir etkisi bulunmaktadır. Çalışmada, firmanın ürünlerinin büyük bir kısmını oluşturan alçak gerilim kablolarının üretiminde kullanılan makinelerin seçiminde etkili olan kriterlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Seçim probleminde değerlendirilecek olan kriterler belirlenirken, firmada çalışan üretim müdürü, teknik müdür ve 2 ustabaşından oluşan uzman gruba danışılmış ve literatürden yararlanılmıştır. Yapılmış olan çalışma sonucunda “Kalite”, “Maliyet”, “Kullanım Kolaylığı”, “Satış sonrası hizmetler”, “Fiziksel Özellikler”, “Güvenlik”, “Endüstriyel Tercih” ve “Performans” kriterleri kablo üretimi makine seçiminde etkili olan kriterler olarak belirlenmiştir. Çalışmada kriterlerin arasındaki neden-sonuç ilişkisi ve önem dereceleri bulanık DEMATEL yöntemi kullanılarak tanımlanmış ve bu kriterlere göre en iyi makine alternatifi bulanık PROMETHEE kullanılarak önerilmiştir.

1. ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

Çalışmada makine seçim kriterlerinin nedensel ilişkisi ve önem dereceleri bulanık DEMATEL yöntemi ile belirlenmiştir. Ardından alternatif makineler belirlenen kritere göre değerlendirilerek firma için en uygun makinenin seçimi bulanık PROMETHEE yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

1.1 Bulanık DEMATEL Yöntemi

DEMATEL tekniği Fontela ve Gabus tarafından 1973 yılında geliştirilmiş olan bir ÇKKV yöntemidir. Bu yöntemde de diğer ÇKKV yöntemleri gibi uzman görüşleri ve deneyimleri problemin analizinde kullanılmaktadır. DEMATEL yöntemi kriterler arasındaki ilişkileri neden-sonuç ilişkisi açısından ele almaktadır ve kriterler arasındaki ilişkinin gücünün değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu yöntemde kriterler arasındaki karmaşık ilişki grafik üzerinde görselleştirilerek karar vericilerin daha kolay bir şekilde kriterler arasındaki ilişkileri değerlendirmesi mümkün olmaktadır. Yöntemde kriterler, etkileyen ve etkilenen grup olarak ikiye ayrılmaktadır. Böylece karar vericiler hangi kriterlerin üzerinde değişiklik yaparak dolaylı yoldan diğer kriterleri geliştirebileceklerini analiz edilebilmektedir. Bu sayede problem çözümü üzerinde daha fazla etkiye sahip olan kriterler belirlenerek problemdeki kriter sayısı daha aza indirgenebilir. Chang vd., 2011: 1852; Lin, 2013: 35; Tsai vd. 2015: 5-6)

Literatürde DEMATEL yöntemi yaygın olarak TOPSİS, AHP, ANP, VIKOR gibi diğer ÇKKV yöntemleri ile birlikte kullanılmıştır. Tsai vd. (2015) çalışmalarında Tayvan' daki basılı devre levhası sektöründeki çevreye duyarlı üretim yapmayı etkileyen nedenleri araştırmışlardır. Çalışmada firmaların çevresel performansını etkileyen kriterlerin belirlenmesi için bulanık DEMATEL yöntemi kullanılmıştır. Yeşil ürün dizaynı, yeşil satınalma ve enerji tüketimi kritik nedensel kriterler olarak belirlenmiştir. Sektördeki firmaların çevreye duyarlılığının artırılması için bu kriterlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Chang vd. (2011) tedarikçi seçiminde etkili olan kriterleri belirlemek için bulanık DEMATEL yöntemini kullanmıştır. Tayvan' daki elektronik sektörde tedarikçi seçiminde ürün kalitesi, ürün fiyatı, teknolojik yetkinlik, hizmet, teslimat performansı, ürünlerin teslimatında istikrar, tedarik süresi, talepteki değişime cevap verebilme yeteneği, üretim kapasitesi, finansal durum kriterlerinin etkisi incelenmiştir. Çalışmada elektronik sektörde tedarikçi seçim kriterleri arasında ürünlerin teslimatındaki istikrarın diğer kriterler üzerinde de etkisi fazla olduğu için öncelikle bu kriterin göz önüne alınması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Dalalah vd. (2011) tedarikçi seçiminde kullanılacak olan kriterlerin arasındaki etki-sonuç ilişkisini bulanık DEMATEL ile inceledikten sonra bu kriterlere göre tedarikçi seçim problemini TOPSİS ile çözmüşlerdir. Uygulamada süt ve mısır gevreği üreten bir firmanın tedarikçi seçim problemi ele alınmıştır. Potansiyel dört tedarikçi firmayı uzmanlar tarafından belirlenmiş olan 17 kritere göre değerlendirmişler ve bulanık DEMATEL ile tedarikçi üretim kapasitesinin, lokasyonunun, teknik donanımının, sertifikalarının, baskı ve dizayn yeteneğinin, test yöntemlerinin etki grubunda olduğunu bulmuşlardır. Organ (2013) çalışmasında işletmelerin makine seçiminde kritik faktörlerin belirlenmesi için bulanık

DEMATEL yöntemini kullanmıştır. Maliyet, esneklik, teknik özellikler, kalite, performans kriterlerinin makine seçimindeki etkisi analiz edildiğinde, teknik özellik kriterinin diğer kriterler üzerinde etkisi yüksek olan kriter olması nedeniyle öncelikli olarak ele alınması gerektiği sonucuna ulaşmıştır. Lin (2013) çalışmasında yeşil tedarikçi seçim problemini ele almış ve kriterler arasındaki ilişkiyi bulanık DEMATEL yöntemiyle incelemiştir. Yasal düzenleme ve tedarik-müşteri ortaklığının yeşil tedarikçi seçiminde etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sumrit ve Anuntavoranich (2013) teknoloji firmalarının inovasyon yeteneklerini etkileyen kriterlerin arasındaki ilişkiyi bulanık DEMATEL yöntemiyle incelemiştir. Çalışmanın sonucunda inovasyon yönetim yeteneğinin diğer kriterler üzerinde en fazla etkiye sahip kriter olduğu belirlenmiştir.

Gerçek hayat problemlerinin yapısında barındırdığı belirsizlikler ve sözel değerlendirme yöntemlerinin sayısallaştırılmasında yaşanan zorluk bulanık yöntemlerin uygulanmasıyla çözümlenmektedir. Burada karar vericilerin sözel ifadeler ile değerlendirmiş oldukları ilişki değerleri bulanık sayılar yardımı ile ifade edilerek daha doğru bir şekilde sayısal ifadelere çevrilebilmektedir. Günümüzde karmaşık güncel hayat problemlerinin çözümünde bulanık yöntemlerin kullanılması oldukça yaygınlaşmıştır. Bu çalışmada da makine seçim problemindeki kalitatif ve kantitatif kriterlerin değerlendirilmesinde bulanık DEMATEL yöntemi kullanılarak daha homojen bir değerlendirme elde etmek amaçlanmıştır. Bulanık DEMATEL yöntemi ile kriterlerin arasındaki neden-sonuç ilişkisi ve etki derecesi belirlenmiştir.

Bulanık DEMATEL yönteminin uygulanmasını sekiz aşama ile özetlemek mümkündür (Chang vd., 2011: 1853-1855; Lin, 2013: 35-36; Organ, 2013: 161-163; Tsai vd., 2015: 9-12)

Adım 1: Problem kriterlerinin ve bulanık değerlendirme ölçeğinin belirlenmesi. Problemin ele alındığı firmanın ve endüstrinin özelliklerine göre kriterlerin belirlenmesi için firmadaki uzman çalışanlardan ve akademisyenlerden oluşan bir karar grubu oluşturulur. Karar grubunun üyeleri arasında gerçekleştirilen beyin fırtınası sonucunda firmanın mevcut probleminin çözümünü etkileyebilecek kriterler belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen kriterlerin arasındaki ilişkinin ölçülmesi amacıyla bulanık skala kullanılmıştır. Bulanık skala karar vericilerin kriterler arasındaki ilişkiyi çok fazla, fazla, normal, az ve çok az olarak beşli dilsel terim ile değerlendirmesine imkan vermektedir. Çalışmada Li (1999: 96) tarafından önerilen bulanık skala ve üçgensel bulanık sayı karşılıklarından oluşan bulanık değerlendirme ölçeği kullanılmıştır ve Tablo 1’de bu ölçek değerleri yer almaktadır.

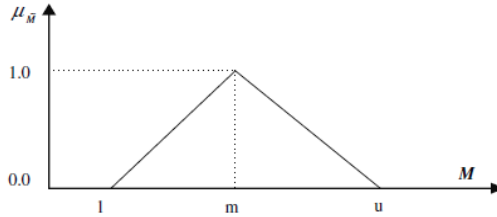
Tablo 1: Bulanık Değerlendirme Ölçeği

Dilsel İfadeler	Etki Puanı	Bulanık Sayı Karşılıkları
Çok az Etkili	0	(0;0;0,25)
Az Etkili	1	(0;0,25;0,50)
Normal Etkili	2	(0,25;0,50;0,75)
Fazla Etkili	3	(0,50; 0,75;1,00)
Çok Fazla Etkili	4	(0,75;1,00;1,00)

Hesaplama kolaylığı sağlaması nedeniyle literatürde en yaygın olarak kullanılan bulanık sayı kümesi üçgensel bulanık sayı kümesidir. Bu çalışmada hesaplama kolaylığı ve sezgisel olarak oluşturulabilmesi sebebiyle üçgensel bulanık sayı kümesi kullanılmıştır.

Üçgensel bulanık sayı kümesi (l, m, u) şeklinde gösterilebilmektedir. Buradaki l , m ve u parametreleri sırasıyla bir bulanık olayı tanımlayan en küçük mümkün sayı, en uygun değer ve en büyük mümkün sayıyı ifade etmektedir.

\tilde{M} bir üçgensel bulanık sayı olup, aşağıdaki Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1: Üçgensel Bulanık Sayı, \tilde{M}

Bu çalışmada bulanık sayılar ile dört farklı işlem gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler aşağıdaki gibi özetlenmiştir. Eğer $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ ’nin iki bulanık sayı kümesi olduğunu varsayarsak:

$$M_1 \oplus M_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \tag{1}$$

$$M_1 \ominus M_2 = (l_1 + u_2, m_1 - m_2, u_1 - l_2) \tag{2}$$

$$M_1 \otimes M_2 = (l_1 * l_2, m_1 * m_2, u_1 * u_2) \tag{3}$$

$$M_1^{-1} = (l_1, m_1, u_1)^{-1} \approx \left(\frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1}\right) \tag{4}$$

Adım 2: Bulanık direkt ilişki matrisinin oluşturulması. Bu aşamada kriterler $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ arasındaki ilişkinin düzeyini belirlemek üzere, her bir uzmandan i kriterinin j kriterini etkileme derecesini belirlemesi istenir. \tilde{x}_{ij}^k , k uzmanının i kriterinin j kriterini etkileme derecesini ifade ettiği değişkendir. H sayıda uzman tarafından gerçekleştirilen ilişki değerlendirme matrisinin ortalaması alınarak direkt ilişki matrisi oluşturulur. Bulanık direkt ilişki matrisi \tilde{A} , $n \times n$ boyutlarında olup aşağıdaki eşitlik (5) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\tilde{a}_{ij} = \frac{1}{H} \sum_{k=1}^H \tilde{x}_{ij}^k \tag{5}$$

Adım 3: Bulanık normalize direkt ilişki Matrisinin oluşturulması. Normalleştirilmiş bulanık direk ilişki matrisi \tilde{X} ($\tilde{X} = [\tilde{x}_{ij}]_{n \times n}$), bulanık ortalama matris \tilde{A} , ‘nın eşitlik (6) ve (7) kullanılarak normalleştirilmesiyle elde edilir.

$$\tilde{X} = \lambda x \tilde{A} \quad (6)$$

$$\lambda = \min \left[\frac{1}{\max_i \sum_{j=1}^n |a_{ij}|}, \frac{1}{\max_j \sum_{i=1}^n |a_{ij}|} \right] \quad (7)$$

Adım 4: Bulanık Toplam ilişki matrisi \tilde{T}' 'nin hesaplanması. Bulanık toplam ilişki matrisi \tilde{T} , bir önceki aşamada elde edilen normalize direkt ilişki matrisi \tilde{X} ve I birim matrisi ile aşağıdaki eşitlik (8) yardımıyla hesaplanır.

$$\tilde{T} = \tilde{X} (1 - \tilde{X})^{-1} \quad (8)$$

Adım 5: Nedensel ilişkilerin hesaplanması. Toplam ilişki matrisi T'nin satır ve sütun değerlerinin toplanmasıyla \tilde{D} ve \tilde{R} değerleri hesaplanır. \tilde{D} ve \tilde{R} değerleri sırasıyla kriterler arasındaki direkt ve dolaylı ilişkileri ifade etmektedir. \tilde{D} ve \tilde{R} değerleri eşitlik (9) ve (10) yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$\tilde{D}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{T}_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

$$\tilde{R}_j = \sum_{i=1}^n \tilde{T}_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

Adım 6: Bulanık değerlerin durulaştırılması işlemi. Bir önceki aşamada hesaplanmış olan \tilde{D} ve \tilde{R} değerleri üçgensel bulanık sayılar kullanılarak hesaplanmıştır. Bu aşamada bu değerlerin durulaştırma işlemleri gerçekleştirilir. Durulaştırılmış D_i^{Def} ve R_i^{Def} değerleri aşağıdaki eşitlik (11) ve (12) kullanılarak hesaplanmaktadır. Buradaki “def” kısaltması durulaştırma anlamına gelen “defuzzifying” kelimesinin kısaltmasıdır ve durulaştırılmış değerleri tanımlamaktadır.

$$\overline{D_i^{Def}} + \overline{R_i^{Def}} = \frac{1}{4}(l + 2n + u) \quad (11)$$

$$\overline{D_i^{Def}} - \overline{R_i^{Def}} = \frac{1}{4}(l + 2n + u) \quad (12)$$

Tablo 2: Kriterlerin Öncelik (D+R) ve İlişki ($\overline{D_i^{Def}} - \overline{R_i^{Def}}$) Değerlerinin Yorumu

(D-R) değeri	(D+R) değeri	Kriterin özelliği
Pozitif	Yüksek	Bu kriterler nedensel kriter olarak sınıflandırılmaktadır ve bu kriterlerin diğer problem kriterleri üzerinde etki dereceleri yüksektir. Nedensel gruptaki kriterlerin diğer kriterleri etkileme ve dolaylı yoldan değiştirme özelliği olduğu için bu kriterler karar vericilerin istedikleri sonuçları elde etmek için odaklanması gereken kriterlerdir.
Pozitif	Düşük	Bu kriterler de pozitif D-R değerine sahip olduğu için nedensel kriterler olarak sınıflandırılır. Ancak bu kriterlerin diğer kriterler üzerindeki etkisi azdır ve bağımsız kriterlerdir. Bu kriterlerde yapılacak değişikliğin diğer kriterleri etkilemesi beklenmez.
Negatif	Yüksek	Bu kriterler sonuç kriteri olarak sınıflandırılır ve nedensel kriterlerin bu kriterler üzerindeki etkisi büyüktür. Nedensel kriterlerin geliştirilmesiyle bu kriterlerin de dolaylı olarak gelişmesi mümkündür.
Negatif	Düşük	Bu grupta yer alan kriterler sonuç kriteri olarak değerlendirilmekle beraber bu kriterler göreceli olarak bağımsız kriterlerdir. Nedensel kriterler tarafından çok fazla etkilenmezler. Problemin sonucu üzerindeki etkileri zayıftır.

$(\overline{D_i^{Def}} + \overline{R_i^{Def}})$ değeri kriterlerin önem ve toplam etki değerini temsil ederken ($\overline{D_i^{Def}} - \overline{R_i^{Def}}$) değeri kriterlerin arasındaki ilişkilerin yönünü belirleyerek neden sonuç kriteri olarak gruplandırılmasını sağlamaktadır. Kriterlerin ilişki yönünü ve etki derecesini belirleyen $(\overline{D_i^{Def}} + \overline{R_i^{Def}})$ ve $(\overline{D_i^{Def}} - \overline{R_i^{Def}})$ değerleri dört farklı şekilde yorumlanabilmektedir. Tablo 2’de bu değerlere göre kriterlerin yorumlanması açıklanmıştır.

Adım 7: İlişki diyagramının oluşturulması. Kriterler arasındaki önem ve toplam etki ile neden sonuç ilişkisini görsel olarak ifade eden ilişki diyagramı, $(\overline{D_i^{Def}} + \overline{R_i^{Def}}$, $\overline{D_i^{Def}} - \overline{R_i^{Def}}$) değerleri ile oluşturulmaktadır.

Adım 8: Kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması. Kriter ağırlıkları aşağıdaki eşitlik (13) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$w_i = \left\{ (\overline{D_i^{Def}} + \overline{R_i^{Def}})^2 + (\overline{D_i^{Def}} - \overline{R_i^{Def}})^2 \right\}^{1/2}, W_i = \frac{w_i}{\sum_i w_i} \quad (13)$$

1.2. Bulanık PROMETHEE Yöntemi

PROMETHEE yöntemi Brans tarafından geliştirilmiş ve ilk olarak 1982 yılında Kanada’da bir konferansta tanıtılmıştır. Etkin ve uygulaması kolay bir yöntem olan PROMETHEE metodunun, üretim ve hizmet sektörünün çeşitli alanlarında başarılı birçok uygulaması gerçekleştirilmiştir. PROMETHEE, çok kriterli karar verme problemlerinde, karar verici tarafından en uygun seçimin ve sıralamanın yapılmasına yardımcı olmak için geliştirilmiş bir yöntemdir. Mevcut çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulamadaki zorluklarından yola çıkılarak ortaya atılmış bir önceliklendirme metodudur. Yöntem, çok kriterli bir karar problemindeki mevcut alternatifleri daha önceden belirlenmiş kriterlere göre ikili olarak karşılaştırır ve sıralama yapar. Bunu gerçekleştirirken her kriter için karar verici tarafından belirlenmiş tercih fonksiyonlarını kullanır (Ömürbek ve Eren, 2016:178, Senvar vd., 2014:27).

PROMETHEE yöntemini uygulamadan önce karar vericiler iki farklı bilgiye ihtiyaç duyarlar. Bunlar (Dağdeviren, 2008:400):

- Karar vericinin belirlediği kriterlere ait ağırlıkları gösteren bilgi
- Kararı verecek kişinin alternatiflerin katkılarını karşılaştırırken kullandığı farklı her bir kriter bakımından tercih fonksiyonlarına ait bilgi

Karar vericiler tarafından belirlenen kriterlerin ağırlıklarının tayini için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Ağırlıkların belirlenmesinde en çok kullanılan metotlardan biri Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemidir. PROMETHEE yöntemi ağırlıkların belirlenmesi için yol göstermez; karar verici tarafından ağırlıkların kriterler arasında uygun bir şekilde dağıtıldığını farz eder. Kriterlere verilen ağırlıklar 0 ile 1 arasında değişen bir pozitif sayıdır ve alternatiflerin her bir kriter için aldığı değerlerden bağımsızdır. Kriterlerin önem derecesi ağırlıkların büyüklüğü ile doğru orantılıdır.

PROMETHEE yöntemi aşağıdaki 7 adımda gerçekleştirilmektedir (Greco, 2005:170-174).

Adım 1: İlk adımda, karar noktaları (alternatifler) ve karar vericinin ilgili konuda kararını etkileyecek değerlendirme kriterleri belirlenir. Daha sonra her bir alternatif her bir kriter bazında konunun uzmanları tarafından değerlendirilir. Bu işlem sonunda bir değerlendirme matrisi elde edilir.

Tablo 3: Veri Matrisi

Alternatifler/Kriterler	k_1	k_2	k_3
A	$k_1(a)$	$k_2(a)$	$k_3(a)$
B	$k_1(b)$	$k_2(b)$	$k_3(b)$
C	$k_1(c)$	$k_2(c)$	$k_3(c)$
....

Adım 2: Her kriter için ayrı bir tercih fonksiyonu belirlenmelidir. Bu fonksiyonlar kullanılarak, alternatiflerin ikili karşılaştırmalarında en iyi alternatifin tercih derecesi bulunur. a ve b gibi iki alternatif karşılaştırılırken, bu karşılaştırmanın sonucunu tercihler bakımından açıklanabilmektedir. Bu nedenle bir P tercih fonksiyonu seçilir (Dagdeviren, 2008:400). Bu tercih fonksiyonu, 0–1 aralığında değişen değerler alabilen, belirli bir kriter baz alınarak değerlendirilen a ve b gibi iki karar noktası arasındaki farkı ifade eder. Brans ve Vincke (1985) tarafından karar vericinin seçimini kolaylaştırmak için, yöntemin uygulanmasında kullanılacak altı farklı tercih fonksiyonu sunulmuştur. Bunlar, olağan tip, U tipi, V tipi, seviyeli tip, doğrusal tip ve Gaussian tip tercih fonksiyonlarıdır. Ayrıca kullanılan tercih fonksiyonunun tipine bağlı olarak bir takım eşik değerleri tanımlanmalıdır:

q: Farksızlık Değeri

p: Kesin Tercih Eşiği

s: p ve q Arasındaki Ara Değer

q farksızlık değeri, karar verici tarafından önemsiz görülebilecek kriterlerin alternatiflere göre en büyük fark değeri iken, p değeri ise karar verici tarafından kesin tercih oluşturabilmek için yeterli görülebilecek en küçük fark değeridir. Yapılan literatür araştırmasında en çok tercih edilen tercih fonksiyonu tipi doğrusal tip olarak tespit edilmiştir ve aşağıdaki eşitlik (14)'deki gibi hesaplanmaktadır (Yılmaz ve Dağdeviren, 2010:816).

$$\begin{aligned}
 P(a, b) &= 0, & d &\leq q \\
 P(a, b) &= \frac{d-q}{p-q}, & q &\leq d \leq p \\
 p(a, b) &= 1, & d &\geq p
 \end{aligned} \tag{14}$$

Adım 3: Kriterler için tayin edilen tercih fonksiyonlarından yola çıkarak alternatifleri karşılaştırabilmek için ortak tercih fonksiyonları belirlenir; a ve b alternatiflerini karşılaştırabilmek için ortak bir tercih fonksiyonu seçilir. Alternatifler her kriter bazında karşılaştırılır. Alternatifler arasındaki $P_j(a, b)$ tercih fonksiyonunun genel gösterimi aşağıdaki eşitlik 15’de verilmiştir;

$$P_j(a, b) = \begin{cases} 0 & f(a) \leq f(b) \\ p[f(a) - f(b)] & f(a) > f(b) \end{cases} \quad (15)$$

Adım 4: Bu adımda, her bir alternatif çifti için tercih indeksleri hesaplanır. Tercih indeksi eşitlik 16 ve 17 kullanılarak belirlenir;

$$\pi(a, b) = \sum_j^k P_j(a, b).w_j \quad (16)$$

$$\pi(b, a) = \sum_j^k P_j(b, a).w_j \quad (17)$$

$\pi(a, b)$, tüm kriterler için a alternatifinin b alternatifine tercih edilme derecesini gösterirken; $\pi(b, a)$, b alternatifinin a alternatifine tercih edilme derecesini göstermektedir.

Adım 5: Alternatifler arasında sıralama yapabilmek amacıyla her bir alternatif için pozitif üstünlük (Φ^+) ve negatif üstünlük (Φ^-) değerleri hesaplanır. Bunun için sırasıyla eşitlik 18 ve 19 kullanılır;

$$\Phi^+(a) = 1 / (n-1) \sum \pi(a, x) \quad x = (b, c, d, \dots) \quad (18)$$

$$\Phi^-(a) = 1 / (n-1) \sum \pi(x, a) \quad x = (b, c, d, \dots) \quad (19)$$

Pozitif üstünlük değeri, a alternatifinin diğer alternatiflere olan üstünlük ölçütü olarak ifade edilir. Bir alternatifin pozitif üstünlük değerinin yüksek olması, o alternatifin diğer alternatiflere kıyasla daha iyi bir seçim olduğunu gösterir. Negatif üstünlük değeri, a alternatifinin diğer alternatifler tarafından bastırılma derecesini gösterir. Bir alternatifin negatif üstünlük değerinin düşük olması, o alternatifin diğer alternatiflere kıyasla daha iyi bir seçim olduğunu ifadesidir.

Adım 6: Pozitif ve negatif üstünlük değerleri belirlendikten sonra, PROMETHEE I ile alternatiflerin kısmi sıralaması gerçekleştirilir. Bu vasıta ile alternatifler arası ilişkilerin niteliği belirlenir. Bu aşamadaki değerlendirmeler üstünlük (P), eşitlik (I) ve kıyaslanamaz (R) şeklinde ifade edilir. PROMETHEE I yöntemi için (P+, I+) ve (P-, I-) değerleri belirlenerek pozitif ve negatif değerler karşılaştırılır; bu karşılaştırmada aşağıdaki durumlar göz önünde bulundurulur.

1. Durum: a alternatifi b alternatifinden üstündür

$$1) \quad \Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad (20)$$

$$2) \quad \Phi+(a) > \Phi+(b) \text{ ve } \Phi-(a) = \Phi-(b) \quad (21)$$

$$3) \quad \Phi+(a) = \Phi+(b) \text{ ve } \Phi-(a) < \Phi-(b) \quad (22)$$

2. Durum: a alternatifi b alternatifine eşittir

$$1) \quad \Phi+(a) = \Phi+(b) \text{ ve } \Phi-(a) = \Phi-(b) \quad (23)$$

3. Durum a alternatifi b alternatififiyle kıyaslanamaz

$$1) \quad \Phi+(a) > \Phi+(b) \text{ ve } \Phi-(a) > \Phi-(b) \quad (24)$$

$$2) \quad \Phi+(a) < \Phi+(b) \text{ ve } \Phi-(a) < \Phi-(b) \quad (25)$$

Adım 7: PROMETHEE I ile kısmi sıralama yapıldıktan sonra PROMETHEE II ile tüm alternatifler için pozitif ve negatif üstünlük değerleri arasındaki fark bulunarak net öncelik değerleri hesaplanır. Böylece tüm alternatifler için tam sıralama elde edilmiş olur.

$$\Phi_{net}(a) = \Phi+(a) - \Phi-(a) \quad (26)$$

a ve b gibi iki alternatifi net öncelik değerleri kıyaslanırken iki karar söz konusudur; $\Phi_{net}(a) > \Phi_{net}(b)$ ise, a alternatifi b alternatifinden daha üstündür. $\Phi_{net}(a) = \Phi_{net}(b)$ ise, a ve b alternatifleri birbirinden farksızdır.

Bulanıklık teorisinin PROMETHEE yöntemine entegrasyonu ile bulanık PROMETHEE yöntemi ortaya çıkmıştır. Söz konusu yöntem ilk olarak Lé Teno ve Mareschal tarafından 1998 yılında önerilmiştir. Yöntemin amacı, PROMTHEE yöntemine bulanık sayıları entegre ederek daha hassas ve daha belirgin sonuçlar elde edebilmektir. Bulanık PROMETHEE yöntemi, PROMETHEE yöntemindeki tüm işlemler bulanıklaştırılarak gerçekleştirilir; sadece kriter ağırlıkları ve tercih fonksiyonundaki tercih eşikleri (q ve p) kesin sayı olarak kalır. Alternatifler konusunda karara varmamızı sağlayacak anket değerlendirmeleri, dilsel ifadelerle yapılır ve daha sonra bu dilsel ifadeler bulanık sayılara dönüştürülür. Çalışmanın bu kısmında kullanılan dilsel ifadeler ve üçgensel bulanık sayı karşılıkları aşağıdaki Tablo 4’de verilmiştir (Li, 1999:96).

Tablo 4: Bulanık Değerlendirme Ölçeği

Dilsel İfadeler	Bulanık Sayı Karşılıkları
Çok iyi	(0;0;0,25)
İyi	(0;0,25;0,50)
Orta	(0,25;0,50;0,75)
Zayıf	(0,50; 0,75;1,00)
Çok zayıf	(0,75;1,00;1,00)

Bulanık PROMETHEE yönteminde, tercih fonksiyonlarındaki işlemler de bulanık sayılarla ifade edilecek şekilde değiştirilir. Bu çalışmada, tüm kriterler için problem yapısına uygun olan doğrusal tip tercih fonksiyonu kullanılmıştır. Doğrusal tip tercih fonksiyonundaki, alternatiflerin bir kriter bazında aralarındaki farkı ifade eden d , (n,c,d) bulanık sayısı olarak ifade edilecek ve fonksiyon aşağıdaki eşitlik 27’de gösterildiği gibi değişecektir (Yılmaz ve Dağdeviren, 2010:816).

$$\begin{aligned}
 P(a,b) &= 0, & n - c &\leq q \\
 P(a,b) &= \frac{d-q}{p-q}, & q &\leq n - c \text{ ve } n + d \leq p \\
 p(a,b) &= 1, & n + d &\geq p
 \end{aligned} \tag{27}$$

Bu aşamada elde edilen sayılar bulanık olacağı için, alternatiflerin karşılaştırılmasında sorun yaratacaktır. Bu çalışmada, alternatiflerin karşılaştırılabilmesi için 1981 yılında Yager tarafından önerilen Yager indeksi kullanılmıştır. Bu indekse göre, elde edilen bir bulanık sayının $F(n,c,d)$ durulaştırılmış şekli $YI=(3*n-c+d)/3$ formülü kullanılarak elde edilir. Daha sonraki işlemler PROMETHEE yöntemiyle aynı şekilde gerçekleştirilir. $\Phi+$, $\Phi-$ ve Φ net değerleri hesaplanarak alternatiflerin tam ve kısmi sıralaması elde edilir (Senvar vd., 2014: 29).

2. UYGULAMA

Kablo üretim sektöründe makine seçim problemi stratejik karar süreçlerinden biridir. Firmaların pazarda rekabet avantajı kazanabilmesi için makine seçim probleminin değerlendirilmesinde kullanılacak olan kriterlerin firmanın stratejik hedeflerini destekleyici olması önemlidir. Her firmanın bulunduğu pazardaki rakiplerinin konumuna ve kendi konumlandırılmasına uygun olarak belirlenen stratejik hedefleri farklı olacağından makine seçiminde kullanılacak kriterlerin de firmalara özel olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın uygulama kısmı, Çerkezköy Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren ve kablo üretimi yapan büyük bir firmada gerçekleştirilmiştir. Uygulamanın ilk kısmında, firmanın ürünlerinin büyük bir kısmını oluşturan alçak gerilim kablolarının üretiminde kullanılan makinelerin seçiminde etkili olan kriterlerin belirlenmesi amaçlanmıştır; ikinci kısımda ise bu kriterler bazında uygun makine alternatifinin seçimi ele alınmıştır.

Çalışmada değerlendirilecek kriterler, firmada çalışan üretim müdürü, teknik müdür ve 2 ustabaşından oluşan uzman gruba danışılarak ve literatürdeki çalışmalardan yararlanılarak belirlenmiştir. Yapılan ön çalışma sonucunda firmanın makine seçim sürecinde etkili olabilecek sekiz kritik kriter belirlenmiştir. Bunlar, “Kalite” (C1), “Maliyet” (C2), “Kullanım Kolaylığı” (C3), Satış sonrası hizmetler (C4), “Fiziksel Özellikler” (C5), “Güvenlik” (C6), Endüstriyel Tercih (C7), ve “Performans” (C8)’dir. Kriterlerin listesi ve tanımları aşağıdaki Tablo 5’de gösterilmiştir.

Tablo 5: Makine Seçim Problemi Kriterleri ve Tanımlar

Kriter	Tanım	Kaynaklar
Kalite (C1)	Yüksek kaliteli ve hata oranı düşük üretebilme yeteneği	Organ, 2013; Gök Kısa&Perçin, 2017
Maliyet(C2)	Satınalma maliyeti	Önüt,2008;Vatansever,2014;Samvedi,2014
Kullanım kolaylığı (C3)	Makinenin çalışanlar tarafından kolay kontrol edilebilme ve anlaşılabilme kolaylığı. Yeni kullanıcı eğitim süresinin kısalığı	Önüt,2008; GökKısa&Perçin,2017;Samvedi,2014
Satış sonrası hizmetler (C4)	Yedek parça bulunabilirliği ve tamir-bakım hizmetlerinin kalitesi	Vatansever,2014; Samvedi,2014; Perçin,2012
Güvenlik (C5)	Makinenin çalışanlar ve çevrenin güvenliği açısından risk oluşturma düzeyi	Önüt,2008; GökKısa&Perçin,2017;Samvedi,2014
Endüstriyel Tercih (C6)	Makinenin marka imajının endüstrideki kullanıcılar üzerindeki etkisi	Önüt,2008; Yılmaz&Dağdeviren,2010
Fiziksel Özellikler (C7)	Makinenin fiziksel boyutları, kapladığı alan ve ağırlığı	Vatansever,2014
Performans (C8)	Birim zamandaki üretim hızı ve üretim hacmi	Önüt,2008; GökKısa&Perçin,2017;Samvedi,2014

İlk aşamada uzman gruptan ilgili kriterler arasındaki neden-sonuç ilişkisini değerlendirmeleri istenmiş ve bunun için bulanık DEMATEL yönteminden yararlanılmıştır. Bulanık DEMATEL metodunun uygulaması için hazırlanan anketler uzman grup tarafından değerlendirilmiş ve ortalaması alınan anketlerden başlangıç direkt ilişki matrisi olarak adlandırılan ortalama matris elde edilmiştir.

Ortalama bulanık direkt ilişki matrisi Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Ortalama Bulanık Direkt İlişki Matrisi

	(C1)			(C2)			(C3)			(C4)			(C5)			(C6)			(C7)			(C8)		
(C1)	0.0	0.0	0.0	0.8	1.0	1.0	0.7	0.9	1.0	0.4	0.6	0.8	0.1	0.3	0.6	0.1	0.3	0.6	0.4	0.7	0.9	0.3	0.5	0.8
(C2)	0.2	0.4	0.7	0.0	0.0	0.0	0.6	0.8	0.9	0.6	0.9	0.9	0.3	0.5	0.7	0.2	0.3	0.6	0.3	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6
(C3)	0.6	0.8	0.9	0.5	0.8	0.9	0.0	0.0	0.0	0.5	0.8	0.9	0.3	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6	0.4	0.7	0.8	0.1	0.3	0.6
(C4)	0.3	0.5	0.8	0.5	0.8	0.9	0.5	0.8	0.9	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.6	0.1	0.4	0.6	0.6	0.9	0.9	0.2	0.4	0.6
(C5)	0.1	0.3	0.6	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.2	0.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.4	0.3	0.6	0.8	0.2	0.3	0.6
(C6)	0.2	0.4	0.6	0.4	0.7	0.8	0.3	0.4	0.6	0.4	0.7	0.9	0.1	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6
(C7)	0.4	0.6	0.8	0.4	0.6	0.8	0.5	0.7	0.8	0.3	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6	0.1	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.6
(C8)	0.3	0.5	0.7	0.4	0.6	0.8	0.0	0.1	0.4	0.1	0.3	0.6	0.1	0.3	0.5	0.1	0.2	0.4	0.5	0.8	0.9	0.0	0.0	0.0

Not: kalite (C1), maliyet (C2), kullanım kolaylığı (C3), satış sonrası hizmetler (C4), güvenlik (C5), endüstriyel tercih (C6), fiziksel özellikler (C7), performans (C8).

Direkt ilişki matrisinden sonra eşitlik (6) kullanılarak normleştirilmiş ilişki matrisi hesaplanmıştır. Tablo 7'de bulanık normalize ilişki matrisi değerlerini göstermektedir.

Tablo 7: Bulanık Normalize-İlişki Matrisi

	(C1)			(C2)			(C3)			(C4)			(C5)			(C6)			(C7)			(C8)		
(C1)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1
(C2)	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
(C3)	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
(C4)	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1
(C5)	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
(C6)	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
(C7)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
(C8)	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0

Not: kalite (C1), maliyet (C2), kullanım kolaylığı (C3), satış sonrası hizmetler (C4), güvenlik (C5), endüstriyel tercih (C6), fiziksel özellikler (C7), performans (C8).

Bulanık toplam ilişki matrisi eşitlik (8) yardımıyla hesaplanır. Tablo 8 ‘de bulanık toplam ilişki matrisi değerleri yer almaktadır.

Tablo 8: Bulanık Toplam İlişki Matrisi

	(C1)			(C2)			(C3)			(C4)			(C5)			(C6)			(C7)			(C8)		
(C1)	.00	.00	.00	.03	.08	.25	.02	.07	.24	.01	.03	.17	.00	.01	.10	.00	.01	.09	.01	.05	.22	.00	.02	.14
(C2)	.00	.02	.14	.00	.00	.00	.01	.05	.19	.02	.05	.20	.00	.02	.12	.00	.01	.09	.01	.03	.17	.00	.01	.11
(C3)	.01	.05	.20	.01	.05	.21	.00	.00	.00	.01	.04	.21	.00	.01	.10	.00	.01	.10	.01	.04	.20	.00	.01	.10
(C4)	.00	.02	.16	.01	.05	.23	.01	.05	.22	.00	.00	.00	.00	.01	.10	.00	.01	.10	.02	.06	.23	.00	.01	.12
(C5)	.00	.01	.10	.00	.02	.14	.00	.02	.13	.00	.01	.11	.00	.00	.00	.00	.00	.05	.00	.03	.16	.00	.01	.09
(C6)	.00	.01	.10	.01	.04	.18	.00	.02	.11	.01	.04	.18	.00	.00	.07	.00	.00	.00	.01	.03	.18	.00	.02	.10
(C7)	.01	.03	.14	.01	.04	.16	.01	.04	.16	.00	.02	.11	.00	.01	.10	.00	.00	.06	.00	.00	.00	.00	.01	.09
(C8)	.00	.02	.12	.01	.03	.16	.00	.00	.07	.00	.01	.10	.00	.01	.07	.00	.00	.06	.01	.04	.18	.00	.00	.00

Not: kalite (C1), maliyet (C2), kullanım kolaylığı (C3), satış sonrası hizmetler (C4), güvenlik (C5), endüstriyel tercih (C6), fiziksel özellikler (C7), performans (C8).

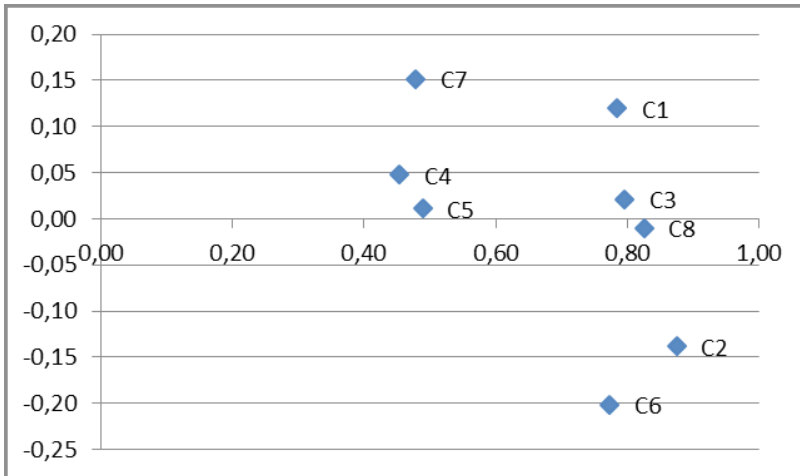
Bulanık toplam ilişki matrisindeki satır ve sütun değerlerinin toplanmasıyla oluşturulan D ve R değerlerinin eşitlik (11) ve (12) kullanılarak durulaştırılmış ve öncelik ve toplam etki $(\overline{D}_i^{Def} + \overline{R}_i^{Def})$, ilişki $(\overline{D}_i^{Def} - \overline{R}_i^{Def})$ değerleri Tablo 9’daki gibi hesaplanmıştır. Buna göre, öncelik ve toplam etki $(\overline{D}_i^{Def} + \overline{R}_i^{Def})$, değerleri yüksek olan Maliyet (C2), Performans (C8) ve Kullanım Kolaylığı (C3) diğer kriterlere göre makine seçiminde kritik bir öneme sahiptir.

Tablo 9: Kriterlerin Öncelik ($\overline{D}_i^{Def} + \overline{R}_i^{Def}$), İlişki Değerleri ($\overline{D}_i^{Def} - \overline{R}_i^{Def}$), ve Kriter Ağırlıkları (w_i)

Kriter	D+R	D-R	w_i	W_i
(C2)	.87	-.14	0.89	0.16
(C8)	.83	-.01	0.83	0.15
(C6)	.77	-.20	0.80	0.14
(C3)	.80	.02	0.80	0.14
(C1)	.79	.12	0.79	0.14
(C7)	.48	.15	0.50	0.09
(C5)	.49	.01	0.49	0.09
(C4)	.45	.05	0.46	0.08

Tablo 9'a göre Maliyet (C2) kriteri en yüksek normalize ağırlık değerine sahip olması nedeniyle makine seçiminde en önemli kriter olarak belirlenmiştir. Maliyet (C2)'den sonra sırasıyla, Performans (C8), Kullanım Kolaylığı (C3), Endüstriyel Tercih (C6) ve Kalite (C1) kriterleri de yüksek ağırlık değerleriyle makine seçiminde önemli kriterlerdir.

İlişki diyagramı ($\overline{D}_i^{Def} + \overline{R}_i^{Def}$), ve ($\overline{D}_i^{Def} - \overline{R}_i^{Def}$), değerleri kullanılarak Şekil 2'deki gibi oluşturulmuştur. Şekildeki yatay eksen (x) değerleri kriterlerin önem ve toplam etki değerini göstermektedir. Bu değerlerin yüksek olması kriterin diğer kriterler ile daha fazla etkileşim halinde olduğunu ve toplam etki değerinin yüksek olduğunu ifade etmektedir. Aşağıdaki şekilden, Maliyet (C2) kriterinin diğer kriterler üzerinde yüksek etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır. Buna ilaveten, şekildeki dikey eksen (y), kriterler arasındaki ilişki yönünü belirlemektedir. Pozitif ($\overline{D}_i^{Def} - \overline{R}_i^{Def}$), değerine sahip olan kriterler nedensel kriterler olarak sınıflandırılır ve sonuç kriterleri üzerinde etkiye sahiptir. Aşağıdaki şekilde Maliyet (C2), Performans (C8) ve Endüstriyel tercih (C6) kriterleri diğer tarafından etkilenen sonuç kriterleri sınıfında yer alırken diğer kriterler bu üç kriter üzerinde değişik etki derecelerine sahip olan nedensel kriterler olarak sınıflandırılmaktadır.

**Şekil 2:** İlişki Diyagramı

Not: kalite (C1), maliyet (C2), kullanım kolaylığı (C3), satış sonrası hizmetler (C4), güvenlik (C5), endüstriyel tercih (C6), fiziksel özellikler (C7), performans (C8).

Bulanık DEMATEL yöntemi ile karar noktalarının seçiminde etkili olan kriterlerin ağırlıkları belirlendikten sonra, belirlenen kriterler bazında kablo üretiminde kullanılan üç farklı makine markası uzmanların değerlendirmesine sunulmuştur. Elde edilen değerlendirme sonuçlarının ortalaması alınmış ve dilsel ifadelerin bulanık sayı karşılıkları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 10: Makine Markalarının Sözel Değerlendirmelerinin Bulanık sayılara Dönüştürülmesi

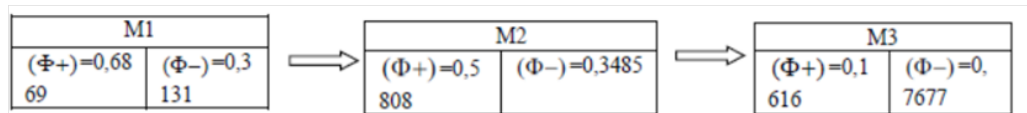
	Marka 1			Marka 2			Marka 3		
C1	0,75	1	1	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75
C2	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	0	0,25	0,5
C3	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75
C4	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,75	1	1
C5	0,5	0,75	1	0,75	1	1	0,5	0,75	1
C6	0,75	1	1	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75
C7	0,5	0,75	1	0,75	1	1	0,5	0,75	1
C8	0,75	1	1	0,75	1	1	0,25	0,5	0,75

Bir sonraki adımda tercih fonksiyonu tanımlanır. Bu çalışmada kullanılacak olan tercih fonksiyonu doğrusal tip olarak belirlenmiştir. Doğrusal tip tercih fonksiyonunda farksızlık eşiği q tüm kriterler için 0 olarak, tercih eşiği p 0,60 olarak alınmıştır. Alternatiflerin her kriter bazında ikili karşılaştırmaları yapılarak tercih indeksleri hesaplanmıştır. Daha sonrasında her bir alternatife ait pozitif, negatif ve net üstünlük değerleri elde edilmiş ve aşağıdaki Tablo (11) 'de gösterilmiştir.

Tablo 11: Alternatiflerin Üstünlük Değerleri

Alternatifler	Pozitif Üstünlük	Negatif Üstünlük	Net Üstünlük
Marka 1	0,6869	0,3131	0,3737
Marka 2	0,5808	0,3485	0,2323
Marka 3	0,1616	0,7677	-0,6061

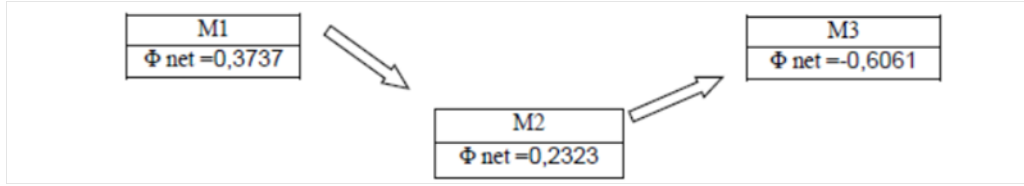
Bulanık PROMETHEE I yöntemi ile ortaya çıkan kısmi sıralama aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3: PROMETHEE I ile Kısmi Sıralama

Şekil 3'de görüldüğü üzere M1 ve M2, M3 alternatifinden üstündür. M1 ve M2 markalarının değerleri birbirine çok yakındır; PROMETHEE II ile yapılan tam sıralamada net

değerler değerlendirilerek M1 'in üstünlüğü ortaya çıkmıştır. Bulanık PROMETHEE II yöntemi ile ortaya çıkan tam sıralama aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4: PROMETHEE II ile Tam Sıralama

PROMETHEE II yönteminden elde edilen tam sıralama M1, M2, M3 şeklindedir. Buna göre yapılan analizler sonucunda firma için M1 marka makine diğer marka makinelere üstünlük sağlamıştır.

SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Üretim firmaları için makine seçim kararı kritik bir yatırım kararıdır. Firmaların üretim süreçlerinin ihtiyaçlarına uygun makine seçim kriterleri belirlemesi ve mümkün olduğunca kapsamlı miktarda kriter ile bu süreci değerlendirmesi yatırım kararının daha doğru alınmasına katkı sağlayacaktır. Çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKVY) karar vericilerin aynı anda bir çok kriteri değerlendirmesine imkan sağladığı için firmaların seçim kararı aldıkları problemlerin çözümünde etkili olmaktadır. Bu çalışmada, bir kablo üretim firmasındaki makine seçim problemi ele alınmış ve problemin çözümü için bulanık DEMATEL – bulanık PROMETHEE yöntemleri bütünlük olarak önerilmiştir. Firmanın kablo üretim seri hattında yer alan bir makinenin seçiminde uygun karar alabilmek için etkili olabilecek sekiz kriter uzmanlar tarafından belirlenmiştir. Kriterlerin önem dereceleri ve aralarındaki ilişki bulanık DEMATEL yöntemi ile incelendiğinde maliyet kriterinin makine seçiminde firma için en önem verilen kriter olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra performans ve kullanım kolaylığı kriterlerinin de maliyetten sonra en yüksek önem derecesine sahip kriterler olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmada önerilen bütünlük yöntem ve uygulamanın daha önce literatürde yer almadığı olması nedeniyle bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Kullanılan yöntemlerin bulanık yapıda olması nedeniyle karar vericilerin sözel ifadelerinin değerlendirilmesini daha kolay hale getirmiştir. Bunun yanı sıra kullanılan yöntemlerin basit ve pratik olması, karar vericilere makine seçimi konusunda kısa sürede etkin kararlar verebilme imkanı tanımaktadır. Uygulamanın firmaya sağladığı yararlar ele alındığında, makine seçim sürecinde birden fazla kriterin ele alınması sağlanarak sistematik bir karar verme süreci oluşturulmuş ve bu sayede firma için stratejik bir öneme sahip olan makinenin seçim kararı daha objektif hale getirilmiştir. Aynı zamanda firmaya bu konuda kolaylık sağlayarak zaman kazandırmıştır.

Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda, farklı sektörlerde ve karar problemlerinde ilgili yöntemin uygulanabilirliği ve performansı ölçülebilir. Buna ek olarak, makine seçim probleminin çözümü için literatürde diğer klasik yöntemlere göre daha az sayıda araştırmada kullanılmış olan ORESTE, bulanık ELECTRE, bulanık ENTROPY, MULTIMOORA gibi ÇKKV yöntemlerinin uygulanması mümkündür.

KAYNAKÇA

- Ayag, Z., & Özdemir R.G. (2006). A Fuzzy AHP Approach to Evaluating Machine Tool Alternatives, *Journal of Intelligence Manufacturing*, (17), 179–190.
- Ayağ, Z., & Özdemir, R. G. (2011). An Intelligent Approach to Machine Tool Selection through Fuzzy Analytic Network Process, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22(2), 163-177.
- Brans, J. P., & Vincke, P. (1985). Note—A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making). *Management Science*, 31(6), 647-656.
- Büyüközkan, G., & Çifçi, G. (2012). A Novel Hybrid MCDM Approach Based on Fuzzy DEMATEL, Fuzzy ANP and Fuzzy TOPSIS to Evaluate Green Suppliers, *Expert Systems with Applications*, 39(3), 3000-3011.
- Chang, B., Chang, C. W., & Wu, C. H. (2011). Fuzzy DEMATEL Method for Developing Supplier Selection Criteria, *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1850-1858.
- Dagdeviren, M. (2008). Decision Making in Equipment Selection: An Integrated Approach with AHP and PROMETHEE, *Journal of Intelligence Manufacturing*, (19), 397–406.
- Dalalah, D., Hayajneh, M., & Batiha, F. (2011). A Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Model for Supplier Selection, *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8384-8391.
- Falatoonitoosi, E., Ahmed, S. & Sorooshian, S. (2014). Expanded DEMATEL for Determining Cause and Effect Group in Bidirectional Relations, *The Scientific World Journal*, 2014.
- Gabus, A., & Fontela, E. (1972). *World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL*, Geneva, Switzerland: Battelle Geneva Research Center.
- Gharakhani, D. (2012). The Evaluation of Supplier Selection Criteria by Fuzzy DEMATEL Method, *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2(4), 3215-3224.
- Govindan, K., Khodaverdi, R., & Vafadarnikjoo, A. (2016). A Grey DEMATEL Approach to Develop Third-Party Logistics Provider Selection Criteria, *Industrial Management & Data Systems*, 116(4), 690-722.
- Gök Kısa A. C. & Perçin S. (2017). Bütünleşik Bulanık DEMATEL-Bulanık VIKOR Yaklaşımının Makine Seçimi Problemine Uygulanması. *Journal of Yasar University*, 12(48), 249-256.
- Greco, S., Figueira, J. & Ehrgott, M. (2005). Multiple Criteria Decision Analysis. *Springer's International Series*.
- Hsu, C. W., Kuo, T. C., Chen, S. H., & Hu, A. H. (2013). Using DEMATEL to Develop A Carbon Management Model of Supplier Selection in Green Supply Chain Management, *Journal Of Cleaner Production*, (56), 164-172.
- Jiang, X. L., Wu, Z. B., & Yang, Y. (2016, November). A fuzzy DEMATEL Method to Analyze The Criteria for Sustainable Supplier Selection. *In Green Building, Environment, Energy and Civil Engineering: Proceedings of the 2016 International Conference on Green Build-*

- ding, *Materials and Civil Engineering (GBMCE 2016)*, April 26-27 2016, Hong Kong, PR China (Vol. 27, p. 85). CRC Press.
- Kahraman, C., Onar, S. C. & Oztaysi, B. (2015). Fuzzy Multicriteria Decision-Making: A Literature Review. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 8(4), 637-666.
- Karim, R., & Karmaker, C. L. (2016). Machine Selection by AHP and TOPSIS Methods, *American Journal of Industrial Engineering*, 1(4), 7-13.
- Kumru, M., & Kumru, P.,Y. (2015). A Fuzzy ANP Model for The Selection of 3D Coordinate-Measuring Machine, *Journal of Intelligent Manufacturing* (26)5, 999-1010.
- Le Teno, J. F., & Mareschal, B. (1998). An Interval Version of PROMETHEE for the Comparison of Building Products' Design with Ill-defined Data on Environmental Quality, *European Journal of Operational Research*, 109(2), 522-529.
- Li, R. J. (1999). Fuzzy Method in Group Decision Making, *Computers & Mathematics with Applications*, 38(1), 91-101.
- Lin, R. J. (2013). Using Fuzzy DEMATEL to Evaluate The Green Supply Chain Management Practices, *Journal of Cleaner Production*, (40), 32-39.
- Liu, Weng-Kun, (2015). Using FDM and DEMATEL Approaches to Evaluate the Location Selection of Investments, *International Journal of Information and Education Technology*, 5(10).
- Lu, M. T., Lin, S. W., & Tzeng, G. H. (2013). Improving RFID Adoption in Taiwan's Healthcare Industry Based on A DEMATEL Technique with A Hybrid MCDM Model, *Decision Support Systems*, (56), 259-269.
- Mardani, A., Jusoh, A., MD Nor, K., Khalifah, Z., Zakwan, N., & Valipour, A. (2015a). Multiple Criteria Decision-Making Techniques and Their Applications—A Review of The Literature from 2000 to 2014. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 28(1), 516-571.
- Mardani, A., Jusoh, A., & Zavadskas, E. K. (2015b). Fuzzy Multiple Criteria Decision-Making Techniques and Applications—Two Decades Review from 1994 to 2014. *Expert Systems with Applications*, 42(8), 4126-4148.
- Nguyen, H. T., Dawal, S. Z. M., Nukman, Y., & Aoyama, H. (2014). A Hybrid Approach For Fuzzy Multi-Attribute Decision Making in Machine Tool Selection with Consideration of The Interactions of Attributes, *Expert Systems with Applications*, 41(6), 3078-3090.
- Organ, A. (2013). Bulanık Dematel Yöntemiyle Makine Seçimini Etkileyen Kriterlerin Değerlendirilmesi, *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(1).
- Organ, A. (2013). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden Bulanık PROMETHEE Yönteminin Konteynır Seçiminde Uygulanması, *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 45(45).
- Önüt, S., Kara, S. S., & Efendigil, T. (2008). A Hybrid Fuzzy MCDM Approach to Machine Tool Selection, *Journal of intelligent manufacturing*, 19(4), 443-453.
- Özgen, A., et al. (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.

- Perçin, S. (2012). Bulanık AHS ve Topsis Yaklaşımının Makine Teçhizat Seçimine Uygulanması, *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(1).
- Raut, R. D., Bhasin, H. V., & Kamble, S. S. (2011). Evaluation of Supplier Selection Criteria by Combination of AHP and Fuzzy DEMATEL Method, *International Journal of Business Innovation and Research*, 5(4), 359-392.
- Samvedi, A., Jain, V., & Chan, F. T. (2012). An Integrated Approach for Machine Tool Selection Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process and Grey Relational Analysis, *International Journal of Production Research*, 50(12), 3211-3221.
- Senvar, O., Tuzkaya, G., & Kahraman, C. (2014). *Multi Criteria Supplier Selection Using Fuzzy PROMETHEE Method. in Supply Chain Management under Fuzziness* (pp. 21-34), Springer Berlin Heidelberg.
- Shieh, J. I., Wu, H. H., & Huang, K. K. (2010). A DEMATEL Method in identifying Key Success Factors of Hospital Service Quality, *Knowledge-Based Systems*, 23(3), 277-282.
- Sumrit, D. & Anuntavoranich, P. (2013). Using DEMATEL Method to Analyze The Causal Relations on Technological Innovation Capability Evaluation Factors in Thai Technology-Based Firms. *Int Trans J Eng Manag Appl Sci Technol*, 4(2), 81-103.
- Tsai, S. B., Chien, M. F., Xue, Y., Li, L., Jiang, X., Chen, Q., & Wang, L. (2015). Using The Fuzzy DEMATEL to Determine Environmental Performance: A Case of Printed Circuit board Industry in Taiwan. *PloS One*, 10(6), e0129153.
- Tzeng, G.-H., C.-H. Chiang, & C.-W. Li (2007). Evaluating Intertwined Effects in E-learning Programs: A Novel Hybrid MCDM Model Based on Factor Analysis and DEMATEL, *Expert Systems with Applications*, 32(4), 1028–1044.
- Vatansever, K. (2014). Integrated Usage of Fuzzy Multi Criteria Decision Making Techniques for Machine Selection Problems and An Application, *International Journal of Business and Social Science*, 5(9).
- Wu, Z., Ahmad, J., & Xu, J. (2016). A Group Decision Making Framework Based on Fuzzy VIKOR Approach for Machine Tool Selection with Linguistic Information, *Applied Soft Computing*, (42), 314-324.
- Yıldırım, B. F., & Önder, E. (2014). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*, İstanbul: Dora Yayıncılık.
- Yılmaz, B. & Dağdeviren, M. (2011). A Combined Approach for Equipment Selection: F-PROMETHEE Method and Zero–One Goal Programming, *Expert Systems with Applications*, 38(9), 11641-11650.
- Yılmaz, B., & Dağdeviren M. (2010). Ekipman Seçimi Probleminde PROMETHEE ve Bulanık PROMETHEE Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4).