

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİYLE EN
İYİ TASARIMIN SEÇİLMESİ**

**Hazırlayan
Nuri YURTGÜLÜ**

**Danışman
Doç. Dr. Ercan ŞENYİĞİT**

Yüksek Lisans Tezi

**Şubat 2022
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİYLE EN
İYİ TASARIMIN SEÇİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Nuri YURTGÜLÜ**

**Danışman
Doç. Dr. Ercan ŞENYİĞİT**

**Şubat 2022
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Nuri YURTGÜLÜ



“Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle En İyi Tasarımın Seçilmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Nuri YURTGÜLÜ

İmza

Danışman

Doç. Dr. Ercan ŞENYİĞİT

İmza

Endüstri Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Lale ÖZBAKIR

İmza

TEŞEKKÜR

Bana çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan, yüksek lisans eğitimim boyunca her konuda bilgi ve desteğini veren, tezin tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen ve teşvik eden değerli danışman hocam Doç. Dr. Ercan ŞENYİĞİT'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hayatımın her anında sevgi ve desteklerini hep hissettiğim, her zaman yanımda olan kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Nuri YURTGÜLÜ

Şubat 2022, KAYSERİ

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİYLE EN İYİ TASARIMIN SEÇİLMESİ

Nuri YURTGÜLÜ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Şubat 2022

Danışman: Doç. Dr. Ercan ŞENYİĞİT

ÖZET

Mühendislik tasarımı, günümüzde oldukça rekabetçi olduğundan kalite oldukça önemli hale gelmiştir. Kaliteli mal ve hizmet üretemeyenler zaman içinde etkinliklerini kaybetmektedirler. Bunu önlemek için sağlam tasarım üzerine odaklanmak gerekmektedir. Tasarımda beklenmeyen sapmalar, süreçlerdeki değişkenliklerden kaynaklanmaktadır. Sağlam tasarımın amacı bu tarz durumları engellemektir. Böylece ürünün güvenilirliği ve kalitesi artırılabilir. Bu tez çalışmasında, sağlam tasarım ilkesini çok kriterli karar verme alanına entegre edecek bir yöntem üzerine odaklanılmıştır. Literatürde var olan Çok Amaçlı Performans Analizi (MOPA) yöntemi, değiştirilmiş ağırlık konsepti ile kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan uzman görüşlerindeki bilgi değişkenliğini azaltarak kriter ağırlıklarının bilgi kalitesini artırmaktadır. Böylece daha kaliteli ve sağlam kriter ağırlıklarına sahip olunmaktadır. Bu da kriter ağırlıklarını kullanarak en iyi alternatifin belirlenmesinde daha tutarlı sonuçlara götürmektedir. Ayrıca bu tez çalışmasında, MOPA yönteminde yapılan değişiklik ile değişkenliğin daha da azaltıldığı Değiştirilmiş Çok Amaçlı Performans Analizi (D-ÇAPA) yöntemi ilk kez sunulmuştur. Böylece değişkenlik azaltılarak daha kaliteli sonuçlar elde edilmiştir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinde veri kalitesi kavramına vurgu yapılmıştır. Bu kapsamda savunma sanayisinde kuplör merkezleme pimi, tank zırhı tasarımı ve tank palet tasarımı olmak üzere üç örnek uygulama gösterilmiştir. Her iki karar verme yönteminin sonuçlar üzerindeki etkileri, değişim katsayısı ve aralık katsayısı yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok kriterli karar verme, Değiştirilmiş kriter ağırlığı, Sağlam Tasarım, Bilgi kalitesi, MOPA.

SELECTING THE BEST DESIGN WITH MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHODS

Nuri YURTGÜLÜ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, February 2022

Supervisor: Doç. Dr. Ercan ŞENYİĞİT

ABSTRACT

Since engineering design is very competitive today, quality has become very important. Those who cannot produce quality goods and services lose their effectiveness over time. To avoid this, it is necessary to focus on robust design. Unexpected deviations in design are due to variability in processes. The purpose of robust design is to prevent such situations. Thus, the reliability and quality of the product can be increased. This thesis study focuses on a method that will integrate the robust design principle into the field of multi-criteria decision-making. The Multi-Objective Performance Analysis (MOPA) method, which is available in the literature, increases the information quality of the criterion weights by reducing the variability in the expert opinions used in the determination of criterion weights with the modified weight concept. Thus, higher quality and robust criterion weights are obtained. This leads to more consistent results in determining the best alternative using criterion weights. In addition, in this thesis, the Modified Multi-Objective Performance Analysis (D-CAPA) method, in which the variability is further reduced with the change made in the MOPA method, is presented for the first time. Thus, variability is reduced and better quality results are obtained. Emphasis is placed on the concept of data quality in multi-criteria decision-making methods. In this context, three exemplary applications are shown in the defense industry: coupler centering pin, tank armor design and tank pallet design. The effects of both decision making methods on the results were compared with the coefficient of variation and interval coefficient methods.

Keywords: Multi-criteria decision making, Modified criterion weight, Robust Design, Information quality, MOPA.

İÇİNDEKİLER

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİYLE EN İYİ TASARIMIN SEÇİLMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Problem Durumu	3
1.2. Araştırmanın Amacı ve Önemi.....	4
1.3. Malzeme Seçimi Literatür Araştırması	7
1.4. MOPA Literatür Araştırması	11

2. BÖLÜM

YÖNTEM ve MATERYAL

2.1. Çok Kriterli Karar Verme	13
2.1.1. Karar Vermede Temel Kavramlar	14
2.2. Tasarım	14
2.3. Yöntem	15

2.3.1. Çok Amaçlı Performans Analizi (MOPA)	15
2.3.1.1. MOPA Örnek Uygulama.....	19
2.3.2. Değiştirilmiş Çok Amaçlı Performans Analizi (D-ÇAPA)	22
2.3.2.1. D-ÇAPA Örnek Uygulama	23
2.3.3. Standart Sapma	26
2.3.4. Değişim Katsayısı (CV)	27
2.3.5. Dağılım Katsayısı.....	27

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Örnek Uygulamalar	29
3.1.1. Kuplör Merkezleme Pimi Tasarımı Uygulaması.....	29
3.1.2. Tank Zırhı Malzeme Seçimi Uygulaması.....	32
3.1.3. Tank Paleti Tasarımı Malzeme Seçimi Uygulaması.....	34
3.2. Örnek Uygulamaların Değerlendirilmesi	38

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ.....	53

KISALTMALAR

ÇKKV: Çok Kriterli Karar Verme

ÇAKV: Çok Amaçlı Karar Verme

ÇÖKV: Çok Özellikli Karar Verme

MOPA: Çok Amaçlı Performans Analizi (Multi Objective Performance Analysis)

D-ÇAPA: Değiştirilmiş Çok Amaçlı Performans Analizi

ARAS: Katkı Oranı Değerlendirme (Additive Ratio Assessment)

COPRAS: Karmaşık Oransal Değerlendirme (Complex Proportional Assessment)

MOORA: Oran Analizine Dayalı Çok Amaçlı Optimizasyon (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis)

MWP: Değiştirilmiş Ağırlık Performansı (Modified Weight Performance)

AMWP: Toplam Değiştirilmiş Ağırlık Performansı (Aggravate Modified Weight Performance)

BCR: Fayda Maliyet Oranı (Benefit Cost Ratio)

CV: Değişim Katsayısı (Coefficient of Variation)

QFD: Kalite Fonksiyon Dağılımı (Quality Function Deployment)

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Alternatiflere yönelik performans değerleri	20
Tablo 2.2. Performans değerlerinin normalizasyonu	20
Tablo 2.3. Değiştirilmiş ağırlıkların hesaplanması	21
Tablo 2.4. BCR hesabı ve sıralama	21
Tablo 2.5. Alternatiflere yönelik performans değerleri	24
Tablo 2.6. Performans değerlerinin normalizasyonu	25
Tablo 2.7. Değiştirilmiş ağırlık performansının hesaplanması	25
Tablo 2.8. BCR hesabı ve sıralama	26
Tablo 3.1. Kuplör merkezleme pimi tasarımı için karar matrisi	29
Tablo 3.2. Karar matrisinin normalizasyon matrisi	30
Tablo 3.3. Değiştirilmiş ağırlık performansının hesaplanması	30
Tablo 3.4. Fayda maliyet oranlarının belirlenerek alternatiflerin sıralanması	31
Tablo 3.5. CV değerlerinin karşılaştırılması	31
Tablo 3.6. Tank zırhı tasarımı için karar matrisi.....	32
Tablo 3.7. Karar matrisinin normalizasyon matrisi	33
Tablo 3.8. Değiştirilmiş ağırlık performansının hesaplanması	33
Tablo 3.9. Fayda maliyet oranlarının belirlenerek alternatiflerin sıralanması	34
Tablo 3.10. CV değerlerinin karşılaştırılması	34
Tablo 3.11. Tank paleti tasarımı için karar matrisi	35
Tablo 3.12. Karar matrisinin normalizasyon matrisi	36
Tablo 3.13. Değiştirilmiş ağırlık performansının hesaplanması	36
Tablo 3.14. Fayda maliyet oranlarının belirlenerek alternatiflerin sıralanması	37
Tablo 3.15. CV değerlerinin karşılaştırılması	37
Tablo 3.16. Örnekler göre yöntemlerden elde edilen değişim katsayısı değerleri	38
Tablo 3.17. Tren kuplör tasarımı malzeme seçimi alternatiflerin sıralanması.....	39
Tablo 3.18. Tank zırhı tasarımı malzeme seçimi alternatiflerin sıralanması	39
Tablo 3.19. Tren palet tasarımı malzeme seçimi alternatiflerin sıralanması	39
Tablo 3.20. Tren kuplör tasarımı aralık katsayısı analizi sonuçları	40
Tablo 3.21. Tank zırhı tasarımı aralık katsayısı analizi sonuçları.....	40
Tablo 3.22. Tank palet tasarımı aralık katsayısı analizi sonuçları	40
Tablo 3.23. Makaledeki örnekler üzerinde değişim katsayısının karşılaştırılması	41

Tablo 3.24. Tüm örneklerin değişim katsayılarının karşılaştırılması	42
---	----



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. MOPA yöntemi iş akışı.....	18
Şekil 3.1. Kuplör merkezleme pimi örneği kriter ağırlıklarının değişim grafiği	43
Şekil 3.2. Tank zırhı tasarımı örneği kriter ağırlıklarının değişim grafiği	44
Şekil 3.3. Tank palet tasarımı örneği kriter ağırlıklarının değişim grafiği.....	44



GİRİŞ

Karar verme, alternatiflerden en iyisini seçme, sıralama ve değerlendirme sürecidir. Kesin karar vermek, oldukça değişken rekabetçi pazarda hayatta kalmak için, bir organizasyonda başarıya ulaşmada anahtardır. Modern, karmaşık ve belirsiz endüstriyel ortamda doğru karar vermek çağdaş yöneticiler için zordur. Yöneticiler gereksinimlerini karşılamak için daima doğru bir karar destek yardımı ararlar. Bir karar verme yardımı temel olarak problemin doğasına, organizasyon tipine ve bu alanla ilgili insan uzmanlığının kalitesine bağlıdır [1].

Malzeme seçimi, bir üretim süreci veya ürünün optimal tasarımında en önemli kararlardan biridir. Uygun malzeme seçimi verimli bir üretim sistemi ve maliyet optimizasyonlu süreç mükemmelliği için temel bir rol oynar. Malzeme seçimi genellikle performansın iyileştirilmesi ve maliyetin azaltılması için yapılmaktadır. Fakat karar değişkenleri, özellikle malzeme seçiminin oldukça kritik öneme sahip olduğu havacılık sektöründe , uygun malzeme seçimi için yapılmaktadır. Ancak malzeme seçimi görevi, karar verme sürecinde karar vericilerin ve kriterlerin fazlaca çatışması nedeniyle bıkırtıcı olabilmektedir. Bu gibi durumlarda genellikle optimum sonuç elde edilmeye çalışılır.

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinde kriterlerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Genellikle, bir organizasyonda karar problemlerinin çeşitli yönlerindeki bilgi toplama sürecinde, uzmanlar pek çok nitel ve nicel gerçek durum değerlendirilmesiyle karşılaşır. Karar vericiler eskiden, uzmanlarının kendi alanlarıyla ilgili görüş ve uzmanlıklarına bağlı olarak kriterlerin ağırlıklarını belirlerdi. Genellikle değerlendirilen ağırlıklar, doğuştan göreceli hata içeren bir dizi değerler olarak ifade edilir. Doğuştan göreceli hata, özellikle öznel değerlendirmelerde sözel bir ifadeye sayısal bir puanlama yaparken o ifadeyi tam yansıtacak bir değer vermemekten kaynaklanır.

Dolayısıyla bir işe en başından hatalı olarak başlamaya sebep olur. Baş kısım hatalı olduğundan sonuç kısmı, yöntem ne kadar doğru olursa olsun yanlış çıkacaktır. Bu durumda karar verici için oldukça kötü bir durumdur. Karar vericinin bu durumun oluşmaması için dikkat etmesi gerekmektedir.

Araştırmanın amacı, literatürdeki çok kriterli karar verme yöntemlerinde karar verici uzmanlar tarafından kriter ağırlıklarının belirlenmesinde meydana gelen insani hataların etkilerini azaltacak çok kriterli karar verme yöntemi kullanmaktır. Kişinin öznel değerlendirmesinden kaynaklanan hatalar olarak ifade edilen insani hataların engellenmesi tutarlı sonuçlar elde etmek için gereklidir.

Bu tez çalışmasında birinci bölümde, problemin durumu, araştırmanın amacı ve önemi anlatıldı. Literatürde yapılan çalışmalara yer verildi.

İkinci bölümde, çok kriterli karar verme yöntemi olan MOPA yöntemi tüm adımlarıyla anlatılmıştır. Ayrıca çalışmada önerilen D-ÇAPA yöntemindeki işlem adımı değişikliğinden bahsedilerek Değiştirilmiş Çok Amaçlı Performans Analizi (D-ÇAPA) yöntemi sunulmuştur. Sonuçların analizinde ve karşılaştırılmasında kullandığımız değişim katsayısı, aralık katsayısı ve standart sapma bu bölümde anlatıldı.

Üçüncü bölümde savunma sanayisinde yapılmış üç farklı çalışma kullanılarak D-ÇAPA yöntemi ile en iyi malzemenin seçimi bulunmuştur. Her bir yöntem için değişim katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Değişim katsayısı üzerinden, kriter ağırlıklarının bulunmasında kullanılan bilgidaki değişkenliğin azaldığını göstermek için MOPA yöntemi ile karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca farklı yöntemler ile karşılaştırma yapmak için ÇKKV yöntemlerinden ARAS, COPRAS ve MOORA yöntemleri seçilmiştir. Bu yöntemlerden ARAS VE COPRAS yöntemleri, MOPA yönteminin makalesinde karşılaştırma olarak kullanılmadığından bu çalışmada seçilmiştir. Bu üç ÇKKV yöntemi uygulanarak yöntemler arasındaki değişkenliğin karşılaştırılması yapılmıştır. Değişkenliğin başka bir ölçüsü olarak aralık katsayısı hesaplaması her üç örnek için de uygulanarak değişim incelendi. Son olarak MOPA makalesindeki örneklerden üç tanesi seçilerek D-ÇAPA yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

Dördüncü bölümde yapılan çalışmanın özeti ve sonuçlardan bahsedilmiştir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Problem Durumu

Üretim çağı başladığından beri malzemeler, istenilen ürünü elde etmek için kurulan üretim sistemlerinin maliyetinde önemli bir rol oynar. Malzeme seçimi, bir fiziksel ürün tasarım sürecinde gerekli bir adımdır ve üretim süreciyle ilişkilidir. Metodolojide ve etkili malzeme seçimi yaklaşımında en iyi malzeme, üreticinin amaçlarını başarmaya yönelik potansiyellerine dayanır.

Uygun olmayan malzeme seçimi sıklıkla büyük maliyetlere sebep olur ve organizasyonu ürün hatalarına doğru sürükler. Bu yüzden tasarımcılar en az maliyetli ve uygulanabilirliği olan ürün elde etmek için belirli malzeme özelliklerini belirlemelidir. Fakat üretim senaryosunda, belirli bir ürün için malzeme seçimi sıkıcı ve zaman alıcıdır. Çünkü, nihai kararı vermeden önce dikkatle incelenmesi gereken sertlik, tokluk, esneklik ve maliyet gibi çok sayıda faktör vardır. Herhangi bir uygulamada, en önemli gereklilik malzemenin gücü olabilir fakat çalışma ortamı ve fonksiyonel performansı diğer faktörlerle birlikte eş zamanlı olarak değerlendirilmek zorundadır. En uygun malzeme seçimi için mekanik, termal, elektrik ve fiziksel özellikleri maliyet, işletme çevresi, üretim süreci, piyasa değeri, tedarik durumu ve ürün performansları dikkate alınmalıdır. Mekanik tasarımlar için malzemenin mekanik özellikleri en önemli özellikler olarak verilmiştir. Malzeme seçimi problemlerinde en sık karşılaşılan en önemli malzeme özellikleri mukavemet, sertlik, tokluk, katılık, yoğunluk ve sürünme direncidir. Malzeme seçimin temel prensibi, uygulama gereksinimlerini dikkatlice belirlemektir. Sonra öncelikli kriter seçimlerini belirlemek ve en sonunda alternatif malzeme seçimlerini zıt kriterlerin birleşim ve eleme yöntemleriyle sınırlamaktır [2-4].

Ürün tasarımında, üretim ve pazarlama malzemesi seçimi büyük öneme sahiptir. Ancak bu görev sıkıcı ve düşündürücüdür. Bu duruma, alternatiflerin karar kriterleri arasındaki karmaşık ilişkilerden kaynaklanmaktadır. Tasarımda uygun olmayan malzeme seçimi, müşteride ve üreticide memnuniyetsizliğe sebep olabilir. Ayrıca üretim performansının azalmasına ve montaj hatalarına neden olabilir. Böylece verimlilik ve karlılık olumsuz etkilenir ve organizasyon itibarı zarar görür [5-6].

Bu yüzden malzeme seçimi, mantıksal ve sistematik malzeme seçiminden oluşan çok kriterli karar verme problemi olarak düşünülmelidir. Ana görev uygun alternatif malzemelerinin özelliklerini karşılaştırmaya ve bunlardan en iyisini seçmeye dayanır. Fakat bir mühendislik uygulamasında malzeme seçimi yaparken, tasarımcılar genellikle deneme yanılma yolunu kullanmakta veya herhangi bir örnekte yanlış olabilecek bilgi ve bakış açılarını kullanmaktadır. Bu yüzden malzeme seçimi için, bazı güçlü matematiksel temellere dayanan etkili ve organize edilmiş bir yaklaşımla tasarım ve üretim amaçlarını bütünleştirmesini sağlaması için gereklidir. Bunun için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerini malzeme seçiminde kullanmak gerekmektedir. Malzemenin veri sayfaları, nihai malzeme seçimi için asla doğrudan kullanılmamalıdır. Çünkü malzemenin gerçek performansı, bazı koşullar altında beklentilere göre farklılıklar gösterebilir.

1.2. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Endüstriyel ortamda yöneticiler, stratejik kararlar verirken her zaman doğru bir karar destek yardımı ararlar. Bu ihtiyaçtan çok kriterli karar verme yöntemleri doğmuştur. Ancak bu yöntemler uygulanırken kriter ağırlıklarını doğru belirlemek çok önemlidir. Genellikle kriter ağırlıklandırmada uzmanın ya da uzmanların konuyla ilgili kendi görüşleri ile ikili karşılaştırmalar yapılarak kriter ağırlıkları belirlenmektedir. Eğer birden fazla uzmanın değerlendirilmesi ile oluşturulmuş ise daha karışık ve birbirleriyle çelişen durumlar ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla kriterleri doğru bir şekilde değerlendirmek zor bir iştir.

Literatürde çok sayıda çok kriterli karar verme tekniği bulunmaktadır. Fakat bu yöntemler, uzmanların değerlendirdikleri ağırlıkların olası hatalarını ihmal etmektedir. Olası hatalar öznel değerlendirme de kriterlerin yanlış değerlendirilebilme durumudur ve kaçınılmazdır. Azaltılması gerekmektedir. Bundan dolayı bu hatayı büyük ölçüde

azaltacak bir metodolojiye ihtiyaç vardır [1]. Bu açığı hafifletmek için yeni karar verme yaklaşımı Çok Amaçlı Performans Analizi (MOPA) önerilmiştir.

Ayrıca, literatürdeki çok kriterli karar verme yöntemlerinden birçoğu kriter ağırlıklarının olmasına bağımlıdır. Kriter ağırlıklarını belirlemek, ÇKKV yöntemlerinin birçoğunda hala problemdir. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Analitik Ağ Süreci (ANP), ENTROPI gibi yöntemler kriter ağırlıklarını belirlemek için kullanılmaktadır. Klasik yöntemlere ilaveten son yıllarda bulunan Katkı Oranı Değerlendirme (ARAS), Karmaşık Oransal Değerlendirme (COPRAS), Ortalama Çözüm Uzaklığına Dayalı Değerlendirme EDAS, Çok Nitelikli Sınır Yakınlaştırma Alanı Karşılaştırması (MABAC), Operasyonel Rekabet Değerlendirmesi (OCRA), Ağırlıklandırılmış Bütünleşik Toplam Çarpım Değerlendirmesi (WASPAS) gibi yöntemler de kriter ağırlıklarının olmadığı durumlarda hesaplama yapamayarak alternatifleri sıralayamamaktadır. MOPA yöntemi ise kriter ağırlıklarına bağımlı değildir. Kriter ağırlıklarının olmadığı durumlarda da alternatifleri başarılı bir şekilde sıralayabilmektedir. Bu özelliği ile diğer çok kriterli karar verme yöntemlerine göre avantaja sahiptir.

Kriter ağırlıkları nihai sonuca doğrudan etki etmektedir. Dolayısıyla doğru belirlenmesi oldukça önemlidir. Yukarıda bahsedildiği gibi kriter ağırlıkları değerlendirme aşamasında hata payı içermektedir. Bu hata paylarını azaltmak gerekmektedir. Bunun için kriter ağırlıklarının değiştirilmesi lazımdır. Bu noktada literatürde herhangi bir yöntem bulunmamaktadır. MOPA yöntemi ise değiştirilmiş ağırlık konsepti önermektedir. Bu konseptte kriter ağırlıkları eşitlik yardımıyla birbirlerine yaklaştırılmaktadır. Bu sayede bilgideki değişkenlik azalmakta ve tutarlılık artmaktadır. Böylece daha güçlü bir yöntem elde edilmektedir.

Mühendislik ortamı son derece rekabetçi hale geldiğinden kalite oldukça önemli hale gelmiştir. Bir tasarımcının başlangıçta amaçladığı işlevden beklenmeyen sapmalar, mühendislik süreçlerindeki varyasyonlardan kaynaklanır. Sağlam tasarım bu tür olayları önlemektir. Sağlam tasarım, mühendislikte ürün kalitesini ve güvenilirliğini artırmak için geliştirilmiştir. Sağlam tasarımın öncüsü olan Taguchi, sağlam tasarımı “teknolojinin, ürünün veya süreç performansının değişkenliğe minimum düzeyde duyarlı olduğu durumdur” olarak tanımlamıştır [7]. Dolayısıyla sağlam tasarım, değişkenlikten minimum düzeyde etkilenen, her zaman aynı performansı sunmaya çalışan bir tasarımıdır.

MOPA yöntemi de bu tasarımla benzerlik göstermektedir. Bilgideki değişkenliği azaltarak kriter ağırlıklarını belirlerken meydana gelebilecek hataların etkilerinin minimuma çekmeyi sağlıyor. Böylece sağlam bir ÇKKV yöntemi hedeflemektedir. Değişkenliğin azalması kaliteyi arttırmış olduğundan dolayı önemlidir. Özellikle ÇKKV yöntemlerinde kalite vurgusuna fazla rastlanılmamaktadır. MOPA yönteminin sağladığı değişkenliğin azalması aslında kriter ağırlıklarındaki bilginin değişkenliğini azaltmaktadır. Bu da doğrudan kaliteyi artırmaktadır. Bu sayede daha kaliteli ağırlıklar elde ederek daha tutarlı sonuçlar sağlamaktadır. Bu da MOPA yönteminin sağladığı güzel bir özelliktir.

Fakat MOPA yönteminin sunulduğu makalede soru işaretli bir durum bulunmaktadır. MOPA yöntemi yukarıda bahsedildiği gibi değiştirilmiş ağırlık konsepti kullanmaktadır. Bunun için bir formülasyon kullanmaktadır. Fakat bu formülasyonun ispatı ve nereden geldiğine dair açıklama bulunmamaktadır. Burada bir açık olabilir. Yaptıkları çalışmada bir eksiklik olarak göze çarpmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında tezin amacı ve önemi için yukarıda bahsedilen durumları özetlemek gerekirse ;

- Literatürde kriter ağırlıklarını belirlerken yapılan yanlış değerlendirme hatalarının sonuca etkisini azaltacak yöntem bulunmamaktadır. MOPA yöntemi değiştirilmiş ağırlık konsepti ile bilgideki değişkenliği büyük ölçüde azaltarak kaliteyi artırmaktadır. Böylece karar vericiler için güçlü ve elde edilen sonuçları tutarlı bir karar verme yöntemi elde edilmektedir. Bu durum günümüz iş dünyasında oldukça önem arz etmektedir. MOPA yöntemi bu yönüyle literatürde hem bir eksikliği gidermekte hem de değiştirilmiş ağırlık konsepti ile bilgideki değişkenliği azaltmada önemli bir yere sahiptir.
- Literatürde ARAS, COPRAS, BWM gibi çoğu ÇKKV yöntemi kriter ağırlıklarının olmasına bağımlıdır. MOPA yöntemi kriter ağırlıkları olmaksızın da çalışmaktadır. Bu yönüyle diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinden ayrılmaktadır.
- Tez çalışması kapsamında orijinal makalede iki farklı eşitlik olduğu fark edildi ve diğer formülasyon kullanılarak Değiştirilmiş Çok Amaçlı Performans Analizi (D-

ÇAPA) yöntemi önerildi ve orijinal MOPA yönteminden daha iyi sonuç verip vermeyeceği araştırıldı.

- D-ÇAPA yönteminin sağladığı iyileşmeyi daha objektif göstermek için orijinal MOPA makalesindeki örneklerin aynısı kullanılarak sonuçların daha net bir şekilde karşılaştırılması hedeflendi.
- MOPA yönteminin sağladığı avantajların vurgulanarak literatürde daha fazla çalışma yapılması için farkındalık oluşturulması hedeflendi.
- Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan bilgideki değişkenliğin azaltılarak kalitenin artırılması vurgulandı.
- MOPA yönteminin orijinal makalesindeki belirsizlikler vurgulandı.
- Mühendislik tasarımında malzeme seçiminin büyük önem arz ettiğine ve malzeme seçimi problemlerinin ÇKKV yöntemleri ile çözülmesi vurgulandı.

1.3. Malzeme Seçimi Literatür Araştırması

Qian ve Zhao [8] mikro elektromekanik sistem tasarımı problemi için en uygun malzeme seçiminde “performans indeksi” konseptini kullandı. Seçilen konsept gereksinimlerin benzersiz performanslarını ayarlamaya dayalıydı. Birkaç tipik algılama ve çalıştırma yapısı için malzemelerin geniş bir aralıkta karşılaştırılmasına ve belirli bir görev için adayların hızlı bir şekilde tanımlanmasına izin vermek için bir dizi performans indeksi verilmiştir.

Milani, Shanian, Madoliat ve Nemes [9] güç aktarım dışlisi malzeme seçim problemini çözerken TOPSIS yönteminde farklı kriter dönüşüm tekniklerini kullandı. Ayrıca çözüm algoritmasına farklı normların eklenmesiyle normalleştirmenin MADM modelleri kullanarak malzeme seçimine etkisini incelemiştir.

Shanian ve Savadogo [10] seri üretimde üretilen ısıtma işlem görmeyen silindirik kapak malzemesi seçimi için temel geçiş yaklaşımı ELECTRE kullandı ve sonuçları Cambridge Mühendislik Selektör’ünde verilerle doğruladı. Yöntemin diğer malzeme seçimi problemlerine uygulanmasını kolaylaştırmak için bir bilgisayar programı olan Mathematica geliştirdi.

Thakker, Jarvis, Buggy ve Sahed [11] enerji çıkarma itme tribünü malzemesinin optimum dalga seçimi için değer mühendisliği tekniği ve TOPSIS yöntemi ile adapte edilmiş

Cambridge Malzeme Selektörü tabanlı yeni bir yaklaşım önerdi. Bu yaklaşımın kullanılması, kullanıcının her bir ayrı yöntemin gücünü birleştirmesine ve malzeme seçim sürecinin kolaylaştırmasına olanak tanıdı.

Sharif Ullah ve Harib [12] çalışma koşulları ve tasarımla ilgili bilgilerin kesin olarak bilinmediği tasarım konfigürasyonlarının malzeme seçimi problemlerini çözmek için zeki bir yöntem sundu. Yöntemi uygulamak için bir hesaplama aracı geliştirildi. Malzeme indeksine dayalı seçim yöntemi gibi malzemeye ilgili malzeme özellik çizelgelerini kullandı.

Prasad ve Chakraborty [13] bir ürün için teknik gereksinimlerle birlikte müşterinin sesini entegre ederken kalite fonksiyon dağılımı (QFD) kullanarak bazı malzeme seçim problemlerini çözdüler. Bu QFD tabanlı malzeme seçim modelinin uygulanabilirliği ve çözüm doğruluğu, dört açıklayıcı örnek yardımıyla gösterilmiştir. Malzeme seçimi karar verme sürecini kolaylaştırmak için Visual BASIC 6.0'da kullanıcı dostu bir yazılım prototipi de geliştirildi.

Rao ve Davim [14] mühendislik tasarımı için TOPSIS ve AHP kombinasyonundan akıllı bir malzeme seçimi sistemi kullandı ve tasarımcılara alternatif malzemeleri değerlendirmelerinde ve derecelendirmelerinde yardımcı olmak için “malzeme seçim indeksi” önerdi. Yaklaşımı göstermek için iki örnek eklendi.

Jahan, Ismail ve Sapuan [15] çeşitli mühendislik uygulamalarında malzeme seçim problemlerini geliştirmek için farklı nicel prosedürleri gözden geçirdi. Çalışmada malzeme seçiminin literatüre katkısından, malzeme seçiminde kullanılan yöntem ve yaklaşımlardan bahsedilerek araştırmacılara malzeme seçim metodolojisini geliştirme potansiyeli gösterildi.

Jahan, Mustapha, Ismail, Sapuan ve Bahraminasab [16] kriter hedef değerlerine dayalı yeni bir normalizasyon tekniği ile VIKOR yönteminin yeni bir versiyonunu önerdi ve malzeme seçimi problemleri için uzlaşma algoritması önerdi. VIKOR'un önerilen kapsamlı versiyonu, daha basit bir yaklaşımla geleneksel VIKOR'un ana hatasının da üstesinden geliyor. Önerilen yöntem, özellikle implant malzemelerinin insan dokularına benzer özelliklere sahip olması gereken biyomedikal uygulamalarda, farklı

uygulamalarda malzeme seçimi sonuçlarının kesinliğini artırabilir. Çalışmada önerilen yöntemi açıklamak ve doğrulamak için beş örnek anlatıldı.

Chatterjee, Athawale ve Chakraborty [17] COPRAS ve EVAMIX yöntemlerini kullanarak malzeme seçim problemi çözümü önerdi. Bu iki yöntemde alternatif malzemelerin sıralanmasında kullanıldı. Bu iki ÇKKV yönteminin gerçek zamanlı malzeme seçimi problemlerini çözmek için etkin bir şekilde uygulanabileceğini kanıtlayan iki açıklayıcı örnek verildi. Her örnekte, en iyiden en kötü uygun malzemelere doğru tüm olası seçimlerin bir listesi elde edildi.

Maity, Chatterjee ve Chakraborty [18] 19 kesici takım malzemesinin kapsamlı listesini ele aldı ve seçilen 10 kritere göre performanslarını değerlendirdi. Daha sonra karar matrisindeki gri verileri dikkate alarak bu kesici takım malzeme seçim problemini çözmek için gri karmaşık orantısal değerlendirme (COPRAS-G) yöntemi uygulandı. Sentetik tek kristal ve polikristal pırlantalar en iyi iki seçenek olarak bulundu.

Girubha ve Vinodh [19] elektrikli araç gösterge paneli malzeme seçimi için belirsiz ortamda VIKOR yöntemi kullandı. Bulanık VIKOR yöntemine ek olarak, dört malzeme için çevresel etkiler de dikkate alındı ve karşılaştırıldı. Her iki değerlendirmede de elde edilen sonuçlar, Polipropilenin gösterge paneli için alternatif bir malzeme olabileceğini gösterdi.

Sapuan [20], polimerik esaslı kompozit malzeme seçimi için bilgi tabanlı bir sistem geliştirdi. Sistemin malzeme seçiminde kullanımı ve polimerik esaslı kompozit alanındaki uygulama, tipik örnekler olarak seçildi.

Maity ve Chakraborty [21] dalga enerjisi çıkarma itme tribün kanat ve rüzgâr enerjisi için en uygun malzeme seçmek için bulanık ANP tabanlı yöntem uyguladı. Bulanık ANP yönteminin uygulanabilirliği, endüstriyel karar verme problemlerini çözmek için uyarlanabilirliğini kanıtlamak için iki örnekle gösterildi.

Jahan, Mustapha, Sapuan, Ismail ve Bahraminasab [22] malzemenin seçilen özelliklerinin göreceli önem derecelerini belirlemede tasarımcılara rehber etmesi için açık ve mantıklı

bir prosedür önerdi. Önerilen prosedür farklı malzeme seçim özellikleri arasında öznel, nesnel ve karşılıklı bağımlılığı kapsamıştır.

Karande, Gouri ve Chakraborty [23] ayrık üretim ortamlarında 4 tane malzeme seçim problemi için fayda konsepti ve arzu edilebilirlik fonksiyonu kullandılar. Bu iki yöntem, tatmin edici sonuçlara ulaşmak için düşünülen malzeme alternatiflerinin kalite karakteristik değerlerine dayanmaktadır. Bu iki yöntemle elde edilen alternatiflerin sıralamaları ile geçmiş araştırmacılar tarafından elde edilenler arasında neredeyse yakın bir eşleşme, malzeme seçimi problemlerini çözmek için bu iki yaklaşımın uygunluğunu doğrulamaktadır.

Rai, Jha, Chatterjee ve Chakraborty [24] üretim ortamında malzeme seçim problemlerini çözmede bir araç olarak pişmanlık teorisi perspektifinde uzlaşmalı bir sıralama yöntemi önerdi. En iyiden en kötüye doğru tüm olası malzemelerin tam listesi, farklı malzeme seçim özellikleri dikkate alınarak elde edildi. Önerilen yöntemin sıralama performansı, orijinal uzlaşma sıralama yönteminin performansı ile karşılaştırıldı.

Chakraborty ve Chatterjee [25] 5 malzeme seçim problemini ele aldı ve alternatif malzemelerin nihai sıralamaları üzerinde kriter sayısının etkisini göstermek için VIKOR, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerini kullandı. Bu çalışma en uygun malzemelerin seçimleri yalnızca en yüksek öncelik değerine sahip kritere bağlı olduğunu gösterdi. Ayrıca bu üç yöntem arasında VIKOR yönteminin sıralama performansı en iyisiydi.

Chauhan ve Vaish [26] çeşitli ÇKKV yöntemlerini sert kaplama malzemesi seçimi için uyguladı. Malzeme seçim grafikleri sert kaplama malzemesinin alternatiflerini seçmek için kullanılırken TOPSIS yöntemi alternatif malzemelerin sıralamasında kullanıldı. Hiyerarşik kümeleme yöntemi ise sert kaplama malzemelerini sınıflandırmak için kullanıldı.

Moradian, Modanloo ve Aghaie [27], bir fren sisteminde fren güçlendirici valf gövdesinde en iyi malzeme seçimi için AHP yöntemini MOORA, TOPSIS ve VIKOR yöntemi ile birlikte kullandılar. Karar kriterleri olarak çekme mukavemeti, sıcaklık sapması, yoğunluk ve maliyet kullanıldı.

Soni, Gautam ve Dwivedi [28], otomotiv uygulamasına uygun bir alüminyum alaşımı seçimi için TOPSIS, COPRAS, MOORA, ELECTRE ve SAW yöntemlerini kullandılar. Yoğunluk, ısı iletkenlik ve sertlik gibi faktörleri kriter olarak kullandılar.

Zhao, Su, Chen ve Yu [29], sürdürülebilir tasarım bağlamında plastik boru malzeme seçimi için AHP ve GRA yöntemlerini kullandılar. Poli , polipropilen ve polietilen olmak üzere üç alternatif ve ekonomik, çevre ve sosyal performans olmak üzere üç karar kriteri kullandılar. GRA yaklaşımının kullanımı yazarlara göre TOPSIS ve VIKOR yöntemleri gibi oldukça tatminkar sonuçlar elde etti.

Şenyiğit ve Demirel [30], diş implantı için en uygun malzemeyi belirlemeyi amaçladılar. Bu kapsamda ENTROPI temelli SAW ve AHP yöntemlerini kullandılar. Amaca ulaşmak için Young modülü, akma dayanımı ve sertlik olmak üzere üç kriter ve krom kobalt, nikel, nikel titanyum, titanyum ve paslanmaz çelik olmak üzere beş farklı alternatif kullandılar. Çalışma sonucunda krom kobalt malzemesi diş implantı için en iyi malzeme seçildi.

Şenyiğit ve Demirel [31], meşrubat paketleme en iyi malzeme seçimi probleminde 17 tane alternatif malzeme ve CO2 geçirgenliği, çekme dayanımı, basınç dayanımı, Young modülü, yoğunluk, fiyat ve optik özellikler olmak üzere yedi farklı kriter kullandılar. Paketleme için tavsiye edilebilir malzemeyi alüminyum olarak buldular.

Şenyiğit ve Demirel [32], parlama önlem sistemi için BWM temelli SAW yöntemini AHP, SAW, TOPSIS ve ELECTRE yöntemleri ile birlikte kullandılar. Maliyet, çekme mukavemeti, erime noktası, ısı iletkenlik, yoğunluk ve ısı ıl genleşme olmak üzere 6 farklı kriter ve titanyum diborid, alümina 95, krom, silisyum karbür, karbon fiber ve paslanmaz çelik olmak üzere 6 farklı malzeme alternatifi kullandılar. AHP, SAW ve BWSAW yöntemlerinde en iyi malzeme karbon fiber bulunurken ELECTRE ve TOPSIS yöntemlerinde paslanmaz çelik en iyi malzeme olarak bulundu.

1.4. MOPA Literatür Araştırması

Dey, A. Bairagi, B. Sarkar, C. ve Sanyal, D. [1], MOPA yöntemini literatüre sundular ve 6 farklı karar verme probleminde uyguladılar. Diğer çok kriterli karar verme yöntemleriyle kıyasladıklarında kriter ağırlıklarındaki değişim katsayısını, MOPA

yönteminin oldukça düşürdüğü gözlemler. Böylece literatüre çok kriterli karar vermede bilgi kalitesini artırma yaklaşımını getirdiler.

Zanjirani, Zolfani ve Prentkovskis [33], 2019 yılında sabit tedarikçi seçimi için yalın, atık, esnek ve yeşil bir model tasarladı. Alternatiflerin önem dereceleri MOPA yöntemi ile belirlendi. Tedarikçilerin teknik özelliklerinin önem dereceleri kalite evi matrisi ile belirlendi ve teknik özelliklerin her biriyle hedef değerin sapmasının performans derecesini belirlemek için Taguchi kayıp fonksiyonu kullanıldı. Tedarikçiler kayıp fonksiyonu analizine göre sıralandı.

Şenyiğit ve Ünal [34], en iyi RFID sisteminin belirlenmesi için yeni bir karar verme yöntemi önerdiler. Yöntemde kriter ağırlıklarını Best-Worst yöntemi ile bulurken alternatiflerin sıralanması MOPA yöntemi ile yapıldı. Çalışma kapsamında 4 farklı alternatif RFID sistemi tedarikçi seçim kriteri, RFID teknolojisi seçim kriteri, toplam maliyet kriteri, zorunlu ihtiyaçlar kriteri ve hedeflenen kazanç kriteri olmak üzere beş kriter ile değerlendirildi.

Şenyiğit, E., Yurtgülü, N., Demirel, E., Gökkuş, Ö. [35], askeri amaçlı trenlerde kuplör merkezleme pimi tasarımında en iyi malzemenin seçimi için . SWARA, BEST WORST, CRITIC, DEMATEL, AHP ve ENTROPI olmak üzere 6 farklı ağırlıklandırma yöntemiyle MOPA yöntemini uygulayarak en iyi malzemenin seçimini yaptı. Ayrıca SWARA ile CRITIC yöntemleri ve BEST WORST ile AHP yöntemlerinin benzer ağırlıkları hesapladıkları görüldü.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Çok Kriterli Karar Verme

Günümüzde yaşanan hızlı değişimler karar verme süreçlerindeki belirsizlikleri arttırmaktadır. Bu durum da karar vermeyi zor ve stratejik bir konuma getirmiştir. Gerekli verilerin doğru ve zamanında toplanması yeterli olmadığı için bu verilerin bilimsel yöntemler yardımıyla uygun bir karar verme yöntemiyle analizinin yapılması gerekmektedir [36].

Genel olarak karar verme süreci üç adımdan oluşmaktadır. İlk adım, karar vericinin problemin detaylarını, karar değişkenlerini, alternatifleri ve problemin çözümü için gerekli parametrelerini belirlemesidir. İkinci adımda ilk adımda topladığı veriler ışığında alternatiflerin yerleştirilmesidir. Son adımda kararın istenen sonuca uygun olup olmadığına bakmaktır [37].

Geleneksel yöntemlerin kullanılması gerçekçi bir çözüm sağlamadığından dolayı ÇKKV yöntemleri günümüzde birçok çalışmada kendisine yer bulmuştur. ÇKKV, yöneylem araştırmasının ve yönetim biliminin bir alt seviyesi olmasına rağmen birden fazla kriterin değerlendirmesini ve alternatiflerin seçimini içermektedir [38].

ÇKKV problemleri iki kategoride listelenir; Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) ve Çok Özellikli Karar Verme (ÇÖKV). ÇAKV yöntemleri matematiksel sınırlar tarafından belirlenen sınırsız alternatifler içeren problemler için kullanılır. ÇÖKV yöntemler ise önceden belirlenmiş alternatifler içinden bir alternatif seçmek için kullanılır [39].

2.1.1. Karar Vermede Temel Kavramlar

Çok kriterli karar verme yöntemleri çok sayıda çeşitlilik içerse de karar verme problemlerinin modellenmesinde yaygın olarak aşağıdaki kavramlar kullanılmaktadır. [40]

Kriter: Değerlendirme yapmak için esas ve faaliyetin ölçüsüdür. Problem yapısının içinde bir özellik ve amaç biçiminde görülür. Kriterler, kararları yönlendiren ölçümler, kurallar ve standartlar olarak tanımlanabilir.

Hedef: Hedefler tam olarak karar vericinin talepleri ve ihtiyaçları olarak tanımlanabilir. Özelliklerinden birinin özel değerini veya önceliğini temsil eder. Hedefler istenen başarı düzeyi olarak da ifade edilebilir.

Amaçlar: Nitelikler belirlendikten sonra ölçülür ve tanımlanır. Karar verici maksimizasyonun ve minimizasyonun hangi niteliklere sahip olması gerektiğine karar verir.

Öncelikler ve Ağırlıklar: Ağırlıklar, hedeflerin önemine dayanarak sayısal ve hiyerarşik şekilde listelenmesidir. Öncelikler ise hedeflerin sayısal ve hiyerarşik olarak listelenmesidir.

2.2. Tasarım

Mühendislik tasarımı, malzemeleri şekillendirmek, birleştirmek ve bitirmek için binlerce malzeme ve yüzlerce süreçten yararlanır. Bir ürün veya sistemin optimize edilmiş tasarımının konusu, performansını en üst seviyeye çıkarmak ve maliyetini en aza indirmektir. En uygun malzemenin seçimi, yalnızca üretim sistemlerinin kapasitesini ve müşteri memnuniyetini etkilemekle kalmaz aynı zamanda çevresel konuları da etkiler. Ayrıca malzeme seçimi, proses seçimi ve makine seçimi gibi farklı mühendislik seçim problemlerinden oluşan bir zincir için ön koşuldur. Günümüzde her biri kendi özelliklerine, uygulamalarına, avantajlarına ve sınırlarına sahip olan ve giderek artan bir malzeme çeşitliliği vardır. Fakat ilgili tüm özellikleri sağlayan hiçbir malzeme yoktur. Örneğin, bazı malzemeler maliyetle ilgili kriterleri karşılayacak kadar iyidir ancak bazıları mekanik kriterler açısından o kadar iyi değildir, bazıları ise bir dizi termal kriteri karşılamak için iyidir ancak maliyet açısından uygun değildir. Dolayısıyla tasarımcılara

sunulan çok sayıda malzeme ve farklı seçim parametreleri arasındaki karmaşık ilişkiler, malzeme seçimini zor bir hale getirmektedir. Tasarımcıların deneyimleri, deneme yanılma yöntemleri gibi geleneksel malzeme seçim yöntemleri, genellikle daha önce benzer durumlarda kullanılmış malzemeler arasından seçimle yapılır. Bu genellikle tutucu bir seçime yol açar ve değiştirilmiş duruma uygun olabilecek yeni geliştirilmiş malzemeleri de gözden kaçırabilir [41].

2.3. Yöntem

2.3.1. Çok Amaçlı Performans Analizi (MOPA)

MOPA, 2016 yılında Dey, A. Bairagi, B. Sarkar, C. ve Sanyal, D. tarafından yayınlanan bir makalede literatüre girmiştir. MOPA, bir karar destek sisteminde en iyi alternatifin seçimi için birçok uzmanla ve çeşitli kriterlerle uğraşır. Bu yüzden MOPA çok kriterli karar verme tekniği olarak görülebilir.

Yöntemin işlem adımları aşağıdaki gibidir [1] ;

Adım 1: Komisyonun Oluşturulması; karar vericilerden (D1, D2, ...) bir komisyon oluşturmaktır. Karar vericiler, karar alternatiflerinden başlangıç olarak seçer (A1, A2,...). Alternatifleri seçilen kriterlere göre değerlendirir. Tüm seçilmiş kriterler içinde fayda kriteri sayısı “g”, maliyet kriteri sayısı (n-g)’ dir.

Adım 2: Karar Matrisinin Oluşturulması: Karar verici her bir kritere göre tüm alternatiflere bir puan verir. Bu puanlara “performans puanları “denir. Nesnel kriterler altında performans oranları özel değerlerle ifade edilirken, öznel kriterler altında belirsizlikten dolayı dilsel değerlerle ifade edilir.

Adım 3: Ağırlık Matrisinin Oluşturulması: Her karar verici tecrübelerine göre her kriter için farklı önem ağırlıkları atar. Kriterin bu önem ağırlıkları dilsel değerlerle verilir. Dilsel değerler daha sonra üçgensel sayılara dönüştürülür. Üçgensel sayılar 1’den n’ye kadar olan sayıların toplamıdır.

Adım 4: Durulaştırılmış Ortalama Ağırlıkların Bulunması: Bu yöntemde belirsiz sayı, bir durulaştırma tekniği ile net sayılara dönüştürülür. Burada basitlik ve kolay kullanımından

dolayı çeşitli teknikler kullanılarak yapılır. Çok üyeli karar verme komisyonu her kriter için aşağıdaki formülü kullanarak her kriterin durulaştırılmış ortalama ağırlığını bulur;

$$w_j = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p w_{jk} = \frac{1}{3p} \sum_{k=1}^p (a_{jk} + \beta_{jk} + \gamma_{jk}) \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Adım 5: Ağırlıkların Normalizasyonu: Durulaştırılmış ortalama ağırlık, her kriter kıyaslanabilsin diye ağırlık önem toplamını 1'e eşit yapmak için normalize edilir.

$$w_j^N = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad j=1, 2, n \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Adım 6: Ağırlıkların Değiştirilmesi: Kriterin ağırlıklarını karar vericinin doğuştan hatalarıyla ilgili geçmiş tecrübe, fikir veya tercihlerinin değerlendirilmesidir. Amaç kullanılan ağırlıkların hatalarını minimize etmek. Eşitlik (3) kullanılarak hesaplanır.

$$w_j^M = (1 - w_j^N)^{-w_j^N} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Adım 7: Alternatiflerin Durulaştırılmış Ortalama Oranının Öznel Kritere Göre Değerlendirilmesi: Eşitlik (4) kullanılarak hesaplanır.

$$x_{ij} = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p x_{ijk} = \frac{1}{3p} \sum_{k=1}^p (a_{ijk} + \beta_{ijk} + \gamma_{ijk}) \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Adım 8: Alternatiflerin Ortalama Oranını Nesnel Kritere Göre Değerlendirilmesi: Eşitlik (5) kullanılarak hesaplanır.

$$x_{ij} = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p x_{(ijk)} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

Adım 9: Oranın Normalizasyonu: Hem nesnel hem öznel kritere göre her alternatifin oranının normalizasyonu Eşitlik (6) kullanılarak hesaplanır.

$$x_{ij}^N = \frac{w_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Adım 10: Değiştirilmiş Ağırlık Performansının Hesaplanması: Her bir fayda ve maliyet kriterine göre alternatiflerin değerlendirilmesi için önerilir. Değiştirilmiş ağırlık değeri fayda ve maliyet ölçümünü veren değiştirilmiş ağırlık performansını elde etmek için normalize edilen performans oranıyla çarpılır. Eşitlik (7) ve Eşitlik (8) kullanılarak hesaplanır.

$$MWP_{ij}^B = x_{ij}^{N*} w_j^M = x_{ij}^N / (1 - w_j^N)^{w_j^N} \quad (\text{Fayda}) \quad (\text{Eşitlik 7})$$

$$MWP_{ij}^C = x_{ij}^{N*} w_j^M = x_{ij}^N / (1 - w_j^N)^{w_j^N} \quad (\text{Maliyet}) \quad (\text{Eşitlik 8})$$

Adım 11: Değiştirilmiş Ağırlık Performansını Toplamak: Fayda ve maliyet kriterleri altında MWP dereceleri toplam değiştirilmiş ağırlık performansını hesaplamak için ayrı olarak eklenir. Fayda ve maliyet kriteri altında AMWP toplam fayda ve maliyet kriterlerinin değerlendirilmesini yansıtır. Eşitlik (9) ve Eşitlik (10) kullanılarak hesaplanır.

$$AMWP_i^B = \sum_{j=1}^g x_{ij}^N / (1 - w_j^N)^{w_j^N} \quad (\text{Eşitlik 9})$$

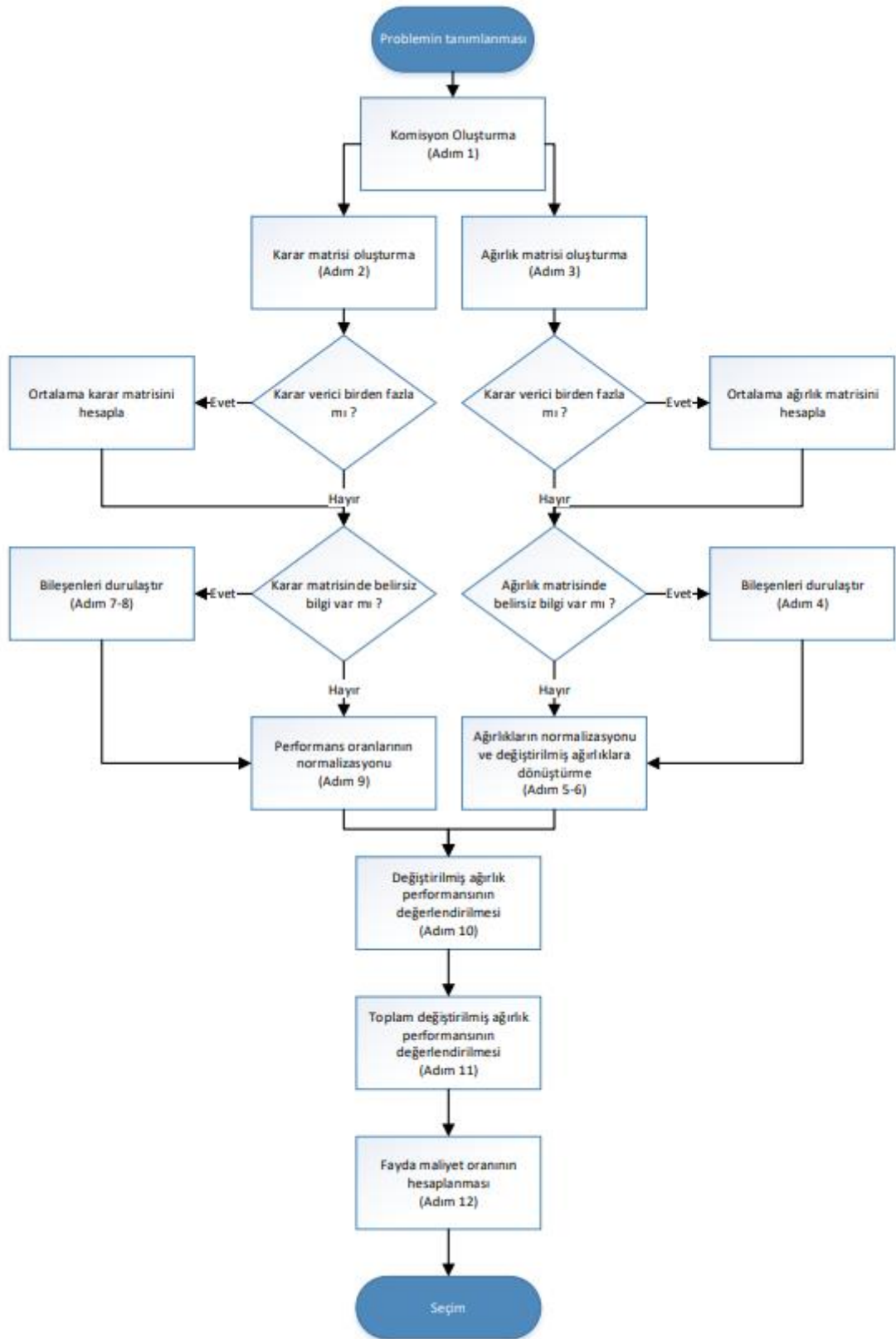
$$AMWP_i^C = \sum_{j=1}^{n-g} x_{ij}^N / (1 - w_j^N)^{w_j^N} \quad (\text{Eşitlik 10})$$

Adım 12: Fayda Maliyet Oranının Hesaplanması (BCR): Bir organizasyonda paranın tüm değerini toplamak için fayda maliyet analizi disiplini kullanan performans göstergesidir. BCR, her ikisi de parasal terimlerle ifade edilen maliyetlerle alakalı faydaların oranıdır. Bu algorithmada tüm fayda ve maliyetler MWP ile ifade edilir. Bir alternatifin BCR'si, maliyet kriterine göre fayda kriteri altında toplam MWP ile ifade edilir ve nihai seçim indeksi olarak hareket etmeyi önerir. Yüksek BCR değeri iyidir. Eşitlik (11) kullanılarak hesaplanır.

$$BCR = AMWP_i^B / AMWP_i^C \quad (\text{Eşitlik 11})$$

Adım 13: Seçim Yapılması: BCR değeri en yüksek alternatif seçilir.

Şekil 2.1'de MOPA yöntemi iş akışı sunulmuştur.



Şekil 2.1. MOPA yöntemi iş akışı

2.3.1.1. MOPA Örnek Uygulama

Bu bölümde MOPA yöntemini daha iyi kavramak için Şenyiğit ve Yurtgülü'nün [35] 2020 yılında “Asker Amaçlı Trenlerde Kuplör Merkezleme Pimi Tasarımında En İyi Malzemenin Seçimi” adlı çalışmadan örnek sunulmuştur. Bu çalışmada MOPA yöntemi; SWARA, BEST WORST, CRITIC, DEMATEL, AHP ve ENTROPI olmak üzere 6 farklı ağırlıklandırma yöntemi ile kullanılarak kuplör merkezleme pimi tasarımında en iyi malzemenin seçimi bulunmuştur.

Askeri amaçlı tren kuplör merkezleme pimi tasarımında seçilecek malzeme için kriterler;

- Sertlik (K1)
- Ömür (K2)
- Tokluk (K3)
- Maliyet (K4)
- Gerilme (K5)

Bunlardan” maliyet ve sertlik” maliyet kriteri ; “ömür, tokluk ve gerilme” fayda kriteridir.

Askeri amaçlı tren kuplör merkezleme pimi tasarımında belirlenen alternatifler;

- Alüminyum (A1)
- Bronz (A2)
- Düşük Alaşımlı Çelik (A3)
- Glidcop (A4)
- Nikel-Krom Alaşımı (A5)

Bu çalışmada bulanık veri bulunmadığından durulaştırma adımları uygulanmamıştır. İlk olarak karar matrisi oluşturulmuştur ve Tablo 2.1’de sunulmuştur. Tablo 2.1 incelendiğinde kriterlerden” maliyet ve sertlik” maliyet kriteri ; “ömür, tokluk ve gerilme” fayda kriteri olduğu görülmektedir.

Tablo 2.1. Alternatiflere Yönelik Performans Değerleri

	Maliyet	Fayda	Fayda	Maliyet	Fayda
AĞIRLIKLAR	0,255	0,23	0,207	0,17	0,139
	SERTLİK	ÖMÜR	TOKLUK	MALİYET	GERİLME
A1	160	205	76	5	600
A2	190	180	135	17	540
A3	223	239	210	1	534
A4	175	255	135	78	517
A5	200	279	216	47	663

Birbirinden farklı türdeki verilerin karşılaştırılabilmesi için normalizasyon işlemi yapılarak aynı aralıktaki sayılara dönüştürmek gerekmektedir. Bu yüzden alternatiflerin performans değerleri normalize edilerek, normalize edilmiş değerleri Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Performans Değerlerinin Normalizasyonu

	SERTLİK	ÖMÜR	TOKLUK	MALİYET	GERİLME
A1	0,17	0,18	0,10	0,03	0,21
A2	0,20	0,16	0,17	0,11	0,19
A3	0,24	0,21	0,27	0,01	0,19
A4	0,18	0,22	0,17	0,53	0,18
A5	0,21	0,24	0,28	0,32	0,23

Daha sonra MOPA yönteminin en önemli özelliği olan değiştirilmiş ağırlıkların hesaplanması kısmına geçilir. Bu aşamada normalize edilmiş karar matrisi değiştirilmiş ağırlık formülü ile hesaplanır. Kriterlerin değiştirilmiş ağırlıkları Tablo 2.3’te gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Değiştirilmiş Ağırlıkların Hesaplanması

	Maliyet	Fayda	Fayda	Maliyet	Fayda
	MW P_i 1	MW P_i 2	MW P_i 3	MW P_i 4	MW P_i 5
A1	0,1819	0,1880	0,1033	0,0349	0,2147
A2	0,2160	0,1651	0,1835	0,1186	0,1932
A3	0,2536	0,2192	0,2854	0,0070	0,1910
A4	0,1990	0,2339	0,1835	0,5440	0,1850
A5	0,2274	0,2559	0,2936	0,3278	0,2372

Son aşamada alternatifleri sıralayabilmek için fayda-maliyet oranlarının (BCR) hesaplanması gerekmektedir. Fayda ve maliyet kriterleri ayrı ayrı toplanarak fayda maliyet oranı hesaplanmaktadır. Toplam fayda değeri toplam maliyet değerine bölüldüğünde fayda-maliyet oranı elde edilmektedir. En yüksek fayda-maliyet oranı en iyi alternatifi göstermektedir. Fayda-maliyet oranları ve nihai sıralama Tablo 2.4'te gösterilmiştir.

Tablo 2.4. BCR Hesabı ve Sıralama

	Fayda	Maliyet		
	$AMWP_i^B$	$AMWP_i^C$	BCR	SIRALAMA
A1	0,5059	0,2168	2,33361	2
A2	0,5417	0,3346	1,61899	3
A3	0,6956	0,2605	2,66986	1
A4	0,6023	0,7430	0,81063	5
A5	0,7866	0,5552	1,41678	4

Tablo 2.4 incelendiğinde en yüksek BCR oranı 3.alternatifde görülmektedir. Dolayısıyla en iyi malzeme düşük alaşımlı çelik seçilmiştir.

2.3.2. Değiştirilmiş Çok Amaçlı Performans Analizi (D-ÇAPA)

D-ÇAPA yöntemi, MOPA'nın orijinal makalesindeki bir formülden gelmektedir. Dey vd. [1] yapmış oldukları makalede ağırlıkların değiştirilmesi aşamasında, normalize edilmiş ağırlığın negatif üssünü almaktadır. Bu tez çalışmasında ise normalize edilmiş ağırlığın pozitif üssü alınarak ağırlıklar değiştirilmiştir. Böylece, önerilen yöntemin sağladığı kriter ağırlıklarındaki değişkenliğin pozitif üs kullanıldığında daha fazla düştüğü gözlemlenmiştir. Mevcut yöntemden daha iyi sonuç vermiştir. Böylece mevcut yöntem iyileştirilmiştir ve bu yönteme D-ÇAPA adı verilmiştir. Ayrıca bulanık veri olmadığından durulaştırma adımları kullanılmamıştır ve yöntemin adımlarından çıkarılmıştır.

Adım 1: Komisyonun Oluşturulması; karar vericilerden (D1, D2, ...) bir komisyon oluşturmaktır. Karar vericiler, karar alternatiflerinden başlangıç olarak seçer (A1, A2,...). Alternatifleri seçilen kriterlere göre değerlendirir. Tüm seçilmiş kriterler içinde fayda kriteri sayısı “g”, maliyet kriteri sayısı (n-g)’ dir.

Adım 2: Karar Matrisinin Oluşturulması: Karar verici her bir kriterle göre tüm alternatiflere bir puan verir. Bu puanlara “performans puanları” denir. Nesnel kriterler altında performans oranları özel değerlerle ifade edilirken, öznel kriterler altında belirsizlikten dolayı dilsel değerlerle ifade edilir.

$$w_j = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p w_{jk} = \frac{1}{3p} \sum_{k=1}^p (a_{jk} + \beta_{jk} + \gamma_{jk}) \quad (\text{Eşitlik 12})$$

Adım 3: Ağırlıkların Normalizasyonu: Durulaştırılmış ortalama ağırlık, her kriter kıyaslanabilir diye ağırlık önem toplamını 1’e eşit yapmak için normalize edilir.

$$w_j^N = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad j=1, 2, n \quad (\text{Eşitlik 13})$$

Adım 4: Ağırlıkların Değiştirilmesi: Kriterin ağırlıklarını karar vericinin doğuştan hatalarıyla ilgili geçmiş tecrübe, fikir veya tercihlerinin değerlendirilmesidir. Amaç kullanılan ağırlıkların hatalarını minimize etmektir. Eşitlik (14) kullanılarak hesaplanır.

$$w_j^M = (1 - w_j^N) w_j^N \quad (\text{Eşitlik 14})$$

Adım 5: Değiştirilmiş Ağırlık Performansının Hesaplanması: Her bir fayda ve maliyet kriterine göre alternatiflerin değerlendirilmesi için önerilir. Değiştirilmiş ağırlık değeri

fayda ve maliyet ölçümünü veren değiştirilmiş ağırlık performansını elde etmek için normalize edilen performans oranıyla çarpılır. Eşitlik (15) ve Eşitlik (16) kullanılarak hesaplanır.

$$MWP_{ij}^B = x_{ij}^{N*} w_j^M = x_{ij}^N / (1 - w_j^N) w_j^N \quad (\text{Fayda}) \quad (\text{Eşitlik 15})$$

$$MWP_{ij}^C = x_{ij}^{N*} w_j^M = x_{ij}^N / (1 - w_j^N) w_j^N \quad (\text{Maliyet}) \quad (\text{Eşitlik 16})$$

Adım 6: Değiştirilmiş Ağırlık Performansının Toplanması: Fayda ve maliyet kriterleri altında MWP dereceleri toplam değiştirilmiş ağırlık performansını hesaplamak için ayrı olarak eklenir. Fayda ve maliyet kriteri altında AMWP toplam fayda ve maliyet kriterlerinin değerlendirilmesini yansıtır. Eşitlik (17) ve Eşitlik (18) kullanılarak hesaplanır.

$$AMWP_i^B = \sum_{j=1}^g x_{ij}^N / (1 - w_j^N) w_j^N \quad (\text{Eşitlik 17})$$

$$AMWP_i^C = \sum_{j=1}^{n-g} x_{ij}^N / (1 - w_j^N) w_j^N \quad (\text{Eşitlik 18})$$

Adım 7: Fayda Maliyet Oranı (BCR): Bir organizasyonda paranın tüm değerini toplamak için fayda maliyet analizi disiplini kullanan performans göstergesidir. BCR, her ikisi de parasal terimlerle ifade edilen maliyetlerle alakalı faydaların oranıdır. Bu algorithmada tüm fayda ve maliyetler MWP ile ifade edilir. Bir alternatifin BCR' si, maliyet kriterine göre fayda kriteri altında toplam MWP ile ifade edilir ve nihai seçim indeksi olarak hareket etmeyi önerir. Yüksek BCR değeri iyidir. Eşitlik (19) kullanılarak hesaplanır.

$$BCR = AMWP_i^B / AMWP_i^C \quad (\text{Eşitlik 19})$$

Adım 8: Seçim: BCR değeri en yüksek alternatif seçilir.

2.3.2.1. D-ÇAPA Örnek Uygulama

Bu bölümde D-ÇAPA yöntemini daha iyi kavramak için Şenyiğit ve Yurtgölü'nün [35] "Askeri Amaçlı Trenlerde Kuplör Merkezleme Pimi Tasarımında En İyi Malzemenin Seçimi" adlı çalışmadan örnek sunulmuştur. Bu çalışmada D-ÇAPA yöntemi; SWARA, BEST WORST, CRITIC, DEMATEL, AHP ve ENTROPI olmak üzere 6 farklı ağırlıklandırma yöntemi ile kullanılarak kuplör merkezleme pimi tasarımında en iyi malzemenin seçimi bulunmuştur.

Askeri amaçlı tren kuplör merkezleme pimi tasarımında seçilecek malzeme için kriterler;

- Sertlik (K1)
- Ömür (K2)
- Tokluk (K3)
- Maliyet (K4)
- Gerilme (K5)

Bunlardan” maliyet ve sertlik” maliyet kriteri ; “ömür, tokluk ve gerilme” fayda kriteridir.

Askeri amaçlı tren kuplör merkezleme pimi tasarımında belirlenen alternatifler;

- Alüminyum (A1)
- Bronz (A2)
- Düşük Alaşımlı Çelik (A3)
- Glidcop (A4)
- Nikel-Krom Alaşımı (A5)

Bu çalışmada bulanık veri bulunmadığından durulaştırma adımları uygulanmamıştır. İlk olarak karar matrisi oluşturulmuştur ve Tablo 2.5’te sunulmuştur. Tablo 2.5 incelendiğinde kriterlerden” maliyet ve sertlik” maliyet kriteri ; “ömür, tokluk ve gerilme” fayda kriteri olduğu görülmektedir.

Tablo 2.5. Alternatiflere Yönelik Performans Değerleri

	Maliyet	Fayda	Fayda	Maliyet	Fayda
AĞIRLIKLAR	0,255	0,23	0,207	0,17	0,139
	SERTLİK	ÖMÜR	TOKLUK	MALİYET	GERİLME
A1	160	205	76	5	600
A2	190	180	135	17	540
A3	223	239	210	1	534
A4	175	255	135	78	517
A5	200	279	216	47	663

Birbirinden farklı türdeki verilerin karşılaştırılabilmesi için normalizasyon işlemi yapılarak aynı aralıktaki sayılara dönüştürmek gerekmektedir. Bu yüzden alternatiflerin

performans değerleri normalize edilerek normalize edilmiş değerleri Tablo 2.6’da gösterilmiştir.

Tablo 2.6. Performans Değerlerinin Normalizasyonu

	SERTLİK	ÖMÜR	TOKLUK	MALİYET	GERİLME
A1	0,17	0,18	0,10	0,03	0,21
A2	0,20	0,16	0,17	0,11	0,19
A3	0,24	0,21	0,27	0,01	0,19
A4	0,18	0,22	0,17	0,53	0,18
A5	0,21	0,24	0,28	0,32	0,23

Daha sonra D-ÇAPA yönteminin en önemli özelliği olan değiştirilmiş ağırlıkların hesaplanması kısmına geçilir. Bu aşamada normalize edilmiş karar matrisi değiştirilmiş ağırlık formülü ile hesaplanır. MOPA yönteminden burada ayrışmaktadır. MOPA yöntemi normalize edilmiş ağırlığın negatif üssünü almaktadır. D-ÇAPA yöntemi ise normalize edilmiş ağırlığın pozitif üssü olarak değiştirilmiş ağırlıkları bulmaktadır. Kriterlerin değiştirilmiş ağırlıkları kullanılarak elde edilen değiştirilmiş ağırlık performanslarının hesaplanması Tablo 2.7’de gösterilmiştir.

Tablo 2.7. Değiştirilmiş Ağırlık Performanslarının Hesaplanması

	Maliyet	Fayda	Fayda	Maliyet	Fayda
	MWPi1	MWPi2	MWPi3	MWPi4	MWPi5
A1	0,1566	0,1667	0,0938	0,0327	0,2059
A2	0,1859	0,1464	0,1667	0,1113	0,1853
A3	0,2182	0,1943	0,2593	0,0065	0,1833
A4	0,1712	0,2074	0,1667	0,5106	0,1774
A5	0,1957	0,2269	0,2667	0,3077	0,2275

Son aşamada alternatifleri sıralayabilmek için fayda-maliyet oranlarının (BCR) hesaplanması gerekmektedir. Fayda ve maliyet kriterleri ayrı ayrı toplanarak fayda maliyet oranı hesaplanmaktadır. Toplam fayda değeri toplam maliyet değerine bölündüğünde fayda-maliyet oranı elde edilmektedir. En yüksek fayda-maliyet oranı en iyi alternatifi göstermektedir. Fayda-maliyet oranları ve nihai sıralama Tablo 2.8’de gösterilmiştir.

Tablo 2.8. BCR Hesabı ve Sıralama

	Fayda	Maliyet		
	$AMWPI^B$	$AMWPI^C$	BCR	SIRALAMA
A1	0,4664	0,1893	2,4640	2
A2	0,4984	0,2972	1,6768	3
A3	0,6369	0,2248	2,8335	1
A4	0,5515	0,6818	0,8088	5
A5	0,7211	0,5034	1,4325	4

Tablo 2.8 incelendiğinde en yüksek BCR oranı 3.alternatifde görülmektedir. Dolayısıyla en iyi malzeme düşük alaşımlı çelik seçilmiştir.

2.3.3. Standart Sapma

Standart sapma, bir gözlemin dağıtım merkezine veya orta değere olan tipik mesafesini gösterir. Ortalama hakkında bireysel gözlemlerin dağılımını gösterir. Gözlemler ortalamadan dağınıksa daha fazla değişkenlik mevcuttur. Bu nedenle yüksek bir standart sapma değeri, değişkenliğin fazla olduğunu gösterirken daha düşük bir standart sapma değeri daha az değişkenliği gösterir. Matematiksel olarak standart sapma Eşitlik (20) kullanılarak hesaplanır [42].

$$SS = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{Eşitlik 14})$$

SS: Standart sapma, x: bireysel değer, $\bar{x}$: örnek ortalaması, n: örnek sayısı

2.3.4. Değişim Katsayısı (CV)

Değişim katsayısı, bir rastgele değişkenin gözlemlerinin tutarlılığını ya da tekdüzeliğini ölçer. Değişim katsayısı, ortalama başına standart sapma olduğundan göreceli değişkenliğin bir ölçüsüdür. Bu sebepten dolayı gruplar arasındaki değişkenliği karşılaştırmak için kullanılmaktadır. Kısaca standart sapmanın ortalamaya oranı olarak ifade edilir. Birçok fiziksel, biyolojik ve tıbbi bilimlerin yanı sıra iklim bilimi, iş ve mühendislik gibi bilimsel alanlarda da yaygın olarak kullanılmıştır [1].

Değişim katsayısı Eşitlik (16) kullanılarak hesaplanır.

$$DK = \frac{S}{X} \times 100 \quad (\text{Eşitlik 16})$$

S: Standart sapma, X: aritmetik ortalama

Değişim katsayısı değeri küçük ise değişkenlik daha azdır. Bu da değerlerin ortalamanın etrafında dengeli dağıldığını gösterir.

Değişim katsayısı , burada ağırlıkların göreceli dağılımında bir ölçü olarak kullanılan standart sapmaya dayanmaktadır. Değişim katsayısı, iki ağırlık seti arasındaki değişkenliği ve tekdüzeliği karşılaştırmak için çok uygundur. Değişim katsayısının azalması da ağırlıklardaki değerlendirme hatalarının azalmasını beraberinde getirmektedir. Bu da daha kesin bir karar vermeye yardımcı olmaktadır.

2.3.5. Dağılım Katsayısı

Dağılım katsayısı, bir aralığın değerine dayanan göreceli bir dağılım ölçüsüdür. Şu şekilde tanımlanır [1]:

$$\text{Dağılım katsayısı} = \frac{L-S}{L+S} \times 100$$

L ve S harfleri sırasıyla veri setindeki en büyük ve en küçük değerleri göstermektedir. İki veri seti, dağılım katsayısı ile karşılaştırıldığında dağılım katsayısı değeri büyük çıkan veri setinin daha büyük bir varyasyona veya dağılıma sahip olduğu, daha küçük dağılım katsayısına sahip olan verinin daha az varyasyona ve dağılıma sahip olduğu çıkarılır. Dolayısıyla daha düşük bir dağılım katsayısı, o veri grubunun daha kararlı olduğunu göstermektedir.

3. BÖLÜM

BULGULAR

Bu tez çalışmasında, ÇKKV yöntemlerinde kriter ağırlıkları belirlenirken uzmanların kullandıkları ya da değerlendirdikleri bilgilerdeki değişkenliğin azaltılmasına odaklanılmıştır. Değişkenlik, bilginin kalitesini azaltarak tutarsız veya hatalı sonuçlara götürebilmektedir. Bu değişkenliğin maksimum düzeyde azaltılması için literatürde MOPA yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntem değiştirilmiş ağırlık konsepti ile bilgideki değişkenliği azaltmaktadır. Değiştirilmiş ağırlık konseptinde iki formül bulunmaktadır. Bu iki formül çarpma işlemi ve bölme işlemidir. Dey vd [1] makalelerindeki çalışmalarda bölme işlemini kullanmıştır. Bu tez çalışmasında ise çarpma yöntemi kullanılarak D-ÇAPA adını verdiğimiz yöntem uygulanmıştır. D-ÇAPA yöntemi ile değişkenliğin daha fazla azaltılması hedeflenmiştir. Değişkenliğin ölçülmesi için değişim katsayısı analizi ve aralık katsayısı analizi kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme için literatürdeki üç çalışma ele alınmıştır. Bu çalışmalarda, her bir uygulama için en iyi malzeme seçimi alternatifini belirlendi. Değişkenlikler ölçüldü ve karşılaştırıldı.

Bu kapsamda Şenyiğit vd. [35, 43, 44] yapmış oldukları üç çalışmanın verileri kullanılmıştır. İlk çalışmada askeri amaçlı trenlerde kuplör merkezleme pimi tasarımı için en iyi malzeme seçimi problemine odaklanılmıştır. Bu çalışmada, 6 farklı ağırlıklandırma yöntemi MOPA yöntemi ile birlikte kullanılmıştır. SWARA, BEST WORST, CRITIC, DEMATEL, AHP ve ENTROPI ağırlıklandırma yöntemleri kullanılmıştır. İkinci çalışmada savunma sanayisinde tank zırhları için kullanılacak en iyi malzemenin seçimine odaklanılmıştır. Bu çalışmada BWM-SAW yöntemi kullanılarak en iyi malzeme seçilmiştir. Üçüncü çalışmada savunma sanayisinde tank paleti tasarımında kullanılacak en iyi malzemenin seçimine odaklanılmıştır. Bu çalışmada BWM-TOPSIS yöntemi kullanılarak en iyi malzeme seçilmiştir.

3.1. Örnek Uygulamalar

3.1.1. Kuplör Merkezleme Pimi Tasarımı Uygulaması

Bu uygulamamızda askeri amaçlı trenlerde kuplör merkezleme pimi tasarımında en iyi malzemenin seçimi hedeflenmiştir.

Askeri amaçlı trenlerde kuplör merkezleme pimi tasarımında seçilecek malzeme için kriterler;

- Sertlik (K1)
- Ömür (K2)
- Tokluk (K3)
- Maliyet (K4)
- Gerilme (K5)

Askeri amaçlı tren kuplör merkezleme pimi tasarımında belirlenen alternatifler;

- Alüminyum (A1)
- Bronz (A2)
- Düşük Alaşımlı Çelik (A3)
- Glidcop (A4)
- Nikel-Krom Alaşımı (A5)

İlk adımda alternatiflerin kriterler karşısındaki performans değerlerinden oluşan karar matrisi oluşturulmuştur ve Tablo 3.1’de gösterilmiştir. Kriterlerden “maliyet ve sertlik” kriteri maliyet kriteri ; “ömür, tokluk ve gerilme” ise fayda kriteridir.

Tablo 3.1. Kuplör merkezleme pimi tasarımı için karar matrisi

	MALİYET	FAYDA	FAYDA	MALİYET	FAYDA
AĞIRLIKLAR	0,438	0,257	0,15	0,107	0,047
	K1	K2	K3	K4	K5
A1	160	205	76	5	600
A2	190	180	135	17	540
A3	223	239	210	1	534
A4	175	255	135	78	517
A5	200	279	216	47	663

İkinci adımda, birbirinden farklı türdeki verilerin karşılaştırılabilmesi için normalizasyon işlemi yapılarak aynı aralıktaki sayılara dönüştürmek gerekmektedir. Bu yüzden alternatiflerin performans değerleri normalize edilerek normalize edilmiş değerleri Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Karar matrisinin normalizasyon matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5
A1	0,1688	0,1770	0,0984	0,0338	0,2102
A2	0,2004	0,1554	0,1749	0,1149	0,1892
A3	0,2352	0,2064	0,2720	0,0068	0,1871
A4	0,1846	0,2202	0,1749	0,5270	0,1811
A5	0,2110	0,2409	0,2798	0,3176	0,2323

Üçüncü adımda Daha sonra D-ÇAPA yönteminin en önemli özelliği olan değiştirilmiş ağırlıkların hesaplanması kısmına geçilir. Bu aşamada normalize edilmiş karar matrisi değiştirilmiş ağırlık formülü ile hesaplanır. MOPA yönteminden burada ayrılmaktadır. MOPA yöntemi normalize edilmiş ağırlığın negatif üssünü almaktadır. D-ÇAPA yöntemi ise normalize edilmiş ağırlığın pozitif üssü olarak değiştirilmiş ağırlıkları bulmaktadır. Kriterlerin değiştirilmiş ağırlıkları Tablo 3.3’te gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Değiştirilmiş Ağırlık Performanslarının Hesaplanması

	K1	K2	K3	K4	K5
A1	0,1311	0,1640	0,0961	0,0334	0,2098
A2	0,1557	0,1440	0,1707	0,1135	0,1888
A3	0,1828	0,1912	0,2655	0,0067	0,1867
A4	0,1434	0,2040	0,1707	0,5207	0,1807
A5	0,1639	0,2232	0,2731	0,3137	0,2318

Son aşamada alternatifleri sıralayabilmek için fayda-maliyet oranlarının (BCR) hesaplanması gerekmektedir. Fayda ve maliyet kriterleri ayrı ayrı toplanarak fayda maliyet oranı hesaplanmaktadır. Toplam fayda değeri toplam maliyet değerine

bölündüğünde fayda-maliyet oranı elde edilmektedir. En yüksek fayda-maliyet oranı en iyi alternatifi göstermektedir. Fayda-maliyet oranları ve nihai sıralama Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Fayda maliyet oranlarının belirlenerek alternatiflerin sıralanması

	$AMWPI^B$	$AMWPI^C$	BCR	SIRALAMA
A1	0,4698	0,1645	2,8561	2
A2	0,5035	0,2692	1,8702	3
A3	0,6434	0,1894	3,3963	1
A4	0,5554	0,6641	0,8363	5
A5	0,7281	0,4777	1,5242	4

Tablo 3.4'ü incelediğimizde, fayda maliyet oranı (BCR) 3,3963 ile diğer alternatifler içerisinde en yüksek değere sahip olan 3.alternatif en iyi malzeme seçilmiştir.

Son olarak değişim katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Değişim katsayısı, gruplar arasındaki değişkenliği karşılaştırmak için kullanılmaktadır. Değişim katsayısı değeri küçük ise değişkenlik daha azdır. Bu da değerlerin ortalamasının etrafında dengeli dağıldığını gösterir. Ağırlıkların ilk değişim katsayısı, MOPA yöntemi ile değişim katsayısı ve önerdiğimiz D-ÇAPA yöntemi ile değişim katsayısı değerleri hesaplandı ve Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5. CV değerlerinin karşılaştırılması

AĞIRLIKLARIN İLK CV'Sİ	MOPA CV	D-ÇAPA CV
68,7895	9,8405	8,7669

Tablo 3.5 incelendiğinde, ağırlıkların ilk halinin değişkenliği oldukça yüksektir. MOPA yöntemi bu değişkenliği %85,69 azaltmıştır. Bu çalışmada önerdiğimiz D-ÇAPA yöntemi ise bu değişkenliği %87,26 azaltmıştır.

3.1.2. Tank Zırhı Malzeme Seçimi Uygulaması

Bu uygulamamızda savunma sanayisinde tank zırhları için kullanılacak en iyi malzemenin seçimi hedeflenmiştir.

Tank zırhı malzeme seçimi için belirlenen kriterler;

- Mukavemet (K1)
- Tokluk (K2)
- Erime sıcaklığı (K3)
- Sertlik (K4)
- Yoğunluk (K5)
- Maliyet (K6)

Tank zırhı malzeme seçimi için belirlenen alternatifler ise;

- Alümina %50 boron karbid (A1)
- Titanyum borid (A2)
- Alümina %40 boron karbid (A3)
- Boron karbid (A4)
- Alümina silikon nitrid (A5)

İlk adımda alternatiflerin kriterler karşısındaki performans değerlerinden oluşan karar matrisi oluşturulmuştur ve Tablo 3.6'da gösterilmiştir. Bu kriterlerden mukavemet, tokluk, erime sıcaklığı ve sertlik fayda kriteriyken maliyet ve yoğunluk maliyet kriteridir.

Tablo 3.6. Tank zırhı tasarımı için karar matrisi

Ağırlıklar	0,301	0,252	0,068	0,175	0,117	0,087
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
A1	5420	4,7	2100	2400	3250	125
A2	3740	4,2	3050	2700	4450	34
A3	5420	5,4	2100	2350	3420	102
A4	5690	3	2480	4200	2530	110
A5	3070	3,3	1510	2650	3820	90,7

İkinci adımda, birbirinden farklı türdeki verilerin karşılaştırılabilmesi için normalizasyon işlemi yapılarak aynı aralıktaki sayılara dönüştürmek gerekmektedir. Bu yüzden

alternatiflerin performans değerleri normalize edilerek normalize edilmiş değerleri Tablo 3.7’de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Karar matrisinin normalizasyon matrisi

	Maliyet	Fayda	Fayda	Fayda	Maliyet	Maliyet
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
A1	0,2322	0,2282	0,1868	0,1678	0,1860	0,2707
A2	0,1602	0,2039	0,2714	0,1888	0,2547	0,0736
A3	0,2322	0,2621	0,1868	0,1643	0,1958	0,2209
A4	0,2438	0,1456	0,2206	0,2937	0,1448	0,2382
A5	0,1315	0,1602	0,1343	0,1853	0,2187	0,1964

Üçüncü adımda Daha sonra D-ÇAPA yönteminin en önemli özelliği olan değiştirilmiş ağırlıkların hesaplanması kısmına geçilir. Bu aşamada normalize edilmiş karar matrisi değiştirilmiş ağırlık formülü ile hesaplanır. MOPA yönteminden burada ayrılmaktadır. MOPA yöntemi normalize edilmiş ağırlığın negatif üssünü almaktadır. D-ÇAPA yöntemi ise normalize edilmiş ağırlığın pozitif üssü alarak değiştirilmiş ağırlıkları bulmaktadır. Kriterlerin değiştirilmiş ağırlıkları Tablo 3.8’de gösterilmiştir.

Tablo 3.8. Değiştirilmiş Ağırlık Performanslarının Hesaplanması

	MWPi1	MWPi2	MWPi3	MWPi4	MWPi5	MWPi6
A1	0,2085	0,2121	0,1859	0,1623	0,1833	0,2686
A2	0,1439	0,1895	0,2701	0,1826	0,2510	0,0731
A3	0,2085	0,2436	0,1859	0,1589	0,1929	0,2192
A4	0,2189	0,1354	0,2196	0,2840	0,1427	0,2364
A5	0,1181	0,1489	0,1337	0,1792	0,2155	0,1949

Son aşamada alternatifleri sıralayabilmek için fayda-maliyet oranlarının (BCR) hesaplanması gerekmektedir. Fayda ve maliyet kriterleri ayrı ayrı toplanarak fayda maliyet oranı hesaplanmaktadır. Toplam fayda değeri toplam maliyet değerine bölüldüğünde fayda-maliyet oranı elde edilmektedir. En yüksek fayda-maliyet oranı en

iyi alternatifi göstermektedir. Fayda-maliyet oranları ve nihai sıralama Tablo 3.9’da gösterilmiştir.

Tablo 3.9. Fayda maliyet oranlarının belirlenerek alternatiflerin sıralanması

	$AMWPI^B$	$AMWPI^C$	BCR	SIRALAMA
A1	0,7688	0,4519	1,7010	4
A2	0,7860	0,3241	2,4251	1
A3	0,7970	0,4121	1,9338	3
A4	0,8578	0,3791	2,2627	2
A5	0,5799	0,4104	1,4129	5

Tablo 3.9’u incelediğimizde, fayda maliyet oranı (BCR) 2,4251 ile diğer alternatifler içerisinde en yüksek değere sahip olan 2.alternatif en iyi malzeme seçilmiştir.

Son olarak değişim katsayısı (CV) değerleri hesaplanmıştır. Ağırlıkların ilk değişim katsayısı, MOPA yöntemi ile değişim katsayısı ve önerdiğimiz D-ÇAPA yöntemi ile değişim katsayısı değerleri hesaplandı ve Tablo 3.10’da gösterilmiştir.

Tablo 3.10. CV değerlerinin karşılaştırılması

AĞIRLIKLARIN İLK CV'Sİ	MOPA CV	D-ÇAPA CV
51,349	3,8507	3,7426

Tablo 3.10 incelendiğinde, ağırlıkların ilk halinin değişkenliği oldukça yüksektir. MOPA yöntemi bu değişkenliği %92,50 azaltmıştır. Bu çalışmada önerdiğimiz D-ÇAPA yöntemi ise bu değişkenliği %92,71 azaltmıştır.

3.1.3. Tank Paleti Tasarımı Malzeme Seçimi Uygulaması

Bu uygulamamızda savunma sanayisinde tank paletleri için kullanılacak en iyi malzemenin seçimi hedeflenmiştir.

Tank zırhı malzeme seçimi için belirlenen kriterler;

- Mukavemet (K1)
- Yoğunluk (K2)
- Korozyon (K3)
- Sertlik (K4)
- Poisson oranı (K5)
- Tedarik (K6)

Bu kriterlerden mukavemet, korozyon, sertlik ve poisson oranı kriterleri fayda kriteri iken tedarik ve yoğunluk kriterleri maliyet kriteridir.

Tank paleti malzeme seçimi için belirlenen alternatifler ise;

- Alümina (A1)
- Paslanmaz çelik (A2)
- Titanyum (A3)
- Karbon fiber (A4)
- 42CrMo4 (A5)
- Silisyum karbür (A6)

İlk adımda alternatiflerin kriterler karşısındaki performans değerlerinden oluşan karar matrisi oluşturulmuştur ve Tablo 3.11’de gösterilmiştir. Bu kriterlerden mukavemet, korozyon, sertlik ve poisson oranı kriterleri fayda kriteri iken tedarik ve yoğunluk kriterleri maliyet kriteridir.

Tablo 3.11. Tank paleti tasarımı için karar matrisi

Ağırlıklar	0,3297	0,1189	0,1189	0,3297	0,0595	0,0432
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
A1	500	3,8	300	1000	0,25	40
A2	750	8	150	290	0,25	10
A3	750	4,5	150	310	0,25	40
A4	1100	7,5	450	330	0,35	1
A5	2000	1,8	300	500	0,05	80
A6	500	3,5	450	2000	0,15	40

İkinci adımda, birbirinden farklı türdeki verilerin karşılaştırılabilmesi için normalizasyon işlemi yapılarak aynı aralıktaki sayılara dönüştürmek gerekmektedir. Bu yüzden alternatiflerin performans değerleri normalize edilerek normalize edilmiş değerleri Tablo 3.12’de gösterilmiştir.

Tablo 3.12. Karar matrisinin normalizasyon matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
A1	0,0893	0,1306	0,1667	0,2257	0,1923	0,1896
A2	0,1339	0,2749	0,0833	0,0655	0,1923	0,0474
A3	0,1339	0,1546	0,0833	0,0700	0,1923	0,1896
A4	0,1964	0,2577	0,2500	0,0745	0,2692	0,0047
A5	0,3571	0,0619	0,1667	0,1129	0,0385	0,3791
A6	0,0893	0,1203	0,2500	0,4515	0,1154	0,1896

Üçüncü adımda Daha sonra D-ÇAPA yönteminin en önemli özelliği olan değiştirilmiş ağırlıkların hesaplanması kısmına geçilir. Bu aşamada normalize edilmiş karar matrisi değiştirilmiş ağırlık formülü ile hesaplanır. MOPA yönteminden burada ayrılmaktadır. MOPA yöntemi normalize edilmiş ağırlığın negatif üssünü almaktadır. D-ÇAPA yöntemi ise normalize edilmiş ağırlığın pozitif üssü alarak değiştirilmiş ağırlıkları bulmaktadır. Kriterlerin değiştirilmiş ağırlıkları Tablo 3.13’te gösterilmiştir.

Tablo 3.13. Değiştirilmiş Ağırlık Performanslarının Hesaplanması

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
A1	0,0783	0,1286	0,1642	0,1978	0,1916	0,1892
A2	0,1174	0,2708	0,0821	0,0574	0,1916	0,0473
A3	0,1174	0,1523	0,0821	0,0613	0,1916	0,1892
A4	0,1722	0,2539	0,2463	0,0653	0,2682	0,0047
A5	0,3130	0,0609	0,1642	0,0989	0,0383	0,3784
A6	0,0783	0,1185	0,2463	0,3957	0,1150	0,1892

Son aşamada alternatifleri sıralayabilmek için fayda-maliyet oranlarının (BCR) hesaplanması gerekmektedir. Fayda ve maliyet kriterleri ayrı ayrı toplanarak fayda maliyet oranı hesaplanmaktadır. Toplam fayda değeri toplam maliyet değerine bölüldüğünde fayda-maliyet oranı elde edilmektedir. En yüksek fayda-maliyet oranı en iyi alternatifi göstermektedir. Fayda-maliyet oranları ve nihai sıralama Tablo 3.14'te gösterilmiştir.

Tablo 3.14. Fayda maliyet oranlarının belirlenerek alternatiflerin sıralanması

	$AMWP_i^B$	$AMWP_i^C$	BCR	SIRALAMA
A1	0,6319	0,3178	1,9880	3
A2	0,4484	0,3181	1,4097	4
A3	0,4524	0,3415	1,3246	6
A4	0,7520	0,2586	2,9077	1
A5	0,6144	0,4394	1,3985	5
A6	0,8352	0,3077	2,7143	2

Tablo 3.14'ü incelediğimizde, fayda maliyet oranı (BCR) 2,9077 ile diğer alternatifler içerisinde en yüksek değere sahip olan 4.alternatif en iyi malzeme seçilmiştir.

Son olarak değişim katsayısı (CV) değerleri hesaplanmıştır. Ağırlıkların ilk değişim katsayısı, MOPA yöntemi ile değişim katsayısı ve önerdiğimiz D-ÇAPA yöntemi ile değişim katsayısı değerleri hesaplandı ve Tablo 3.15'te gösterilmiştir.

Tablo 3.15. CV değerlerinin karşılaştırılması

AĞIRLIKLARIN İLK CV'Sİ	MOPA CV	D-ÇAPA CV
71,1907	5,9295	5,6986

Tablo 3.15 incelendiğinde, ağırlıkların ilk halinin değişkenliği oldukça yüksektir. MOPA yöntemi bu değişkenliği %91,67 azaltmıştır. Bu çalışmada önerdiğimiz D-ÇAPA yöntemi ise bu değişkenliği %92 azaltmıştır.

3.2. Örnek Uygulamaların Değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasında, savunma sanayisinde tasarım problemlerinde en iyi malzeme seçimi için 3 tane çalışma ele alındı. Bu üç çalışmada, önerdiğimiz D-ÇAPA yöntemi uygulandı ve değişim katsayısı değerlerindeki değişim incelendi. Ayrıca bu üç problem; ARAS, COPRAS ve MOORA gibi çok kriterli karar verme yöntemlerinde de karşılaştırma yapmak için uygulandı. Değişim katsayısındaki sonuçlar Tablo 3.16’da gösterilmiştir.

Tablo 3.16. Örneklere göre yöntemlerden elde edilen değişim katsayısı değerleri

		ARAS	COPRAS	MOORA	MOPA	D-ÇAPA
Tren	Kuplör	74,2753	68,7895	74,0731	9,8405	8,7669
Tasarımı						
Tank	Zırhı	53,7238	51,349	46,5932	3,8507	3,7426
Tasarımı						
Tank	Palet	74,8956	71,1907	59,3005	5,9295	5,6986
Tasarımı						

Tablo 3.16’yı incelediğimizde en yüksek değişkenliğin ARAS yönteminde, en az değişkenliğin ise D-ÇAPA yönteminde olduğu görülmektedir. Değişim katsayısı değeri küçük ise değişkenlik daha azdır. Bu da değerlerin ortalamasının etrafında dengeli dağıldığını gösterir. Dolayısıyla değişkenliğin en az olduğu D-ÇAPA yönteminin tutarlı ve güçlü bir yöntem olduğu büyük bir farkla görülmektedir.

Kuplör tasarımı, tank zırhı tasarımı ve tank palet tasarımları için en iyi malzeme seçiminde alternatiflerin sıralanması sırasıyla Tablo 3.17, Tablo 3.18 ve Tablo 3.19’da gösterilmiştir.

Tablo 3.17. Tren kuplör tasarımı malzeme seçimi alternatiflerin sıralanması

	ARAS	COPRAS	MOORA	MOPA	D-ÇAPA
A1	4	1	3	2	2
A2	5	4	4	3	3
A3	1	2	1	1	1
A4	3	5	5	5	5
A5	2	3	2	4	4

Tablo 3.18. Tank zırhı tasarımı malzeme seçimi alternatiflerin sıralanması

	ARAS	COPRAS	MOORA	MOPA	D-ÇAPA
A1	3	3	3	4	4
A2	4	4	4	1	1
A3	2	2	2	3	3
A4	1	1	1	2	2
A5	5	5	5	5	5

Tablo 3.19. Tank palet tasarımı malzeme seçimi alternatiflerin sıralanması

	ARAS	COPRAS	MOORA	MOPA	D-ÇAPA
A1	4	3	3	3	3
A2	6	6	6	5	4
A3	5	5	5	6	6
A4	3	4	4	2	1
A5	2	2	2	4	5
A6	1	1	1	1	2

Tablo 3.17’yi incelediğimizde tren kuplör merkezleme pimi tasarımında en iyi malzemenin COPRAS hariç diğer yöntemlerde 3.alternatif olduğu ve en kötü alternatifin ise ARAS hariç tüm yöntemlerde 4.alternatif olduğu görülmektedir.

Tablo 3.18’i incelediğimizde tank zırhı tasarımında en iyi malzemenin MOPA ve D-ÇAPA hariç diğer yöntemlerde 4.alternatifin olduğu ve en kötü alternatifin ise tüm yöntemlerde 5.alternatifin olduğu görülmektedir.

Tablo 3.19’u incelediğimizde tank palet tasarımında en iyi malzemenin D-ÇAPA hariç diğer yöntemlerde 6.alternatifin olduğu ve en kötü alternatifin ise ARAS, COPRAS ve MOORA yöntemlerinde 2.alternatifin, MOPA ve D-ÇAPA yöntemlerinde ise 3.alternatifin olduğu görülmektedir.

Değişkenliğin bir diğer ölçüm aracı da aralık katsayısıdır. Örneklerdeki değişkenliğin karşılaştırılmasını yapmak için kuplör tasarımı, tank zırhı tasarımı ve tank palet tasarımları için D-ÇAPA yöntemi ile “aralık katsayısı” hesaplaması üç örnek için de yapıldı ve sırasıyla Tablo 3.20, Tablo 3.21 ve Tablo 3.22’de gösterilmiştir.

Tablo 3.20. Tren kuplör tasarımı aralık katsayısı analizi sonuçları

Minimum ağırlık		Maksimum ağırlık				Azalma oranı
Normalize	Değiştirilmiş	Normalize	Değiştirilmiş	Değişim öncesi	Değişim sonrası	
0,047	0,9977	0,438	0,7769	0,8062	0,1244	6,5

Tablo 3.21. Tank zırhı tasarımı aralık katsayısı analizi sonuçları

Minimum ağırlık		Maksimum ağırlık				Azalma oranı
Normalize	Değiştirilmiş	Normalize	Değiştirilmiş	Değişim öncesi	Değişim sonrası	
0,068	0,9952	0,301	0,8978	0,6314	0,0514	12,3

Tablo 3.22. Tank palet tasarımı aralık katsayısı analizi sonuçları

Minimum ağırlık		Maksimum ağırlık				Azalma oranı
Normalize	Değiştirilmiş	Normalize	Değiştirilmiş	Değişim öncesi	Değişim sonrası	
0,0432	0,9981	0,3297	0,8764	0,7683	0,0649	11,8

Tablo 3.20, Tablo 3.21 ve Tablo 3.22’de sunulan sonuçları incelediğimizde D-ÇAPA yöntemi tren kuplör tasarımı örneğinde ağırlıkların göreceli dağılımını 6,5 kez azalttığı, tank zırhı tasarımı örneğinde göreceli dağılımı 12,3 kez azalttığı ve tank palet tasarımı örneğinde göreceli dağılımı 11,8 kez azalttığı görülmektedir. Sonuçlar oldukça etkileyicidir. Değiştirilmiş ağırlık konseptinin ne kadar etkili olduğu bir kez daha gösterilmiş oldu.

D-ÇAPA yönteminin MOPA yönteminden değişkenliği azaltmada daha iyi olduğunu göstermek için MOPA makalesinde sunulan örnekler ile karşılaştırılması yapıldı. 2016 yılında Dey vd. [1] MOPA yöntemini literatüre sunan makalesinde, MOPA yönteminin gücünü ve sağladığı avantajları göstermek için 6 farklı uygulama yapmışlardır. Bu uygulamalar ; satıcı seçimi problemi, fabrika yer seçimi problemi, makine alet seçimi problemi, depo yeri seçimi problemi, dağıtım merkezi yer seçimi problemi ve perakende yer seçimi problemleridir. Bu problemlerden beşinci ve altıncı uygulamalar olan dağıtım yeri seçimi problemi ile perakende seçimi problemleri bulanık çok kriterli karar verme yöntemleridir. Bu altı uygulamadan D-ÇAPA yönteminin MOPA yönteminden daha iyi sonuç verdiğini karşılaştırmak için 3 örnek seçilerek ele alındı. Bu örnekler satıcı seçimi problemi (Örnek 1), makine alet seçimi problemi (Örnek 2) ve depo yeri seçimi problemidir (Örnek 4). Bu üç örnek için değişim katsayısı sonuçları hesaplanarak D-ÇAPA yöntemi ile MOPA yöntemi karşılaştırıldı. Sonuçlar Tablo 3.23’te gösterilmiştir.

Tablo 3.23. Makaledeki örnekler üzerinde değişim katsayısının karşılaştırılması

	MOPA	D-ÇAPA
Satıcı seçimi örneği	3,274	3,147
Makine alet seçimi örneği	2,278	2,242
Depo yeri seçimi örneği	5,656	5,471

Tablo 3.23’ü incelediğimizde önerdiğimiz D-ÇAPA yöntemi tüm örneklerde değişim katsayısını MOPA yönteminden daha fazla azaltarak daha iyi bir sonuç vermiştir. Böylece değişkenlik azalmış ve bilgi kalitesi yükselmiştir. Dolayısıyla daha kaliteli ve sağlam bir yöntemin elde edildiği görülmektedir. Ayrıca kriter ağırlıklarındaki değişkenliği

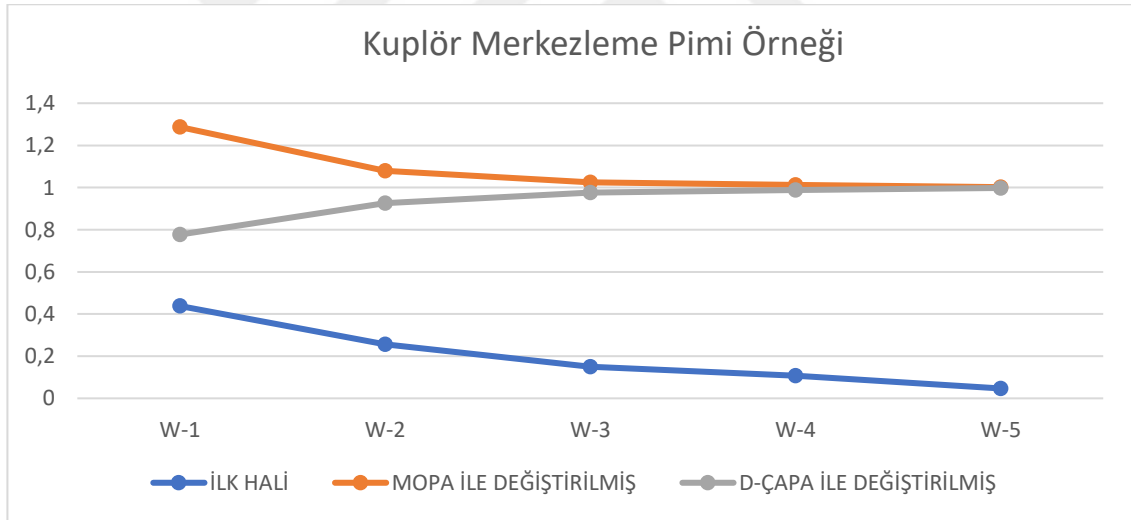
literatürdeki farklı örnekler ile karşılaştırılmasını yapmak için literatürdeki bazı çalışmalar ele alındı [45, 46, 47, 48]. Bu çalışmalardaki örneklere MOPA ve D-ÇAPA yöntemleri uygulanarak kriter ağırlıklarının değişkenlikleri değişim katsayısı ile ölçülerek Tablo 3.24'te gösterilmiştir.

Tablo 3.24. Tüm örneklerin değişim katsayılarının karşılaştırılması

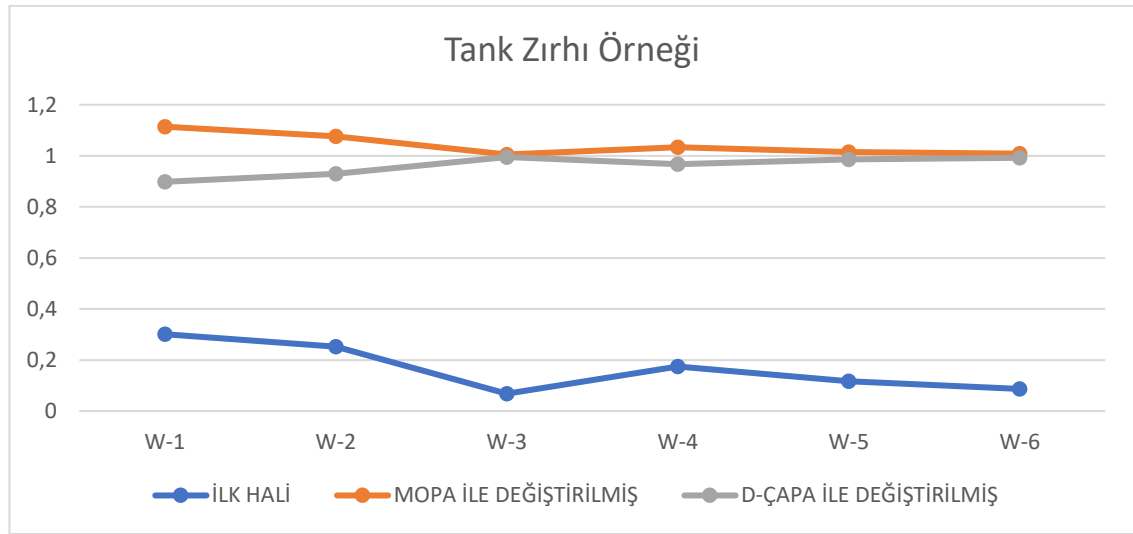
	Çalışma	Ağırlıkların İlk CV Değeri	MOPA CV Değeri	D-ÇAPA CV Değeri	Fark
1	Tez 1	68,79	9,84	8,77	Azalma
2	Tez 2	51,35	3,85	3,74	Azalma
3	Tez 3	71,19	5,93	5,70	Azalma
4	Dey 1	81,58	3,27	3,15	Azalma
5	Dey 2	44,90	2,28	2,24	Azalma
6	Dey 3	52,54	5,66	5,47	Azalma
7	Örnek 1	44,72	7,50	7,23	Azalma
8	Örnek 2	35,34	5,21	5,25	Artma
9	Örnek 3	32,77	1,55	1,54	Azalma
10	Örnek 4	33,84	0,71	0,71	Aynı
11	Örnek 5	19,21	0,87	0,87	Aynı
12	Örnek 6	52,54	5,66	5,47	Azalma
13	Örnek 7	200,39	56,68	24,82	Azalma
14	Örnek 8	63,25	8,00	7,49	Azalma
15	Örnek 9	67,36	7,50	6,66	Azalma
	Örneklerin CV Ortalaması	61,32	8,30	5,94	

Bu çalışmalarda ele alınan 9 örnek ile bu bölümde anlatılan 6 örnek ile birlikte toplam 15 örneğe ait kriter ağırlıklarındaki değişkenliğin değişimi Tablo 3.24'te gösterilmiştir. Tablodaki Tez 1-2-3 çalışmaları, bu tez çalışmasında uygulanan 3 örneği göstermektedir. Tablodaki Dey 1-2-3 çalışmaları ise Dey ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmadır. Tablo 3.24'ü incelediğimizde toplam 15 örneğin 12 tanesinde D-ÇAPA yöntemi MOPA yöntemine göre değişkenliği daha fazla azaltmıştır. Değişim oranlarına baktığımızda; $(8,14 - 5,89) / 8,14 = 0,28$ ve $(59,19 - 5,89) / 59,19 = 0,90$ olarak bulundu. Dolayısıyla D-ÇAPA yöntemi MOPA yöntemine göre % 28, ağırlıkların ilk haline göre ise % 90 oranında kriter ağırlıklarındaki değişkenliği azaltmıştır.

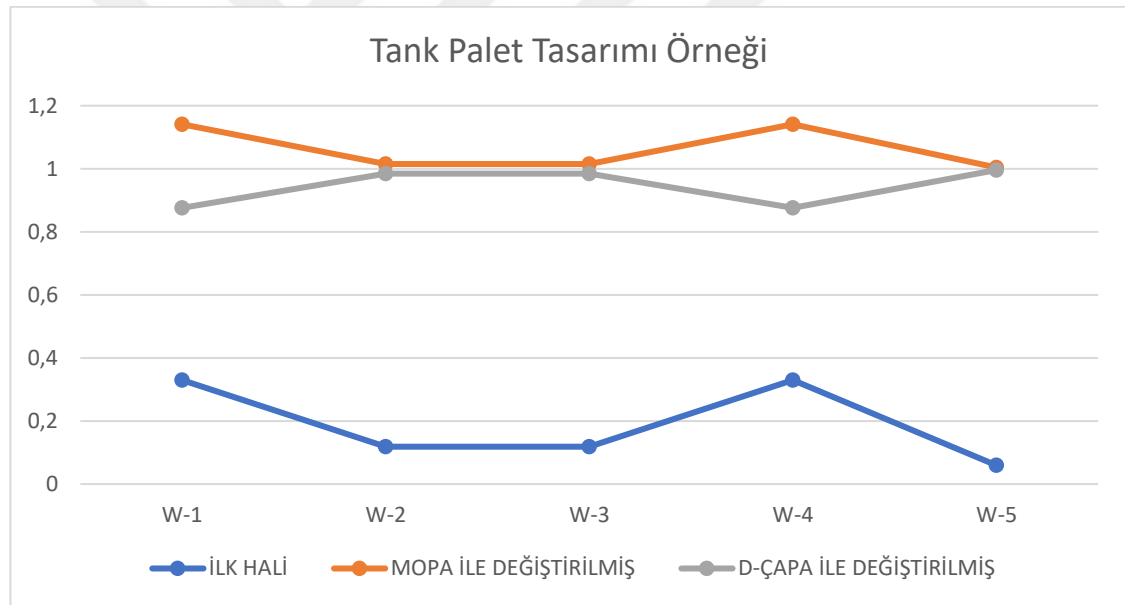
Son olarak üç uygulama içinde kriter ağırlıklarındaki değişimin grafiksel gösterimleri her bir örnek uygulama için sırasıyla Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kuplör merkezleme pimi örneği kriter ağırlıklarının değişimi



Şekil 3.2. Tank zırhı tasarımı örneği kriter ağırlıklarının değişimi



Şekil 3.3. Tank palet tasarımı örneği kriter ağırlıklarının değişimi

Her üç şekil incelendiğinde, kriter ağırlıklarındaki değişkenliğin değişimi daha net bir şekilde görülmektedir. MOPA ve D-ÇAPA yöntemleri kriter ağırlıklarındaki değişkenlikleri her bir örnekte birbirine oldukça yakınlıktır.

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, tasarımda malzeme seçimi problemi ele alındı. Bu kapsamda, savunma sanayinde yapılmış üç çalışmanın verileri kullanıldı. Bu üç çalışmada, literatürde var olan MOPA yöntemi ve bu tez çalışması ile ilk kez sunulan D-ÇAPA yöntemi uygulanmıştır. Uygulama kapsamında, ÇKKV yöntemlerinde bilgi kalitesinin artması için gerekli olan değişkenliğin azaltılması konusuna odaklanılmıştır. Her bir çalışmada MOPA ve D-ÇAPA yöntemleri uygulanarak değişkenlikler incelenmiştir. Değişkenliğin değişimi, değişim katsayısı ve aralık katsayısı ile ölçülmüştür. Sonuçlar karşılaştırılmıştır.

İlk çalışmada kuplör merkezleme pimi malzeme seçim problemi ele alındı. Sonuçlar incelendiğinde en iyi malzemenin düşük alaşımlı çelik olan 3.alternatif olduğu görülmektedir. Değişkenliğin ölçüm aracı olan değişim katsayısı analizi incelendiğinde MOPA yöntemi değişkenliği %85,69 azaltırken D-ÇAPA yöntemi %87,26 azaltmıştır. Değişkenliğin bir diğer ölçüm aracı olan aralık katsayısı analizi incelendiğinde D-ÇAPA yöntemi değişkenliği 6,5 kez azalttığı görülmektedir.

İkinci çalışmada tank zırhı malzeme seçim problemi ele alındı. Sonuçlar incelendiğinde en iyi malzemenin titanyum borid olan 2.alternatif olduğu görülmektedir. Değişkenliğin ölçüm aracı olan değişim katsayısı analizi incelendiğinde MOPA yöntemi değişkenliği %92,5 azaltırken D-ÇAPA yöntemi %92,71 azaltmıştır. Değişkenliğin bir diğer ölçüm aracı olan aralık katsayısı analizi incelendiğinde D-ÇAPA yöntemi değişkenliği 12,3 kez azalttığı görülmektedir.

Üçüncü çalışmada tank palet tasarımı malzeme seçim problemi ele alındı. Sonuçlar incelendiğinde en iyi malzemenin karbon fiber olan 4.alternatif olduğu görülmektedir. Değişkenliğin ölçüm aracı olan değişim katsayısı analizi incelendiğinde MOPA yöntemi değişkenliği %91,67 azaltırken D-ÇAPA yöntemi %92 azaltmıştır. Değişkenliğin bir diğer ölçüm aracı olan aralık katsayısı analizi incelendiğinde D-ÇAPA yöntemi değişkenliği 11,8 kez azalttığı görülmektedir.

Ayrıca MOPA ve D-ÇAPA yöntemlerini farklı yöntemler ile karşılaştırma yapmak için ARAS, COPRAS ve MOORA yöntemleri her üç yöneme de uygulanarak alternatifler sıralanmıştır. Sonuçlar üzerinden değişkenliğin ölçüm aracı olan değişim katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Üç çalışmanın değişim katsayısı ortalamalarına baktığımızda ARAS yöntemi 67,63, COPRAS yöntemi 63,78, MOORA yöntemi 59,99, MOPA yöntemi 6,54 ve D-ÇAPA yöntemi 6,07 ortalamaya sahiptir. Sonuçlara baktığımızda ARAS yöntemi en yüksek değişkenliğe sahipken D-ÇAPA yöntemi en az değişkenliğe sahiptir. Dolayısıyla bu beş ÇKKV yöntemi içerisinde bilgi kalitesi en yüksek yöntem D-ÇAPA yöntemidir.

Son olarak, MOPA yönteminin sunulduğu makaleden [1] üç örnek seçilerek D-ÇAPA yönteminin MOPA yönteminden değişkenliği daha fazla azalttığının bir kez daha doğrulanması amaçlanmıştır. Bu üç örnek için de D-ÇAPA yöntemi uygulanmıştır ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. İlk örnek olan satıcı seçim örneğinde MOPA yönteminin değişim katsayısı değeri 3,274 iken D-ÇAPA yönteminin değişim katsayısı 3,147'dir. İkinci örnek olan makine alet seçimi örneğinde MOPA yönteminin değişim katsayısı değeri 2,278 iken D-ÇAPA yönteminin değişim katsayısı 2,242'dir. Üçüncü örnek olan depo yeri seçimi örneğinde MOPA yönteminin değişim katsayısı değeri 5,656 iken D-ÇAPA yönteminin değişim katsayısı 5,471'dir. Sonuçlara baktığımızda D-ÇAPA yönteminin değişkenliği azaltmada MOPA yönteminden daha iyi olduğu görülmektedir.

Tüm bu sonuçlara baktığımızda, MOPA yönteminin işlem adımında yapılan değişiklik ile elde ettiğimiz D-ÇAPA yöntemi, hem MOPA yönteminden hem literatürdeki seçilen diğer yöntemlerden bilgi değişkenliğini azaltmada daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu tez çalışmasında bahsedildiği gibi değişkenlik belirsizliği arttırmakta ve kaliteyi düşürmektedir. Bu da doğrudan sonuçlara etki ederek yanlış kararlara sebep olabilir. Bu durum da günümüz dünyasında en istenmeyen durumların başındadır. Yeterli kaliteye

ulaşmayan yani değişken olan firmalar piyasada tutunamamaktadır. Bu yüzden D-ÇAPA yöntemi sayesinde, değişkenliğin azalması ile kriter ağırlıklarının belirlenmesinde karar vericiler tarafından kullanılan bilginin kalitesinin artırılması sağlanmış olacaktır. Böylece daha kaliteli kriter ağırlıklarına sahip olunarak daha kaliteli sonuçlar elde edilecektir. Literatürdeki sağlam tasarım konusuna da dahil olacaktır. Böylece bu tez çalışması ile birlikte literatüre, ÇKKV yöntemlerinde kalitenin artırılarak sağlam tasarım elde etme vurgusu yapılmıştır.

Literatürde hem değişkenliğin azaltılarak bilgi kalitesinin artırılması ile ilgili çalışma görülmemektedir hem de MOPA yöntemi ile ilgili çalışmalar çok azdır. Bu tez çalışması ile birlikte araştırmacıların hem bilgi kalitesine yönelmelerine hem MOPA yönteminin kullanımının artırılması hedeflenmiştir. Ayrıca MOPA yönteminde yaptığımız değişikliklerle elde ettiğimiz D-ÇAPA yönteminin daha iyi sonuç verdiğinin gösterilerek D-ÇAPA yönteminin, MOPA yönteminin yerine kullanılması beklenmektedir.

D-ÇAPA yönteminin bulanık mantık ile ilgili uygulamaları daha sonraki çalışmalarda uygulanabilir. D-ÇAPA yönteminin bulanık mantık uygulamalarında daha yüksek bir bilgi kalitesi sunması olasıdır. Çünkü bulanık mantıkta belirsiz bilgi çok olduğundan değişkenlikte yüksek çıkacaktır. Bu da hata yapma oranını artıracaktır. D-ÇAPA yöntemi bu hatayı büyük ölçüde azaltabilir. D-ÇAPA yöntemi bulanık mantık seçim problemlerinde karar vericilere güven verecekti

KAYNAKLAR

1. Dey, A. Bairagi, B. Sarkar, C. Sanyal, D., 2016. “ Multi objective performance analysis: A novel multi-criteria decision making approach for a supply chain” **Computers&Industrial Engineering**, **94**: 105-124.
2. L. Y. Ljungberg., 2007. “Materials selection and design for development of sustainable products,” **Materials & Design**, **28** (2): 466-479.
3. K. L. Edwards., 2005. “Selecting materials for optimum use in engineering components,” **Materials & Design**, **26** (5): 469-472.
4. L. Y. Ljungberg and K. L. Edwards., 2003. “Design, materials selection and marketing of successful products,” **Materials & Design**, **24** (7): 519-529.
5. R. Kumar, A. Ray., 2014. Selection of material for optimal design using multi-criteria decision making, **Procedia Mater. Sci.**, **6**: 590–596.
6. P. Karande, S. Chakraborty., 2012. Application of multi-objective optimization on the basis of ratio analysis (MOORA) method for materials selection, **Mater. Des.**, **37**: 317–324.
7. Park, Gyung-Jin&Hwang, Kwang-Hyeon&Lee, Tae&Lee, Kwon., 2006. Robust Design: An Overview. **Aiaa Journal** **J.44**, 181-191.
8. J. Qian and Y. P. Zhao., 2002. “Materials selection in mechanical design for micro sensors and micro actuators,” **Materials & Design**, **23** (7): 619-625.
9. A. S. Milani, A. Shanian, R. Madoliat, and J. A. Nemes., 2005. “The effect of normalization norms in multiple attribute decision making models: A case study in gear material selection,” **Structural and Multidisciplinary Optimization**, **29** (4): 312-318.
10. A. Shanian and O. Savadogo., 2006. “A material selection model based on the concept of multiple attribute decision making,” **Materials & Design**, **27**: 329-337.

11. A. Thakker, J. Jarvis, M. Buggy, and A. Sahed., 2008. "A novel approach to materials selection strategy case study: Wave energy extraction impulse turbine blade," **Materials & Design**, **29** (10): 1973-1980.
12. A. M. M. Sharif Ullah and K. H. Harib., 2008. "An intelligent method for selecting optimal materials and its application," **Advanced Engineering Information**, **22** (4): 473-483.
13. K. Prasad and S. Chakraborty., 2013. "A quality function deploymentbased model for materials selection," **Materials & Design**, **49**: 525-535.
14. R. V. Rao and J. P. Davim., 2008. "A decision-making framework model for material selection using a combined multiple attribute decision-making method," **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, **35** (7-8): 751-760.
15. A. Jahan, Md. Y. Ismail, and S. M. Sapuan., 2010. "Material screening and choosing methods - A review," **Materials & Design**, **31** (2): 696-705.
16. A. Jahan, F. Mustapha, Md .Y. Ismail, S. M. Sapuan, and M. Bahraminasab., 2011. "A comprehensive VIKOR method for material selection," **Materials & Design**, **32** (3): 1215-1221.
17. P. Chatterjee, V. M. Athawale, and S. Chakraborty., 2011. "Materials selection using complex proportional assessment and evaluation of mixed data methods," **Materials and Design**, **32** (2): 851-860.
18. S. R. Maity, P. Chatterjee, and S. Chakraborty., 2012. "Cutting tool material selection using grey complex proportional assessment method," **Materials and Design**, **36**: 372-378.
19. R. J. Girubha and S. Vinodh., 2012. "Application of fuzzy VIKOR and environmental impact analysis for material selection of an automotive component," **Materials & Design**, **37**: 478-486.
20. S. M. Sapuan., 2001. "A knowledge-based system for materials selection in mechanical engineering design," **Materials & Design**, **22** (8): 687-695.

21. S. R. Maity and S. Chakraborty., 2012. "Turbine blade material selection using fuzzy analytic network process," **International Journal of Materials and Structural Integrity**, **6** (2-4):169-189.
22. A. Jahan, F. Mustapha, S. M. Sapuan, Md. Y. Ismail, and M. Bahraminasab., 2012. "A framework for weighting of criteria in ranking stage of material selection process," **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, **58** (1-4): 411- 420.
23. P. Karande, S. K. Gauri, and S. Chakraborty., 2013. "Applications of utility concept and desirability function for materials selection," **Materials & Design**, **45**: 349-358.
24. D. Rai, G. K. Jha, P. Chatterjee, and S. Chakraborty., 2013. "Material selection in manufacturing environment using compromise ranking and regret theory-based compromise ranking methods: A comparative study," **Universal Journal of Materials Science**, **1** (2): 69-77.
25. S. Chakraborty and P. Chatterjee., 2013. "Selection of materials using multi-criteria decision-making methods with minimum data," **Decision Science Letters**, **2** (3):135-148.
26. A. Chauhan and R. Vaish., 2013. "Hard coating material selection using multi-criteria decision making," **Materials and Design**, **44**: 240-245.
27. M. Moradian, V. Modanloo, S. Aghaiee., 2019. Comparative analysis of multi criteria decision making techniques for material selection of brake booster valve body, J. **Traffic Transport. Eng.** **6** (5) 526–534.
28. A. Soni, D. Gautam, A. Dwivedi., 2018. Implementation of multi-criteria decision-making method for the selection of magnesium alloy to suit automotive application, **Int.l J. Adv. Res. Dev.** **3** (6) 4–12.
29. R. Zhao, H. Su, X. Chen, Y. Yu., 2016. Commercially available materials selection in sustainable design: an integrated multi-attribute decision making approach, **Sustainability** **8** (1) 79.

30. E. Senyigit, B. Demirel., 2018. The selection of material in dental implant with entropy based simple additive weighting and analytic hierarchy process methods, **Sigma J. Eng. Nat. Sci.**, **36** (3): 731–740.
31. E. Şenyiğit, and B. Demirel., 2017. “Determination of the material for the carbonated soft drink packaging with multi-criteria decision making methods,” **Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences**, **35** (3): 471-480.
32. Şenyiğit, E , Demirel, B., 2020. "Material selection on countermeasure flares systems by multi criteria decision making methods". **International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies** **4**, 1-9.
33. Dariush Mohamadi Zanjirani, Sarfaraz Hashemkhani Zolfani & OlegasPrentkovskis., 2019. L.A.R.G. supplier selection based on integrating house of quality, Taguchiloss function and M.O.P.A., **Economic Research-Ekonomska Istraživanja**, **32:1**, 1944-1964.
34. Şenyiğit, E. ve Ünal, Z., 2019. Determination of the best RFID System by BWM-MOPA Method. **European Journal of Science and Technology**, (Özel Sayı), 9-14.
35. Şenyiğit, E., Yurtgülü, N., Demirel, E., Gökkuş, Ö., 2020. “Askeri Amaçlı Trenlerde Kuplör Merkezleme Pimi Tasarımında En İyi Malzemenin Seçimi”. 3.Uluslararası Bilim, Teknoloji ve Sosyal Bilimlerde Güncel Gelişmeler Sempozyumu, Adana, Türkiye, 19 – 20 Haziran 2020, 1-6.
36. Doğan, B., 2004. Anaytic Hierarchy Process as a Multi Criteria Approach Model in Decision Making and Application of AHP Method For Selection of Mine Hunting Ship, **Naval Academy Command Naval Sciences And Engineering Institute**.
37. Güner, H., 2005. Fuzzy AHP and the Application for A Company's Supplier Selection Problem. **Denizli: Pamukkale University Institute of Science and Technology**.
38. Demirer, B., 2012. Multicriteria Decision Making Process Application of Dinamic Programming. **İzmir: Dokuz Eylül University Social Science Institute**.

39. Tabucanon, M. T., 1988. Multiple Criteria Decision Making in Industry, **Elsevier Science Ltd.**
40. Zeleny, M. and Cochrane, J. L., 1973. Multiple Criteria Decision Making, **University of South Carolina Press.**
41. Peng, Anhua & Wen, Xiqin & Wu, Kaibo., 2015. Material Selection in Engineering Design Using Choquet Integral-Based Linguistic Operators under Hybrid Environment. **Journal of Control Science and Engineering.** 1-12.
42. Dawson-Sanders B, Trapp., 1990. RG. Basic and clinical biostatistics. **Norwalk, Connecticut: Appleton & Lange.**
43. Şenyiğit, E., Demirel, B., & Gökkuş, Ö., 2020. BWM-SAW Yöntemi İle Savunma Sanayisinde Tank Zırhları İçin Kullanılacak En İyi Malzemenin Seçimi . 30 Ağustos Bilimsel Araştırmalar Kongresi.
44. Şenyiğit, E., Demirel, B., & Gökkuş, Ö., 2020. BWM-TOPSIS Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi İle Savunma Sanayi İçin Tank Paleti Tasarımında En İyi Malzemenin Seçimi . 30 Ağustos Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Adana, Turkey.
45. Seyed Hadi Mousavi-Nasab, Alireza Sotoudeh-Anvari, 2017. A comprehensive MCDM-based approach using TOPSIS, COPRAS and DEA as an auxiliary tool for Material selection problems, **Materials & Design** **121.** 237-253
46. Goran S. Petrović, Miloš Madić, Jurgita Antucheviciene, 2018. An approach for Robust decision making rule generation: Solving transport and logistics decision making problems, **Expert Systems with Applications** **106,** 263-276
47. Seyed Hadi Mousavi-Nasab, Alireza Sotoudeh-Anvari, 2018. A new multi-criteria decision making approach for sustainable material selection problem: A critical study on rank reversal problem, **Journal of Cleaner Production** **182,** 466-484
48. Shankha Shubhra Goswami, Suwendu Kumar Mohanty, Dhiren Kumar Behera, 2021. Selection of a green renewable energy source in India with the help of MEREC integrated PIV MCDM tool, **Materials Today: Proceedings**

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Nuri YURTGÜLÜ

Uyruğu: Türkiye (T.C.)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi Endüstri Mühendisliği	2022
Lisans	Ondokuz Mayıs Üniversitesi Endüstri Mühendisliği	2017
Lise	Bosna Hersek Lisesi, KONYA	2013

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

- Şenyiğit, E., Yurtgülü, N., 2021. “Yeni Bir Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi: Değiştirilmiş Çok Amaçlı Performans Analizi ve Örnek Bir Uygulama”. 5.Uluslararası Bilim, Teknoloji ve Sosyal Bilimlerde Güncel Gelişmeler Sempozyumu, Malatya, Türkiye, 3 – 5 Aralık 2021, 683-688.