

Araştırma Makalesi- Research Article

Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR Yöntemleriyle Plastik Enjeksiyon Makinesi Seçimi*

Plastic Moulding Machine Selection Using Fuzzy TOPSIS and Fuzzy VIKOR

Bahar Arslan^{1*}, Özgür Eski²

Geliş / Received: 25/01/2022

Revize / Revised: 19/07/2022

Kabul / Accepted: 01/09/2022

ÖZ

Firmalar, makine ekipman yatırımları yaparken çoğu kez benzer özelliklere sahip alternatif ekipmanlar arasında seçim yapmak durumundadır. Birçok alternatif ekipman arasından karar vericiler açısından en uygun seçimin yapılması, birden fazla sayıda kriterin değerlendirilmesini gerektiren, karmaşık bir karar verme sürecidir. Bu süreçte Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada bir firmanın plastik enjeksiyon makinesi seçim süreci ele alınmış, kriterlerin ve alternatiflerin önem dereceleri dilsel ifadelerle belirlenmiş ve problem bulanık tabanlı ÇKKV yöntemleri ile çözülmüştür. Gerçekleştirilen çalışmada makine seçimi konusunda mevcut literatürde sıklıkla kullanılan maliyet, teknik özellikler gibi kriterlerin yanı sıra; çevre dostu olma, güvenlik ve güvenilirlik kriterlerine yer verilmiştir. Belirlenen kriterler alanında uzman üç kişiden oluşan bir karar verme ekibiyle değerlendirilmiştir. Sonrasında, karar vericilerin beklentilerini en iyi şekilde karşılayacak ekipmanın seçimi için Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemleri uygulanmıştır. Son olarak belirlenen alternatifler arasından seçim yapabilmek için

Anahtar Kelimeler- *Bulanık Mantık, Çok Kriterli Karar Verme, Bulanık TOPSIS, Bulanık VIKOR, Makine Seçimi*

ABSTRACT

Companies often have to choose the best equipment among alternatives with similar features when making machinery and equipment investment. Making the most appropriate choice among much alternative equipment is a complex decision-making process that requires evaluation of multiple criteria. Multi Criteria Decision Making methods are frequently used in this process. In this study, the plastic injection machine selection process of a company was considered. The importance levels of the criteria and alternatives were determined by using linguistic expressions and the decision-making problem was solved by fuzzy-based MCDM methods. In this study, in addition to the traditional criteria such as cost and technical features, which are frequently used in the current literature, environmental friendliness, safety, and reliability criteria are included. First, the determined criteria were evaluated by a decision-making team consisting of three experts in the field. Then Fuzzy TOPSIS and Fuzzy VIKOR methods were applied for choosing the alternative that best satisfies the selection criteria of decision makers.

Keywords- *Fuzzy Logic, Multi Criteria Decision Making, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy VIKOR, Machine Selection*

*Bu makale, Bahar ARSLAN'ın 705844 No'lu ve "Bulanık Tabanlı Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Makine Ekipman Seçimi" başlıklı yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: baharslan.95@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-4700-6384>)

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, Türkiye.

²İletişim: ozgur.eski@cbu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-5454-8029>)

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Manisa, Türkiye.

I. GİRİŞ

Üretim işlemlerinin düzgün ve akıcı bir biçimde ilerleyebilmesi açısından işletme için seçilecek makine ve ekipman tercihi, yetkililer ve mühendisler için oldukça önemli bir karar verme problemidir. Üretimin aksamadan sorunsuz bir şekilde ilerlemesi üretimde kullanılacak olan makine ve ekipmanlara bağlıdır. Aksi takdirde; hatalı seçilmiş makine ve ekipmanlar, üretim sistemlerinin performansını olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Makine seçiminde satın alma maliyeti, makine performansı, satış sonrası hizmet, kullanım kolaylığı, ürün kalitesi, enerji tüketimi fazla sayıda ölçüt etkin rol almaktadır. Bu sebeple, işletme yöneticileri ve operatörler sadece satın alınacak makinenin maliyetine değil, bu karara ilişkin tüm kriterleri göz önünde bulundurmaya özen göstermelidir. Makine ve ekipman seçim kararında, işletmelerin ihtiyaçlarına yönelik kriterlerin, konusunda uzman karar vericiler tarafından doğru şekilde belirlenmesi ve bütün seçeneklerin belirlenmiş olan ölçütlere göre tercih edilen metotlar uygulanarak uygun bir şekilde analiz edilmesi, işletme ihtiyaçlarına uygun alternatifin seçimi için oldukça önem arz etmektedir.

Karar vermeyi gerektiren problemlerde, kararı etkileyen fazla sayıda etmenin olması, bu etmenlerin hepsinin aynı anda dikkate alınması ve çok sayıda seçenek içerisinde tercih yapılması gereken zamanlarda çoğunlukla çok kriterli karar verme (ÇKKV) metotlarına başvurulur [1]. Kişilerin yaptıkları sözel değerlendirmelerin, matematiksel karar sürecine uyumlu hale getirilmesinde bulanık mantık dahilinde bulanık sayıların kullanılması ile olağandır. Bulanık sayıların kullanılması ile net olmayan bulanık verilerin karar verme modellerine uygulanması kolaylaşmaktadır. Dolayısı ile karar vericiler tarafından sözel değerlendirmelerin tercih edildiği, sözel ifade barındıran çok kriterli karar problemlerinin çözümünde net sayıların aksine bulanık sayıların tercih edilmesi daha uygun çözümler sunabilmektedir.

Manisa’ da faaliyet gösteren bir plastik enjeksiyon firmasında gerçekleştirilen bu çalışmada, makine seçim problemine çözüm aranmıştır. İnsan faktöründen kaynaklanan subjektifliğin üstesinden gelebilmek adına üç karar vericinin görüşlerine yer verilerek gerçekleştirilen uygulamada; bulanık üçgen sayılar ile birlikte bulanık yamuk sayılar da kullanılmış hem kullanılan sayı türüne hem de kullanılan yöntemlere göre karşılıklı analizler gerçekleştirilmiştir. Maliyet, teknik özellikler, satış sonrası servis desteği gibi kriterlerin yanı sıra güvenlik, güvenilirlik ve çevre dostu olma kriterlerine yer verilmiştir [2].

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde çalışmada ele alınan konuya giriş yapılmıştır. İkinci bölümde konu ile ilgili mevcut literatürde gerçekleşen çalışmalardan söz edilmiştir. Üçüncü bölümde, Bulanık TOPSIS yöntemine ve uygulama aşamalarına değinilmiştir. Dördüncü bölümde, Bulanık VIKOR yönteminden ve işlem adımlarından bahsedilmiştir. Beşinci bölümde, plastik enjeksiyon makinesi seçimi ve seçim süreci detaylı bir şekilde anlatılmış, uygulama sonuçlarına yer verilmiştir. Son bölümde ise, genel bir değerlendirme yapılmış, gelecek çalışmalara yönelik fikir önerilerinde bulunulmuştur.

II. LİTERATÜR ÖZETİ

İşletmeler devamlılıklarını sağlamak amacıyla farklı düzeylerde kararlar vermek durumdadırlar. Böyle kararlar verilirken, karar verme durumunda olan kişiler gerçekçi bilgilere ve analiz proseslerine gereksinim duyarlar. Bu sebeplerden dolayı karar verme proseslerine doğru bilimsel yöntemlerin eklenmesi çözümün objektif ve gerçekçi olmasına olanak tanır. Farklı karar vermeyi gerektiren problemler ile karşılaşan yetkililer için kolay olmayan durumlardan bir diğeri de, seçenekler arasından ihtiyaçlar ile en örtüşeninin tercih edilmesidir. İnsan faktöründen kaynaklanan subjektifliğin üstesinden gelebilmek, aynı zamanda kriterleri eş zamanlı değerlendirmek adına Bulanık ÇKKV yöntemleri son zamanlarda sıkça kullanılmaktadır [3].

Şirketlerde makine ve ekipman tercihi problemleri en önemli karar verme problemlerinin başında gelmektedir. Geçmiş çalışmalarda da ÇKKV teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen makine seçimi problemleri aşağıda gösterilen Tablo 1’de özet bir şekilde gösterilmiştir.

Tablo 1. Makine Seçiminde Kullanılan ÇKKV Teknikleri

Kullanılan Yöntem	Ele Alınan Kriterler	Uygulama Alanı	Referanslar
Bulanık AHP, WASPAS	Satın alma maliyeti, toplam alan, makine sayısı, verimlilik	Esnek imalat sistemi için makine seçimi	[4]
AHP, ANP	Kalite, maliyet ve teslimat	İmalat işletmesi için takım tezgahı seçimi	[5]
Bulanık AHP	Verimlilik, esneklik, alan, uyarlanabilirlik, uygulama, güvenilirlik, güvenlik ve çevre, bakım ve onarım	Üretim işletmesi için makine ekipman seçimi	[6]
Bulanık TOPSIS	Maliyet, teknik özellikler, yazılım, gerekli alan, güvenilirlik ve sürdürülebilirlik	AS/RS seçimi	[7]
Bulanık AHP, PROMETHEE	Esneklik, teknik özellikler, maliyet, güvenlik ve çevre	Esnek imalat hücrelerinde makine seçimi	[8]
Bulanık AHP ve Gri İlişkisel Analizi	Maliyet, operasyonel esneklik, kurulum kolaylığı, sürdürülebilirlik, servis kolaylığı, verimlilik, takım tezgâhı uyumluluğu, emniyet	Takım tezgahı seçimi	[9]
Bulanık DEMATEL	Maliyet, kalite, esneklik, performans, teknik özellik	Dokuma tezgahı seçimi	[10]
Bulanık DEMATEL, Bulanık VIKOR	Fiyat, güvenlik, kullanım kolaylığı, verimlilik, kapasite, kalite, kurulum süresi, servis ve bakım ve güvenilirlik	Mermer kesim makinesi seçimi	[11]
ENTROPI, Bulanık DEMATEL, Bulanık VIKOR	Maksimum iş mili hızı, faydalı kullanım oranı, maksimum iş mili torku, başarısızlık oranı, bağlantı hassasiyeti ve maliyet	Takım tezgahı seçimi	[12]
EDAS	Dikiş hızı, maksimum dikiş uzunluğu, fiyat, enerji	Dikiş makinesi seçimi	[13]
KEMIRA-M, COPRAS	Blok kesiminin boyu, maksimum lama sayısı, motor gücü, tüketilen elektrik, garanti süresi, servis ağı ve birim fiyat	Mermer işleme makinesi seçimi	[14]
Bulanık DEMATEL, PROMETHEE	Kalite, maliyet, kullanımda kolaylık, satış sonrası servisler, güvenlik, endüstriyel seçin, fiziksel özellikler, makine performansı	Kablo üretimi için makine seçimi	[15]
ENTROPI, CRITIC ve ROV	Dikiş kafası sayısı, dikiş hızı, bordür dikim genişliği, dikiş adım sayısı, desen sayısı, kapasite, makine ağırlığı, tüketilen enerji, nakliye alanı, garanti süresi, servis hizmetleri, manuel olmayan bordür sarıcı, ip koptu/bitti sensörü	Yatak kenarı bordür dikiş makinesi seçimi	[16]
TODIM ((Tomada de Decisao Interativa Multicriterio)	Yükleme kapasitesi, erişim mesafesi, tekrarlanabilirlik hassasiyeti, ağırlık, giriş gücü, eksen çalışma alanı, eksen çalışma hızı	Robot seçimi	[17]
AHP	Maliyet, hacim kullanımı, yükseklik kullanımı, yük erişebilirliği ve stok devir hızı	Depolama sistemi seçimi	[18]
TOPSIS	Kaldırma kapasitesi, pil kapasitesi, kaldırma yüksekliği, yük ile taşıma hızı ve fiyat	Forklift seçimi	[19]
ANP	Teknoloji, tasarım, fonksiyon ve çalışma yöntemi, firma imajı, kurulum aşaması, danışmanlık eğitimi ve maliyet	3D koordinat ölçüm makinesi	[20]
Entropi Ağırlıklı TOPSIS	Motor gücü, devir hızı, Z ekseni, maksimum testere çapı ve fiyat	Mermer işleme makinesi seçimi	[21]
Bulanık VIKOR	Fiyat, kalite, satış sonrası hizmetler, istenilen ölçülerde paketleme yapabilmek, kullanım kolaylığı, güvenlik, performans	Paketleme makinesi seçimi	[22]
AHP, TOPSIS, PROMETHEE	Teknik özellikler (klas gereklilikleri, güç ve devir, ağırlık ve hacim, güç harici istenilen teknik yeterlikler), sözleşmeye bağlı kriterler (ilk yatırım maliyeti, teslim süresi) marka güvenilirliği, işletme masrafları (yakıt tüketimi, yağ tüketimi), bakım masrafları	Gemi inşa projesi için ana makine seçimi	[23]
TOPSIS, MOORA, VIKOR	Güç, devir hızı, ağırlık, hacim, ilk yatırım maliyeti, teslim süresi, marka güvenilirliği, yakıt tüketimi, yağ tüketimi, servis desteği	Gemi inşa projesi için ekipman seçimi	[24]
Bulanık AHP	Kalite (teknoloji, performans), maliyet (fiyat, ödeme koşulları), servis (garanti, yedek parça, aracı firma), verimlilik (kapasite, kullanım kolaylığı)	Tekstil işletmesi için makine seçimi	[25]
Bulanık SWARA, Bulanık ARAS	Fiyat, performans, kapasite, kalite, bakım ve onarım	Torna takım tezgahı seçimi	[26]
CRITIC ve MAUT	Fiyat, eyer örgü sayısı, kalıp programcılığa erişim, kullanmak için kalifiye personele erişim, makine, yedek parçaların mevcudiyeti, hizmet fırsatları, enerji tüketimi	Tekstil işletmesi için makine seçimi	[27]
Bulanık AHP ve TOPSIS	Maliyet, güvenlik, verimlilik, esneklik, kullanım kolaylığı ve satış sonrası servis	CNC tezgahı seçimi	[28]
Bulanık PROMETHEE ve PROMETHEE	Sektörel kullanılabilirlik, fiyat, ağırlık, çalışma uyumu, işlemeye uyumlu olduğu tel çapı çeşidi ve hacim	Gaz altı kaynak makinesi seçimi	[29]

Tablo 1. (Devamı)

Kullanılan Yöntem	Ele Alınan Kriterler	Uygulama Alanı	Referanslar
Bulanık AHP ve PROMETHEE	Teknik kriterler (kolay menü kullanımı, otomatik kalibrasyon, çoklu ekstrüderler, filament çapı, wifi kullanılabilirliği, korumalı ekipman, kolay destek ayrımı, ağırlık), ekonomik kriterler (fiyat, tek tip filament kullanımı, enerji tüketimi), performans kriteri (yüksek hacimli üretim yeteneği, üretim süresi, kurulum zamanı), çevre kriteri (gürültü emisyonu, karbondioksit emisyonu, atık miktarı)	3D yazıcı seçimi	[30]
BWM (Best Worst Method)	Karıştırma numarası, dijital malzeme sayısı, maliyet, kopma uzaması, çekme mukavemeti, shore sertliği, sipariş sıklığı, görsel ve estetik modelleme	Katmanlı üretim makinesi seçimi	[31]

Mevcut literatür incelediğinde makine ve ekipman seçim probleminde genellikle ÇKKV yöntemlerinden AHP, TOPSIS, PROMETHEE yöntemlerinin tercih edildiği görülmektedir. Bulanık ÇKKV yöntemleri ise son yıllarda tercih edilmeye başlanmıştır, fakat klasik ÇKKV yöntemlerinde olduğu gibi sıklıkla Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS yöntemlerine başvurulduğu görülmüştür.

Uygulama alanları açısından değerlendirdiğimizde, ÇKKV yöntemlerinin makine ekipman seçimi amacıyla çok farklı alanlarda kullanıldığını görmekteyiz. Çalışmamızın kapsamı doğrultusunda, imalat işletmelerinde gerçekleşen çalışmaları içeren literatür üzerinde yoğunlaşmıştır. İmalat işletmelerinde gerçekleşen çalışmalar dikkate alındığında, ÇKKV yöntemlerinin tekstil, mermer işleme, gemi yapımı, metal işleme, katmanlı üretim, vb. farklı yelpazede makine ekipman seçim problemlerinin çözümü için kullanıldığını görmekteyiz (Tablo 1). Son dönemlerde, Endüstri 4.0 ile hız kazanan otomasyona geçiş sürecinin etkisiyle, ÇKKV yöntemlerinin otomasyona dayalı tezgahların, taşıma depolama sistemlerinin ve katmanlı üretim için uygun ekipmanların seçimi amacıyla sıklıkla kullanıldığı da göze çarpmaktadır.

Çalışmalarda dikkate alınan kriterler incelendiğinde; uygulama alanlarına göre değişkenlik göstermekle birlikte, genellikle maliyet, teknik özellikler, kullanım kolaylığı gibi temel kriterlerin kullanıldığı göze çarpmaktadır. Son dönemlerde ise enerji verimliliği, çevre, iş güvenliği vb. konulara ilişkin kriterlerin de gündeme gelmeye başladığı gözlenmektedir.

Gerçekleştirilen çalışmada ise, plastik enjeksiyon makinesi seçim problemi için erişebildiğimiz mevcut literatürde birlikte kullanılmamış olan Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemlerine başvurulmuştur. Üçgen ve yamuk bulanık sayılar ayrı ayrı kullanılmış, kullanılan bulanık sayı türüne göre yöntem sonuçları karşılaştırılmıştır. Makine seçiminde maliyet, satış sonrası servis, vida L/D oranı, enjeksiyon basıncı, plastikleştirme oranı, kilitleme gücü, pompa motor gücü, makine ağırlığı, yağ tankı kapasitesi enjeksiyon oranı gibi net sayısal bilgi gerektiren kriterlerin yanı sıra insan yargılarını ön planda tutan güvenlik, güvenilirlik, çevre dostu olma kriterlerine yer verilmiştir.

Seçilen plastik enjeksiyon makinesinin çevreye olabildiğince az zarar vermesi, çevreye duyarlı üretim yapması istenmektedir. Bu sebeple; makinelerin hammadde ve enerji kullanımını baz alarak çevre dostu olma kriteri alternatifler arasından tercih yapılabilmesi için belirlenmiştir. Seçilen plastik enjeksiyon makinesinin çalışanlar ve çevrenin güvenliği açısından risk oluşturma düzeyinin minimum seviyede tutulabilmesi için güvenlik kriteri, makinenin minimum düzeyde arıza yapması ve bakım onarım sürelerinin ve bu süreçlerin takibinin kolay yapılabilmesi adına güvenilirlik kriteri eklenerek karar vericilerin görüşlerine yer verilmiştir.

III. BULANIK TOPSIS YÖNTEMİ

Bulanık TOPSIS yönteminin, uygulanmasına ilk kez 1989 yılında gerçekleşmiştir [32]. Karar verileri içindeki ve ekip karar verme prosesindeki belirgin olmayan durum göz önünde bulundurulduğunda; net sayılar ile ifade edilemeyen değişkenler, süreçte yer alan bütün ölçütlerin ağırlıklarını analiz etmek ve bütün seçeneklerin ölçütleri baz alarak derecelendirilmesini gerçekleştirebilmek amacıyla tercih edilir.

Bulanık TOPSIS yöntemi uygulama adımları aşağıda verilmiştir [32].

- Karar vericilerden bir karar verme ekibi oluşturulur ve değerlendirme ölçütleri tespit edilir.
- Kriterlerin önem ağırlıklarını bulmak için uygun sözel değişkenler belirlenir ve ölçütler baz alınarak seçeneklerin analiz edilmesi sözel değişkenlerden yararlanılarak gerçekleştirilir.

Tablo 2’de ölçütlerin göreceli önem ağırlıklarını ifade eden sayısal olmayan değişkenler ve üçgen bulanık sayı olarak gösterimleri, Tablo 3’te alternatiflerin analiz edilmesi amacıyla kullanılan sayısal olmayan değişkenler ve üçgen bulanık sayı biçiminde gösterimleri yer almaktadır [33].

Tablo 2. Ölçütler için göreceli önem ağırlıklarını ifade eden sayısal olmayan değişkenler ve üçgen bulanık sayı biçiminde gösterimleri [32]

Sözel Değişken	Üçgen Bulanık Sayı
Çok Düşük (CD)	(0, 0, 0.1)
Düşük (D)	(0, 0.1, 0.3)
Biraz Düşük (BD)	(0.1, 0.3, 0.5)
Orta(O)	(0.3, 0.5, 0.7)
Biraz Yüksek (BY)	(0.5, 0.7, 0.9)
Yüksek (Y)	(0.7, 0.9, 1.0)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.9, 1.0, 1.0)

Tablo 3. Alternatif analizi için kullanılan sayısal olmayan değişkenler ve üçgen bulanık sayı biçiminde gösterimleri [33]

Sözel Değişken	Üçgen Bulanık Sayı
Çok Kötü (CK)	(0, 0, 1)
Kötü (K)	(0, 1, 3)
Biraz Kötü (BK)	(1, 3, 5)
Orta(O)	(3, 5, 7)
Biraz İyi (Bİ)	(5, 7, 9)
İyi (İ)	(7, 9, 10)
Çok İyi (Çİ)	(9, 10, 10)

Bulanık çok kriterli bir karar problemi, matris düzeninde Eşitlik (1)’de gösterilmektedir [34].

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \\ \tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n] \end{bmatrix} \quad (1)$$

Burada \tilde{D} bulanık karar matrisini, \tilde{W} bulanık ağırlıklar matrisini ifade etmektedir. \tilde{x}_{ij} ve \tilde{w}_j değişkenleri sayısal olmayan değişkenler yardımıyla ifade edilmektedir. Bahsi geçen sayısal olmayan niteliklerin üçgen bulanık sayı olarak gösterimi $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ ve $\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ şeklinde ifade edilir [34].

- Karar verme ekibinde yer alan kişilerin belirttikleri önem ağırlıkları ve seçeneklerin analiz edilmesi için belirledikleri sayısal olmayan değişkenler, üçgen ya da yamuk bulanık sayılara çevrilir.

K adet karar verici kişi olduğunda, ölçütlerin önem seviyeleri ve bütün ölçütlere göre ayrı ayrı seçeneklerin değerlendirmeleri Eşitlik (2) ve Eşitlik (3)’ te gösterilen eşitlikler yardımıyla bulunmaktadır [35].

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{x}_{ij}^1 (+) \tilde{x}_{ij}^2 (+) \dots \dots \dots (+) \tilde{x}_{ij}^K] \quad (2)$$

$$\tilde{W}_j = \frac{1}{K} [\tilde{w}_j^1 (+) \tilde{w}_j^2 (+) \dots \dots \dots (+) \tilde{w}_j^K] \quad (3)$$

Burada \tilde{x}_{ij}^k ve \tilde{w}_j^k sırasıyla k. karar vericinin belirlediği seçeneklerin değerlendirilmesini ve ölçütler için gösterilen göreceli ağırlıkları ifade etmektedir

- Bulanık karar matrisinin oluşturulmasının ardından normalize edilmiş bulanık karar matrisi $\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}$ belirlenir. B kümesi fayda-yarar ölçütleri kümesini ifade ederken, C kümesi maliyet- zarar ölçütleri kümesini gösterir. Elde edilen matrisin bulunması Eşitlik (4) ve (5)' de gösterilmektedir [36].

$$r_{ij} = (\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+}), j \in B \quad r_{ij} = (\frac{a_j^-}{c_{ij}^-}, \frac{a_j^-}{b_{ij}^-}, \frac{a_j^-}{a_{ij}^-}), j \in C \quad (4)$$

$$C_j^+ = \text{Maksimum } c_{ij} \quad j \in B \quad a_j^- = \text{Minimum } a_{ij} \quad j \in C \quad (5)$$

- Normalize edilmiş karar matrisi ağırlık ile çarpılır. Bütün ölçütlerin önem ağırlığı vardır, ağırlık ile çarpılan normalize edilmiş karar matrisi Eşitlik (6)' da gösterilen eşitlik ile bulunmaktadır [35].

$$V^{\sim} = [v_{ij}^{\sim}]_{m \times n} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad (6)$$

$$v_{ij}^{\sim} = r_{ij}^{\sim}(\cdot)w_j^{\sim}$$

Ağırlık ile çarpılan normalize edilmiş bulanık karar matrisinde \tilde{v}_{ij} ifadesi normalize edilmiş pozitif üçgen bulanık sayıyı ifade etmektedir, değeri [0,1] kapalı aralığında değişim göstermektedir [34].

- Bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık negatif ideal çözüm bulunur. Eşitlik (7) yardımıyla (\tilde{A}^+) ve (\tilde{A}^-) değerleri belirlenir.

$$\begin{aligned} \tilde{A}^+ &= (v_1^{\sim+}, v_2^{\sim+}, \dots, v_n^{\sim+}) \\ \tilde{A}^- &= (v_1^{\sim-}, v_2^{\sim-}, \dots, v_n^{\sim-}) \\ \check{v}_j^+ &= (1,1,1) \quad \check{v}_j^- = (0,0,0) \quad j=1,2,3,\dots,n(7) \end{aligned}$$

- Bütün alternatiflerin ayrı ayrı bulanık pozitif ideal çözüme ve bulanık negatif ideal çözüme mesafeleri Eşitlik (8) ve Eşitlik (9) yardımıyla bulunur [34].

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}^{\sim}, v_j^{\sim+}) \quad i=1,2,3,\dots,m \quad (8)$$

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}^{\sim}, v_j^{\sim-}) \quad i=1,2,3,\dots,m \quad (9)$$

- Bütün seçeneklerin için yakınlık katsayısı değerleri Eşitlik (10) yardımıyla bulunur.

$$CC_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad i=1,2,3,\dots,m \quad (10)$$

- Yakınlık katsayısına göz önünde bulundurarak, bütün seçenekler sıralanır ve en yüksek yakınlık katsayısı değerini gösteren seçenek tercih edilir.

IV. BULANIK VIKOR YÖNTEMİ

Bulanık VIKOR Yöntemi, bulanık ve fazla sayıda kriter barındıran problemlerin çözümü için geliştirilen yöntemlerden biridir [36]. Bu yöntem, nihai bir karara varmada karar verici uzmanların yardımıyla, birbiriyle çelişkili kriterleri olan problemler için uzlaştırıcı çözümler bulmaya ve seçenekler içerisinde bir sıralama yapmaya dayanır [37]. Belirtilen yöntemde uzlaşık çözüm, ideal çözüme en yakın olan çözümdür [38]. Aynı zamanda uzlaşık çözüm, ideal çözüme “yakınlık” ölçüsüne dayanarak çok amaçlı sıralama dizinini sunmaktadır [37]. Bütün

alternatifler göz önünde tutularak tüm kriterlerin değerlendirildiği düşünüldüğünde, uzlaşık düzenleme en uygun seçeneğe yakınlık mesafesi baz alarak yapılır [37].

Bulanık VIKOR algoritması adımları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Karar verme sorununu çözebilmek adına K adet karar verici, n adet kriter ve m adet alternatif belirlenir.
- Sayısal olmayan değişkenler ve bu değişkenlerin bulanık sayı karşılıkları belirlenir. Sayısal olmayan değişkenler kriter ağırlıklarını tespit etmek ve seçenekleri değerlendirmek için kullanılır.
- f_{ij} , j kriterine göre i seçeneğinin mertebesini gösterdiğinde karar verme ölçütlerinin önem ağırlıkları ve ölçütleri temelinde seçeneklerin mertebeleri Eşitlik (11) ve (12)'den yararlanarak bütün kriterler için yalnız bir değerlendirme olacak şekilde birleştirilir, bütünleştirilmiş değerler elde edilir.

$$W_j^- = 1/K [W_j^{-1}(+) W_j^{-2}(+) \dots (+) W_j^{-K}] \quad (11)$$

$$f_{ij}^- = 1/K [f_{ij}^{-1}(+) f_{ij}^{-2}(+) \dots (+) f_{ij}^{-K}] \quad (12)$$

\tilde{f}_{ij} , i seçeneğinin j. ölçüte göre derecesini ve \tilde{w}_j ise j. ölçütün önem ağırlığını ifade etmektedir.

- Bütün ölçütler ve seçenekler bir değere indirgindikten sonra, i seçenekli ve j ölçütlü \tilde{D} bulanık karar matrisi ve W_j ağırlık matrisi Eşitlik (13)'te belirtildiği gibi elde edilir.

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{f}_{11} & \tilde{f}_{12} & \dots & \tilde{f}_{1j} \\ \tilde{f}_{21} & \tilde{f}_{22} & \dots & \tilde{f}_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{f}_{i1} & \tilde{f}_{i2} & \dots & \tilde{f}_{in} \end{bmatrix}, \tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n] \quad (13)$$

$i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$

- Bulanık karar matrisinde j ölçütü fayda yönünden analiz ediliyorsa bütün ölçüt fonksiyonlarının en iyi \tilde{f}_j^* ve en kötü \tilde{f}_j^- değerleri Eşitlik (14) uygulanarak ifade edilir.

$$\tilde{f}_j^* = \max_j \tilde{f}_{ij}, \quad \tilde{f}_j^- = \min_j \tilde{f}_{ij} \quad (14)$$

- \tilde{S}_i değerleri Eşitlik (15) ve \tilde{R}_i değerleri Eşitlik (16) uygulanarak bulunur.

$$S_i^- = \sum_{j=1}^n [w_j (f_j^* - f_{ij}^*) / (f_j^* - f_j^-)] \quad (15)$$

$$R_i^- = \max_j [w_j (f_j^* - f_{ij}^*) / (f_j^* - f_j^-)] \quad (16)$$

\tilde{S}_i , bütün ölçütler bazında i. seçeneğin en iyi bulanık değere uzaklığının toplamıdır.

\tilde{R}_i , j. ölçüt bazında i. seçeneğin en kötü bulanık değerlere olan maksimum uzaklığıdır.

- $\tilde{S}_i^*, \tilde{S}_i^-, \tilde{R}_i^*, \tilde{R}_i^-, \tilde{Q}_i$ değerleri Eşitlik (17) ve Eşitlik (18)'e göre hesaplanır.

$$S_i^* = \min_i S_i^-, S_i^{*-} = S_i^{-*} = \max_i S_i^- \quad (17)$$

$$R_i^* = \min_i R_i^-, R_i^{*-} = \max_i R_i^- \quad (18)$$

\tilde{S}_i^* , üst seviyedeki çoğunluk kuralını ve \tilde{R}_i , farklı görüşte olanların alt seviyede bireysel pişmanlığını ifade etmektedir. \tilde{Q}_i , indeksi grup faydası ile bireysel pişmanlığın beraber değerlendirilmesi ile bulunur. v değeri maksimum grup faydasını sağlayan stratejinin önemini ifade eder iken, $(1-v)$ bireysel pişmanlık değerini gösterir. Uzlaşmacı çoğunluk için genellikle maksimum grup faydasının değeri 0,5 alınır.

$$\tilde{Q}_i = v(\tilde{S}_i^- - \tilde{S}_i^{*-}) / (\tilde{S}_i^- - \tilde{S}_i^{*-}) + (1-v)(\tilde{R}_i^- - \tilde{R}_i^{*-}) / (\tilde{R}_i^- - \tilde{R}_i^{*-}) \quad (19)$$

- Bu adımda bulanık sayıların aritmetik ortalaması alınarak durulaştırılmış ve S_i , R_i ve Q_i değerleri bulunur. Sonrasında bulunan değerlere göre seçenekler sıralanır. İndeks değeri en küçük olan en iyi alternatif gösterirken, değeri büyük olan en kötü seçeneği ifade eder.
- Belirlenen en iyi seçeneğin uzlaşık çözüm olduğunun ya da olmadığına tespit edilmesi sağlanır. Uzlaştırıcı en iyi çözümü belirlemek için aşağıda belirtilen iki şartın sağlanıp sağlanmadığına bakılır.

1.Koşul: Kabul Edilebilir Avantaj: Bu şart en iyi ve en yakın seçenek arasında belirli bir ayırım olduğunun kanıtını sağlar ve Eşitlik (20) kullanılarak şartın sağlanıp sağlanmadığına bakılır.

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ \quad (20)$$
$$DQ = \frac{1}{m-1}$$

a' değeri sıralamada birinci sırada yer alan alternatif, a'' sıralamada en iyi ikinci alternatif ve m' de seçenek adetini ifade eder.

2.Koşul: Kabul edilebilir istikrar: En iyi Q değerine sahip a' seçeneği S ve R değerlerinden en az bir tanesinde en iyi değeri sağlamalıdır.

Şayet şart 1 sağlanmaz ise, ve $Q(a(m)) - Q(a') \leq DQ$ olursa, $a(m)$ ve a' uzlaştırıcı çözüm olur.

Şayet şart 2 sağlanmaz ise, her ne kadar a' 'nin kısmi bir avantajı olsa da karar vermedeki istikrar yetersiz kalır. Bu sebeple uzlaşık çözümleri a' ve a'' aynıdır.

- Uzlaşık çözüm kümesinde koşulları gerçekleştiren küçük Q_i değerine sahip seçenek uzlaşık çözüm olarak bulunur.

V. UYGULAMA

Bu çalışma ile, artan iş hacmini karşılamak için yeni bir plastik enjeksiyon makinesi yatırım kararı alan bir plastik enjeksiyon firması için, makine seçim probleminin çözüm bulunması amaçlanmıştır. Şirket açısından en doğru alternatifin seçilebilmesi adına alanında uzman iki üretim mühendisi ve bir kalite mühendisinden oluşan üç kişilik bir karar verme ekibi oluşturulmuştur. Karar vericilerin yaptığı görüşmeler sonucu on üç adet kriter belirlenmiş, uzun araştırmalar sonucu bu kriterleri karşılayan beş adet plastik enjeksiyon makinesi alternatifi belirlenmiştir.

Seçeneklerin analiz edilmesi ve ihtiyaçlar ile en örtüşen alternatifin tercih edilmesi için; çok sayıda ölçüt ve karar verme durumdaki kişilere dayalı değerlendirmeleri gerektiren durumlar ile son zamanlarda uygulanan ÇKKV yöntemlerinden Bulanık VIKOR ve Bulanık TOPSIS yöntemleri tercih edilmiştir.

Uygulanacak yöntemlerin ve ölçütlerin tanımlanmasının ardından alternatif olarak gösterilen beş farklı ekipteki makine çeşitleri, bütün ölçütlere göre karar vericiler tarafından ayrı ayrı sözel değişkenler ile analiz edilmiş ve bu sözel ifadeler bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Kullanılan iki teknikte de tanımlanan bu bulanık sayılar baz alınarak işlem aşamaları gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında belirtilen kriterler ve yönleri Tablo 4'te, alternatifler Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Kriter Seti

Kriter	Gösterim	Yön
Maliyet Avantajı	K1	Maksimum
Satış Sonrası Servis	K2	Maksimum
Güvenlik	K3	Maksimum
Güvenilirlik	K4	Maksimum
Çevre Dostu Olma	K5	Maksimum
Vida L/D Oranı	K6.1	Maksimum
Enjeksiyon Basıncı	K6.2	Maksimum
Plastikleştirme Oranı	K6.3	Maksimum
Kilitleme Gücü	K6.4	Maksimum
Pompa Motor Gücü	K6.5	Maksimum
Makine Ağırlığı	K6.6	Maksimum
Yağ Tankı Kapasitesi	K6.7	Maksimum
Enjeksiyon Oranı	K6.8	Maksimum

Tablo 5. Plastik Enjeksiyon Makinesi Alternatifleri

Alternatifler	Kod
MA 9000IIS/6800	A1
MA 1000IIS/8400	A2
MA 12000IIS/8400	A3
BL 1600EKH/C1050	A4
ENGEL DUO/1000	A5

Ölçütlerin bulunmasından sonra, karar verme ekibi Tablo 2'deki sayısal olmayan ifadeleri kullanarak ölçütleri önem seviyesini baz alarak analiz etmiştir. Bu değerlendirmeler aşağıda Tablo 6'da verilmiş olup, kullanılan dilsel ifadelerin üçgen bulanık sayı olarak şekli de Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 6. Kriter Ağırlıklarının Karar Vericiler Tarafından Değerlendirilmesi

	KV1	KV2	KV3
K1	ÇY	Y	Y
K2	BD	D	BD
K3	Y	ÇY	ÇY
K4	BY	BY	O
K5	ÇY	Y	Y
K6.1	D	BD	D
K6.2	BY	O	O
K6.3	D	BD	D
K6.4	D	D	D
K6.5	O	BD	D
K6.6	D	D	BD
K6.7	BD	O	D
K6.8	ÇD	ÇD	D

Tablo 7. Kriter Ağırlıklarının Bulanık Sayılar ile Belirtilmesi

	KV1	KV2	KV3
K1	(0.9,1.0,1.0)	(0.7,0.9,1.0)	(0.7,0.9,1.0)
K2	(0.1,0.3,0.5)	(0.0,0.1,0.3)	(0.1,0.3,0.5)
K3	(0.7,0.9,1.0)	(0.9,1.0,1.0)	(0.9,1.0,1.0)
K4	(0.5,0.7,0.9)	(0.5,0.7,0.9)	(0.3,0.5,0.7)
K5	(0.9,1.0,1.0)	(0.7,0.9,1.0)	(0.7,0.9,1.0)
K6.1	(0.0,0.1,0.3)	(0.1,0.3,0.5)	(0.0,0.1,0.3)
K6.2	(0.5,0.7,0.9)	(0.3,0.5,0.7)	(0.3,0.5,0.7)
K6.3	(0.0,0.1,0.3)	(0.1,0.3,0.5)	(0.0,0.1,0.3)
K6.4	(0.0,0.1,0.3)	(0.0,0.1,0.3)	(0.0,0.1,0.3)
K6.5	(0.3,0.5,0.7)	(0.1,0.3,0.5)	(0.0,0.1,0.3)
K6.6	(0.0,0.1,0.3)	(0.0,0.1,0.3)	(0.1,0.3,0.5)
K6.7	(0.1,0.3,0.5)	(0.3,0.5,0.7)	(0.0,0.1,0.3)
K6.8	(0.0,0.0,0.1)	(0.0,0.0,0.1)	(0.0,0.1,0.3)

Alanında uzman üç karar verici tarafından değerlendirilen ölçüt ağırlıkları Eşitlik (3) kullanılarak bir değere indirgenmiş ve elde edilen değerlere de Tablo 8’de yer verilmiştir.

Tablo 8. Ölçüt Ağırlıklarının Bulanık Sayılar ile İfade Edilmesi

Kriterler	Ağırlıklar
K1	(0.77,0.94,1.0)
K2	(0.067,0.24,0.44)
K3	(0.84,0.97,1.0)
K4	(0.44,0.64,0.84)
K5	(0.77,0.94,1.0)
K6.1	(0.04,0.17,0.37)
K6.2	(0.37,0.57,0.77)
K6.3	(0.04,0.17,0.37)
K6.4	(0.0,0.1,0.3)
K6.5	(0.14,0.3,0.5)
K6.6	(0,0.4,0.17,0.37)
K6.7	(0.14,0.3,0.5)
K6.8	(0,0,0.04,0.17)

Sonraki aşamada ise, karar verme durumundaki kişiler ayrı ayrı bütün ölçütleri dikkate alarak alternatif plastik enjeksiyon makinesi tiplerini tek tek değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmeler Tablo 9'da gösterilmiştir. Tablo 3 kullanılarak dilsel ifadelerin üçgen bulanık sayılara dönüşümü de Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Alternatiflerin Kriterlere Göre Karar Vericiler Tarafından Değerlendirilmesi

Kriterler	Alternatifler	KV1	KV2	KV3	Kriterler	Alternatifler	KV1	KV2	KV3
K1	A1	Çİ	İ	Çİ	K6.3	A1	Bİ	0	Bİ
	A2	İ	Bİ	Bİ		A2	İ	Bİ	Bİ
	A3	O	O	BK		A3	İ	İ	Bİ
	A4	İ	Bİ	Bİ		A4	Bİ	O	BK
	A5	Bİ	Bİ	O		A5	Çİ	İ	İ
K2	A1	BK	O	BK	K6.4	A1	BK	O	BK
	A2	O	Bİ	İ		A2	O	O	O
	A3	O	İ	İ		A3	Bİ	Bİ	O
	A4	BK	O	BK		A4	Bİ	İ	İ
	A5	O	İ	Çİ		A5	O	BK	O
K3	A1	İ	Çİ	Çİ	K6.5	A1	K	BK	K
	A2	Bİ	İ	Çİ		A2	BK	O	BK
	A3	Bİ	İ	İ		A3	K	O	BK
	A4	BK	O	BK		A4	Çİ	İ	Çİ
	A5	İ	Çİ	Çİ		A5	K	BK	BK
K4	A1	İ	İ	Bİ	K6.6	A1	Bİ	O	Bİ
	A2	Bİ	Bİ	O		A2	Bİ	O	Bİ
	A3	Bİ	İ	O		A3	İ	Bİ	İ
	A4	O	BK	BK		A4	Çİ	İ	Çİ
	A5	Bİ	İ	Bİ		A5	O	O	Bİ
K5	A1	Çİ	İ	Çİ	K6.7	A1	O	Bİ	BK
	A2	İ	Bİ	İ		A2	Bİ	Bİ	O
	A3	Çİ	Bİ	İ		A3	O	O	BK
	A4	Bİ	O	O		A4	Çİ	İ	İ
	A5	İ	Bİ	İ		A5	Bİ	İ	Bİ

Tablo 9. (Devamı)

Kriterler	Alternatifler	KV1	KV2	KV3	Kriterler	Alternatifler	KV1	KV2	KV3
K6.1	A1	BK	K	BK	K6.8	A1	K	BK	K
	A2	O	BK	O		A2	O	O	BK
	A3	O	O	O		A3	Bİ	BK	O
	A4	İ	Çİ	Çİ		A4	Bİ	O	İ
	A5	İ	İ	İ		A5	O	O	Bİ
K6.2	A1	Bİ	İ	K					
	A2	Bİ	Bİ	BK					
	A3	İ	Bİ	BK					
	A4	O	BK	K					
	A5	İ	İ	Çİ					

Tablo 10. Alternatiflerin Kriterlere Göre Karar Vericiler Tarafından Değerlendirilmesinin Bulanık Sayılarla Gösterilmesi

Kriterler	Alternatifler	KV1	KV2	KV3	Kriterler	Alternatifler	KV1	KV2	KV3
K1	A1	(9,10,10)	(7,9,10)	(9,10,10)	K6.3	A1	(5,7,10)	(3,5,7)	(5,7,9)
	A2	(7,9,10)	(5,7,9)	(5,7,9)		A2	(7,9,10)	(5,7,9)	(5,7,9)
	A3	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)		A3	(7,9,10)	(7,9,10)	(5,7,9)
	A4	(7,9,10)	(5,7,9)	(5,7,9)		A4	(5,7,9)	(3,5,7)	(1,3,5)
	A5	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)		A5	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)
K2	A1	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)	K6.4	A1	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)
	A2	(3,5,7)	(5,7,9)	(7,9,10)		A2	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)
	A3	(3,5,7)	(7,9,10)	(7,9,10)		A3	(5,7,10)	(5,7,10)	(3,5,7)
	A4	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)		A4	(5,7,10)	(7,9,10)	(7,9,10)
	A5	(3,5,7)	(7,9,10)	(9,10,10)		A5	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)
K3	A1	(7,9,10)	(9,10,10)	(9,10,10)	K6.5	A1	(0,1,3)	(1,3,5)	(0,1,3)
	A2	(5,7,9)	(7,9,10)	(9,10,10)		A2	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)
	A3	(5,7,9)	(7,9,10)	(7,9,10)		A3	(0,1,3)	(3,5,7)	(1,3,5)
	A4	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)		A4	(9,10,10)	(7,9,10)	(9,10,10)
	A5	(7,9,10)	(9,10,10)	(9,10,10)		A5	(0,1,3)	(1,3,5)	(1,3,5)
K4	A1	(7,9,10)	(7,9,10)	(5,7,9)	K6.6	A1	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,10)
	A2	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)		A2	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,10)
	A3	(5,7,9)	(7,9,10)	(3,5,7)		A3	(7,9,10)	(5,7,9)	(7,9,10)
	A4	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,3,5)		A4	(9,10,10)	(7,9,10)	(9,10,10)
	A5	(5,7,9)	(7,9,10)	(5,7,9)		A5	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,10)
K5	A1	(9,10,10)	(7,9,10)	(9,10,10)	K6.7	A1	(3,5,7)	(5,7,9)	(1,3,5)
	A2	(7,9,10)	(5,7,9)	(7,9,10)		A2	(5,7,10)	(5,7,9)	(3,5,7)
	A3	(9,10,10)	(5,7,9)	(7,9,10)		A3	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)
	A4	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)		A4	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)
	A5	(7,9,10)	(5,7,9)	(7,9,10)		A5	(5,7,10)	(7,9,10)	(5,7,10)
K6.1	A1	(1,3,5)	(0,1,3)	(1,3,5)	K6.8	A1	(0,1,3)	(1,3,5)	(0,1,3)
	A2	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)		A2	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)
	A3	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)		A3	(5,7,9)	(1,3,5)	(3,5,7)
	A4	(7,9,10)	(9,10,10)	(9,10,10)		A4	(5,7,9)	(3,5,7)	(7,9,10)
	A5	(7,9,10)	(7,9,10)	(7,9,10)		A5	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)
K6.2	A1	(5,7,9)	(7,9,10)	(0,1,3)					
	A2	(5,7,9)	(5,7,9)	(1,3,5)					
	A3	(7,9,10)	(5,7,9)	(1,3,5)					
	A4	(3,5,7)	(1,3,5)	(0,1,3)					
	A5	(7,9,10)	(7,9,10)	(9,10,10)					

Gösterilen tabloda belirlenen karar verme ekibinde yer alan kişilerin bütün seçeneklerin ayrı ayrı ölçütler üzerinden yaptığı değerlendirmelerinin üçgen bulanık sayılar ile gösterimi, Eşitlik (4) yardımıyla, Tablo 11'de belirtildiği bir değere indirgenmiş, bulanık karar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 11. Üçgen Bulanık Sayılarla Oluşturulan Bulanık Karar Matrisi

	K1			K2			K3			K4			K5			K6.1			K6.2		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A	8,3	9,6		1,6	3,6	5,6	8,3	9,6		6,3	8,3	9,6	8,3	9,6		0,6	2,3	4,3		5,6	7,3
1	4	7	10	7	7	7	4	7	10	4	4	7	4	7	10	7	4	4	4	7	4
A	5,6	7,6	9,3	5	7	8,6	7	8,6	9,6	4,3	6,3	8,3	6,3	8,3	9,6	2,3	4,3	6,3	3,6	5,6	7,3
2	7	7	4	4	7	7	7	7	7	4	4	4	4	4	7	4	4	4	7	7	4
A	2,3	4,3	6,3	5,6	7,6	9	6,3	8,3		5	7,8	8,6	7	8,6	9,6	3	5	7	4,3	6,3	8
3	4	4	4	7	7	9	4	4	9	5	7	7	7	7	7	3	5	7	4	4	8
A	5,6	7,6	9,3	2,3	4,3	6,3	1,6	4,3	5,6	1,6	3,6	5,6	3,6	5,6	7,6	8,3	9,6	10	1,3	3	5
4	7	7	4	4	4	4	7	4	7	7	7	7	7	7	7	4	7	4	4	4	5
A	4,3	6,3	8,3	6,3	8	9	8,3	9,6	10	5,6	7,6	9,3	6,3	8,3	9,6	7	9	10	7,6	9,3	10
5	4	4	4	4	4	4	4	7	10	7	7	4	4	4	7	9	10	7	7	4	10
	K6.3			K6.4			K6.5			K6.6			K6.7			K6.8					
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u			
A	4,3	6,3	8,3	1,6	3,6	5,6	0,3	1,6	3,6	4,3	6,3	8,3	3	5	7	0,3	1,6	3,6			
1	4	4	4	7	7	7	4	7	7	4	4	4	3	5	7	4	7	7			
A	5,6	7,6	9,3	3	5	7	1,6	3,6	5,6	4,3	6,3	8,3	4,3	6,3	8,3	2,3	4,3	6,3			
2	7	7	4	4	7	7	7	7	7	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
A	6,3	8,3	9,6	4,3	6,3	8,3	1,3	3	5	6,3	8,3	9,6	2,3	4,3	6,3	3	5	7			
3	4	4	7	4	4	4	4	3	5	4	4	7	4	4	4	3	5	7			
A	3	5	7	6,3	8,3	9,6	8,3	9,6	10	8,3	9,6	10	7,6	9,3	10	5	7	8,6			
4	4	4	4	4	4	7	4	7	10	4	7	10	7	4	10	5	7	8,6			
A	7,6	9,3	10	2,3	4,3	6,3	0,6	2,3	4,3	3,6	5,6	7,6	5,6	7,6	9,3	3,6	5,6	7,6			
5	7	4	10	4	4	4	7	4	4	7	7	7	7	7	4	7	7	7			

Bulanık karar matrisi, Eşitlik (5) yardımıyla normalize edilmiş ve elde edilen normalize edilmiş karar matrisine Tablo 12'de yer verilmiştir.

Tablo 12. Üçgen Bulanık Sayılar ile Oluşturulan Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	K1			K2			K3			K4			K5			K6.1			K6.2		
	l	m	U	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A	0,83	0,97	1	0,29	0,65	1	0,83	0,97	1	0,66	0,86	1	0,83	0,97	1	0,15	0,54	1	0,54	0,77	1
1	0,83	0,97	1	0,29	0,65	1	0,83	0,97	1	0,66	0,86	1	0,83	0,97	1	0,15	0,54	1	0,54	0,77	1
A	0,61	0,82	1	0,58	0,81	1	0,72	0,90	1	0,52	0,76	1	0,66	0,86	1	0,37	0,68	1	0,50	0,77	1
2	0,61	0,82	1	0,58	0,81	1	0,72	0,90	1	0,52	0,76	1	0,66	0,86	1	0,37	0,68	1	0,50	0,77	1
A	0,37	0,68	1	0,63	0,85	1	0,70	0,93	1	0,58	0,90	1	0,72	0,90	1	0,43	0,71	1	0,54	0,79	1
3	0,37	0,68	1	0,63	0,85	1	0,70	0,93	1	0,58	0,90	1	0,72	0,90	1	0,43	0,71	1	0,54	0,79	1
A	0,61	0,82	1	0,37	0,68	1	0,29	0,77	1	0,29	0,65	1	0,48	0,74	1	0,83	0,97	1	0,27	0,60	1
4	0,61	0,82	1	0,37	0,68	1	0,29	0,77	1	0,29	0,65	1	0,48	0,74	1	0,83	0,97	1	0,27	0,60	1
A	0,52	0,76	1	0,70	0,89	1	0,83	0,97	1	0,61	0,82	1	0,66	0,86	1	0,70	0,90	1	0,77	0,93	1
5	0,52	0,76	1	0,70	0,89	1	0,83	0,97	1	0,61	0,82	1	0,66	0,86	1	0,70	0,90	1	0,77	0,93	1
	K6.3			K6.4			K6.5			K6.6			K6.7			K6.8					
	l	m	U	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u			
A	0,52	0,76	1	0,29	0,65	1	0,09	0,46	1	0,52	0,76	1	0,43	0,71	1	0,09	0,46	1			
1	0,52	0,76	1	0,29	0,65	1	0,09	0,46	1	0,52	0,76	1	0,43	0,71	1	0,09	0,46	1			
A	0,61	0,82	1	0,43	0,71	1	0,29	0,65	1	0,52	0,76	1	0,52	0,76	1	0,37	0,68	1			
2	0,61	0,82	1	0,43	0,71	1	0,29	0,65	1	0,52	0,76	1	0,52	0,76	1	0,37	0,68	1			
A	0,66	0,86	1	0,52	0,76	1	0,27	0,60	1	0,66	0,86	1	0,37	0,68	1	0,43	0,71	1			
3	0,66	0,86	1	0,52	0,76	1	0,27	0,60	1	0,66	0,86	1	0,37	0,68	1	0,43	0,71	1			
A	0,43	0,71	1	0,66	0,86	1	0,83	0,97	1	0,83	0,97	1	0,77	0,93	1	0,58	0,81	1			
4	0,43	0,71	1	0,66	0,86	1	0,83	0,97	1	0,83	0,97	1	0,77	0,93	1	0,58	0,81	1			
A	0,77	0,93	1	0,37	0,68	1	0,15	0,54	1	0,48	0,74	1	0,61	0,82	1	0,48	0,74	1			
5	0,77	0,93	1	0,37	0,68	1	0,15	0,54	1	0,48	0,74	1	0,61	0,82	1	0,48	0,74	1			

Normalize edilmiş karar matrisinde bulunan değerlerin her biri, Tablo 8'de gösterilen ölçüt ağırlıklarıyla çarpılmış ve ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Hesaplanan değerlere de Tablo 13'te yer verilmiştir.

Tablo 13. Üçgen Bulanık Sayılar ile Oluşturulan Ağırlıklı Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	K1			K2			K3			K4			K5			K6.1			K6.2		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A1	0,64	0,91	1,00	0,02	0,16	0,44	0,70	0,94	1,00	0,29	0,55	0,84	0,64	0,91	1,00	0,01	0,09	0,37	0,20	0,44	0,77
A2	0,47	0,77	1,00	0,04	0,19	0,44	0,61	0,87	1,00	0,23	0,49	0,84	0,50	0,81	1,00	0,01	0,12	0,37	0,19	0,44	0,77
A3	0,28	0,64	1,00	0,04	0,20	0,44	0,59	0,90	1,00	0,25	0,58	0,84	0,56	0,84	1,00	0,02	0,12	0,37	0,20	0,45	0,77
A4	0,47	0,77	1,00	0,02	0,16	0,44	0,25	0,74	1,00	0,13	0,41	0,84	0,37	0,69	1,00	0,03	0,16	0,37	0,10	0,34	0,77
A5	0,40	0,71	1,00	0,05	0,21	0,44	0,70	0,94	1,00	0,27	0,53	0,84	0,50	0,81	1,00	0,03	0,15	0,37	0,28	0,53	0,77
	K6.3			K6.4			K6.5			K6.6			K6.7			K6.8					
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u			
A1	0,02	0,13	0,37	0	0,06	0,30	0,01	0,14	0,50	0,02	0,13	0,37	0,06	0,21	0,50	0,00	0,02	0,17			
A2	0,02	0,14	0,37	0	0,07	0,30	0,04	0,19	0,50	0,02	0,13	0,37	0,07	0,23	0,50	0,00	0,03	0,17			
A3	0,03	0,15	0,37	0	0,08	0,30	0,04	0,18	0,50	0,03	0,15	0,37	0,05	0,21	0,50	0,00	0,03	0,17			
A4	0,02	0,12	0,37	0	0,09	0,30	0,12	0,29	0,50	0,03	0,16	0,37	0,11	0,28	0,50	0,00	0,03	0,17			
A5	0,03	0,16	0,37	0	0,07	0,30	0,02	0,16	0,50	0,02	0,13	0,37	0,08	0,25	0,50	0,00	0,03	0,17			

Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi oluşturulmasının ardından Eşitlik (7) yardımıyla bulanık pozitif ideal çözüm (\tilde{A}^+) ve bulanık negatif ideal çözüm (\tilde{A}^-) tespit edilmiştir. Bu tanımlamada Chen (2000)'in Bulanık TOPSIS modeli gereği (\tilde{A}^+)'da karar ölçütü sayısı kadar (1, 1, 1), (\tilde{A}^-)'de karar ölçütü sayısı kadar (0, 0, 0) değeri bulunur.

Bütün seçeneklerin FPIS' den ve FNIS' den olan mesafeleri Vertex yöntemi kullanılarak (8) ve (9) Eşitlikleri yardımıyla hesaplanır. Elde edilen sonuçlar Tablo 14'te gösterilmiştir [33].

Tablo 14. FPIS ve FNIS' den Olan Uzaklıklar

Alternatifler	D_i^+	D_i^-
A1	8,43	5,58
A2	8,68	5,37
A3	8,73	5,35
A4	9,02	5,22
A5	8,53	5,45

Mesafelerin bulunmasının ardından Eşitlik (10) kullanarak her bir seçenek için yakınlık katsayıları hesaplanmıştır ve bulunan katsayılar Tablo 15'te belirtilmiştir.

Tablo 15. Yakınlık Katsayıları

Alternatifler	CC_i
A1	0,398
A2	0,382
A3	0,38
A4	0,367
A5	0,39

Tablo 15 incelendiğinde yakınlık katsayıları büyükten küçüğe göre sıralandığında, alternatifler $A1 > A5 > A2 > A3 > A4$ şeklinde olmaktadır. Yani 1 numaralı alternatif MA9000III/6800 en iyi seçim olacaktır. Bunu ENGEL DUO/1000, MA10000III/8400, MA12000III/8400 ve BL1600EKH/C1050 takip etmektedir.

Üçgen bulanık sayılar kullanılarak gerçekleştirilen TOPSIS yöntemindeki işlem adımları yamuk bulanık sayılar kullanılarak da gerçekleştirilmiştir. Yamuk bulanık sayılar kullanılarak gerçekleştirilen TOPSIS yönteminde Eşitlik (10) kullanarak bütün seçeneklerin yakınlık katsayıları hesaplanmıştır ve bu katsayılar Tablo 16'da belirtilmiştir.

Tablo 16. Yakınlık Katsayıları

Alternatifler	CC _i
A1	0,3991
A2	0,3935
A3	0,3939
A4	0,3872
A5	0,4001

Tablo 16'ya bakıldığında yakınlık katsayıları büyükten küçüğe göre, seçenekler $A5 > A1 > A3 > A2 > A4$ biçiminde olmaktadır. Yani 5 numaralı alternatif ENGEL DUO/1000 en uygun tercih olacaktır.

Üçgen bulanık sayılar kullanılarak VIKOR yöntemiyle problemi çözmek için; oluşturulan karar verme ekibi ile, Tablo 2'de kriter değerlendirmesi için belirtilen dilsel ifadeler, Tablo 8'de belirtilen kriter ağırlıkları, Tablo 3'te alternatif değerlendirmesi için gösterilen sözel ifadeler ve Tablo 12'de belirtilen bulanık karar matrisi baz alınmıştır. Bulunan değerlerin ardından bulanık VIKOR yöntemi için daha önce açıklanan işlem adımları izlenmiştir.

Tablo 8'deki bulanık sayıların ortalaması alınarak, hesaplanan yeni ağırlıklara Tablo 17'de değinilmiştir.

Tablo 17. Kriterin Ortalama Ağırlıkları ve Normalize Ağırlıklar

Kriterler	Ağırlıklar	Normalize Ağırlıklar
K1	0,9	0,16
K2	0,24	0,04
K3	0,93	0,17
K4	0,64	0,11
K5	0,9	0,16
K6.1	0,19	0,03
K6.2	0,57	0,10
K6.3	0,19	0,03
K6.4	0,13	0,02
K6.5	0,31	0,06
K6.6	0,19	0,03
K6.7	0,31	0,06
K6.8	0,07	0,01
TOPLAM	5,57	1,00

Normalize ağırlıklara bakıldığında karar vericiler tarafından yapılan değerlendirmelerde 0,17 değeriyle en önemli kriterin güvenlik olduğu, sonrasında bu kriteri maliyet avantajı ve çevre dostu olma kriterinin takip ettiği görülmektedir.

Bulanık VIKOR adımlarına göre gerçekleştirilen işlemler aşağıda gösterilmiştir. Her bir ölçüt için bulunan en iyi ve en kötü (\tilde{f}_j^* ve \tilde{f}_j^-) değerleri Eşitlik (17) kullanılarak Tablo 18'de belirtilmiştir.

Tablo 18. \tilde{f}_j^* ve \tilde{f}_j^- Değerleri

Kriterler	\tilde{f}_j^*			\tilde{f}_j^-		
K1	0,83	0,97	1	0,37	0,68	1
K2	0,7	0,89	1	0,29	0,65	1
K3	0,83	0,97	1	0,29	0,77	1
K4	0,66	0,86	1	0,29	0,65	1
K5	0,83	0,97	1	0,48	0,74	1
K6.1	0,83	0,97	1	0,15	0,54	1
K6.2	0,77	0,93	1	0,27	0,6	1
K6.3	0,77	0,93	1	0,43	0,71	1
K6.4	0,66	0,86	1	0,29	0,65	1
K6.5	0,83	0,97	1	0,09	0,46	1
K6.6	0,83	0,97	1	0,48	0,74	1
K6.7	0,77	0,93	1	0,37	0,68	1
K6.8	0,58	0,81	1	0,09	0,46	1

Bulunan en iyi ve en kötü (\tilde{f}_j^* ve \tilde{f}_j^-) değerleri durulaştırılmış ve Tablo 19'da belirtilmiştir.

Tablo 19. Ortalama \tilde{f}_j^* ve \tilde{f}_j^- Değerleri

Kriterler	\tilde{f}_j^*	\tilde{f}_j^-
K1	0,93	0,68
K2	0,86	0,65
K3	0,93	0,69
K4	0,84	0,65
K5	0,93	0,74
K6.1	0,93	0,56
K6.2	0,90	0,62
K6.3	0,90	0,71
K6.4	0,84	0,65
K6.5	0,93	0,52
K6.6	0,93	0,74
K6.7	0,90	0,68
K6.8	0,80	0,52

Her bir alternatif plastik enjeksiyon makinesi çeşidinin her bir kriter için olan bulanık değerlerinin aritmetik ortalaması alınmış ve bulunan net değerleri Tablo 20'de ifade edilmiştir.

Tablo 20. Karar Matrisi İçin Net Değerler

	K1	K2	K3	K4	K5	K6.1	K6.2	K6.3	K6.4	K6.5	K6.6	K6.7	K6.8
A1	0,93	0,65	0,93	0,84	0,93	0,56	0,77	0,76	0,65	0,52	0,76	0,71	0,52
A2	0,81	0,79	0,87	0,76	0,84	0,68	0,76	0,81	0,71	0,65	0,76	0,76	0,68
A3	0,68	0,83	0,88	0,83	0,87	0,71	0,78	0,84	0,76	0,62	0,84	0,68	0,71
A4	0,81	0,68	0,69	0,65	0,74	0,93	0,62	0,71	0,84	0,93	0,93	0,90	0,80
A5	0,76	0,86	0,93	0,81	0,84	0,87	0,90	0,90	0,68	0,56	0,74	0,81	0,74

Net değerlerin hesaplanmasının ardından \tilde{S}_i değerleri Eşitlik (15) \tilde{R}_i değerleri Eşitlik (16), \tilde{Q}_i değeri Eşitlik (19) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları Tablo 21'de gösterilmiştir.

Tablo 21. Tüm Alternatif Plastik Enjeksiyon Makineleri İçin S, R, Q değerleri

	A1	A2	A3	A4	A5
S	0,32	0,48	0,47	0,7	0,34
R	0,06	0,08	0,16	0,17	0,11
Q	0	0,32	0,67	1	0,28

Farklı üst düzeyde grup yararını sağlayan strateji ağırlığı ile (v), zıt görüşte olanların minimum pişmanlığının ağırlığını ($1-v$) ifade eden değerlerin değişmesinin problem çözümünde nasıl bir etki yaratacağını görebilmek adına; farklı değerlerdeki (v) ve ($1-v$) ile hesaplanan Q değerleri Tablo 22’de belirtilmiştir.

Tablo 22. Alternatif Plastik Enjeksiyon Makinelerinin Farklı v Değerleri İçin Sıralama Sonuçları

v=0 için		v=0,25 için		v=0,50 için		v=0,75 için		v=1 için	
Sıralama	Qi	Sıralama	Qi	Sıralama	Qi	Sıralama	Qi	Sıralama	Qi
A1	0	A1	0	A1	0	A1	0	A1	0
A2	0,23	A2	0,27	A5	0,28	A5	0,17	A5	0,06
A5	0,5	A5	0,39	A2	0,32	A2	0,37	A3	0,4
A3	0,95	A3	0,81	A3	0,67	A3	0,53	A2	0,42
A4	1	A4	1	A4	1	A4	1	A4	1

Farklı v değerleri kullanarak gerçekleştirilen bu çalışmada en iyi alternatif her seferinde MA9000IIS/6800(A1) olarak bulunurken, en kötü alternatif BL1600EKH/C1050(A4) olarak bulunmuştur.

S , R ve Q değerlerinin bulunmasından sonra bu değerler küçükten büyüğe doğru sıralanmış olup problem çözümünde kullanılacak sıralama indeksleri Tablo 23’te gösterilmiştir.

Tablo 23. Farklı v Değerleri İçin Duyarlılık Analizi Sonuçları

Si Değerine Göre	Ri Değerine Göre	Qi Değerine Göre				
		v=0	v=0,25	v=0,5	v=0,75	v=1
A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1
A5	A2	A2	A2	A5	A5	A5
A3	A5	A5	A5	A2	A2	A3
A2	A3	A3	A3	A3	A3	A2
A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4

Elde edilen sonuçlar $v=0,5$ için Tablo 24’te gösterilmiştir.

Tablo 24. Alternatif Plastik Enjeksiyon Makinelerinin S , R ve Q ’ya Göre Sıralanması

	1	2	3	4	5
S	A1	A5	A3	A2	A4
R	A1	A2	A5	A3	A4
Q	A1	A5	A2	A3	A4

Hesaplanan çözümün geçerli kılınabilmesi için iki şart vardır. Ancak bu şekilde, minimum Q değerine sahip seçenек, en iyi olarak değerlendirilecektir. Bu şartlar aşağıda gösterilmiştir;

C1: Kabul Edilebilir Avantaj

En iyi ve ikinci en iyi alternatiflerin Q değerlerinin farkına ve seçenек sayısını baz alarak gerçekleştirilen hesaplamada, şartın desteklenip desteklenmediği tespit edilmektedir.

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ$$

a" burada; Q değerine göre sıralama çizelgesinde ikinci sırada olan seçenek,
a' ise ise en düşük Q değerine sahip seçenektir.

$DQ = 1/(M-1)$, M burada alternatif sayısını ifade eder. Gerçekleştirilen çalışmada en iyi Q değerine sahip alternatif A1 ve ikinci sıradaki alternatif ise A5'tir. Yapılan işlemler aşağıda belirtilmiştir;

$$A5-A1 \geq DQ$$

$$0,28-0,0 \geq 1/(5-1)$$

$0,28 \geq 0,25$ sonucuna göre eşitlik sağlanmaktadır.

Bu durumda C1 koşulu sağlanmaktadır.

C2: Karar Vermede Kabul Edilebilir İstikrar

Hesaplanan uzlaşık çözümün, karar verme prosesinde dengede olduğunun belirlenmesi açısından, seçenek a'in, S ve/veya R değerlerinden en az birinde en iyi seçenek olarak tercih edilmelidir.

S ve/veya R değerlerine göre sıralanan seçeneklere bakıldığı zaman, S 'ye ve R 'ye göre en iyi seçenek A1'dir.

Bu durumda C2 koşulu sağlanmaktadır.

Uzlaşık çözüm kümesi dahilinde Q değerlerine bakılarak sıralama gerçekleştirilir. Bu durumda en uygun seçenek MA9000III/6800'dir. Bunu sırasıyla ENGEL DUO/1000, MA10000III/8400, MA12000III/8400 ve BL1600EKH/C1050 takip eder.

Üçgen bulanık sayılar kullanılarak gerçekleştirilen VIKOR yöntemindeki işlem adımları yamuk bulanık sayılar kullanılarak da gerçekleştirilmiştir. Yamuk bulanık sayılar kullanılarak gerçekleştirilen VIKOR yönteminde S , R ve Q değerleri Tablo 25'te gösterilmiştir.

Tablo 25. Alternatif Plastik Enjeksiyon Makinelerinin S , R ve Q ' ya Göre Sıralanması

	1	2	3	4	5
S	A5	A1	A3	A2	A4
R	A1	A2	A5	A3	A4
Q	A1	A5	A2	A3	A4

Üçgen ve yamuk bulanık sayılar kullanılarak çözülen Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemlerinde iki yöntemin birbiriyle ilişkisi doğrusal korelasyon kullanılarak hesaplanmıştır.

Doğrusal korelasyonda, aralarında hangi yönde bir bağ olduğu bilinmek istenen değerlerin kantitatif özellikte olduğu ve hesaplamalarıyla ilişki doğru ve gerçek verilerin bulunduğu düşünülür. Buna karşı, karar alma prosesinde nicel karakterli parametrelerin olmadığı durumlarda parametrelerin sayı diliyle analizi yapılamamaktadır. Gerçekleştirilen analizlerin herhangi bir kısıta göre sıralandığı durumlarda parametrelerin sayısal olarak analizi yerine kaçınıcı sırada yer aldığı anlam kazandığında, doğrusal korelasyon katsayısının hesaplanması ile olağandır. Alternatiflerin kaçınıcı sırada bulunduğu Spearman sıra korelasyon katsayısının bulunması için gereklidir. Sıra korelasyon katsayısı hesaplanırken analiz edilen değerler belirtilen kurala göre sıralanmakta, sonrasında ise gerçek değerler yerine söz konusu sıra numaraları arasındaki bağ hesaplanmaktadır. Spearman sıra korelasyon katsayısı Eşitlik (21) kullanılarak bulunur [39].

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D_i^2}{n(n^2-1)} \quad (21)$$

Burada;

r_s : Spearman sıra korelasyon katsayısı değerini,

D_i : İki gözlemin sıraları arasındaki farkı,

n : Örneklem büyüklüğünü ifade etmektedir.

Sıra korelasyon katsayısı değeri -1 ile +1 arasında değer almaktadır. Eğer r_s :+1 bulunur ise Spearman sıra korelasyon katsayısı değeri ile analiz edilen sıralamanın tam pozitif bir ilişki gösterdiği, r_s = -1 olursa sıra korelasyon katsayısı değeri ile, gözlemlerin sıraları arasında aynı yönde olmayan tam negatif bir ilişki olduğu görülür [28].

Plastik enjeksiyon makinesi seçimi probleminde (21)'deki Eşitlik uygulanarak Spearman sıra korelasyon katsayısı hesaplanmış ve Tablo 26' da yer verilmiştir.

Tablo 26. Üçgen Bulanık Sayılar Kullanarak Grup Kararı için Spearman Sıra Korelasyon Katsayısının Hesaplanması

TOPSIS Üçgen Bulanık Sayılar ile Grup Kararı Sıralaması		VIKOR Üçgen Bulanık Sayılar ile Grup Kararı Sıralaması		Sıralama Arasındaki Farklar (D_i)	(D_i) ²
A1	1	1	1	0	0
A2	3	3	3	0	0
A3	4	4	4	0	0
A4	5	5	5	0	0
A5	2	2	2	0	0
Toplam				0	0
Spearman Sıra Korelasyon Katsayısı				$r_s=1$	

Tablo 26'dan da görülebileceği gibi, sıra korelasyon katsayısı r_s : 1 olarak bulunmuştur. Bu durum, TOPSIS yöntemi üçgen bulanık sayılar kullanılarak yapılan sıralama ile VIKOR yöntemi üçgen bulanık sayılar kullanılarak yapılan sıralama arasında tam pozitif doğrusal ilişki olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde yamuk bulanık sayılar kullanarak gerçekleştirilen TOPSIS ve VIKOR yöntemleri arasındaki ilişkiye Tablo 27'de gösterilmiştir.

Tablo 27. Yamuk Bulanık Sayılar Kullanarak Grup Kararı için Spearman Sıra Korelasyon Katsayısının Hesaplanması

TOPSIS Yamuk Bulanık Sayılar ile Grup Kararı Sıralaması		VIKOR Yamuk Bulanık Sayılar ile Grup Kararı Sıralaması		Sıralama Arasındaki Farklar (D_i)	(D_i) ²
A1	2	1	1	1	1
A2	4	3	3	1	1
A3	3	4	4	-1	1
A4	5	5	5	0	0
A5	1	2	2	-1	1
Toplam				0	4
Spearman Sıra Korelasyon Katsayısı				$r_s=0.8$	

Tablo 27'den de görülebileceği gibi, sıra korelasyon katsayısı r_s : 0,8 olarak hesaplanmıştır. Hesaplama sonucu, TOPSIS yöntemi yamuk bulanık sayılar kullanılarak yapılan sıralama ile VIKOR yöntemi yamuk bulanık sayılar kullanılarak yapılan sıralama arasında yüksek düzeyde pozitif korelasyon olduğunu göstermektedir.

Üçgen bulanık sayılar kullanılarak gerçekleştirilen TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinde alternatif sıralaması aynı çıkmıştır. En iyi alternatif MA9000IIS/6800(A1) olarak bulunurken, en kötü alternatif BL1600EKH/C1050(A4) olarak bulunmuştur.

Yamuk bulanık sayılar kullanılarak gerçekleştirilen TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinde alternatif sıralaması arasında az da olsa farklılar bulunmuştur. Yamuk bulanık sayılar kullanılarak gerçekleştirilen TOPSIS yönteminde en iyi alternatif ENGEL DUO/1000(A5), en kötü alternatif BL1600EKH/C1050(A4) olarak bulunurken; VIKOR yönteminde en iyi alternatif MA9000IIS/6800(A1), en kötü alternatif BL1600EKH/C1050(A4) olarak bulunmuştur.

Yamuk ve üçgen bulanık sayılar kullanılarak gerçekleştirilen TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinde oluşan sıralamanın ortalaması alınmıştır, bütünleşik sıralamaya Tablo 28'de yer verilmiştir.

Tablo 28. Alternatiflerin Bütünleşik Sıralaması

	TOPSIS Üçgen Bulanık Sıralama	VIKOR Üçgen Bulanık Sıralama	TOPSIS Yamuk Bulanık Sıralama	VIKOR Yamuk Bulanık Sıralama	Ortalama	Bütünleşik Sıralama
A1	1.	1.	2.	1.	1,25	1.
A2	3.	3.	4.	3.	3,25	3.
A3	4.	4.	3.	4.	3,75	4.
A4	5.	5.	5.	5.	5,00	5.
A5	2.	2.	1.	2.	1,75	2.

Tablo 28 incelendiğinde MA9000IIS/6800(A1)' in kullanılan tüm yöntemler baz alındığında en iyi alternatif olduğu görülmüştür. Sonrasında ENGEL DUO/1000(A5) en iyi ikinci alternatif olarak belirlenmiştir. A1 alternatifi ve A5 alternatifi arasında az bir ortalama farkı vardır. A1 ve A5 alternatifinin ardından bunu sırasıyla; MA10000IIS/8400(A2), MA12000III/8400 (A3) ve BL1600EKH/C1050(A4) takip etmektedir.

VI. SONUÇLAR

Bu çalışmada; plastik enjeksiyon sektöründe faaliyet gösteren bir işletme için satın alınacak en uygun plastik enjeksiyon makinesine nasıl karar verildiği incelenmiştir. Bu amaçla; üç farklı tonajda Haitian plastik enjeksiyon makinesi, Bole enjeksiyon makinesi ve Engel enjeksiyon makinesi arasından yapılacak seçim; enjeksiyon makinesi seçimi için üzerinde durulması gereken iktisadi unsurlardan hariç makine seçim prosesi üzerinde etkili olan kriterler de gözetilerek, daha önce gerçekleştirilmiş olan bulanık çok kriterli karar verme metotlarından Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Hangi plastik enjeksiyon makinesinin işletme için daha elverişli olduğuna karar verilmiştir [2].

Sonuç olarak, makine seçim süreci için Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR tekniklerinin beraber kullanıldığı bir çalışma olmuştur ve kullanılan iki teknikte de aynı sıralama sonucuna varılmıştır. En iyi alternatif A1 alternatifi, en kötü alternatif A4 alternatifi olarak tespit edilmiştir. Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR tekniklerinin aynı uygulama içinde yer alması, karar verme durumunda olan kişiler için ihtiyaçlar ile en iyi örtüşen plastik enjeksiyon makinesini seçme ve kullanılan Bulanık ÇKVV yöntemlerini karşılaştırmak için olanak sağlamaktadır.

İleride plastik enjeksiyon sektöründe makine tercihi için gerçekleştirilecek çalışmalarda, bu çalışmada tespit edilmiş ve analizi gerçekleştirilmiş kriterlere enerji tüketimini ve çevresel etkiyi baz alan eklemeler yapılabilir. Problemin çözümü için daha önce kullanılmamış olan bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri beraber kullanılabilir. Aynı bir sektörde daha değişik bir ekipman tercihi sorunu için Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemleri tercih edilebilir. Ek olarak çalışmada gerçekleştirilen metotlar, işletmenin diğer bölümlerinde makine ve ekipman seçimi tercihinde de uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Jahan, A., & Edwards, K. L., Bahraminasab, (2016). M. Multi Criteria Decision Analysis For Supporting The Selection of Engineering Materials in Product Design. *Butterworth-Heinemann, USA*, 223s.
- [2] Arslan, B. (2022), *Bulanık Tabanlı Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Makine Ekipman Seçimi*. Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa
- [3] Soner, S., & Önüt, S. (2006). Multi-Criteria Supplier Selection: An ELECTRE-AHP Application. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, (4), 110-120.
- [4] Wang, T-Y., Shaw, C-F., & Chen, Y-L. (2000). Machine Selection in Flexible Manufacturing Cell: A Fuzzy Multiple Attribute Decision-Making Approach. *International Journal of Production Research*, 38(9), 2-2079.
- [5] Yurdakul, M. (2004). AHP as a Strategic Decision Making Tool to Justify Machine Tool Selection. *Journals of Materials Processing Technology*, 146(3), 365-376.
- [6] Ayag, Z., & R. G. Ozdemir. (2006). A Fuzzy AHP Approach to Evaluating Machine Tool Alternatives. *International Journal of Intelligent Manufacturing*, 17 (2), 179-190.
- [7] Guelsuen, Bahadır. (2011). Selection Of AS/RS By Using Fuzzy Topsis Method. *Annals of DAAAM, Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium*, 22(1).
- [8] Taha, Z., & Rostam, S. (2012). A Hybrid Fuzzy AHP-PROMETHEE. Decision Support System for Machine Tool Selection in Flexible Manufacturing Cell. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(6), 2137-2149.

- [9] 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.
- [10] Organ, A. (2012). Bulanık DEMATEL Yöntemiyle Makine Seçimini Etkileyen Kriterlerin Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 157-172.
- [11] Gök Kısa, A., C., Perçin, S. (2017). Application of Integrated Fuzzy DEMATEL-Fuzzy VIKOR Approach to Machine Selection Problem. *Journal of Yasar University*, 12(48), 249-256.
- [12] H. Li, W. Wang, L. Fan et al. (2020). A Novel Hybrid MCDM Model for Machine Tool Selection Using Fuzzy DEMATEL, Entropy Weighting And Later Defuzzification VIKOR. *Applied Soft Computing Journal*, 106207.
- [13] Ulutaş, A. (2017). EDAS Yöntemi Kullanılarak Bir Tekstil Atölyesi İçin Dikiş Makinesi Seçimi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 169-183.
- [14] Sarıçalı, G. (2018). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden KEMIRA-M ve COPRAS Yöntemlerinin Mermer İşletme Makine Seçim Sürecine Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Denizli, 92s.
- [15] Kabadayı, N., Dağ, S. (2017). Bulanık DEMATEL ve Bulanık PROMETHEE Yöntemleri ile Kablo Üretiminde Makine Seçimi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi*, (14),1-22.
- [16] Akın, N.G. (2019). Makine Seçimi Probleminde ENTROPİ-ROV ve CRITIC-ROV Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Dumlupınar Üniversitesi, *Sosyal Bilimler Dergisi*, (62), 20-39.
- [17] Dilip Kumar Sen Saurav Datta S.S. Mahapatra. (2016). Application of TODIM (Tomada De Decisión Iterativa Multicriterio) for Industrial Robot Selection. *Benchmarking, International Journal*,23(7),1818 – 1833.
- [18] Indap, S. (2018). Application Of The Analytic Hierarchy Process In The Selection of Storage Rack Systems For E-Commerce Clothing Industry. *Journal Of Management, Marketing and Logistics*, 5(4),255-266.
- [19] Prusa, P., Jovcic, S., Nemec. C. & Mrazek. P. (2018). Forklift Truck Selection Using TOPSIS Method. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 8(3), 390 – 398.
- [20] Kumru, M., & Kumru, P. Y. A. (2015). Fuzzy ANP Model for the Selection of 3D Coordinate-Measuring Machine. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 26(5),999-1010.
- [21] Koca, G., & Eğilmez, Ö. (2020). Makine Seçimi Probleminin Entropi Ağırlıklı TOPSIS Yöntemi ile Değerlendirilmesi: Bir Doğal Taş İşletmesi Örneği. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilgisi Dergisi*, 7(2), 714-729.
- [22] Faydalı, R., & Erkan, E. F. (2020). Makine Seçim Probleminin Bulanık VIKOR Yöntemiyle İncelenmesi. *Zeki Sistemler Teori ve Uygulamaları Dergisi*,3(1), 7-12.
- [23] Uzun, S., & Kazan, H. (2016). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden AHP TOPSIS ve PROMETHEE Karşılaştırılması: Gemi İnşada Ana Makine Seçimi Uygulaması. *Journal of Transportation and Logistics*, 1(1), 99-113.
- [24] Uzun, S., & Yıldırım, B. F. (2016). Equipment Selection in Ship Building Process: TOPSIS, MOORA, VIKOR Application. *Eurasian Academy of Sciences Eurasian Business & Economics Journal*, 2, 113-124.
- [25] Ertuğrul, İ. (2007). Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bir Tekstil İşletmesinde Makine Seçim Problemine Uygulanması. Hacettepe Üniversitesi, *İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*,25(1), 171-192.
- [26] Akpınar, M. (2022). Machine Selection Application in a Hard Chrome Plating Industry Using Fuzzy SWARA and Fuzzy ARAS Methods, *Manisa Celal Bayar University Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 29(1),107-119
- [27] Karakış, E. (2021). Machine Selection for a Textile Company with CRITIC and MAUT Methods. *European Journal of Science and Technology*, (27), 842-848.
- [28] Perçin, S. (2012). Bulanık AHS ve TOPSIS Yaklaşımının Makine Teçhizat Seçimine Uygulanması, *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 169-184
- [29] Yılmaz, B., & Dağdeviren, M. (2010). Ekipman Seçimi Probleminde PROMETHEE ve Bulanık PROMETHEE Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4), 811-826
- [30] Çetinkaya, Ç., Kabak, M., & Özceylan, E. (2017). 3D Printer Selection by Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process and PROMETHEE, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, (10)4, 371-380
- [31] Palanisamy, M., Pugalendhi, A., & Ranganathan, R. (2020). Selection of Suitable Additive Manufacturing Machine And Materials Through Best–Worst Method (BWM), *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 107:2345–2362

- [32] Jahanshahloo, G.R., Hosseinzadeh, F., & Izadikhah, M. (2006). Extension of the TOPSIS Method for Decision Making Problems with Fuzzy Data. *Applied Mathematics and Computation*, 181,1544-1551.
- [33] Chen, Tung., Ching, Torng Lin., & Sue, Fn Hwang. (2006). A Fuzzy Spproach for Supplier Evaluation and Selection In Supply Chain Management. *International Journal of Production Economics*, (102) 289-301.
- [34] Negi, D.S. (1989). *Fuzzy Analysis and Optimization*, Ph.D. Thesis, Kansas State University.
- [35] Chen, T. (2001). A Fuzzy Approach To Select The Location of The Distribution Center. *Fuzzy Sets and Systems*, (118), 65-73.
- [36] Tiryaki, F., Ahlatçıolu, M. (2005). Fuzzy Stock Selection Using a New Fuzzy Ranking and Weighting Algorithm. *Applied Mathematics and Computation*, 170,144- 157.
- [37] Opricovic, S. (2011). Fuzzy VIKOR with an Application to Water Resources Planning. *Expert Systems with Applications*, (38), 12983–12990.
- [38] Opricovic, S. and Tzeng, G.H. (2007). Extended VIKOR Method In Comprasion with Outranking Methods. *European Journal of Operational Research*, (178), 514-529.
- [39] Özer, S. (2010). Uygulamalı İstatistik. Ezgi Kitapevi, Bursa.