

Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Altı Sigma Projeleri Seçiminde Uygulanması*

Engin Çakır^a

Muhsin Özdemir^b

Öz: Üretim ve hizmet sektörlerinde yaygın bir kullanım alanına sahip olan altı sigma yöntemi, proje odaklı bir yöntem olarak bilinmektedir. Altı sigma yönteminde projeler arasından öncelikli projenin seçimi çok kriterli bir karar verme problemi olarak düşünülebilir. Literatür araştırması, altı sigma projelerinin seçimi ile ilgili çok sayıda yöntemin olduğunu göstermiştir. Altı sigma proje değerlendirme kriterlerinin belirsizlik içermesinden dolayı, proje seçiminde bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılması daha uygun olacaktır. Bu çalışmada, bu yöntemlerden bulanık VIKOR, bulanık TOPSIS ve bulanık COPRAS ile projelerin değerlendirilmesi ve her bir yöntemden elde edilen sıralama skorlarının Copeland yöntemi ile bütünleştirilmesi sonucu en uygun projenin seçilmesi amaçlanmıştır. Önerilen yöntem Aydın ASTİM Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren büyük ölçekli bir üretim işletmesinde uygulanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Altı Sigma Projeleri, Bulanık VIKOR, Bulanık TOPSIS, Bulanık COPRAS, Bulanık AHP, Copeland Yöntemi

JEL Sınıflandırması: M11, C44, L20, C02, D70, O22

Application of Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Methods on Six Sigma Projects Selection

Abstract: Six sigma method widely applied in production and service businesses is known as a project-oriented method. In six sigma method, selection of the prior project among others can be considered as a multi-criteria decision-making problem. The conducted literature review has revealed that there is a large number of methods to select six sigma projects. It is more appropriate to use fuzzy multi-criteria decision making methods in project selection since evaluation criteria of six sigma projects include uncertainties. The aim of this study is to select the most appropriate project as a result of evaluating the projects by Fuzzy VIKOR, Fuzzy TOPSIS and Fuzzy COPRAS as methods of fuzzy multi-criteria decision-making and integrating the ranking scores obtained from each method by Copeland method. The proposed method has been implemented in a large scale production company, operating in Aydın ASTİM Organized Industrial Zone.

Keywords: Six Sigma Projects, Fuzzy VIKOR, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy COPRAS, Fuzzy AHP, Copeland Method

JEL Classification: M11, C44, L20, C02, D70, O22

^aRes. Assist., PhD., Adnan Menderes University, Nazilli Faculty of Economics and Administrative Sciences, İsabeyli Campus, Department of Business Administration, Aydın, Türkiye, engincakir@adu.edu.tr

^bAssoc. Prof., PhD., Adnan Menderes University, Nazilli Faculty of Economics and Administrative Sciences, İsabeyli Campus, Department of Business Administration, Aydın, Türkiye, mozdemir@adu.edu.tr

1. Giriş

İnsan, toplum içerisinde yaşamını sürdürürken belirsizlik içeren durumlarla karşılaşmakta, sezgi ya da deneyimlerine dayalı olarak karar almak zorunda kalmaktadır. Karar verme sürecinde insan beyni öznel değerlerden faydalanmaktadır. Toplum bilimci Aristo'nun ortaya koyduğu gibi "bilgi doğuştan akılda yoktur, ama akıl bilgiyi üretecek kapasitedir". Dolayısıyla akıl ve düşünce sisteminin ilk aşamaları bulanıktır. Bu aşamada Aristo'nun insan doğası gereği, klasik işlevsel yapısının aksine bulanık mantık, içinde bulunan belirsizliğe çözüm önerileri sunmaktadır.

İnsanlığın varoluşundan bugüne kadar karar verme süreci, seçeneklerin çok sayıda olmasından dolayı karmaşık bir yapıya dönüşmüştür. Bu doğrultuda çok kriterli karar verme tekniklerinin katkı sağlayıcı unsurlarını maksimize etmeye yönelik olarak, bulanık mantık ile bütünleştirilmesi karar vermede etkinliği daha da arttırmaktadır. Bunlar "bulanık çok kriterli karar verme teknikleri" olarak literatürde yer almış ve proje seçimi gibi birçok çalışmada da kullanılmıştır.

Bu çalışmada, altı sigma projeleri içerisinde, bulanık çok kriterli karar verme teknikleri arasında yer alan bulanık VIKOR (VIšeKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje – Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm), bulanık TOPSIS (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution - İdeal Çözüme Benzerlik Bakımından Sıralama) ve bulanık COPRAS (COMplex PROportional ASsesment – Karmaşık Nisbi Değerlendirme) yöntemlerinin Copeland sıralama yöntemi kullanılarak bütünleştirilmesi ile en uygun projenin seçilmesi amaçlanmıştır. Projelerin değerlendirilmesi, yöntemlerin dayanağı olan kriterler ve bu kriterlerin ağırlıkları yardımıyla mümkün olabilmektedir. Literatürde, kriterlerin ağırlıklarını bulanık mantık çerçevesinde ortaya koyan çalışmalara rastlamak mümkündür. Bu çalışmada bulanık AHP yöntemi kullanılarak kriterlerin ağırlıkları tespit edilmiş ve projelerin değerlendirilmesi safhasında bulanık AHP'den elde edilen kriter ağırlıkları bulanık VIKOR, bulanık TOPSIS ve bulanık COPRAS'ta kullanılmıştır.

Bu çalışmada önerilen yöntemler, Aydın ASTİM organize sanayi bölgesinde santrifüj ürünleri üreten HAUS firmasında uygulanmıştır. HAUS firmasının 11 çeşit ürününden en çok satışı yapılan 353 serisi dekantörlere odaklanılmıştır. Karar vericilerle görüşme sağlanarak, 353 serisi dekantörler ve ona bağlı üretim sahası ile ilgili projeler belirlenmiştir. Projelerin değerlendirilebilmesi için kriterler ve bu kriterlerin ağırlıklarına ihtiyaç vardır. Kriterlerin ağırlıklarını belirlemede bulanık AHP yönteminden yararlanılmıştır. Her bir proje, karar vericiler tarafından kriterler göz önüne alınarak sözel değişkenler ile değerlendirilmiştir. Her bir karar vericiye ait sözel değişkenler bulanık üçgensel sayılara dönüştürülmüş, daha sonra tek bir karar matrisi oluşturulabilmesi için karar verici ağırlıkları da dikkate alınarak birleştirme işlemi yapılmıştır. Böylece tüm karar vericilere ait tek bir bulanık karar matrisi elde edilmiştir. Birleştirilmiş bulanık karar matrisi, bulanık VIKOR, bulanık TOPSIS ve bulanık COPRAS yöntemi ile değerlendirilmiş, her bir yöntem için ayrı ayrı proje sıralamaları elde edilmiştir. Her üç yöntemden elde edilen sıralamaların Copeland yöntemi ile bütünleştirilmesi sağlanmış ve yeni sıralamadaki en iyi skora sahip olan altı sigma projesinin öncelikle hayata geçirilmesi gerektiği üst yönetime bildirilmiştir. Böylece, birden fazla sayıda bulanık çok kriterli karar verme yönteminin tek bir sıralama olacak şekilde bütünleştirilmesi ile en iyi altı sigma projesinin belirlenmesi amacına ulaşılmıştır. Copeland yöntemi ile bütünleştirme sonrası elde edilen sıralama, proje değerlendirme yöntemi tercihi konusunda zorlanan karar vericiler tarafından daha güvenilir bulunmuştur.

2. Literatür Araştırması

Altı sigma yaklaşımının gücü, temelinde yatan "süreçlerle düşünme" kavramından gelmektedir. İşletmeler süreçlerden oluşmaktadır. Bu süreçlerin çıktıları da iç ve dış müşterilere iletilmektedir. Bu nedenle süreçler devamlı olarak gözden geçirilerek, müşteri memnuniyetini sağlamak için gereken iyileştirmeler yapılmalıdır. Altı sigma projeleri, bu düşünce şeklini hayata geçirmek için altı sigma ekiplerinin kullandığı bir araçtır (Akpolat, 2004: 43). Altı sigma, proje odaklı yapısının etkili kullanılmasıyla bir işletmenin stratejik hedeflerine ulaşmasını sağlar. Altı sigma projeleri, iş stratejisi ile bağlantılı olmalı ve müşterinin gereksinimlerini karşılamalıdır (Coronado & Antony, 2002: 92). Ayrıca projelerin kritik operasyon hedefleri veya stratejik hedeflerle de uyumlu olması gerekir. Literatürde altı sigma projelerinin seçimi için kullanılan

birçok yöntem bulunmaktadır. Ancak bu yöntemlerden hangisinin proje seçiminde daha iyi sonuç verdiğini söylemek zordur. Karar vericilerin altı sigma projelerinin seçiminde zorlandıkları kadar; proje seçim yöntemlerinin seçiminde de zorlandıkları söylenebilir. Altı sigma projeleri ve buna bağlı proje seçimleri ile ilgili literatürde birçok yayına rastlamak mümkündür. Tablo 1’de altı sigma proje seçiminde kullanılan yöntemlere ilişkin literatür taramasına yer verilmiştir.

Tablo 1. Altı Sigma Proje Seçim Yöntem ve Araçları

YAZAR	YÖNTEM VE ARAÇLAR
Pyzdek (2000b; 2003; 2010)	Pareto Önceliklendirme İndeksi (PÖİ), Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Kalite Fonksiyonu Yayılımı (KFY), Kısıtlar Teorisi, Fizibilite Analizi, Yatırımın Geri Dönüş Oranı
Pande vd. (2000)	Maliyet/Fayda Analizi
Breyfogle, Cupello & Meadws (2001)	Proje Değerlendirme Matrisi
Kelly (2002)	Proje Seçim Matrisi
Adams, Gupta & Wilson (2003)	Proje Sıralama Matrisi
Larson (2003)	Pareto Analizi
De Feo & Bernard (2004)	Kriterlere Göre Potansiyel Projelerdeki Verileri Gözden Geçirme
Kazemi, Kazemi & Bahri (2005)	AHP ve TOPSIS
Kumar, Crocker, Chitra & Saranga (2006)	AHP
Doğu (2006)	KFY
Kumar, Saranga, Ramirez-Marquez & Nowicki (2007)	Veri Zarflama Analizi (VZA)
David & Saaty (2007)	AHP
Su & Chou (2008)	AHP ile Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA)
Kahraman & Büyüközkan (2008)	Bulanık AHP ve Bulanık Hedef Programlama
İkiz (2009)	Reel Opsiyonlar Yaklaşımı
Büyüközkan & Öztürkcan (2010)	DEMATEL ve Analitik Ağ Prosesi (AAP)
Saghaei & Didekhani (2011)	ANFIS ve Bulanık Hedef Programlama
Kazemi, Karbasian, Homayouni & Vasili (2012)	Bulanık Çok Kriterli Karar Verme
Bilgen & Şen (2012)	Bulanık AHP
Özveri & Gök (2012)	Kalite Fonksiyonu Yayılımı
Özveri & Dinçel (2012)	PÖİ, Fizibilite Analizi ve Yatırımın Geri Dönüş Oranı
Yüksel (2012)	VZA
Şentürk (2013)	Bulanık Yaklaşım
Ray, Das, Bhattacharyay & Antony (2013)	Bulanık Yaklaşım
Fatsijani, Nikabadi & Amirimoghadam (2014)	Bulanık AAP, SAW (Basit Toplamlı Ağırlıklandırma), TOPSIS, Bulanık VIKOR
Wang, Hus & Tzeng (2014)	DEMATEL, AAP ve VIKOR
Rathi, Khanduja & Sharma (2015)	Bulanık TOPSIS

Kaynak: Bañuelas vd., 2006; Breyfogle vd., 2001; Kazemi vd., 2012

Literatür incelendiğinde, birden fazla kriteri dikkate alarak en iyi alternatifin seçilmesine odaklanan çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV) ile insani düşünüş tarzına en yakın yöntem olan bulanık mantık uygulamalarının proje seçimlerinde sıkça kullanıldığını söyleyebiliriz. Bu çalışmada ele alınan altı sigma projelerinin değerlendirilmesinde de çok kriterli karar verme yöntemleri ile bulanık yaklaşımın bütünleştirildiği bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmıştır.

Çalışmada ele alınan Copeland sıralama yöntemi ile ilgili de literatür araştırması yapılmıştır. Naderi, Shams & Shahhoseini, 2012, çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS, bulanık TOPSIS ve AHP yöntemlerini Copeland sıralama yöntemi ile bütünleştirmiştir. Naderi, Shahhoseini & Jafari, 2013, TOPSIS, bulanık TOPSIS ve AHP yöntemlerini Copeland ile bütünleştirmiştir. Ustinovichius, Zavadskas & Podvezko (2007)’de TOPSIS, SAW ve COPRAS yöntemleri bütünleştirilmiştir. Azimi, Taghizadehb, Farahmand, & Pourmahmoudc (2014) çalışmalarında, SAW, WPM, TOPSIS ve VIKOR yöntemlerini tek bir sıralama olacak şekilde Copeland yöntemi ile bütünleştirmişlerdir.

3. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Altı sigma Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme ve Kontrol (TÖAİK) aşamalarından oluşur (Özveri & Çakır, 2012: 20). Ancak, bu aşamalara geçmeden önce yapılması gereken ilk iş, doğru projenin seçimidir. Altı sigma uygulayan birçok işletmede, altı sigma projeleri başarısızlıkla sonuçlanmakta ve bu durum üst yönetimi altı sigma felsefesinden vazgeçmeye kadar götürebilmektedir. Hâlbuki doğru yöntemlerle seçilmiş ve zamanında hayata geçirilmiş altı sigma projeleri başarının en önemli aşamasıdır. Bu çalışmada bu problemi ortadan kaldırmak için, Copeland yöntemi yardımıyla bütünleştirilmiş bulanık çok kriterli karar verme teknikleri ile projelerin değerlendirilerek işletmeye en yüksek katkıyı sağlayacak projenin seçilmesi amaçlanmıştır.

Altı sigma uygulayan işletmeler, en uygun projenin seçimi için çeşitli yöntemlerden faydalanmaktadır. Uygulamanın yapıldığı HAUS firmasında, üst düzey yönetici ve çalışanlarla birlikte ortaya konulan projeler arasından işletmeye en yüksek kazanç ve fayda sağlayacak projenin seçilebilmesi için Copeland sıralama yöntemiyle bütünleştirilen bulanık VIKOR, bulanık TOPSIS ve bulanık COPRAS yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bu yöntemler için belirlenen kriterlerin bulanıklık içermesi nedeniyle literatürde sıklıkla kullanılan bulanık AHP'den yararlanılmış ve Chang (1996)'in genişletilmiş analiz yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir.

Literatür kaynaklarında bulanık VIKOR ve bulanık TOPSIS yöntemleri ile projelerin değerlendirildiği çalışmalara rastlamak mümkündür. Ancak üçüncü değerlendirme yöntemi olarak ele alınan bulanık COPRAS yöntemi konusunda, Türkiye'de bilimsel yayına rastlanmamıştır. Yabancı yayınlara bakıldığında ise, yayın sayısı oldukça azdır. Bulanık COPRAS yönteminin bu çalışmaya uygun olması için bir kısım eklentiler yapılarak, literatüre katkıda bulunulmuştur.

Ayrıca, bulanık ÇKKV tekniklerinden elde edilen alternatif sıralamalarının tek bir sıralama olacak şekilde bütünleştirilmesi işlemi, Copeland sıralama yöntemi ile yapılmıştır. Literatürde Copeland sıralama yöntemi ile bulanık ÇKKV yöntemlerinin bütünleştirildiği çalışmaya rastlanmamıştır.

4. Çalışmanın Yöntemi

Çalışmanın temeli olan “işletmeye en yüksek katkıyı sağlayacak altı sigma projesinin seçilebilmesi” için aşamalar aşağıda gibi sıralanmıştır:

Aşama 1 – Karar Verici Ağırlıklarının Belirlenmesi

Karar vericilerin kimler olduğu ve karar vericilerin ağırlıklarını hesaplayabilmek için “Karar Verici Değerlendirme Komitesi” (KVVK) fabrika müdürü tarafından oluşturulmuştur. KVVK üyelerine karar vericilerin kararlardaki etki düzeylerini belirlemek için birebir anket uygulanarak; bulanık üyelik fonksiyonlarına ulaşılmış, her bir KVVK üyesinin karar matrisi birleştirilerek, tek bir karar matrisi haline getirilmiştir. Ardından En İyi Sayı Değeri yöntemi ile durulaştırma işlemi uygulanarak, kesin değerler elde edilmiş; kesin değerlerin normalizasyon işleminin ardından her bir karar verici için ağırlıklar ortaya konulmuştur.

Aşama 2 – Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Öncelikle literatürdeki kriterler ortaya konulmuş ve bu doğrultuda 353 serisi dekantörle ilgili projeleri değerlendirmede kullanılacak kriterler belirlenmiştir. Daha sonra bulanık AHP yöntemine ait sözel değişkenler belirlenmiş; anket yardımıyla her bir karar vericinin kriterleri değerlendirmeleri sağlanmıştır. Karar vericilerin vermiş oldukları cevaplar üçgensel bulanık sayılara dönüştürülerek, karar verici ağırlıkları da göz önünde bulundurularak, tek bir karar matrisi olacak şekilde birleştirilmiştir. Son olarak da Chang (1996)'in genişletilmiş sentetik analizi yöntemi ile kriter ağırlıkları tespit edilmiştir.

Aşama 3 – Projelerin Değerlendirilmesi

Karar vericilerle görüşülerek 353 serisi dekantörler ve ona bağlı üretim sahası ile ilgili projeler ortaya konulmuştur. Bulanık VIKOR, bulanık TOPSIS ve bulanık COPRAS için kullanılacak sözel değişkenler belirlenerek; karar vericilere, her bir proje için kriterlere göre değerlendirme yapmaları için anket uygulanmıştır. Her bir karar verici için elde edilen bulanık üçgensel sayılardan tek bir karar matrisi elde

edilebilmesi için, karar verici ağırlıkları da dikkate alınarak birleştirme işlemi uygulanmıştır. Bulanık VIKOR, bulanık TOPSIS ve bulanık COPRAS yöntemleri ile değerlendirme yapılarak projeler önceliklere göre sıralanmıştır.

Aşama 4 – Proje Sıralamalarının Bütünleştirilmesi

Her üç yöntemden elde edilen sıralamalar Copeland yöntemi ile bütünleştirilerek, en iyi proje önerisinde bulunulmuştur.

5. Bulanık Çok Kriterli Karar Verme

Yöneticilerin en temel problemi, doğru ve zamanında karar vermektir. İşletmelerde alt, orta ve üst kademe yöneticileri, kısa, orta ve uzun dönemde stratejik, taktik ve operasyonel birçok karar vermek durumundadır. Doğru ve zamanında karar verebilmek işletmeye önemli avantajlar sağlar. Ancak bu kararların alınması o kadar kolay olmayabilir. Bu konuda yöneticilerin eğitim, tecrübe ve danıştığı çevrelerinin yanında karar vermede kullandıkları yöntemleri doğru seçmesi ve uygulaması da oldukça önemlidir (Gavcar ve diğerleri, 2011: 14–15).

Karar verme, karar organının değişik seçeneklerle karşı karşıya bulunduğu durumlarda bu seçenekler arasından amaca en uygun olanını seçmedir (Tekin, 2008: 20). Bir kararın iyi veya kötü olması, erişilebilen verilere, muhtemel alternatiflere ve karar vermek için kullanılan yol/yöntem/kriterlere bağlıdır (Timor, 2010: 1). Karar verme süreci ise, Şekil 1’de özetlenen adımlar izlenerek yürütülür (Erdem, 2013: 18; Hillier & Lieberman, 2001: 749–752):

Şekil 1. Karar Verme Süreci



Günümüzde gerek bireysel, gerekse daha büyük ölçekli kararlar almak zorunda olan insanlar, aldıkları kararlarda birden fazla kriteri dikkate alarak hareket etmek durumundadır. Çok kriterli karar verme yönetim, matematik, psikoloji, enformatik, ekonomi ve sosyal bilimler gibi birden çok disiplinin bir araya gelip karar alıcıya birden fazla boyutla karar problemini değerlendirme ve karar alma imkânı sağlayan yöntemlerin bir araya getirildiği bir yapıdır (Yıldırım & Önder, 2014: 15).

Çok kriterli karar verme tekniklerinin, belirsizlik durumlarına çözüm olan bulanık mantık ilkeleri ile bütünleştirilmesi sonucu karar almada yeni yöntemlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Literatürde çok sayıda bulanık çok kriterli karar verme yöntemine rastlamak mümkündür. Bu çalışmada bulanık ÇKKV yöntemlerinden bulanık AHP, bulanık VIKOR, bulanık TOPSIS ve bulanık COPRAS yöntemlerine yer verilmiştir.

5.1. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), karmaşık karar problemlerinde, karar alternatiflerine ve kriterlerine göreceli önem değerleri verilmek suretiyle yönetsel karar mekanizmasının çalıştırılması esasına dayanan bir karar verme sürecidir (Saaty & Vargas, 2012: 1; Timor, 2010: 302, 2011: 29). Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP, ilk olarak Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir (Teknomo, 2014: 8). AHP, karar seçeneklerini derecelendiren ve karar vericinin birden fazla hedef ya da kriteri olduğunda, en iyi olanı seçmesini sağlayan bir yöntemdir. Bu özelliklerinden dolayı AHP, kantitatif ve kalitatif bilginin birlikte değerlendirilmesini gerektiren çeşitli disiplinlerde geniş bir uygulama alanı bulmuştur (Erdem & Kavrukkoca, 2002: 2).

Çok kriterli karar verme problemlerinde sayısal ve sayısal olmayan ölçütleri ele almada AHP'nin tutarlılığına rağmen, karar vericinin yargıları, bulanıklığı ve belirsizliği, geleneksel AHP yönteminde karar vericinin kesin olmayan yargılarını da değerlendirmeye katmaktadır (Sheu, 2004: 45). Bu sebeple bulanık AHP

yöntemi, karar sürecindeki belirsizlikleri dikkate alması bakımından AHP yöntemine göre daha gerçekçi sonuçlara ulaşmada karar vericilere yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmada, bulanık AHP uygulamalarında sıklıkla kullanılan Chang (1996)'in Genişletilmiş Analiz Yöntemi kullanılmıştır. Genişletilmiş Analiz Yönteminin adımları ise aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Chang, 1996: 650–651):

Adım 1: n sayıda kriter (K) ve karar vericiler (kv) belirlenir.

Adım 2: Kriterler için sözel değişkenler ve bulanık karşılıklar tanımlanır. Tüm karar vericilerin sözel değişkenleri kullanarak, kriterleri ikili karşılaştırma yöntemi ile değerlendirme yapması sağlanır. Daha sonra bu sözel değişkenler her bir karar verici için ayrı ayrı bulanık üçgensel ya da yamuk sayılara dönüştürülerek matrislere ulaşılır. \tilde{a}_{ij}^s , s . karar vericinin i kriteri ile j . kriterinin ikili karşılaştırma değerini göstermek üzere;

$$\tilde{A}^s = \begin{matrix} & K_1 & K_2 & \dots & K_n \\ \begin{matrix} K_1 \\ K_2 \\ \vdots \\ K_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11}^s & \tilde{a}_{12}^s & \dots & \tilde{a}_{1n}^s \\ \tilde{a}_{21}^s & \tilde{a}_{22}^s & \dots & \tilde{a}_{2n}^s \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1}^s & \tilde{a}_{n2}^s & \dots & \tilde{a}_{nn}^s \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Adım 3: Karar vericilerin önem düzeyleri eşit tutulursa karar vericilerin ikili karşılaştırma matrisleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla birleştirilir. $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$, birleştirilmiş üyelik fonksiyonu ve $\tilde{a}_{ij}^s = (l_{ij}^s, m_{ij}^s, u_{ij}^s)$, s . karar vericinin ikili karşılaştırma sonucu elde edilen bulanık üçgensel sayılar olmak üzere;

$$\tilde{a}_{ij} = \frac{1}{s} [\tilde{a}_{ij}^1 + \tilde{a}_{ij}^2 + \dots + \tilde{a}_{ij}^s] = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) \quad (2)$$

Her bir karar vericinin (kv) bulunduğu pozisyon gereği kararlarda farklı etkide olması istenebilir. Farklı önem düzeyindeki karar vericilerin ikili karşılaştırma matrislerinin birleştirilmesi için öncelikle her bir karar vericinin ağırlığının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için karar vericileri değerlendiren bir komisyon (C) oluşturulur. Komisyondan her bir karar verici için bulanık mantık çerçevesinde değerlendirme yapması istenir. Elde edilen sözel değişkenlere karşılık, bulanık değerlere ulaşılır.

$$\tilde{W} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_r \\ \begin{matrix} kv_1 \\ kv_2 \\ \vdots \\ kv_p \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{w}_{11} & \tilde{w}_{12} & \dots & \tilde{w}_{1r} \\ \tilde{w}_{21} & \tilde{w}_{22} & \dots & \tilde{w}_{2r} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{w}_{p1} & \tilde{w}_{p2} & \dots & \tilde{w}_{pr} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

Matriste yer alan $\tilde{w}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$, j . komite üyesinin i . karar verici için belirlediği sözel değişkenin bulanık karşılığı; p , karar verici sayısını; r , komitede yer alan üye sayısını; \tilde{W} , bulanık karar matrisini göstermektedir. Bu aşamadan sonra yapılacak işlem, satırlarda yer alan karar verici vektörlerinin her bir karar verici için ayrı ayrı birleştirilmesidir. Örneğin ilk karar verici için bulanık vektör, $\tilde{w}_1 = \tilde{w}_{11} + \tilde{w}_{12} + \dots + \tilde{w}_{1r}$ şeklindedir. Üçgensel bulanık üyelik fonksiyonuna göre (Guiping, Lizhi, Bidanda & Fetch, 2007: 238);

$$\tilde{w}_s = (l_s, m_s, u_s) \quad (4)$$

$$l_s = \min\{l_{sj}\}, \quad m_s = \frac{1}{r} \sum_{c=1}^r m_{sj}, \quad u_s = \max\{u_{sj}\}$$

eşitliği yardımıyla birleştirme işlemi yapılır. Eşitlikte yer alan \tilde{w}_s , s. karar vericinin bulanık ağırlığını göstermektedir. Elde edilen birleştirilmiş üyelik fonksiyonlarının anlamlı sonuçlar verebilmesi için durulaştırılma işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Bunun için de Hsieh ve diğerleri (2004) tarafından önerilen En İyi Gerçek Sayı Değeri (Best Nonfuzzy Performance Value - BNP) durulaştırma yöntemi uygulanabilmektedir.

$$d'(BNP_s) = \frac{(u_s - l_s) + (m_s - l_s)}{3} + l_s \quad (5)$$

eşitliği ile her bir karar verici için gerçek sayı değerlerine ulaşılmaktadır. Elde edilen gerçek sayı değerlerinin normalizasyona tabi tutulması sonucunda ise, karar vericilerin kararlardaki etkileri ortaya konulmaktadır. Normalizasyon,

$$w_s = d(BNP_s) = \frac{d'(BNP_s)}{\sum_{j=1}^m d'(BNP_s)} \quad (6)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanır. Böylece karar vericilerin kararlardaki önem ağırlıkları ortaya konulmaktadır. Önem ağırlıkları farklı olan karar vericilerin oluşturduğu grupta, ikili karşılaştırma matrisleri ise,

$$\tilde{a}_{ij} = [w_1 \otimes \tilde{a}_{ij}^1 + w_2 \otimes \tilde{a}_{ij}^2 + \dots + w_p \otimes \tilde{a}_{ij}^p] \quad (7)$$

eşitliği ile birleştirilir. Adım 3 kullanılarak, tüm karar vericilerin kararlarının birleştirildiği bulanık karar matrisi,

$$\tilde{A} = \begin{matrix} & \begin{matrix} K_1 & K_2 & \dots & K_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} K_1 \\ K_2 \\ \vdots \\ K_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & \tilde{a}_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (8)$$

şeklinde olmaktadır. $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ birleştirilmiş bulanık üçgensel sayıyı göstermek üzere hesaplama işlemi şu şekildedir,

$$\left(l_{ij} = \sum_{i=1}^s \{w_s \otimes l_{ijs}\} \right), \left(m_{ij} = \sum_{i=1}^s \{w_s \otimes m_{ijs}\} \right), \left(u_{ij} = \sum_{i=1}^s \{w_s \otimes u_{ijs}\} \right) \quad (9)$$

Adım 4: Sentetik analiz yöntemine göre her bir nesne $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ alınarak, her bir hedef $G = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$ için genişletme analizi yapılır. Böylece, her bir nesne için m sayısı kadar genişletilmiş analiz değeri $M_{gi}^1, M_{gi}^2, \dots, M_{gi}^m$ ($i=1, 2, \dots, n$) elde edilir. Tüm M_{gi}^j ($j=1, 2, \dots, m$) değerleri üçgensel bulanık sayılardır ve $M_{gi} = (l_i, m_i, u_i)$ şeklinde gösterilir. Genişletilmiş sentetik analiz yöntemine aşağıdaki adımlar ile devam edilir.

Adım 5: i . hedefe göre bulanık sentetik genişletme değeri Eşitlik 10 ile bulunur.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (10)$$

Bu aşamadan itibaren bulanık sayıların karşılaştırılması için, bulanık sentetik değerleri yardımıyla hiyerarşinin her bir seviyesi için tüm elemanlarının ağırlık vektörlerine ulaşılmaktadır (Paksoy, Pehlivan & Özceylan, 2013: 124).

Adım 6: $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ iki üçgensel bulanık sayı ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ olasılık değeri şu şekilde bulunmaktadır:

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(x))] \quad (11)$$

Adım 7: Konveks bir bulanık sayının, k tane konveks bulanık sayıdan M_i ($i=1, 2, \dots, k$) büyük olma olasılığı;

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = \min V[(M \geq M_i)] \quad (12)$$

eşitlikleri yardımıyla bulunur. Bu durumda, $i = 1, 2, \dots, n$; $k \neq i$ olmak üzere;

$$d'(S_i) = \min V[(S_i \geq S_k)] \quad (13)$$

varsayımı yapılır.

Ağırlık vektörü \tilde{W} ise aşağıdaki şekilde gösterilir. Burada S_i , ($i=1, 2, \dots, n$) n sayıda elemandır.

$$W' = (d'(S_1), d'(S_2), \dots, d'(S_n))^T \quad (14)$$

Adım 8: W değerinin normalizasyonu ile normalize edilmiş ağırlık vektörleri,

$$W = (d(S_1), d(S_2), \dots, d(S_n))^T \quad (15)$$

eşitliği ile bulunur. Burada W değeri bulanık sayı değildir ve ağırlık vektörleri de aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur:

$$d(S_i) = \frac{d'(S_i)}{\sum_{i=1}^n d'(S_i)} \quad (16)$$

5.2. Bulanık VIKOR Yöntemi

Opricovic tarafından önerilen yöntem, birbiri ile çelişen kriterler altında alternatifleri sıralayarak en uygun alternatifin seçimine odaklanmaktadır (Akyüz, 2012: 202). Opricovic & Tzeng (2004: 447) eserlerinde, VIKOR yöntemini ideal çözüme yakınlık ölçümü temeline dayanan çok kriterli karar sıralama indeksi olarak tanıtmışlardır.

Diğer ÇKKV tekniklerinde olduğu gibi VIKOR yönteminde de alternatif ve kriter ağırlıklarının kesin olarak bilindiği varsayılmaktadır. Gerçek hayata bakıldığında kesin olmayan, belirsiz bilgilerin de var olduğunu görmek mümkündür. Bu şekildeki belirsizlik durumlarına çözümler sunan bulanık mantık, klasik VIKOR yöntemi ile harmanlanarak, bulanık VIKOR yöntemi elde edilmiştir (Paksoy ve diğerleri, 2013: 169). Bulanık VIKOR yönteminde alternatiflerin değerlendirilmesi sürecine ait adımlar ise aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Alternatiflerin (i) üretilerek değerlendirme kriterlerinin (j) ve s sayıda karar vericinin (kv) belirlenmesi.

Adım 2: Bulanık VIKOR yönteminde kullanılacak olan sözel ifadelerin ve onlara karşılık gelen bulanık üçgen ya da yamuk sayıların belirlenmesi.

Adım 3: Eşit önem düzeyindeki karar vericilerin tercihleri aşağıdaki eşitlik ile birleştirilir.

\tilde{x}_{ij}^s , s. karar vericinin j. kritere göre i. alternatifi değerlendirdiği sözel ifadenin bulanık karşılık değerini göstermek üzere;

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{s} [\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^2 + \dots + \tilde{x}_{ij}^s] \quad (17)$$

Önem ağırlıkları farklı olan s tane karar vericinin oluşturduğu grupta, alternatiflerin kriter değeri ise, \tilde{x}_{ij}^s , s. karar verici için i. alternatifi j. kriter değerini; w_{kv}^s , s. karar vericinin karardaki ağırlığını göstermek üzere aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$\tilde{x}_{ij} = [w_{kv}^1 \otimes \tilde{x}_{ij}^1 + w_{kv}^2 \otimes \tilde{x}_{ij}^2 + \dots + w_{kv}^s \otimes \tilde{x}_{ij}^s] \quad (18)$$

Adım 4: Böylece bulanık çok amaçlı karar verme probleminin matris olarak gösterimi her bir karar verici için aşağıdaki gibidir;

\tilde{x}_{ij} bulanık sözel değişkenler, n kriter sayısı ve m alternatif sayısı olmak üzere; bulanık karar matrisi,

$$\tilde{D} = \begin{matrix} & K_1 & K_2 & \dots & K_n \\ A_1 & \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ A_2 & \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m & \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{matrix} \quad (19)$$

şeklinde oluşturulacaktır. Kriter ağırlıklarının bulanık (\tilde{w}_j) ve bulanık olmadığı (w_j) durumlarda ağırlık matrisleri sırasıyla şu şekildedir:

$$(\tilde{W}_j) = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n]; \quad (W_j) = [w_1, w_2, \dots, w_n] \quad (20)$$

Adım 5: Her bir kriter için en iyi bulanık ($\tilde{f}_j^* = l_j^*, m_j^*, u_j^*$) ve en kötü bulanık ($\tilde{f}_j^- = l_j^-, m_j^-, u_j^-$) değerler belirlenir. Kriter j "fayda" anlamında kullanılan bir değerlendirme kriteri ise; $j = 1, 2, \dots, n$ için,

$$\tilde{f}_j^* = \max_i \{ \tilde{f}_{ij} \}, \tilde{f}_j^- = \min_i \{ \tilde{f}_{ij} \} \quad (21)$$

Eğer j kriteri "maliyet" bazlı bir değerlendirme kriteri ise; $j = 1, 2, \dots, n$ için,

$$\tilde{f}_j^* = \min_i \{ \tilde{f}_{ij} \}, \tilde{f}_j^- = \max_i \{ \tilde{f}_{ij} \} \quad (22)$$

eşitlikleri kullanılmaktadır.

Adım 6: Bulanık farkların hesaplanması ise aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$\tilde{d}_{ij} = (\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij}) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-); j \text{ kriteri fayda kriteri ise,} \quad (23)$$

$$\tilde{d}_{ij} = (\tilde{x}_{ij} - \tilde{f}_j^*) / (\tilde{f}_j^- - \tilde{f}_j^*); j \text{ kriteri maliyet kriteri ise,} \quad (24)$$

Adım 7: Her bir alternatif için kriter değerlerinin bulanık en iyi değere uzaklıklarının toplam değerleri $(\tilde{S}_i = S_i^l, S_i^m, S_i^u)$ ile j . kritere göre her bir alternatifin bulanık en kötü değere olan maksimum uzaklık değerleri $(\tilde{R}_i = R_i^l, R_i^m, R_i^u)$ hesaplanır. \tilde{w}_j kriter ağırlıklarını göstermek üzere \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerleri,

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{w}_j \otimes \tilde{d}_{ij} \quad (25)$$

$$\tilde{R}_i = \max_i [\tilde{w}_j \otimes \tilde{d}_{ij}] \quad (26)$$

eşitlikleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Kriter ağırlıklarının bulanık olmadığı durumlarda, \tilde{w}_j yerine w_j kullanılır ve eşitlikler aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n w_j \otimes \tilde{d}_{ij} \quad (27)$$

$$\tilde{R}_i = \max_i [w_j \otimes \tilde{d}_{ij}] \quad (28)$$

Adım 8: Bu adımda $\tilde{S}^*, \tilde{S}^-, \tilde{R}^*, \tilde{R}^-$ ve $\tilde{Q}_i = (Q_i^l, Q_i^m, Q_i^u)$ değerleri hesaplanır.

$$\tilde{S}^* = \min_i \{\tilde{S}_i\}, \tilde{S}^- = \max_i \{\tilde{S}_i\} \quad (29)$$

$$\tilde{R}^* = \min_i \{\tilde{R}_i\}, \tilde{R}^- = \max_i \{\tilde{R}_i\} \quad (30)$$

\tilde{S}^* , maksimum grup çoğunluk kuralını gösteren \tilde{S}_i değerinin minimum değerini gösterirken; \tilde{R}^* ise karşıt görüştekilerin minimum bireysel pişmanlığını göstermektedir. Grup faydasının ve minimum pişmanlığın birlikte değerlendirilmesiyle \tilde{Q}_i indeksi hesaplanır.

$$\tilde{Q}_i = v \frac{(\tilde{S}_i - \tilde{S}^*)}{(\tilde{S}^- - \tilde{S}^*)} + (1 - v) \frac{(\tilde{R}_i - \tilde{R}^*)}{(\tilde{R}^- - \tilde{R}^*)} \quad (31)$$

v değeri maksimum grup faydasını sağlayan stratejinin ağırlığını ifade ederken; $(1 - v)$ değeri bireysel pişmanlık değerini göstermek için kullanılır. Ulaşmacı çoğunluk için $v \approx 0,5$ alınabilir. Diğer taraftan n kriter sayısını göstermek üzere; v değeri için $v = (n + 1) / 2n$ işlemi ile de ağırlık belirlenebilir (Opricovic, 2011: 12984).

Adım 9: Üçgensel bulanık sayılar $\tilde{S}_i = (S_i^l, S_i^m, S_i^u)$, $\tilde{R}_i = (R_i^l, R_i^m, R_i^u)$ ve $\tilde{Q}_i = (Q_i^l, Q_i^m, Q_i^u)$ durulaştırılarak sırasıyla \tilde{S}_i , \tilde{R}_i ve \tilde{Q}_i indeks değerlerine ulaşılır. Elde edilen indeks değerleri küçükten büyüğe sıralanır. En küçük \tilde{Q}_i indeks değerine sahip olan alternatif ya da değerlendirme birimi, en iyi seçenek olarak kabul edilir.

Adım 10: Aşağıda belirtilen koşulların sağlanması durumunda, en iyi \tilde{Q}_i minimum indeks değerine sahip alternatifin en iyi seçenek olduğuna karar verilir,

Koşul 1 - Kabul edilebilir avantaj: Q sıralamasında en iyi ve en iyi ikinci alternatif arasında belirgin bir fark olduğunun kanıtlanmasını gerektiren koşuldur.

$$Q(a'') - Q(a') \geq D(Q) \quad (32)$$

Eşitlikte yer alan (a^n) değeri Q tarafından sıralanan listede en iyi ikinci alternatif iken, (a') en iyi alternatiftir. i alternatif sayısını göstermek üzere,

$$D(Q) = 1/(j-1) \quad (33)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanır.

Koşul 2 - Kabul edilebilir istikrar: (a') alternatifi S ve R indeks değerlerinden en az bir tanesinde en iyi seçenek olmalıdır. Bu durumun uzlaştırıcı çözümün istikrarlı olduğunu kanıtlar.

Eğer $Q(a^m) - Q(a') < D(Q)$ ise ve *Koşul 1* sağlanmıyorsa, (a^m) ve (a') benzer uzlaştırıcı çözümlerdir. a', a'', \dots, a^m uzlaştırıcı çözümleri benzer olması nedeniyle, (a') karşılaştırmalı bir üstünlüğe sahip değildir. Eğer *Koşul 2* sağlanmıyorsa, (a') karşılaştırmalı bir üstünlüğe sahip olmasına karşın karar vermede istikrar yoktur. Bu sebeple (a') ve (a^m) 'nin uzlaştırıcı çözümü aynı olmaktadır (Akyüz, 2012: 205).

5.3. Bulanık TOPSIS Yöntemi

TOPSIS (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi, Hwang & Yoon (1981) tarafından geliştirilen ÇKKV yöntemlerinden biridir. TOPSIS yöntemi ile pozitif ideal çözüme en yakın uzaklığa ve negatif ideal çözüme en fazla uzaklığa göre alternatiflerin belirli kriterler doğrultusunda sıralaması yapılmaktadır (Chen, 2000: 1; Paksoy ve diğerleri, 2013: 152; Timor, 2011: 20). Yöntemde ideal çözüm için gerekli olan yakınlık bulunurken hem pozitif ideal çözüme uzaklık, hem de negatif ideal çözüme uzaklık birlikte değerlendirilir. Sonuçta yapılacak tercih sıralaması, uzaklıkların karşılaştırılması sonucu elde edilir (Eleren & Ersoy, 2007: 14).

Farklı nicel ve nitel kriterleri birlikte değerlendirebilmek ve bunlara ait ağırlıklar yardımıyla sıralama yapılmak istendiğinde bulanık bir model kurma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır (Chen, 2000: 2000). İnsan yargılarının belirsizliği nedeniyle klasik TOPSIS yerine bulanık TOPSIS yönteminin kullanımı değerlendirmelerde daha iyi sonuçlar alınmasını sağlayabilmektedir. Çok kriterli karar verme yöntemleri içerisinde son yıllarda sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri olan bulanık TOPSIS yöntemi, birden fazla kriter ve karar karar vericiye dayalı değerlendirmelerde başarılı bir yöntemdir. Bunun yanında dilsel değişkenlerin kullanılabilmesi, nitel bir yöntem olmasına imkân vermektedir (Eleren & Ersoy, 2007: 18). Bulanık TOPSIS yöntemi adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Alternatiflerin (i) üretilerek değerlendirme kriterlerinin (j) ve s sayıda karar vericinin (kv) belirlenmesi.

Adım 2: Bulanık TOPSIS yönteminde kullanılacak olan sözel ifadelerin ve onlara karşılık gelen bulanık üçgen ya da yamuk sayıların belirlenmesi.

Adım 3: Eşit önemdeki s tane karar vericinin oluşturduğu grupta, alternatiflerin kriter değeri,

\tilde{x}_{ij}^s , s . karar vericinin j . kritere göre i . alternatifi değerlendirdiği sözel ifadenin bulanık karşılık değerini göstermek üzere;

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{s} [\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^2 + \dots + \tilde{x}_{ij}^s] \quad (34)$$

eşitliği; önem ağırlıkları farklı olan s tane karar vericinin oluşturduğu grupta, alternatiflerin kriter değeri ise,

w_{kv}^s , s . karar vericinin karardaki ağırlığını göstermek üzere;

$$\tilde{x}_{ij} = [w_{kv}^1 \otimes \tilde{x}_{ij}^1 + w_{kv}^2 \otimes \tilde{x}_{ij}^2 + \dots + w_{kv}^s \otimes \tilde{x}_{ij}^s] \quad (35)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanır.

Adım 4: Böylece bulanık çok amaçlı karar verme probleminin matris olarak gösterimi her bir karar verici için aşağıdaki gibi olmaktadır. \tilde{x}_{ij} bulanık sözel değişkenler olmak üzere; bulanık karar matrisi,

$$\tilde{D} = \begin{matrix} & K_1 & K_2 & \dots & K_n \\ A_1 & \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ A_2 & \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m & \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{matrix} \quad (36)$$

şeklinde oluşturulacaktır. Kriter ağırlıklarının bulanık (\tilde{w}_j) ve bulanık olmadığı (w_j) durumlarda ağırlık matrisleri sırasıyla ise şu şekildedir:

$$(\tilde{W}_j) = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n]; \quad (W_j) = [w_1, w_2, \dots, w_n] \quad (37)$$

A_1, A_2, \dots, A_m ; alternatifleri; K_1, K_2, \dots, K_n , karar kriterlerini, \tilde{x}_{ij} , K_j kriterlerine göre A_i alternatifinin bulanık kriter değerini ve \tilde{w}_j , K_j kriterinin bulanık önem ağırlığını göstermektedir. Bu sözel değişkenler $\tilde{x}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ ve $\tilde{w}_j = (l_{j1}, m_{j1}, u_{j1})$ şeklinde üçgensel bulanık sayılar ile ifade edilebilir. \tilde{D} matrisi bulanık karar matrisi, \tilde{W} matrisi ise bulanık ağırlıklar matrisi olarak adlandırılabilir (Paksoy ve diğerleri, 2013: 158).

Adım 5: Bu adımda amaç, bulanık karar matrisinin normalize edilmesidir. Normalize edilmiş bulanık karar matrisi ise,

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \otimes n} \quad (38)$$

olarak ifade edilir ve elemanları B (fayda) ve C (maliyet) kriterleri olmak üzere,

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j^*}, \frac{m_{ij}}{u_j^*}, \frac{u_{ij}}{u_j^*} \right), \quad j \in B, \quad u_j^* = \max_i \{u_{ij}\} \text{ ya da} \quad (39)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{l_{ij}} \right), \quad j \in C, \quad l_j^- = \min_i \{l_{ij}\} \quad (40)$$

eşitliklerinden hesaplanmaktadır. Elde edilen her bir \tilde{r}_{ij} değeri normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılardır.

Adım 6: Her bir kriter için farklı ağırlıklar göz önünde bulundurularak, ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi aşağıdaki eşitlik ile oluşturulur:

$$\tilde{V} = [\tilde{V}_{ij}]_{m \otimes n} \quad (41)$$

$$\tilde{V}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes \tilde{w}_j \quad (42)$$

Eşitlik 42 ile normalize edilmiş bulanık karar matrisi (\tilde{r}_{ij}) ile bulanık ağırlıklar matrisinin (\tilde{w}_j) çarpımı olan ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi (\tilde{V}_{ij}) bulunur.

Ağırlık matrisinin bulanık olmadığı durumda ise; normalize edilmiş bulanık karar matrisi (\tilde{r}_{ij}) ile ağırlık matrisinin (w_j) çarpımı yardımıyla ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisine (\tilde{V}_{ij}) ulaşılmaktadır.

$$\tilde{V}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes w_j \quad (43)$$

Her bir \tilde{V}_{ij} değeri, normalize edilmiş üçgen bulanık sayılardır ve $[0, 1]$ aralığında yer almaktadır.

Adım 7: Normalize edilmiş bulanık karar matrisi elde edilmesinin ardından bulanık pozitif ideal çözüm ($BPIÇ, A^*$) ve bulanık negatif ideal çözüm ($BNIÇ, A^-$) şu şekilde bulunmaktadır:

$$A^* = \tilde{V}_1^*, \tilde{V}_2^*, \dots, \tilde{V}_n^* \quad (44)$$

$$A^- = \tilde{V}_1^-, \tilde{V}_2^-, \dots, \tilde{V}_n^- \quad (45)$$

Burada verilen $\tilde{V}_j^* = \max_i \{V_{ij3}\}$ ve $\tilde{V}_j^- = \min_i \{V_{ij1}\}$ 'dir.

Her bir alternatifin $BPIÇ$ ve $BNIÇ$ 'ten uzaklıkları sırasıyla,

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{V}_{ij}, \tilde{V}_{ij}^*) \quad i=1, 2, \dots, m \quad (46)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{V}_{ij}, \tilde{V}_{ij}^-) \quad i=1, 2, \dots, m \quad (47)$$

eşitliklerinden hesaplanır. Burada $d_v(.,.)$, $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3)$ iki üçgensel bulanık sayı arasındaki uzaklığı göstermektedir ve şu şekilde hesaplanır:

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3} \left[(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2 \right]} \quad (48)$$

Adım 8: Alternatiflerin sıralamasını belirlemek adına yakınlık katsayısı,

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-} \quad i=1, 2, \dots, m \quad (49)$$

eşitliği ile bulunur ve alternatifler yakınlık katsayılarına göre en yüksek puandan en düşük puana doğru sıralanır. Yakınlık katsayıları 0 ile 1 arasında değerler alır.

5.4. Bulanık COPRAS Yöntemi

Bir projenin genel verimliliğini değerlendirmek amacıyla, öncelikle seçim kriterlerini belirlemek, bu kriterlere ilişkin bilgiye ulaşmak ve son olarak bunları değerlendirmek için yöntem geliştirmek gerekmektedir. Karar analizleri, karar vericilerin bir kısım kriterleri dikkate alarak çeşitli alternatifler arasından seçim yapma durumları ile ilişkilidir. Bu sebeple COPRAS yöntemi, alternatiflerin seçiminde etkili bir yöntem olarak literatüre kazandırılmıştır. Literatür incelendiğinde çeşitli problemlerin çözümünde COPRAS yönteminin kullanıldığını görebiliriz (Özdağoğlu, 2013a, 2013b).

İyileştirme odaklı alternatiflerin birçoğu gelecek ile ilgilenir ve kriterlerin değerleri tam olarak belirlenmemektedir. Bu sebeple belirsizlik durumlarına çözümler sunan bulanık mantık, klasik COPRAS yöntemi ile birleştirilerek bulanık COPRAS yöntemi elde edilmiştir (Antucheviciene, Zavadskas & Zakarevicius, 2012; Yazdani, Alidoosti & Zavadskas, 2011; Zavadskas, Kaklauskas, Turskis & Tamosaitiene, 2009).

Literatürde yer alan çeşitli kaynaklardan yararlanarak bu çalışma için yeniden tasarlanan bulanık COPRAS yönteminin adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Alternatifler (i) üretilerek değerlendirme kriterleri (j) ve s sayıda karar verici (kv) belirlenir.

Adım 2: Bulanık COPRAS yönteminde kullanılacak olan sözel ifadeler ve onlara karşılık gelen bulanık üçgen ya da yamuk sayılar belirlenir.

Adım 3: Eşit önem düzeyindeki karar vericilerin tercihleri Eşitlik 50 ile birleştirilir.

\tilde{x}_{ij}^s , s . karar vericinin j . kritere göre i . alternatifi değerlendirdiği sözel ifadenin bulanık karşılık değerini göstermek üzere;

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{s} [\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^2 + \dots + \tilde{x}_{ij}^s] \quad (50)$$

Önem ağırlıkları farklı olan s tane karar vericinin oluşturduğu grupta, alternatiflerin kriter değeri ise, w_{kv}^s , s . karar vericinin karardaki ağırlığını göstermek üzere;

$$\tilde{x}_{ij} = [w_{kv}^1 \otimes \tilde{x}_{ij}^1 + w_{kv}^2 \otimes \tilde{x}_{ij}^2 + \dots + w_{kv}^s \otimes \tilde{x}_{ij}^s] \quad (51)$$

eşitliği ile bulunmaktadır.

Adım 4: Bulanık karar matrisi oluşturulur,

\tilde{x}_{ij} bulanık sözel değişkenler olmak üzere; bulanık karar matrisi,

$$\tilde{D} = \begin{matrix} & K_1 & K_2 & \dots & K_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (52)$$

şeklinde oluşturulacaktır.

Adım 5: Bu adımda her bir kriter için farklı ağırlıklar göz önünde bulundurularak, ağırlıklı bulanık karar matrisi oluşturulur. Kriter ağırlıklarının bulanık (\tilde{w}_j) ve bulanık olmadığı (w_j) durumlarda matrisler sırasıyla,

$$\begin{aligned} \tilde{W} &= [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n] \\ W &= [w_1, w_2, \dots, w_n] \end{aligned} \quad (53)$$

şeklinindedir. Ağırlıklandırılmış bulanık karar matrisi \tilde{aD} olarak gösterilecek olursa,

$$\tilde{aD} = [\tilde{a}x_{ij}]_{m \times n} \quad (54)$$

şeklinde oluşturulur. Burada her bir $\tilde{a}x_{ij}$ değeri,

$$\tilde{a}x_{ij} = \tilde{x}_{ij} \times \tilde{w}_j \quad (55)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Burada bulanık karar matrisi (\tilde{x}_{ij}) ile bulanık ağırlıklar matrisinin (\tilde{w}_j) çarpımı, ağırlıklı bulanık karar matrisini (\tilde{aD}) vermektedir.

Ağırlık matrisinin bulanık olmadığı durumda ise; bulanık karar matrisi (\tilde{x}_{ij}) ile ağırlık matrisinin (w_j) çarpımı yardımıyla ağırlıklı bulanık karar matrisine (\widetilde{aD}) ulaşılmaktadır. Her bir $\widetilde{a\tilde{x}}_{ij}$ değeri, ağırlıklandırılmış bulanık üçgen sayılardır.

$$\widetilde{a\tilde{x}}_{ij} = \tilde{x}_{ij} \times w_j \quad (56)$$

$$\widetilde{aD} = \begin{matrix} & K_1 & K_2 & \dots & K_n \\ A_1 & \left[\begin{matrix} \widetilde{a\tilde{x}}_{11} & \widetilde{a\tilde{x}}_{12} & \dots & \widetilde{a\tilde{x}}_{1n} \end{matrix} \right] \\ A_2 & \left[\begin{matrix} \widetilde{a\tilde{x}}_{21} & \widetilde{a\tilde{x}}_{22} & \dots & \widetilde{a\tilde{x}}_{2n} \end{matrix} \right] \\ \vdots & \left[\begin{matrix} \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \end{matrix} \right] \\ A_m & \left[\begin{matrix} \widetilde{a\tilde{x}}_{m1} & \widetilde{a\tilde{x}}_{m2} & \dots & \widetilde{a\tilde{x}}_{mn} \end{matrix} \right] \end{matrix} \quad (57)$$

Adım 6: Bu adımda ağırlıklandırılmış bulanık karar matrisinin durulaştırma işlemi gerçekleştirilir. Durulaştırma sonrasında elde edilen ağırlıklandırılmış karar matrisi D ise şu şekilde gösterilmektedir,

$$D = \begin{matrix} & K_1 & K_2 & \dots & K_n \\ A_1 & \left[\begin{matrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \end{matrix} \right] \\ A_2 & \left[\begin{matrix} x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \end{matrix} \right] \\ \vdots & \left[\begin{matrix} \vdots & \vdots & \dots & \vdots \end{matrix} \right] \\ A_m & \left[\begin{matrix} x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{matrix} \right] \end{matrix} \quad (58)$$

Adım 7: Ağırlıklandırılmış karar matrisi D 'nin normalizasyon işlemi,

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad i=1,2,\dots,m \text{ ve } j=1,2,\dots,n \quad (59)$$

eşitliği yardımıyla yapılmaktadır. Böylece ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi \bar{D} 'ye ulaşılır.

$$\bar{D} = \begin{matrix} & K_1 & K_2 & \dots & K_n \\ A_1 & \left[\begin{matrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \end{matrix} \right] \\ A_2 & \left[\begin{matrix} \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \end{matrix} \right] \\ \vdots & \left[\begin{matrix} \vdots & \vdots & \dots & \vdots \end{matrix} \right] \\ A_m & \left[\begin{matrix} \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{matrix} \right] \end{matrix} \quad i=1,2,\dots,m \text{ ve } j=1,2,\dots,n \quad (60)$$

Adım 8: Bu adımda kriterlerin faydalı ve faydasız olarak nitelendirilmesi yapılır. Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisindeki faydalı kriterler, sütunlarda öne çekilir. k . kriter kadar faydalı kriterler sütunlara yerleştirilir. $(k+1)$. kriter ilk faydasız kriter olmak üzere; n . kriter kadar tüm faydasız kriterler de sütunlarda gösterilir. $(n - k)$ minimize etmeyi arzuladığımız faydasız kriter sayısını verecektir (Das, Sarkar & Ray, 2012: 237).

$$\bar{D} = \begin{matrix} & K_1 & K_2 & \dots & K_k & K_{k+1} & \dots & K_n \\ A_1 & \left[\begin{matrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1k} & \bar{x}_{1(k+1)} & \dots & \bar{x}_{1n} \end{matrix} \right] \\ A_2 & \left[\begin{matrix} \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2k} & \bar{x}_{2(k+1)} & \dots & \bar{x}_{2n} \end{matrix} \right] \\ \vdots & \left[\begin{matrix} \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \end{matrix} \right] \\ A_m & \left[\begin{matrix} \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mk} & \bar{x}_{m(k+1)} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{matrix} \right] \end{matrix} \quad (61)$$

Adım 9: Faydalı kriterler için ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisindeki değerlerin toplamı (S_{i+}) ile faydasız kriterler için ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisindeki değerlerin toplamı (S_{i-}) bulunur. S_{i+} ve S_{i-} değerlerinin hesaplama adımları,

$$S_{i+} = \sum_{j=1}^k \bar{x}_{ij}, \quad j=1,2,\dots,k \quad (\text{faydalı kriterler}) \quad (62)$$

$$S_{i-} = \sum_{j=(k+1)}^n \bar{x}_{ij}, \quad j = k+1, k+2, \dots, n \quad (\text{faydasız kriterler}) \quad (63)$$

şeklindedir.

Adım 10: Her bir alternatife ait görelî önem ağırlığı (Q_i) aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$Q_i = S_{i+} \oplus \frac{\sum_{i=1}^m S_{i-}}{S_{i-} \otimes \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_{i-}}} \quad (64)$$

Adım 11: Alternatifler arasında en yüksek görelî öneme sahip olan alternatif, en iyisi olarak seçilecektir.

$$Q_{maks} = \max_i \{Q_i\}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (65)$$

Adım 12: Her bir alternatifin P_i olarak simgelenen performans indeksi hesaplanır. Performans indeksi değeri 100 olan alternatif en iyi alternatiftir (Özdağoğlu, 2013a: 7). Tüm alternatifler performans indeksi değerlerine göre sıralanarak, tercih sıralamasına ulaşılır.

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{maks}} \otimes \%100 \quad (66)$$

5.5. Copeland Yöntemi ile Bulanık ÇKKV Yöntemlerinin Bütünleştirilmesi

Bulanık çok kriterli karar verme tekniklerinin değerlendirme şekli ve elde ettiği sonuçlar farklılık gösterebilmektedir. Bu farklılık karar vericileri çıkmaza sürüklemekte; yöntem tercihi konusunda kararsız bırakabilmektedir. Bu olumsuz durumu giderebilmek adına, bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ile elde edilen alternatif sıralamalarını bütünleştirici bir yöntemin olması karar vericilerin daha rahat karar verebilmelerini sağlayabilecektir. Bunun için Copeland yöntemi tercih edilmiştir.

Alternatifler arasından seçim yapmada Condorcet ilkelerini (Sanver, 2000: 133–144) kullanan Copeland yönteminde bir alternatifin diğer alternatiflere galip gelme ve mağlup olma sayılarının farkı alınır ve elde edilen skorlar ile alternatifler en iyiden başlamak üzere sıralanır. Bu çalışmada ele alınan Copeland yöntemi için kullanılacak notasyon ve adımlar şu şekildedir (Browne, 2013; Fishburn, 1977; Klamler, 2003):

- m : Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin toplam sayısı
- k : ÇKKV Yönteminin sıra değeri
- n : Alternatiflerin toplam sayısı
- i : Satırda yer alan alternatifin sıra değeri
- j : Sütunda yer alan alternatifin sıra değeri
- $r_k(A_i)$: A_i alternatifinin k . yönteme göre sıralamadaki yeri
- $f_k(i, j)$: Alternatifler arasındaki karşılaştırmada sıralamadaki üstünlüğü
- $S(i, j)$: A_i alternatifinin A_j alternatifine göre elde ettiği toplam oy sayısı
- $G(i, j)$: A_i alternatifinin A_j alternatifine göre galip, berabere ya da yenik olma durumu
- GP_i : A_i alternatifinin galibiyet puanı
- YP_i : A_i alternatifinin yenilgi puanı

CP_i : A_i alternatifinin Copeland Puanı

Adım 1: Copeland yönteminde ilk adım alternatifler arasında ikili karşılaştırmalar yapmaktır. Tablo 1'deki her bir $f_k(i, j)$ değerine, A_i ve A_j alternatifleri karşılaştırmasında A_i alternatifi galip gelmiş ise (diğer ifadeyle sıralamada üstte ise) '1'; A_j alternatifi galip gelmiş ise '0' vermektir. Bu ifadeler,

$f_k(i, j) = \{0, 1\}$ olmak üzere;

$$f_k(i, j) = \begin{cases} 1 & r_k(A_i) < r_k(A_j) \quad i \neq j \\ 0 & r_k(A_i) > r_k(A_j) \quad i \neq j \\ boş(-) & r_k(A_i) = r_k(A_j) \quad i = j \end{cases} \quad (67)$$

eşitliği ile de gösterilebilir.

Tablo 2. Copeland İkili Karşılaştırma Matrisi

Alternatif	A_1			A_2			...	A_j			...	A_n				
Yöntem	MCDM 1	MCDM 2	...	MCDM m	MCDM 1	MCDM 2	...	MCDM m	MCDM 1	MCDM 2	...	MCDM m	MCDM 1	MCDM 2	...	MCDM m
Alternatif																
A_1	-			$f_1(1,2)$	$f_2(1,2)$	...	$f_m(1,2)$	$f_1(1,j)$	$f_2(1,j)$	...	$f_m(1,j)$	$f_1(1,n)$	$f_2(1,n)$	...	$f_m(1,n)$
A_2	$f_1(2,1)$	$f_2(2,1)$	...	$f_m(2,1)$	-			$f_1(2,j)$	$f_2(2,j)$	...	$f_m(2,j)$	$f_1(2,n)$	$f_2(2,n)$	...	$f_m(2,n)$
⋮	⋮	⋮	...	⋮	⋮	...	⋮	⋮	⋮	...	⋮	⋮	...	⋮		
A_j	$f_1(i,1)$	$f_2(i,1)$	...	$f_m(i,1)$	$f_1(i,2)$	$f_2(i,2)$	...	$f_m(i,2)$	-			$f_1(i,n)$	$f_2(i,n)$	...	$f_m(i,n)$
⋮	⋮	⋮	...	⋮	⋮	...	⋮	⋮	⋮	...	⋮	⋮	...	⋮		
A_n	$f_1(n,1)$	$f_2(n,1)$	...	$f_m(n,1)$	$f_1(n,2)$	$f_2(n,2)$	...	$f_m(n,2)$	$f_1(n,j)$	$f_2(n,j)$	...	$f_m(n,j)$	-		

Adım 2: Bu adımda yöntem bazında skorlar hesaplanmaktadır. $S(i, j)$, A_i alternatifinin A_j alternatifine göre her bir ÇKKV yönteminden elde ettiği toplam oy sayısını göstermektedir (Tablo 2). Eşitlik 68 ile i . alternatifi j . alternatife göre aldığı oy sayısı bulunur.

$$S(i, j) = \sum_{k=1}^m f_k(i, j) \quad \text{ve } i \neq j \quad (1)$$

Tablo 3. Alternatifler Arası Oy Sayım Sonuçları

Alternatif	A_1	A_2	...	A_j	...	A_n
A_1	-	$S(1, 2)$	...	$S(1, j)$	...	$S(1, n)$
A_2	$S(2, 1)$	-	...	$S(2, j)$	...	$S(2, n)$
⋮	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮
A_j	$S(j, 1)$	$S(j, 2)$	...	-	...	$S(j, n)$
⋮	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮
A_n	$S(n, 1)$	$S(n, 2)$	...	$S(n, j)$	...	-

Adım 3: Elde edilen $S(i, j)$ yardımıyla alternatifler arasındaki karşılaştırmada galipler bulunacaktır. Bunun için;

$$G(i, j) = \begin{cases} 1 & S(i, j) > (m - S(i, j)) \quad i \neq j \\ 1/2 & S(i, j) = (m - S(i, j)) \quad i \neq j \\ -1 & S(i, j) < (m - S(i, j)) \quad i \neq j \end{cases} \quad (2)$$

eşitliğinden yararlanılacaktır. Eşitliğe bakıldığında galip gelen taraf “1” puan, yenilen taraf “-1” puan almaktadır. Eşitlik durumunda ise “1/2” puan verilmektedir.

Tablo 4. Galibiyet – Yenilgi ve Beraberlik Matrisi

Alternatif	A_1	A_2	...	A_j	...	A_n
A_1	-	$G(1, 2)$	...	$G(1, j)$	...	$G(1, n)$
A_2	$G(2, 1)$	-	...	$G(2, j)$	...	$G(2, n)$
....	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮
A_i	$G(i, 1)$	$G(i, 2)$	...	-	...	$G(i, n)$
....	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮
A_n	$G(n, 1)$	$G(n, 2)$	...	$G(n, j)$	...	-

Tablo 4, alternatifler arasındaki galibiyet, yenilgi ve beraberlik durumunu gösteren matrisi vermektedir.

Adım 4: Elde edilen 1 ve 1/2 puanlarına sahip $G(i, j)$ değerleri alternatifler bazında toplanarak galibiyet puanına (GP_i); -1 puana sahip $G(i, j)$ değerlerinin de toplanması ile alternatifin yenilgi puanına (YP_i) ulaşılır. Bunun için,

$$GP_i = \sum_{i=1}^n G(i, j) \quad G(i, j) > 0 \text{ olması durumunda}; \quad (70)$$

$$YP_i = \sum_{i=1}^n G(i, j) \quad G_i(i, j) < 0 \text{ olması durumunda} \quad (713)$$

eşitliklerinden yararlanılır.

Elde edilen GP_i ve YP_i değerlerinin toplanması sonucu Copeland Puanına (CP_i) ulaşılır. Tablo 4, alternatiflerin GP_i , YP_i ve CP_i değerlerini göstermektedir.

$$CP_i = GP_i + YP_i \quad (4)$$

Tablo 5. Galibiyet, Yenilgi ve Copeland Puanları

	Galibiyet Puanı	Yenilgi Puanı	Copeland Puanı
A_1	GP_1	YP_1	CP_1
A_2	GP_2	YP_2	CP_2
....
A_i	GP_i	YP_i	CP_i
....
A_n	GP_n	YP_n	CP_n

Adım 5: Copeland puanı yüksek olanın en iyi olduğu sonucundan hareketle; alternatifler, elde edilen Copeland puanlarına göre sıralanır. Copeland puanları arasında eşitlik söz konusu olursa, i değeri küçük olan sıralamada üstte yer alacaktır.

Tablo 6. Alternatiflerin Copeland Puanlarına Göre Sıralanması

	<i>Copeland Puanı</i>	<i>Sıralama</i>
A_1	CP_1	r_1
A_2	CP_2	r_2
....	
A_i	CP_i	r_i
....	
A_n	CP_n	r_n

6. Bir Üretim İşletmesinde Proje Seçim Uygulaması

Uygulama çalışması dört aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; karar vericilerin ve karar verici ağırlıklarının belirlenmesi aşaması, kriter ağırlıklarının belirlenmesi aşaması, projelerin bulanık ÇKKV yöntemleri ile değerlendirilmesi aşaması ve bulanık ÇKKV yöntemlerinden elde edilen skorların Copeland sıralama yöntemiyle bütünleştirilmesi aşaması şeklindedir.

6.1. Karar Vericilerin ve Karar Verici Ağırlıklarının Belirlenmesi Aşaması

En uygun projenin seçilebilmesi için öncelikle karar vericilerin belirlenmesi ve her bir karar vericinin kararlardaki ağırlıklarının ortaya konulması gerekmektedir. Karar vericilerin belirlenmesi ve ağırlıklandırılması için Karar Verici Değerlendirme Komitesi (KVDK) oluşturulmuştur. Fabrika müdürü tarafından belirlenen komite üyeleri “Fabrika Müdürü”, “Üretim Planlama Müdürü” ve “İnsan Kaynakları Müdürü” şeklindedir. KVDK üyeleri ile yapılan görüşmeler sonrasında, kararlara katkı sağlayacak 13 karar verici (Tablo 7) belirlenmiştir.

Tablo 7. HAUS Yetkili Personel Listesi

Karar Verici	Unvanı	Karar Verici	Unvanı
kv ¹	Fabrika Müdürü	kv ⁸	Kalite Kontrol Mühendisi
kv ²	Üretim Planlama Müdürü	kv ⁹	Dekantör Üret. Sahası Sorumlusu
kv ³	Satın Alma Müdürü	kv ¹⁰	Helezon Bölümü Sorumlusu
kv ⁴	İnsan Kaynakları Müdürü	kv ¹¹	Metot Bölümü Sorumlusu
kv ⁵	Metot Müdürü	kv ¹²	Montaj Bölümü Sorumlusu
kv ⁶	Kalite Kontrol Müdürü	kv ¹³	Depo Bölümü Sorumlusu
kv ⁷	Dekantör Üretim Sahası Müh.		

KVDK'dan kendileri de dâhil olmak üzere, Tablo 7'deki her bir karar vericinin kararlardaki etki düzeylerini sözel değişkenlerle belirlemeleri istenmiştir. Bunun için Tablo 8'de yer alan sözel değişkenler kullanılmıştır.

Tablo 8. Karar Vericiler için Kullanılan Sözel Değişkenler ve Bulanık Karşılıklar

Sözel Değişkenler	Bulanık Karşılık		
Çok Düşük (ÇD)	0,0	0,0	0,1
Düşük (D)	0,0	0,1	0,3
Orta Düşük (OD)	0,1	0,3	0,5
Orta (O)	0,3	0,5	0,7
Orta Yüksek (OY)	0,5	0,7	0,9
Yüksek (Y)	0,7	0,9	1,0
Çok Yüksek (ÇY)	0,9	1,0	1,0

Kaynak: Chen, 2000: 5

Anket yardımıyla, KVVK'nın her bir karar verici için atadığı sözel değişkenler, Tablo 9'daki gibi şekillenmiştir.

Tablo 9. Karar Verici Değerlendirme Tablosu

	kv ¹	kv ²	kv ³	kv ⁴	kv ⁵	kv ⁶	kv ⁷	kv ⁸	kv ⁹	kv ¹⁰	kv ¹¹	kv ¹²	kv ¹³
Fabrika Müd.	ÇY	ÇY	O	OY	Y	ÇY	Y	ÇY	Y	OY	Y	OY	O
Planlama Müd.	ÇY	ÇY	O	OD	OY	Y	O	Y	O	OY	OY	Y	ÇD
İnsan Kayn. Müd.	ÇY	Y	OY	OY	Y	Y	OY	Y	Y	O	Y	O	OD

KVVK tarafından belirlenen sözel değişkenler, üçgenel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Üç komite üyesinin her bir karar verici için atadıkları bulanık sayılardan, Eşitlik 4 (Guiping ve diğerleri, 2007: 238) yardımıyla, birleştirilmiş üyelik fonksiyonları hesaplanmıştır. Birleştirilmiş üyelik fonksiyonunun anlamlı sonuçlar verebilmesi için durulaştırma işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Bunun için de Hsieh ve diğerleri (2004) tarafından önerilen ve Eşitlik 5'in kullanıldığı En İyi Gerçek Sayı Değeri (Best Nonfuzzy Performance Value - BNP) durulaştırma yönteminden yararlanılmış ve sonuçlar Tablo 10'a çıkarılmıştır.

Tablo 10. Karar Verici Gerçek Sayı Değerleri

	kv ¹	kv ²	kv ³	kv ⁴	kv ⁵	kv ⁶	kv ⁷	kv ⁸	kv ⁹	kv ¹⁰	kv ¹¹	kv ¹²	kv ¹³
Kesin Değer	0,967	0,889	0,589	0,522	0,778	0,878	0,667	0,878	0,689	0,611	0,778	0,667	0,322

Elde edilen gerçek sayı değerlerinin Eşitlik 6 ile normalizasyona tabi tutulması sonucunda karar vericilerin kararlardaki etkileri Tablo 11'deki gibi olmaktadır.

Tablo 11. Karar Verici Ağırlıkları

Karar Verici Ağırlıkları	1 w _{kv¹}	2 w _{kv²}	3 w _{kv³}	4 w _{kv⁴}	5 w _{kv⁵}	6 w _{kv⁶}	7 w _{kv⁷}	8 w _{kv⁸}	9 w _{kv⁹}	10 w _{kv¹⁰}	11 w _{kv¹¹}	12 w _{kv¹²}	13 w _{kv¹³}
	0,105	0,096	0,064	0,057	0,084	0,095	0,072	0,095	0,075	0,066	0,084	0,072	0,035

6.2. Kriterlerin ve Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi Aşaması

Bu çalışmada altı sigma projelerinin seçimi için Copeland yöntemiyle bütünleştirilen bulanık VIKOR, bulanık TOPSIS ve bulanık COPRAS yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada karar vericiler, çalışma için uygun buldukları kriterleri Tablo 12'deki gibi belirlemişlerdir.

Tablo 12. Çalışmada Kullanılan Değerlendirme Kriterleri

KRİTERLER					
K1	Başarı Olasılığı	K6	Çalışan Motivasyonu	K11	Proje Süresi
K2	Bilgiye Ulaşım	K7	Müşteri Tatmini	K12	Sigma Seviyesi
K3	Değer Etkisi	K8	Öğrenme ve Gelişme	K13	Uygunluk
K4	Finansal Getiri	K9	Ölçülebilirlik	K14	Verimlilik
K5	Maliyet Azaltma	K10	Proje Maliyeti	K15	Yapılabilirlik

Kriterlerin belirlenmesinin ardından, bu kriterlerin belirlenen bir yöntem vasıtasıyla ağırlıklarının belirlenmesi gerekmektedir. İnsani düşünce tarzını yansıtmaması, sözel ifadeleri sayısallaştırması ve farklı düşüncelerin ortak bir paydada birleştirmesi özelliği (Ertuğrul & Karakaşoğlu, 2010: 25) ile bulanık analitik hiyerarşi prosesi yöntemi, kriter ağırlıklarını belirlemek için seçilmiştir. Bulanık analitik hiyerarşi prosesinde kullanılacak olan sözel değişkenler ve bulanık üyelik fonksiyonları Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Sözel Değişkenleri ve Üyelik Fonksiyonları

Sözel Önem	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit Önemde	1, 1, 1	1/1, 1/1, 1/1
Biraz Daha Fazla Önemli	1, 3, 5	1/5, 1/3, 1
Kuvvetli Derecede Önemli	3, 5, 7	1/7, 1/5, 1/3
Çok Kuvvetli Derece Önemli	5, 7, 9	1/9, 1/7, 1/5
Aşırı Derecede Önemli	7, 9, 9	1/9, 1/9, 1/7

Kaynak: Kaptanoğlu & Özok, 2010: 201

Anket yardımıyla, karar vericilerden kriterler arası ikili karşılaştırma yapmaları istenmiştir. Karar vericilerin ankete “Eşit Önemde”, “Biraz Daha Fazla Önemli”, “Kuvvetli Derecede Önemli”, “Çok Kuvvetli Derece Önemli” ve “Aşırı Derecede Önemli” şeklindeki cevapları üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Kriterlerin nihai ağırlıklarını belirleyebilmek adına, tüm karar vericilerin bulanık üçgensel üyelik fonksiyonlarının birleştirilerek tek bir bulanık üçgensel fonksiyona dönüştürülmesi gerekmektedir. Eşitlik 9 yardımıyla her bir karar vericinin Tablo 11'deki ağırlıklarının, kriterler için vermiş oldukları bulanık önem düzeyleri ile çarpılarak toplanması sonucu birleştirilmiş bulanık sayılara ulaşılmıştır.

Birleştirilmiş bulanık üyelik fonksiyonlarından yararlanarak, kriter ağırlıklarının hesaplanması gerekmektedir. Bunun için, birçok bulanık AHP uygulamalarında kullanılmış olan Chang (1996: 650–651)'in genişletilmiş analiz yöntemi tercih edilmiştir. Chang'ın genişletilmiş analiz yönteminin bu çalışmada uygulanışı ise aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir:

Öncelikle her bir kriter için bulanık sentetik genişletilmiş değeri bulunmuştur (Tablo 14).

Tablo 14. Hesaplama Sonucuna Göre Sentez Değerleri

Kriterler	$\sum_{j=1}^m \tilde{M}_{g_i}^j$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{M}_{g_i}^j \right]^{-1}$			Sentez Değerler			
	$\sum_{j=1}^n l_j$	$\sum_{j=1}^n m_j$	$\sum_{j=1}^n u_j$	$\frac{1}{\sum_{j=1}^n u_j}$	$\frac{1}{\sum_{j=1}^n m_j}$	$\frac{1}{\sum_{j=1}^n l_j}$				
K1	12,007	22,571	36,116	0,0015	0,0022	0,0041	S1	0,018	0,092	0,147
K2	11,112	23,813	38,526	0,0015	0,0022	0,0041	S2	0,016	0,053	0,157
K3	17,689	33,803	51,657	0,0015	0,0022	0,0041	S3	0,026	0,076	0,210
K4	23,425	42,216	61,462	0,0015	0,0022	0,0041	S4	0,035	0,094	0,250
K5	14,631	27,706	42,959	0,0015	0,0022	0,0041	S5	0,022	0,062	0,175
K6	5,103	7,575	13,359	0,0015	0,0022	0,0041	S6	0,008	0,017	0,054
K7	23,738	42,637	62,345	0,0015	0,0022	0,0041	S7	0,035	0,095	0,253
K8	6,762	11,172	19,533	0,0015	0,0022	0,0041	S8	0,010	0,025	0,079
K9	17,179	33,511	51,470	0,0015	0,0022	0,0041	S9	0,025	0,075	0,209
K10	13,847	26,939	42,260	0,0015	0,0022	0,0041	S10	0,020	0,060	0,172
K11	10,808	20,138	32,439	0,0015	0,0022	0,0041	S11	0,016	0,045	0,132
K12	14,837	27,918	44,070	0,0015	0,0022	0,0041	S12	0,022	0,062	0,179
K13	14,208	27,217	42,765	0,0015	0,0022	0,0041	S13	0,021	0,061	0,174
K14	24,492	42,451	61,617	0,0015	0,0022	0,0041	S14	0,036	0,095	0,251
K15	36,103	57,828	77,516	0,0015	0,0022	0,0041	S15	0,053	0,129	0,315

Sentez değerleri yardımıyla, her ikili sentetik değer için; $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ 'nin olabilirlik derecesi olan $V (M_2 \geq M_1)$ hesaplanmıştır. Hesaplanan her bir olabilirlik derecesi Tablo 15'te sunulmuştur.

Tablo 15. Kriterler için Ağırlık Vektörünün Hesaplanması

$i = 1,2,3,\dots,15$	S_{K1}	S_{K2}	S_{K3}	S_{K4}	S_{K5}	S_{K6}	S_{K7}	S_{K8}	S_{K9}	S_{K10}	S_{K11}	S_{K12}	S_{K13}	S_{K14}	S_{K15}	MIN
$V (S_{K1} \geq S_{Ki})$	1,000	1,000	0,978	1,000	1,000	0,970	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,973	0,714	0,714
$V (S_{K2} \geq S_{Ki})$	0,783	1,000	0,854	0,748	0,939	1,000	0,743	1,000	0,858	0,951	1,000	0,936	0,947	0,743	0,576	0,576
$V (S_{K3} \geq S_{Ki})$	0,922	1,000	1,000	0,903	1,000	1,000	0,899	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,900	0,745	0,745
$V (S_{K4} \geq S_{Ki})$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	0,849	0,849
$V (S_{K5} \geq S_{Ki})$	0,840	1,000	0,916	0,812	1,000	0,807	1,000	0,920	1,000	1,000	0,997	1,000	0,808	0,643	0,643	0,643
$V (S_{K6} \geq S_{Ki})$	0,328	0,511	0,325	0,203	0,421	1,000	0,198	0,847	0,333	0,439	0,578	0,416	0,432	0,189	0,009	0,009
$V (S_{K7} \geq S_{Ki})$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,855	0,855
$V (S_{K8} \geq S_{Ki})$	0,480	0,691	0,513	0,393	0,610	1,000	0,387	1,000	0,520	0,626	0,760	0,606	0,620	0,383	0,201	0,201
$V (S_{K9} \geq S_{Ki})$	0,919	1,000	0,996	0,900	1,000	1,000	0,895	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,897	0,742	0,742
$V (S_{K10} \geq S_{Ki})$	0,830	1,000	0,905	0,801	0,989	1,000	0,796	1,000	0,909	1,000	0,986	0,996	0,797	0,632	0,632	0,632
$V (S_{K11} \geq S_{Ki})$	0,709	0,934	0,776	0,664	0,867	1,000	0,658	1,000	0,781	0,880	1,000	0,864	0,875	0,658	0,483	0,483
$V (S_{K12} \geq S_{Ki})$	0,846	1,000	0,921	0,819	1,000	1,000	0,814	1,000	0,925	1,000	1,000	1,000	1,000	0,815	0,653	0,653
$V (S_{K13} \geq S_{Ki})$	0,835	1,000	0,909	0,806	0,993	1,000	0,801	1,000	0,914	1,000	1,000	0,990	1,000	0,802	0,638	0,638
$V (S_{K14} \geq S_{Ki})$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,852	0,852
$V (S_{K15} \geq S_{Ki})$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Her bir olabilirlik derecesinin minimum değerleri bulunarak, ağırlık vektörü hesaplanmaktadır. Her bir minimum olabilirlik derecesi Tablo 15'teki son sütunda gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar kriterlerin ağırlık vektörünü ($W' = (d'(S_{K1}), d'(S_{K2}), \dots, d'(S_{Kn}))^T$) oluşturmaktadır. Tablo 16, ağırlık vektörü W' yi özet halde göstermektedir.

Tablo 16. Kriterlerin Ağırlık Vektörü

$d'(S_{K1})$	$d'(S_{K2})$	$d'(S_{K3})$	$d'(S_{K4})$	$d'(S_{K5})$	$d'(S_{K6})$	$d'(S_{K7})$	$d'(S_{K8})$	$d'(S_{K9})$	$d'(S_{K10})$	$d'(S_{K11})$	$d'(S_{K12})$	$d'(S_{K13})$	$d'(S_{K14})$	$d'(S_{K15})$
0,714	0,576	0,745	0,849	0,643	0,009	0,855	0,201	0,742	0,632	0,483	0,653	0,638	0,852	1,000

Tablo 16'daki ağırlık vektörlerinin anlamlı hale gelebilmesi için normalize edilmesi gerekmektedir. Bunun için de Eşitlik 15 kullanılarak, normalize edilmiş kriterler ağırlıklarına ulaşılmıştır (Tablo 17). Elde edilen bu değerler, bulanık TOPSIS, bulanık VIKOR ve bulanık COPRAS yöntemlerinde projelerin değerlendirme aşamasında kriter ağırlıkları olarak kullanılmıştır.

Tablo 17. Normalize Edilmiş Kriter Ağırlıkları

$d (S_{K1})$	$d (S_{K2})$	$d (S_{K3})$	$d (S_{K4})$	$d (S_{K5})$	$d (S_{K6})$	$d (S_{K7})$	$d (S_{K8})$	$d (S_{K9})$	$d (S_{K10})$	$d (S_{K11})$	$d (S_{K12})$	$d (S_{K13})$	$d (S_{K14})$	$d (S_{K15})$
0,07445	0,06008	0,07765	0,08853	0,06706	0,00099	0,08913	0,02092	0,07731	0,06589	0,05034	0,06810	0,06652	0,08878	0,10424

6.3. Projelerin Bulanık ÇKKV Yöntemleri ile Değerlendirilmesi Aşaması

Karar vericilerden işletme içerisinde yaşanan problemler ve iyileştirme ihtiyacı görülen alanlarla ilgili projeler ortaya koymaları istenmiştir. Projelerin belirlenmesindeki temel faktör olarak; 353 serisi dekantör ile bağlantılı olması ve işletmeye yüksek katkılar sağlaması olarak belirlenmiştir. Karar vericiler ile yapılan görüşmeler sonunda, dekantör ve onunla ilişkili olan üretim sahası ile ilgili karşılaşılan temel problemleri ortadan kaldıracak 11 projenin hayata geçirilmesi gerektiği fikrine ulaşılmıştır. Düşük katkıya sahip olduğu düşünülen projeler çalışmaya dâhil edilmemiştir. Tablo 18, karar vericiler tarafından ortaya konulan altı sigma projelerini göstermektedir. Ayrıca çalışmada kolaylık sağlaması bakımından her bir proje (Pi) ile simgelenmiştir.

Tablo 18. Belirlenen Altı Sigma Projeleri

PROJELER			
P1	Vibrasyon Değerlerinin Azaltılması	P7	Balans Hatalarının Giderilmesi
P2	Gürültü Seviyesinin Azaltılması	P8	İç Lojistik Faaliyetlerinin İyileştirilmesi
P3	Rework İşlemlerinin Azaltılması	P9	Üretim Kapasitesinin Arttırılması
P4	Ürün Performanslarının Arttırılması	P10	Yarı-Mamul Stoklarının Azaltılması
P5	Ürün Elektrik Tüketiminin Düşürülmesi	P11	Set-Up Sürelerinin Azaltılması
P6	Helezon Hatalarının Giderilmesi		

Bu aşamadan itibaren projeler arasından en uygun projenin seçimi yapılacaktır. Bunun için de çalışmada ele alınan bulanık VIKOR, bulanık TOPSIS ve bulanık COPRAS yöntemlerinin Copeland sıralama yöntemi ile bütünleştirilmesi ile elde edilen skorlar en iyi projenin seçimini sağlayacaktır.

Öncelikle her üç yöntem için de kullanılacak sözel ifadeler ve bulanık karşılıkları Tablo 19'daki gibi belirlenmiştir. Karar vericilerden, her bir projeyi kriterlere göre değerlendirmeleri istenmiştir. Karar vericilerden elde edilen değerlendirmeler sözel ifadelerdir. Sözel ifadeler, bulanık üçgen sayılara dönüştürülerek, her bir karar vericiye ait proje bazlı değerlendirmeler elde edilmiştir.

Tablo 19. Sözel Değişkenler ve Bulanık Karşılıklar

Sözel Değişkenler	Bulanık Karşılık		
Çok Az (ÇA)	0	0	1
Az (A)	0	1	3
Orta Az (OA)	1	3	5
Orta (O)	3	5	7
Orta Fazla (OF)	5	7	9
Fazla (F)	7	9	10
Çok Fazla (ÇF)	9	10	10

Kaynak: Chen, 2000: 5

Karar vericilere ait değerlendirmeler bireyseldir ve her bir karar vericinin önem düzeyi (ağırlığı) birbirinden farklıdır. Grup kararının söz konusu olması için, Eşitlik 18 yardımıyla tek bir karar matrisi olacak şekilde tüm bireysel karar matrisleri birleştirilmiştir. Böylece karar vericilerin bireysel tutumları, tek bir karar matrisi olacak şekilde birleştirilmiştir (Ek 1). Bu aşamadan itibaren elde edilen birleştirilmiş bulanık karar matrisi; bulanık VIKOR, bulanık TOPSIS ve bulanık COPRAS yöntemlerinde projelerin değerlendirilmesinde veri niteliği taşıyacaktır.

6.3.1. Bulanık VIKOR Yöntemi Kullanılarak Projelerin Değerlendirilmesi

Bulanık VIKOR'da öncelikle yapılması gereken işlem, Ek 1'de yer alan birleştirilmiş karar matrisindeki her bir kriter için en iyi bulanık ve en kötü bulanık değerlerin bulunmasıdır. Eşitlik 21 ile fayda bazlı değerlendirme kriterlerinin; Eşitlik 22 ile de maliyet bazlı değerlendirme kriterlerinin hesaplanması sonrası en iyi bulanık ve en kötü bulanık değerlere ulaşılmıştır.

Kriterler incelendiğinde, "K10 - Proje Maliyeti" ve "K11 - Proje Süresi" kriterlerinin maliyet bazlı olduğu; diğer kriterlerin fayda bazlı kriterler olduğu sonucuna ulaşılmıştır. K10 ve K11 kriterlerinde, Eşitlik 22 dikkate alınarak işlemler yapılmıştır. Diğer kriterlerde ise, Eşitlik 21 kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda en iyi bulanık ve en kötü bulanık değerleri Tablo 20'de verilmiştir.

Tablo 20. Kriterlerin En İyi ve En Kötü Bulanık Değerleri

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	
F/M	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Maliyet	Maliyet	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	
Kriter Ağırlık	0,074	0,060	0,078	0,089	0,067	0,001	0,089	0,021	0,077	0,066	0,050	0,068	0,067	0,089	0,104	
\tilde{f}_j^*	l_j	6,321	5,469	7,438	8,872	7,368	5,840	7,082	5,761	6,514	0,694	2,402	8,153	6,217	7,397	6,742
	m_j	8,162	7,469	9,020	9,936	8,690	7,693	8,788	7,495	8,335	2,037	3,907	9,492	8,090	8,856	8,395
	u_j	9,259	8,940	9,747	10,000	9,628	8,948	9,663	8,718	9,398	4,037	5,620	9,916	9,289	9,734	9,422
\tilde{f}_j^-	l_j	2,716	1,262	1,889	4,980	1,817	2,443	1,982	2,465	2,680	6,564	6,261	2,066	3,286	1,918	2,988
	m_j	4,485	2,596	2,764	6,599	3,150	4,264	3,126	4,285	4,533	8,298	8,187	4,066	5,058	2,960	4,841
	u_j	6,232	4,449	4,066	7,799	4,815	6,105	4,641	6,211	6,280	9,444	9,428	6,031	6,761	4,320	6,554

Eşitlik 25 kullanılarak, her bir alternatifte kriter değerlerinin bulanık en iyi değere uzaklıklarının toplam değerleri (\tilde{S}_i); Eşitlik 26 ile de alternatifte bağlı kriterde bulanık en kötü değere olan maksimum uzaklık değerleri (\tilde{R}_i) hesaplanır. Eşitlik 29 ve Eşitlik 30 yardımıyla Tablo 21’de gösterilen grup fayda ve minimum pişmanlık değerlerine ulaşılır.

Tablo 21. Grup Fayda ve Minimum Pişmanlık Değerleri

	l	m	u
\tilde{S}^*	0,301	0,268	0,215
\tilde{S}^-	0,735	0,732	0,720
\tilde{R}^*	0,056	0,048	0,044
\tilde{R}^-	0,104	0,104	0,104

Tablo 21’deki değerlerden yararlanarak Eşitlik 31 ile \tilde{Q}_i indeks değerleri hesaplanır. Eşitlikte yer alan ν değeri maksimum grup çoğunluğunu sağlayan stratejinin ağırlığını göstermektedir. Bu çalışmada uzlaşmacı çoğunluğu ifade etmesi bakımından $\nu = 0,5$ olarak alınmıştır. Tüm hesaplama işlemleri sonunda bulunan \tilde{Q}_i indeks değerleri ile diğer indeks değerleri Tablo 22’de gösterilmiştir.

Tablo 22. Bulanık VIKOR - Bulanık İndeks Değerleri

Projeler	İndeks Değerleri			\tilde{S}_i			\tilde{R}_i			\tilde{Q}_i		
	\tilde{S}_i	\tilde{R}_i	\tilde{Q}_i	\tilde{S}_i	\tilde{R}_i	\tilde{Q}_i	\tilde{S}_i	\tilde{R}_i	\tilde{Q}_i	\tilde{S}_i	\tilde{R}_i	\tilde{Q}_i
Proje 1 (P1)	0,301	0,268	0,215	0,056	0,048	0,044	0,001	0,000	0,000			
Proje 2 (P2)	0,422	0,379	0,323	0,085	0,077	0,059	0,443	0,376	0,232			
Proje 3 (P3)	0,427	0,384	0,324	0,075	0,069	0,062	0,340	0,309	0,258			
Proje 4 (P4)	0,484	0,460	0,436	0,078	0,077	0,074	0,436	0,463	0,471			
Proje 5 (P5)	0,735	0,732	0,720	0,089	0,089	0,089	0,840	0,862	0,872			
Proje 6 (P6)	0,339	0,312	0,290	0,079	0,076	0,073	0,278	0,292	0,318			
Proje 7 (P7)	0,341	0,309	0,276	0,056	0,059	0,062	0,046	0,144	0,208			
Proje 8 (P8)	0,447	0,425	0,408	0,084	0,082	0,080	0,459	0,470	0,489			
Proje 9 (P9)	0,370	0,354	0,340	0,064	0,063	0,061	0,161	0,222	0,265			
Proje 10 (P10)	0,684	0,672	0,666	0,104	0,104	0,104	0,941	0,936	0,946			
Proje 11 (P11)	0,364	0,360	0,362	0,088	0,089	0,089	0,409	0,464	0,520			

Elde edilen indeks değerleri bulanık sayılar olduğundan bu değerlerin durulaştırılması gerekmektedir. Eşitlik 5 kullanılarak durulaştırma işlemi uygulandığında elde edilen skorlar Tablo 23’te verilmiştir.

Tablo 23. Bulanık VIKOR - Durulaştırılmış İndeks Değerleri

<i>İndeks Değerleri</i> <i>Projeler</i>	S_i	R_i	Q_i
Proje 1 (P1)	0,2611	0,0494	0,0004
Proje 2 (P2)	0,3747	0,0737	0,3505
Proje 3 (P3)	0,3785	0,0686	0,3027
Proje 4 (P4)	0,4602	0,0763	0,4570
Proje 5 (P5)	0,7291	0,0888	0,8578
Proje 6 (P6)	0,3136	0,0758	0,2959
Proje 7 (P7)	0,3084	0,0591	0,1327
Proje 8 (P8)	0,4270	0,0819	0,4726
Proje 9 (P9)	0,3546	0,0625	0,2162
Proje 10 (P10)	0,6741	0,1042	0,9410
Proje 11 (P11)	0,3620	0,0889	0,4646

Q değerleri ile ilgili koşul sağlama durumları incelenmelidir.

Koşul 1: Q sıralamasındaki en iyi ikinci ile en iyi proje arasında farkın $D(Q) = 1/(j-1)$ değerinden büyük olma koşuluna bakılır. Bu çalışmada kriter sayısı 15 olması nedeniyle $D(Q) = 1/(15-1) = 0,0714$ olarak bulunmuştur. Tablo 23 incelendiğinde, en iyi ikinci projenin ($Q(a'')$) 7. proje, en iyi projenin de ($Q(a')$) 1. proje olduğu gözlenmektedir.

$Q(a'') - Q(a') \geq D(Q)$ koşuluna göre, $0,1327 - 0,0004 > 0,0714$ olması nedeniyle koşul 1 sağlanmıştır.

Koşul 2: a' projesi olan 1. proje, S ve R indeks değerlerinden her ikisinde de en iyi seçenek olması nedeniyle koşul 2 de sağlanmıştır.

Bu durumda bulanık VIKOR ile 1. projenin seçilmesi uygundur. Sıralama ise şu şekilde olmaktadır: **P1 > P7 > P9 > P3 > P2 > P6 > P4 > P8 > P5 > P11 > P10**

Diğer bir ifadeyle, "P1 – Vibrasyon Değerlerinin Azaltılması" projesi öncelikli olarak hayata geçirilmelidir.

6.3.2. Bulanık TOPSIS Yöntemi Kullanılarak Projelerin Değerlendirilmesi

Her üç yöntem için de ele alınan ilk dört adım sonrası elde edilen birleştirilmiş karar matrisi Ek 1'de verilmiştir. Beşinci adım ve sonrası için bulanık TOPSIS'te kullanılan adımlara burada devam edilmiştir. Öncelikle her bir projenin Eşitlik 46, Eşitlik 47 ve Eşitlik 48 yardımıyla, projelerin BPIÇ ve BNIÇ bulanık değerlerinden olan uzaklıkları (d_i^* ve d_i^-) verteks yöntemiyle hesaplanmıştır. BPIÇ VE BNIÇ'ten olan tüm uzaklıklar (d_i^* ve d_i^-) Tablo 24'deki gibi olmaktadır.

Tablo 24. BPIÇ ve BNIÇ'ten Olan Uzaklıklar

Projeler	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
d_i^*	0,333	0,378	0,376	0,410	0,524	0,334	0,331	0,398	0,364	0,485	0,374
d_i^-	0,485	0,442	0,442	0,401	0,294	0,480	0,485	0,415	0,444	0,351	0,435

Eşitlik 49 yardımıyla yakınlık indeksleri hesaplanmıştır. Yakınlık indeksleri hesaplandığında Tablo 25'teki değerlere ulaşılır.

Tablo 25. Yakınlık İndeksleri

Projeler	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
CC_i	0,593	0,539	0,540	0,495	0,359	0,589	0,594	0,511	0,550	0,420	0,538

Bulanık TOPSIS yöntemi sonucu projeler, $P7 > P1 > P6 > P9 > P3 > P2 > P11 > P8 > P4 > P10 > P5$ şeklinde sıralanmaktadır. Diğer bir ifadeyle “P7 - Balans Hatalarının Giderilmesi” projesi öncelikli olarak ele alınması gerekmektedir.

6.3.3. Bulanık COPRAS Yöntemi Kullanılarak Projelerin Değerlendirilmesi

Her üç yöntem için de ele alınan ilk dört adım sonrası elde edilen birleştirilmiş karar matrisi Ek 1’de verilmiştir. Bulanık COPRAS konu başlığında ele alınan beşinci adım ve sonrası uygulamalar burada ele alınmıştır.

Adım 5: Bu adımda öncelikle Ek 1’de verilen birleştirilmiş karar matrisi yardımıyla kriterlerin önem ağırlıklarına göre ağırlıklandırma işlemi yapılacaktır. Eşitlik 55 yardımıyla ağırlıklı bulanık karar matrisine ulaşılmıştır.

Adım 6: Bu adımda ağırlıklandırılmış bulanık karar matrisinin durulaştırma işlemi yapılmıştır. Bunun için, diğer değerlendirme yöntemlerinde de ele alınan En İyi Gerçek Sayı Değeri Yöntemi kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen durulaştırılmış karar matrisine Tablo 26’da yer verilmiştir.

Tablo 26. Durulaştırılmış Karar Matrisi

Kriterler Projeler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15
Proje 1 (P1)	0,530	0,368	0,510	0,698	0,472	0,007	0,759	0,150	0,593	0,381	0,359	0,511	0,497	0,690	0,853
Proje 2 (P2)	0,534	0,438	0,455	0,611	0,381	0,006	0,690	0,120	0,600	0,480	0,288	0,516	0,515	0,552	0,722
Proje 3 (P3)	0,505	0,342	0,596	0,737	0,540	0,007	0,493	0,129	0,544	0,267	0,328	0,549	0,393	0,669	0,619
Proje 4 (P4)	0,506	0,296	0,474	0,850	0,345	0,006	0,653	0,106	0,431	0,454	0,278	0,466	0,448	0,597	0,594
Proje 5 (P5)	0,448	0,355	0,226	0,623	0,219	0,004	0,696	0,090	0,533	0,492	0,310	0,276	0,335	0,272	0,571
Proje 6 (P6)	0,517	0,330	0,677	0,729	0,513	0,007	0,629	0,120	0,554	0,534	0,285	0,626	0,521	0,761	0,595
Proje 7 (P7)	0,516	0,398	0,610	0,723	0,561	0,007	0,734	0,139	0,482	0,494	0,401	0,536	0,472	0,750	0,753
Proje 8 (P8)	0,589	0,227	0,639	0,696	0,502	0,007	0,448	0,153	0,438	0,349	0,326	0,457	0,523	0,656	0,575
Proje 9 (P9)	0,518	0,339	0,555	0,781	0,468	0,007	0,444	0,134	0,625	0,512	0,310	0,434	0,498	0,753	0,696
Proje 10 (P10)	0,333	0,166	0,629	0,572	0,407	0,004	0,298	0,094	0,348	0,149	0,200	0,358	0,409	0,610	0,500
Proje 11 (P11)	0,536	0,214	0,667	0,772	0,564	0,007	0,291	0,136	0,456	0,369	0,266	0,430	0,483	0,720	0,805

Adım 7: Burada durulaştırılmış karar matrisinden yararlanarak, Eşitlik 59 yardımıyla normalizasyon değerlerine ulaşılmıştır. Böylece her bir kriter için projelerin önemleri, net bir şekilde ortaya çıkmıştır. Normalizasyon hesaplamalarının ardından elde edilen sonuçlara Tablo 27’de yer verilmiştir.

Tablo 27. Normalizasyon Değerleri

Kriterler Projeler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15
Proje 1 (P1)	0,096	0,067	0,092	0,126	0,085	0,001	0,137	0,027	0,107	0,069	0,065	0,092	0,090	0,125	0,154
Proje 2 (P2)	0,097	0,079	0,082	0,110	0,069	0,001	0,125	0,022	0,108	0,087	0,052	0,093	0,093	0,100	0,130
Proje 3 (P3)	0,091	0,062	0,108	0,133	0,098	0,001	0,089	0,023	0,098	0,048	0,059	0,099	0,071	0,121	0,112
Proje 4 (P4)	0,091	0,053	0,086	0,154	0,062	0,001	0,118	0,019	0,078	0,082	0,050	0,084	0,081	0,108	0,107
Proje 5 (P5)	0,081	0,064	0,041	0,113	0,040	0,001	0,126	0,016	0,096	0,089	0,056	0,050	0,061	0,049	0,103
Proje 6 (P6)	0,094	0,060	0,122	0,132	0,093	0,001	0,114	0,022	0,100	0,096	0,051	0,113	0,094	0,137	0,108
Proje 7 (P7)	0,093	0,072	0,110	0,131	0,101	0,001	0,133	0,025	0,087	0,089	0,072	0,097	0,085	0,136	0,136
Proje 8 (P8)	0,107	0,041	0,116	0,126	0,091	0,001	0,081	0,028	0,079	0,063	0,059	0,083	0,094	0,119	0,104
Proje 9 (P9)	0,094	0,061	0,100	0,141	0,085	0,001	0,080	0,024	0,113	0,092	0,056	0,079	0,090	0,136	0,126
Proje 10 (P10)	0,060	0,030	0,114	0,103	0,074	0,001	0,054	0,017	0,063	0,027	0,036	0,065	0,074	0,110	0,090
Proje 11 (P11)	0,097	0,039	0,121	0,140	0,102	0,001	0,053	0,025	0,082	0,067	0,048	0,078	0,087	0,130	0,146

Adım 8: Bu adımda faydalı ve faydasız kriterler belirlenmiş; daha sonra faydalı kriterler sütunlarda en solda ve faydasız kriterler de sütunlarda en sağda olacak şekilde yerleştirme yapılmıştır. Eşitlik 61 yardımıyla, *K10 (Proje Maliyeti)* ve *K11 (Proje Süresi Kriteri)* kriterlerinin faydasız, diğer kriterlerin faydalı olması nedeniyle; faydasız kriterler tabloda en sağda olacak şekilde kaydırma yapılarak Tablo 28 elde edilmiştir.

Tablo 28. Faydalı ve Faydasız Kriterlerin Gösterimi

Kriterler Projeler	Faydalı Kriterler														Faydasız Kriterler	
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K12	K13	K14	K15	K10	K11	
Proje 1 (P1)	0,096	0,067	0,092	0,126	0,085	0,001	0,137	0,027	0,107	0,092	0,090	0,125	0,154	0,069	0,065	
Proje 2 (P2)	0,097	0,079	0,082	0,110	0,069	0,001	0,125	0,022	0,108	0,093	0,093	0,100	0,130	0,087	0,052	
Proje 3 (P3)	0,091	0,062	0,108	0,133	0,098	0,001	0,089	0,023	0,098	0,099	0,071	0,121	0,112	0,048	0,059	
Proje 4 (P4)	0,091	0,053	0,086	0,154	0,062	0,001	0,118	0,019	0,078	0,084	0,081	0,108	0,107	0,082	0,050	
Proje 5 (P5)	0,081	0,064	0,041	0,113	0,040	0,001	0,126	0,016	0,096	0,050	0,061	0,049	0,103	0,089	0,056	
Proje 6 (P6)	0,094	0,060	0,122	0,132	0,093	0,001	0,114	0,022	0,100	0,113	0,094	0,137	0,108	0,096	0,051	
Proje 7 (P7)	0,093	0,072	0,110	0,131	0,101	0,001	0,133	0,025	0,087	0,097	0,085	0,136	0,136	0,089	0,072	
Proje 8 (P8)	0,107	0,041	0,116	0,126	0,091	0,001	0,081	0,028	0,079	0,083	0,094	0,119	0,104	0,063	0,059	
Proje 9 (P9)	0,094	0,061	0,100	0,141	0,085	0,001	0,080	0,024	0,113	0,079	0,090	0,136	0,126	0,092	0,056	
Proje 10 (P10)	0,060	0,030	0,114	0,103	0,074	0,001	0,054	0,017	0,063	0,065	0,074	0,110	0,090	0,027	0,036	
Proje 11 (P11)	0,097	0,039	0,121	0,140	0,102	0,001	0,053	0,025	0,082	0,078	0,087	0,130	0,146	0,067	0,048	

Adım 9: Bu adımda Eşitlik 62 kullanılarak projelere bağlı faydalı kriterlerin tüm değerleri toplanarak S_{i+} değeri bulunur. Eşitlik 63 ile de projelere bağlı faydasız kriterlerin tüm değerleri toplanarak S_{i-} değeri bulunur (Tablo 29).

Tablo 29. S_{i+} ve S_{i-} Değerleri

Projeler	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
S_{i+}	1,200	1,110	1,107	1,043	0,840	1,189	1,208	1,068	1,130	0,854	1,099
S_{i-}	0,134	0,139	0,108	0,132	0,145	0,148	0,162	0,122	0,148	0,063	0,115

Adım 10: Projelerin görece önem ağırlıklarının (Q_i) Eşitlik 64 ile hesaplanması sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 30'da verilmiştir.

Tablo 30. Q_i Değerleri

Projeler	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Q_i	1,316	1,222	1,251	1,161	0,947	1,294	1,304	1,196	1,235	1,101	1,235

Adım 11: Eşitlik 65 ile projeler arasından en yüksek görece öneme sahip olan projenin (Q_{maks}) 1.316 değeriyle "Proje 1 – Vibrasyon Değerlerinin Azaltılması Projesi" olduğunu söylemek mümkündür. Bir anlamda bulanık COPRAS yönteminde en iyi proje "Vibrasyon Değerlerinin Azaltılması Projesi" dir. En iyi projenin diğer projelerden farklılığını ölçen, performans indeks değerine de bakmak gerekmektedir.

Adım 12: En iyi projenin performans indeks değeri 100 olarak kabul edilir. Diğer projelerin performans indeks değerleri Eşitlik 66 yardımıyla hesaplanarak projelerin tercih sıralaması ortaya konulur.

Tablo 31. P_i Değerleri ve Proje Sıralama

Projeler	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
P_i	100,00	92,84	95,09	88,20	71,99	98,34	99,09	90,86	93,85	83,69	93,85
Sıra	1	7	4	9	11	3	2	8	6	10	5

Tablo 31, tüm hesaplama sonuçlarını ve projelerin tercih sıralamalarını göstermektedir. Bulanık COPRAS yöntemi sonucu projeler; $P1 > P7 > P6 > P3 > P11 > P9 > P2 > P8 > P4 > P10 > P5$ şeklinde sıralanmaktadır.

Böylece her üç yöntemden elde edilen değerler ve sıralamalar ise Tablo 32'deki gibi olmaktadır. Yöntemlerden elde edilen sıralamalara bakıldığında farklı sonuçlar elde edildiğini görmek mümkündür.

Tablo 32. Bulanık VIKOR, Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS Proje Değerlendirme Sonuçları

Yöntemler	Bulanık VIKOR		Bulanık TOPSIS		Bulanık COPRAS	
	Q_i	Sıra	CC_i	Sıra	P_i	Sıra
Projeler						
Vibrasyon Değerlerinin Azaltılması	0,0004	1	0,5930	2	100,00	1
Gürültü Seviyesinin Azaltılması	0,3505	6	0,5390	6	92,84	7
Rework İşlemlerinin Azaltılması	0,3027	5	0,5400	5	95,09	4
Ürün Performanslarının Arttırılması	0,4570	7	0,4950	9	88,20	9
Ürün Elekt. Tüketiminin Düşürülmesi	0,8578	10	0,3590	11	71,99	11
Helezon Hatalarının Giderilmesi	0,2959	4	0,5890	3	98,34	3
Balans Hatalarının Giderilmesi	0,1327	2	0,5940	1	99,09	2
İç Lojistiğin İyileştirilmesi	0,4726	9	0,5110	8	90,86	8
Üretim Kapasitesinin Arttırılması	0,2162	3	0,5500	4	93,85	6
Yarı-Mamul Stoklarının Azaltılması	0,9410	11	0,4200	10	83,69	10
Set-Up Sürelerinin Azaltılması	0,4646	8	0,5380	7	93,85	5

6.4. Copeland Yöntemiyle Bulanık ÇKKV Yöntemlerinin Bütünleştirilmesi Aşaması

Her üç yöntemden elde edilen sıralamaların tek bir sıralama olacak şekilde bütünleştirilebilmesi için oylama yöntemleri içerisinde yer alan Copeland yöntemi kullanılmıştır. Uygulamada izlenen sıra ise aşağıdaki gibidir;

Adım 1: Bu adımda her bir projenin yöntemler bazında karşılaştırılması yapılmıştır. Eşitlik 67'nin kullanılması sonucu; ele alınan proje, sıralamada diğer projeden daha üstte ise '1' oy, daha altta ise '0' oy almıştır. Örnek olarak, P1 projesinin P7 projesi ile karşılaştırmasını yaptığımızda, P1 projesinin bulanık VIKOR ve bulanık COPRAS yöntemlerinde sıralamada üstte olması nedeniyle '1' oy aldığını, bulanık TOPSIS yönteminde ise altta olması nedeniyle de '0' oy aldığını söyleyebiliriz. Tüm karşılaştırmalar yapıldığında karşımıza Tablo 33'teki gibi bir durum ortaya çıkmaktadır.

Tablo 33. Yöntemlere Göre İkili Karşılaştırma Matrisi

Projeler	P1			P2			P3			P4			P5			P6			P7			P8			P9			P10			P11					
	B. VIKOR	B. TOPSIS	B. COPRAS	B. VIKOR	B. TOPSIS	B. COPRAS	B. VIKOR	B. TOPSIS	B. COPRAS	B. VIKOR	B. TOPSIS	B. COPRAS	B. VIKOR	B. TOPSIS	B. COPRAS	B. VIKOR	B. TOPSIS	B. COPRAS	B. VIKOR	B. TOPSIS	B. COPRAS	B. VIKOR	B. TOPSIS	B. COPRAS	B. VIKOR	B. TOPSIS	B. COPRAS	B. VIKOR	B. TOPSIS	B. COPRAS						
P1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
P2	0	0	0				0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
P3	0	0	0	1	1	1				1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P4	0	0	0	0	0	0	0	0	0				1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
P5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P7	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0				0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
P9	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1				1	1	1	1	1	1	0	0	0
P10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0
P11	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1						

Adım 2: Eşitlik 68 yardımıyla ikili karşılaştırmalardaki oylar sayılarak, bir projenin diğer projeye kıyasla kaç oy aldığı ortaya konulmaktadır. Örneğin $P1$ projesi $P7$ projesi ile karşılaştırıldığında; iki yöntemde sıralamalarda daha önde olması nedeniyle 2 oya sahiptir. Diğer taraftan $P7$ projesi $P1$ projesine göre sadece bir yöntemde daha iyi sonuç verdiği için 1 oya sahiptir. Tüm karşılaştırma sonucunda elde edilen oylama sonuçlarına Tablo 34’te yer verilmiştir.

Tablo 34. Oylama Sonuçları

Projeler	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
P1	-	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3
P2	0	-	0	3	3	0	0	3	0	3	2
P3	0	3	-	3	3	0	0	3	1	3	3
P4	0	0	0	-	3	0	0	1	0	3	1
P5	0	0	0	0	-	0	0	0	0	1	0
P6	0	3	3	3	3	-	0	3	2	3	3
P7	1	3	3	3	3	3	-	3	3	3	3
P8	0	0	0	2	3	0	0	-	0	3	0
P9	0	3	2	3	3	1	0	3	-	3	2
P10	0	0	0	0	2	0	0	0	0	-	0
P11	0	1	0	2	3	0	0	3	1	3	-

Adım 3: Eşitlik 69 yardımıyla her bir projenin $G_i(i, j)$ değerleri hesaplanmıştır. Tablo 34’teki oylama sonuçlarına göre bir projenin diğer projeye olan üstünlüğüne bakılmıştır. Proje, karşılaştırma yapılan projeye kıyasla daha fazla sayıda oya sahipse ‘1’ değerini, daha az oya sahipse ‘-1’ değerini almıştır. Bu çalışmada sadece üç ÇKKV yöntemi ele alındığından eşitlik söz konusu değildir. Her bir proje için ikili karşılaştırmalar yapılmış, galibiyet ve yenilgi puanları Tablo 35’e çıkarılmıştır.

Tablo 35. Projelerin Galibiyet ve Yenilgi Puanları

Projeler	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
P1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P2	-1		-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1
P3	-1	1		1	1	-1	-1	1	-1	1	1
P4	-1	-1	-1		1	-1	-1	-1	-1	1	-1
P5	-1	-1	-1	-1		-1	-1	-1	-1	-1	-1
P6	-1	1	1	1	1		-1	1	1	1	1
P7	-1	1	1	1	1	1		1	1	1	1
P8	-1	-1	-1	1	1	-1	-1		-1	1	-1
P9	-1	1	1	1	1	-1	-1	1		1	1
P10	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1		-1
P11	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	

Adım 4: Eşitlik 70 yardımıyla projelerin galibiyet puanı toplamlarına, Eşitlik 71 ile de yenilgi puan toplamlarına ulaşılmıştır. Eşitlik 72 yardımıyla ise Copeland puanı hesaplanmıştır. Her bir proje için hesaplanan GP_i , YP_i ve CP_i değerleri Tablo 36’daki gibi olmaktadır.

Tablo 36. Galibiyet – Yenilgi ve Copeland Puanları

Projeler	GP_i	YP_i	CP_i
P1	10	0	10
P2	5	-5	0
P3	6	-4	2
P4	2	-8	-6
P5	0	-10	-10
P6	8	-2	6
P7	9	-1	8
P8	3	-7	-4
P9	7	-3	4
P10	1	-9	-8
P11	4	-6	-2

Adım 5: CP_i değerlerinin sıralama işlemi bu adımda gerçekleştirilmiştir. Tablo 37'deki sıralamada en iyi projenin ($CP_1 = 10$) ile $P1$ olduğu, en kötüsünün ise ($CP_1 = -10$) ile $P5$ olduğu görülmektedir.

Tablo 37. Projelerin Nihai Sıralama Sonuçları

Projeler	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Sıralama r_i	1	6	5	9	11	3	2	8	4	10	7

Böylece çalışmada ele alınan bulanık VIKOR, bulanık TOPSIS ve bulanık COPRAS yöntemlerinin, Copeland yöntemi ile bütünleştirilmesi sonucunda elde edilen yeni sıralama şu şekilde olmuştur: **P1 > P7 > P6 > P9 > P3 > P2 > P11 > P8 > P4 > P10 > P5**

Tablo 38. Proje Değerlendirme Yöntemleri ve Copeland Yöntemine Göre Proje Sıralamaları

Sıralama	BULANIK VIKOR	BULANIK TOPSIS	BULANIK COPRAS	COPELAND YÖNTEMİ
1	P1	P7	P1	P1
2	P7	P1	P7	P7
3	P9	P6	P6	P6
4	P6	P9	P3	P9
5	P3	P3	P11	P3
6	P2	P2	P9	P2
7	P4	P11	P2	P11
8	P11	P8	P8	P8
9	P8	P4	P4	P4
10	P5	P10	P10	P10
11	P10	P5	P5	P5

Tablo 38, her üç yöntemden elde edilen sıralamalar ile Copeland yöntemi kullanılarak bu üç yöntemin bütünleştirilmesi ile elde edilen proje sıralamalarını vermektedir.

7. Sonuç

Üretim ve hizmet sektöründe yer alan birçok büyük ölçekli işletme, süreç iyileştirme yöntemi olarak altı sigmayı kullanmaktadır. Altı sigma, proje esaslı bir yöntemdir. Bu nedenle tek bir süreç için iyileştirmelere odaklanarak başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir. Ancak, her altı sigma projesi istenilen başarıyı sağlayamamaktadır ve bu başarısızlıkta birçok faktör söz konusudur. Bunlardan en önemlisi de yanlış zamanda ve öncelik sırası dikkate alınmadan seçilen altı sigma projeleridir. İhtiyaç duyulmadığı halde bir projenin hayata geçirilmesi, büyük maliyetlere ve çalışanların motivasyon kaybına neden olduğundan, olası projeler arasından öncelikli olarak ele alınacak projenin seçilmesi başarıda kilit rol üstlenmektedir.

Literatürde çok sayıda altı sigma proje değerlendirme ve seçim yöntemi bulunmaktadır. Bunların hemen hemen tamamı kesin bilgiye ulaşıldığı varsayımıyla altı sigma projelerini değerlendirmektedir. Ancak, proje değerlendirme kriterlerinin bulanık olduğu durumlar için bir çözüm önerisi getirememektedir. Zadeh (1965)'in ortaya attığı bulanık mantık, kesin değerlere dayanan düşünme yerine, yaklaşık düşünüş tarzına daha yakın olduğu bilindiğinden projelerin değerlendirme safhalarında kullanılması çok daha uygun olabilmektedir. Ayrıca, birçok çalışmada projelerin bulanık mantık çerçevesinde değerlendirildiği ve böylece olumlu sonuçların alındığı da gözlenmiştir.

Bu çalışmada, altı sigma proje değerlendirme kriterlerinin belirsizlik içermesi nedeniyle, proje seçiminde insani düşünüş tarzına en yakın yöntem olan bulanık mantık ve bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinin (bulanık VIKOR, bulanık TOPSIS ve bulanık COPRAS) kullanılmasına karar verilmiştir. Ancak literatürde yer bulan bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinin farklı hesaplama tekniklerinin olması, farklı sonuçların elde edilmesine de neden olabilmektedir. Çalışmada kullanılan yöntemlerden bulanık VIKOR, ideal alternatife yakınlık ölçüsüne göre karşılaştırma yaparak alternatifleri sıralamaktadır; bulanık TOPSIS

yöntemi, bulanık pozitif ideal çözüme en yakın ve bulanık negatif ideal çözüme en uzak noktaların sıralamasını yapmaktadır ve bulanık COPRAS yöntemi ise, önem ve fayda dereceleri açısından alternatiflerin adım adım sıralamasını yaparak alternatifleri değerlendirmektedir. Farklı hesaplama tekniklerine sahip bu yöntemlerden elde edilen sıralamaların birbirinden farklı olması nedeniyle, tek bir sıralama olacak şekilde bütünleştirilmesi işlemi, Copeland sıralama yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Uygulama çalışması Aydın ASTİM Organize Sanayi Bölgesinde yer alan HAUS Santrifüj Teknolojileri firmasında yapılmıştır. Firmanın köklü geçmişi, kurumsal ve finansal yapısı, kalite çalışmalarına önem vermesi ve en önemlisi altı sigma felsefesine yatkınlığı da HAUS firmasını tercih etmede etken olmuştur. HAUS firması 11 çeşit ürün üretmektedir. Çalışma ise, firmanın en çok satış yaptığı 353 serisi dekantörler üzerine yapılmıştır.

İyileştirme yapılması düşünülen alanlarla ilgili ortaya konan altı sigma projelerinin arasından, işletmeye en çok kazanç sağlayıcı projenin seçilebilmesi için, bulanık VIKOR, bulanık TOPSIS ve bulanık COPRAS yöntemleri ile değerlendirmeler yapılmıştır. Her bir yöntemden elde edilen sıralamalar, Copeland sıralama yöntemi ile bütünleştirilerek yeni bir sıralama elde edilmiştir.

Tablo 32'ye bakıldığında, her üç yöneme ait proje sıralamalarının farklı olduğu görülebilmektedir. Tablo incelendiğinde; bulanık VIKOR veya bulanık COPRAS yöntemlerini tercih etmiş bir karar verici, sıralamada ilk sırada yer alan "Vibrasyon Değerlerinin Azaltılması" projesini seçerken; bulanık TOPSIS yöntemini tercih etmiş bir karar verici, sıralamada ilk sırada yer alan "Balans Hatalarının Giderilmesi" projesini seçecektir. Yöntemler arasında farklı sıralamaların olması, karar vericilerin yöntemlere karşı güvensizlik duymalarına neden olmaktadır. Bu durum, karar vericiyi "hangi projeyi seçmeliyim?" sorusuna ilave olarak, "hangi projeyi hangi yöntem ile seçmeliyim?" sorusunu sormaya da itmektedir. Bu kaygıyı giderebilmek için, bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları, Copeland sıralama yöntemi ile harmanlanarak, tek bir sıralama olacak şekilde bütünleştirilmiştir (bkz: Tablo 38). Böylece, yöntemlerin Copeland ile bütünleştirilmesi ile elde edilen sıralamalar, karar vericilere daha fazla güven vermiştir.

Bu çalışmada, zaman kısıtından ötürü sadece üç bulanık çok kriterli karar verme yöntemi ele alınmış ve bunların Copeland sıralama yöntemiyle bütünleştirilmesi sağlanmıştır. Araştırmacılar, ileriki çalışmalarda daha fazla sayıda bulanık çok kriterli karar verme yöntemini Copeland sıralama yöntemi ile bütünleştirerek, daha farklı bilgi ve sonuçlar elde edebilecektir.

Son Notlar

*Bu çalışma, Adnan Menderes Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı (ADÜBAP) tarafından desteklenen İİBF-14003 numaralı "Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Altı Sigma Projeleri Seçiminde Uygulanması" isimli tez projesinden üretilmiştir.

Kaynaklar

- Adams, C. W., Gupta, P. & Wilson, C. E. (2003). *Six sigma deployment*, Elsevier: ABD.
- Akpolat, H. (2004). *Six sigma in transactional and service environments*, Gower Publishing Limited: Burlington.
- Akyüz, G. (2012). Bulanık VIKOR yöntemi ile tedarikçi seçimi, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 26(1), 197–215.
- Azimi, M. H., Houshang, T., Farahmand, N. F. & Jafar, P. (2014). Selection of industrial robots using the Polygons area method, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 5(2014), 631–646.
- Antucheviciene, J., Zavadskas, E. K., & Zakarevicius, A. (2012). Ranking redevelopment decisions of derelict buildings and analysis of ranking results, *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 46(2).
- Bañuelas, R., Tennant, C., Tuersley, I., & Tang, S. (2006). Selection of six sigma projects in the UK, *The TQM Magazine*, 18(5), 514–527.
- Bilgen, B. & Şen, M. (2012). Project selection through fuzzy analytic hierarchy process and a case study on six sigma implementation in an automotive industry, *Production Planning & Control*, 23(1), 2–25.

- Breyfogle, F. W., Cupello, J. M., & Meadows, B. (2001). *Managing six sigma: a practical guide to understanding, assessing, and implementing the strategy that yields bottom-line success*, John Wiley & Sons, Inc.: ABD.
- Browne, C. (2013). *Pairwise analysis*, <http://www.youtube.com/watch?v=dhv6o9ubHCO> (Erişim Tarihi, 18 Mayıs 2015).
- Büyüközkan, G. & Öztürkcan, D. (2010). An integrated analytic approach for six sigma project selection, *Expert Systems with Applications*, 37(8), 5835-5847.
- Chang, D. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, 2217(95), 649–655.
- Chen, C. T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment, *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 1–9.
- Coronado, R. B. & Antony, J. (2002). Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organizations, *The TQM Magazine*, 14(2), 92-99.
- Das, M. C., Sarkar, B., & Ray, S. (2012). A framework to measure relative performance of indian technical institutions using integrated fuzzy AHP and COPRAS methodology, *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(3), 230–241.
- David, J. & Saaty, D. (2007). Use analytic hierarchy process for project selection, *ASQ Six Sigma Forum Magazine*, August, 22–29.
- De Feo, J. & Barnard, W. (2004). *Juran institute's six sigma breakthrough and beyond-quality performance methods*, McGraw-Hill: New York.
- Doğu, E. (2006). *Quality function deployment (QFD) and using qfd in six sigma projects*, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü: İzmir.
- Eleren, A., & Ersoy, M. (2007). Mermer blok kesim yöntemlerinin bulanık TOPSIS yöntemiyle değerlendirilmesi, *Madencilik*, 46(3), 9–22.
- Erdem, İ. (2013). *Yöneylem araştırması ve WINQSB uygulamaları*, Seçkin Yayıncılık: Ankara.
- Erdem, S., & Kavrukkoca, G. (2002). *Sürekli iyileştirme projelerinin seçiminde analitik hiyerarşi süreci'nin kullanımı*, <http://www.deu.edu.tr/userweb/sabri.erdem/dosyalar/AHP.pdf> (Erişim Tarihi, 17 Ağustos 2015).
- Ertuğrul, İ., & Karakaşoğlu, N. (2010). Electre ve bulanık AHP yöntemleri ile bir işletme için bilgisayar seçimi, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 25(2), 23–41.
- Fatsijani, H., Nikabadi, M. S. & Amirmoghadam, H. (2014). Six sigma project selections using fuzzy network-analysis and fuzzy MADM, *Decision Science Letters*, 4(2015), 87-96.
- Fishburn, P. (1977). Condorcet social choice functions, *SIAM Journal of Applied Mathematics*, 33, 469–489.
- Gavcar, E., Coşkun, E., Paksoy, T., Eleren, A., Sulak, H., Özdemir, M., ... Keskin, R. (2011). *Yöneylem Araştırması*, (V. Tecim, Ed.), Lisans Yayıncılık: İstanbul.
- Guiping, H., Lizhi, W., Bidanda, B., & Fetch, S. (2007). *Project portfolio selection for implementing lean and six sigma concepts*, IIE Annual Conference and EXPO 2007 - Industrial Engineering's Critical Role in a Flat World Konferansı.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2001). *Introduction to operational research*, McGraw-Hill: New York.
- Hsieh, T.-Y., Lu, S.-T., & Tzeng, G.-H. (2004). Fuzzy MCDa Approach for planning and design tenders selection in public office buildings, *International Journal of Project Management*, 22(7), 573–584.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making methods and applications*, Springer-Verlag: Berlin.
- İkiz, A. K. (2009). *Altı sigma projelerinin değerlemesine yeni bir yaklaşım: reel opsiyonlar*, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü: İzmir.
- Kahraman, C. & Büyüközkan, G. (2008). A combined fuzzy AHP and fuzzy goal programming approach for effective six-sigma project selection, *J. of Mult.-Valued Logic & Soft Computing*, 14(2008), 599–615.
- Kaptanoğlu, D., & Özok, A. F. (2010). Akademik performans değerlendirmesi için bir bulanık model, *İTÜ Dergisi/d*, 5(1), 193–204.
- Kazemi, S. M., Karmasian, M., Homayouni, S. M., & Vasili, M. R. (2012). *Six sigma project selections by using a fuzzy multi criteria decision making approach: a case study in poly acryl corp*, CIE42 Sempozyumu.
- Kazemi, S. M., Kazemi, S. M. M. & Bahri, M. (2005). Six sigma project selections by using a multi criteria decision making approach: a case study in poly acryl corp., *International Conference on Computers & Industrial Engineering*.
- Kelly, M. (2002). Three steps to project selection, *ASQ six sigma forum magazine*, 2(1), 29-33.
- Klamlar, C. (2003). A comparison of the dodgson method and the copeland rule, *Economics Bulletin*, 4(8), 1–7.

- Kumar, U. D., Crocker, J., Chitra, T. & Saranga, H. (2006). *Reliability and six sigma, reliability and six sigma*, Springer: New Jersey.
- Kumar, U. D., Saranga, H., Ramírez-Márquez, J. E. & Nowicki, D. (2007). Six sigma project selection using data envelopment analysis, *The TQM Magazine*, 19(5), 419–441.
- Larson, A. (2003). *Demystifying six sigma: a company-wide approach to continuous improvement*, American Management Association: New York.
- Naderi, H., Shahhosseini, H. & Jafari, A. (2013). Evaluation MCDM multi-disjoint paths selection algorithms using fuzzy-Copeland ranking method, *International Journal of Communication Networks and Information Security*, 5(1), 59–67.
- Naderi, S. H., Shams, P. ve Shahhosseini, H. S. (2012). Fuzzy-Copeland ranking method to evaluate multi-disjoint paths selection algorithms, *2012 IEEE 3rd International Conference*: Beijing.
- Opricovic, S. (2011). Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning, *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12983–12990.
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods a comparative analysis of VIKOR and TOPSIS, *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445–455.
- Özdağoğlu, A. (2013a). İmalat işletmeleri için eksantrik pres alternatiflerinin COPRAS yöntemi ile karşılaştırılması, *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Elektronik Dergisi*, 8(Haziran), 1–22.
- Özdağoğlu, A. (2013b). Çok ölçütlü karar verme modellerinde normalizasyon tekniklerinin sonuçlara etkisi: COPRAS örneği, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 8(2), 229–252.
- Özveri, O. & Gök, C. (2012). Altı sigma müşteri değeri projelerinin seçiminde kalite fonksiyon yayılımı (KFY) yaklaşımının kullanılması, *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar*, 49(573), 79–88.
- Özveri, O. & Çakır, E. (2012). Yalın altı sigma ve bir uygulama, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, İİBF Dergisi*, 14(2), 17–36.
- Özveri, O. & Dinçel, D. (2012). Altı sigma proje seçim yöntemleri ve bir hastanede uygulanması, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 27(2), 55–78.
- Paksoy, T., Pehlivan, N. Y., & Özceylan, E. (2013). *Bulanık küme teorisi*, Nobel Yayın: Ankara.
- Pande, P., Neuman, R. & Cavanagh, R. (2000). *The six sigma way how GE, Motorola and other top companies are honing their performance*, McGraw-Hill: New York.
- Purjavad, E. & Shirouyehzad, H. (2011). A MCDM approach for prioritizing production lines: a case study, *International Journal of Business and Management*, 6(10), 221–229.
- Pyzdek, T. (2000a). *The six sigma revolution*, Quality America Inc, ABD.
- Pyzdek, T. (2000b, Eylül). Selecting six sigma projects, *Quality Digest Magazine*, 1–2.
- Pyzdek, T. (2003). *The six sigma project planner: a step-by-step guide to leading a six sigma project through DMAIC*, McGraw-Hill: New York.
- Pyzdek, T. ve Keller, P. A. (2010). *The six sigma handbook a complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels*, McGraw-Hill: New York.
- Rathi, R., Khanduja D. & Sharma, S. K. (2015). Six sigma project selection using fuzzy TOPSIS decision making approach, *Management Science Letters*, 5(5), 447–456.
- Ray, S., Das, P., Bhattacharyay, B. K. ve Antony, J. (2013). Measuring Six Sigma Project Effectiveness using Fuzzy Approach, *Quality and Reliability Engineering International*, 29(3), 417–430.
- Saaty, T., & Vargas, L. (2012). *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*, Springer: New York.
- Saghaei, A. & Didekhani, H. (2011). Developing an integrated model for the evaluation and selection of six sigma projects based on ANFIS and fuzzy goal programming, *Expert Systems with Applications*, 38(1), 721–728.
- Sanver, M. R. (2000). Çoğunluk yöntemi ve Condorcet galipleri, *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 55(3), 133–144.
- Sheu, J.-B. (2004). A hybrid fuzzy-based approach for identifying global logistics strategies, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 40(1), 39–61.
- Su, C. & Chou, C. (2008). A systematic methodology for the creation of six sigma projects: a case study of semiconductor foundry, *Expert Systems with Applications*, 34(4), 2693–2703.
- Şentürk, Ö. (2013). *Six sigma project evaluation under fuzziness in food industry*, Kadir Has Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul.

- Tekin, M. (2008). *Sayısal yöntemler*, Selçuk Üniversitesi İİBF: Konya.
- Teknomo, K. (2014). *Analytic hierarchy process (AHP) tutorial*, http://web.cjcu.edu.tw/~lcc/Courses/TUTORIAL/AHP_Tutorial.doc (Erişim Tarihi, 10 Haziran 2015).
- Timor, M. (2010). *Yöneylem araştırması*, Türkmen Kitabevi: İstanbul.
- Timor, M. (2011). *Analitik hiyerarşi prosesi*, Türkmen Kitabevi: İstanbul.
- Ustinovichius, L., Zavadskas, E. K. ve Podvezko, V. (2007). Application of a quantitative multiple criteria decision making (MCDM-1) approach to the analysis of investments in construction, *Control and Cybernetics*, 36(1), 251-268.
- Wang, F. K., Hsu, C. H. & Tzeng, G. H. (2014). Applying a hybrid MCDM model for six sigma project selection, *Mathematical Problems in Engineering*, 1-13.
- Yazdani, M., Alidoosti, A., & Zavadskas, E. K. (2011). Risk analysis of critical infrastructures using fuzzy COPRAS, *Ekonomika Istraživanja*, 24(4), 27-40.
- Yıldırım, B. F., & Önder, E. (2014). *İşletmeciler, mühendisler ve yöneticiler için operasyonel, yönetsel ve stratejik problemlerin çözümünde çok kriterli karar verme yöntemleri*, Dora Yayınları: Bursa.
- Yüksel, H. (2012). Evaluation of the success of six sigma projects by data envelopment analysis, *International Journal of Business and Management*, 7(13), 75-84.
- Zavadskas, E., Kaklauskas, A., Turskis, Z., & Tamosaitiene, J. (2009). Multi-attribute decision-making model by applying grey numbers, *Informatica*, 20(2), 305-320.

Ekler

Ek 1. Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi

Kriterler:		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15
Kriter Ağırlıkları		0,074	0,060	0,078	0,089	0,067	0,001	0,089	0,021	0,077	0,066	0,050	0,068	0,067	0,089	0,104
Projeler																
Proje 1 (P1)	l	5.193	4.261	4.942	6.403	5.212	5.113	7.082	5.465	5.994	3.845	5.424	5.806	5.753	6.227	6.742
	m	7.193	6.165	6.732	8.118	7.137	7.041	8.788	7.318	7.854	5.845	7.277	7.653	7.681	7.946	8.395
	u	8.957	7.954	8.026	9.128	8.767	8.587	9.663	8.718	9.177	7.641	8.709	9.039	8.992	9.131	9.422
Proje 2 (P2)	l	5.426	5.469	4.221	5.120	3.934	4.812	6.167	3.919	6.078	5.710	3.862	5.936	6.217	4.372	5.087
	m	7.351	7.469	5.919	7.036	5.763	6.557	7.988	5.845	8.004	7.474	5.770	7.797	7.928	6.276	7.087
	u	8.738	8.940	7.421	8.534	7.341	8.078	9.057	7.448	9.208	8.685	7.528	8.994	9.096	8.005	8.602
Proje 3 (P3)	l	4.945	3.826	6.183	6.685	6.495	5.691	3.798	4.433	5.258	2.201	4.588	6.620	4.105	6.105	4.047
	m	6.910	5.826	7.827	8.566	8.271	7.616	5.584	6.264	7.201	4.030	6.588	8.297	5.958	7.710	6.047
	u	8.514	7.444	8.998	9.723	9.375	8.948	7.211	7.805	8.640	5.946	8.347	9.279	7.650	8.791	7.716
Proje 4 (P4)	l	5.055	3.141	4.496	8.872	3.357	4.314	5.958	3.451	3.752	5.237	3.830	5.217	4.887	5.273	3.942
	m	6.924	4.961	6.244	9.936	5.190	6.099	7.554	5.141	5.622	7.046	5.563	7.004	6.887	6.856	5.773
	u	8.398	6.676	7.584	10.000	6.870	7.550	8.479	6.615	7.339	8.385	7.161	8.300	8.431	8.030	7.375
Proje 5 (P5)	l	4.218	4.042	1.889	5.884	1.817	2.527	6.297	2.465	5.142	5.939	4.396	2.066	3.286	1.918	3.592
	m	6.143	5.986	2.764	7.161	3.150	4.432	8.041	4.285	7.067	7.673	6.225	4.066	5.058	2.960	5.508
	u	7.674	7.681	4.066	8.054	4.815	6.266	9.075	6.211	8.489	8.810	7.852	6.031	6.761	4.320	7.344
Proje 6 (P6)	l	5.347	3.715	7.378	6.786	6.403	5.455	5.484	4.006	5.303	6.564	3.881	8.153	6.131	7.116	3.910
	m	7.143	5.568	9.020	8.514	7.887	7.324	7.224	5.803	7.303	8.298	5.750	9.492	8.075	8.856	5.818
	u	8.354	7.176	9.747	9.410	8.677	8.639	8.473	7.361	8.888	9.444	7.331	9.916	9.276	9.734	7.407
Proje 7 (P7)	l	5.144	4.882	6.492	6.755	6.860	5.840	6.706	5.101	4.357	5.688	6.261	6.290	5.354	6.901	5.619
	m	7.070	6.735	8.079	8.392	8.622	7.693	8.504	6.813	6.323	7.688	8.187	8.126	7.279	8.738	7.448
	u	8.566	8.248	9.006	9.356	9.628	8.946	9.483	8.034	8.040	9.100	9.428	9.217	8.653	9.712	8.606
Proje 8 (P8)	l	6.321	1.964	7.067	6.427	6.288	5.289	3.401	5.761	3.854	3.596	4.622	5.153	6.187	5.818	3.715
	m	8.162	3.698	8.469	8.116	7.671	7.232	5.039	7.495	5.780	5.330	6.622	6.877	8.090	7.603	5.605
	u	9.259	5.663	9.164	9.035	8.497	8.647	6.655	8.651	7.360	6.983	8.181	8.110	9.289	8.755	7.226
Proje 9 (P9)	l	5.402	3.933	5.697	7.529	5.538	5.270	3.421	4.781	6.514	6.264	4.439	4.681	6.049	7.397	4.957
	m	7.150	5.733	7.336	9.137	7.167	7.099	5.007	6.505	8.335	7.995	6.292	6.511	7.667	8.750	6.817
	u	8.338	7.264	8.420	9.809	8.244	8.493	6.507	7.870	9.398	9.036	7.714	7.948	8.745	9.307	8.253
Proje 10 (P10)	l	2.716	1.262	6.909	4.980	4.469	2.443	1.982	2.579	2.680	0.694	2.402	3.632	4.341	5.341	2.988
	m	4.485	2.596	8.333	6.599	6.181	4.264	3.208	4.495	4.533	2.037	3.907	5.282	6.256	7.046	4.841
	u	6.232	4.449	9.051	7.799	7.568	6.105	4.826	6.336	6.280	4.037	5.620	6.846	7.838	8.237	6.554
Proje 11 (P11)	l	5.751	1.782	7.438	7.308	7.368	5.656	2.022	4.865	4.172	3.722	3.479	4.606	5.755	7.031	6.071
	m	7.351	3.537	8.860	9.020	8.690	7.359	3.126	6.662	6.023	5.647	5.308	6.431	7.436	8.359	7.975
	u	8.496	5.390	9.477	9.832	9.176	8.544	4.641	8.002	7.515	7.422	7.052	7.897	8.602	8.942	9.136

This Page Intentionally Left Blank